การรุกล้ำของความเค็ม และการแพร่กระจายความเค็มตามความยาวของลำน้ำในแม่น้ำท่าจีน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล

Longitudinal Salinity Intrusion and Dispersion along the Thachin River Due to Sea Level Rise

ณัฐวุฒิ อินทบุตร[1] และวิษุวัฒก์ แต้สมบัติ[1]*

Nuttawut Intaboot[1] and Wisuwat Taesombat[1*]

ABSTRACT

This study was aimed to investigate the effect of the rise in the sea level in the upper Gulf of Thailand on the salinity intrusion into the Thachin River. The mathematical model was applied to forecast the longitudinal salinity intrusion and dispersion in the river. The result of advection-dispersion model showed that the diffusion coefficient calibrated from the year 2010 data was 400 square meters per second. The study of sea level change revealed that the average sea level rise in the estuarine was higher than those in other parts of the Gulf in which the value was approximately 3.1 mm/year and corresponded to the world wide rate of sea level rise. While in the estuarine was around 19.2 mm/year. This high sea level rise was mainly caused by land subsidence of about 14.5 mm/year. Thus, the sea level rises by the sea itself was around 4.7 mm/year. The large rate of the sea level rises would cause salinity to intrude into the river to a longer distance. The predicted salinity intrusion in the year 2015, 2020 and 2025 indicated that the salinity would intrude as far as 55 river km from the estuarine which would be around 3 km further upstream along the river than the current intrusion distance. The salinity intrusion would affect the agricultural area along the river. Therefore, it is necessary to later develop the measure for the control of salinity in order to minimize sea level rise impact.

Key words: Advection-Dispersion Model, Salinity Intrusion, Thachin River, Sea Level Rise

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนที่มีผลต่อการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์การแพร่กระจายตามแนวยาวลำน้ำและการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน ผลการศึกษาจากแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายพบว่าแม่น้ำท่าจีนมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเท่ากับ 400 ตารางเมตรต่อวินาที ซึ่งได้จากข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2553 และผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับน้ำ

[1*] ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, NakhonPathom 73140, Thailand.

[*]Corresponding author: Tel. 0-86383-3289, Fax. 0-3435-1404, E-mail address: fengwwt@ku.ac.th

ทะเลที่เพิ่มขึ้นในบริเวณปากแม่น้ำจะสูงกว่าระดับน้ำทะเลในบริเวณอื่นของอ่าวไทยซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลประมาณปีละ 3.1มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลทั่วโลก โดยบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนมีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลประมาณปีละ 19.2 มิลลิเมตร ซึ่งค่าดังกล่าวส่วนใหญ่เกิดจากผลกระทบของการทรุดตัวของแผ่นดินประมาณ 14.5 มิลลิเมตรต่อปี ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่แท้จริงจึงคิดเป็นประมาณ 4.7 มิลลิเมตรต่อปี โดยการเพิ่มขึ้นของน้ำทะเลดังกล่าวจะทำให้ค่าความเค็มรุกล้ำไปในแม่น้ำเป็นระยะทางที่ไกลขึ้น ผลการพยากรณ์การรุกล้ำของความเค็มในอนาคตของปี พ.ศ. 2558 2563 และ 2568 พบว่าค่าความเค็มจะรุกล้ำเข้าไปเป็นระยะทางสูงสุด 55 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำโดยคิดเป็นระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากสภาพปัจจุบัน 3 กิโลเมตรตามแนวยาวลำน้ำ ค่าความเค็มที่รุกล้ำดังกล่าวนี้จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่เกษตรกรรมริมสองฝั่งแม่น้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหามาตรการในการควบคุมความเค็มเพื่อลดผลกระทบต่อไป

คำสำคัญ: แบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจาย การรุกล้ำของความเค็ม แม่น้ำท่าจีน การเพิ่มขึ้นระดับน้ำทะเล

คำนำ

ลุ่มน้ำท่าจีนเป็นลุ่มน้ำที่สำคัญอันดับสองรองจากลุ่มน้ำเจ้าพระยาในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคกลาง มีการใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การประมง การชลประทานและอื่นๆ ในลุ่มน้ำมีแม่น้ำท่าจีนเป็นแม่น้ำสายหลักที่ไหลผ่านลุ่มน้ำดังกล่าว โดยไหลผ่านจังหวัดชัยนาท สุพรรณบุรี นครปฐม ไปลงอ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรสาคร ในอดีตแม่น้ำท่าจีนนับว่าเป็นลำน้ำสายหนึ่งที่มีความอุดมสมบูรณ์ สามารถหล่อเลี้ยงพื้นที่ทำนา ทำสวน และทำไร่ ในบริเวณสองฝั่งลำน้ำเป็นอย่างดีรวมทั้งเป็นแหล่งอาหาร และเป็นเส้นทางคมนาคมทางน้ำให้ประชาชนได้อาศัยสัญจรไปมา (กรมชลประทาน, 2541 ก.) ปัญหาความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำและการรุกล้ำของน้ำเค็มในแม่น้ำท่าจีนโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณตอนล่างของแม่น้ำก่อนที่ระบายออกสู่อ่าวไทยเป็นปัญหาที่นับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้นเพราะมีผลกระทบโดยตรงต่อการใช้ประโยชน์ลำน้ำและระบบนิเวศโดยจะเริ่มมีปัญหาตั้งแต่พื้นที่ชายทะเลขึ้นไป ปัญหาแรกคือการขาดแคลนน้ำจืดเพื่อใช้ทำการเกษตรในฤดูแล้งโดยมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร ปัญหาต่อมาก็คือการรุกล้ำของน้ำเค็มเข้าไปตามแม่น้ำท่าจีน มีระยะทางยาวขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายแก่พื้นที่การเกษตรบริเวณสองฝั่งของลำน้ำ (กรมชลประทาน, 2541 ข.) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนมกราคมถึงพฤษภาคมจะเกิดการรุกล้ำของน้ำเค็มเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการขาดแคลนน้ำจืดในการผลักดันน้ำเค็ม

นอกจากนี้ทั่วโลกยังประสบกับปัญหาของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่นับวันยิ่งมีความรุนแรงมากขึ้น โดยผลกระทบดังกล่าวจะมีความรุนแรงแตกต่างกัน แล้วแต่ตำแหน่งที่ตั้งถิ่นฐานของประชากรในแต่ละประเทศ ซึ่งแนวโน้มของประชากรจะมีทิศทางการย้ายถิ่นฐานมายังชายฝั่งทะเลทำให้ปัจจุบันประชากรประมาณร้อยละ 60 ของโลกอาศัยอยู่ในระยะไม่เกิน 60 กิโลเมตรจากแนวชายฝั่ง และพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นจะอยู่ที่บริเวณที่ราบลุ่มปากแม่น้ำ (อิทธิ และคณะ, 2551) พื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีนเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงอย่างยิ่งกับปัญหาการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นเช่นการกัดเซาะชายฝั่งซึ่งเป็นปัญหาที่กำลังเกิดขึ้นทั่วทั้งโลก สภาพน้ำท่วมหรือน้ำเค็มที่รุกล้ำเข้ามาในแผ่นดินมากขึ้นและเป็นเวลานานขึ้น การปนเปื้อนของน้ำเค็มในน้ำใต้ดินระบบนิเวศตลอดจนสภาพสมดุลทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมชายฝั่งที่จะเปลี่ยนไปส่งผลต่อเนื่องอย่างกว้างขวางและหลีกเลี่ยงไม่ได้ต่อการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์และสภาพเศรษฐกิจและสังคมจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

อย่างต่อเนื่องซึ่งอาจจะส่งผลกระทบที่รุนแรงขึ้นในอนาคตได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีเป้าหมายที่จะศึกษาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนพร้อมกับวิเคราะห์ผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีผลต่อการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนโดยประยุกต์แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์และพยากรณ์การแพร่กระจายความเค็มตามความยาวลำน้ำและการรุกล้ำของความเค็มในแม่น้ำเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนจัดการควบคุมความเค็มในแม่น้ำท่าจีนต่อไป

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน

ในการศึกษาบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำพบว่าคุณภาพน้ำและความเค็มของน้ำในแม่น้ำมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการรุกล้ำของน้ำเค็มจากมหาสมุทรเข้าไปในแม่น้ำ ซึ่งการรุกล้ำของน้ำเค็มนี้จะขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำในปัจจุบันระดับน้ำทะเลทั่วโลกได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นผลจากปัจจัยต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปรากฏการณ์ El Niño-Southern Oscillation (ENSO) จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อนและเมื่อทำการคำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลจากแบบจำลองทางสถิติพบว่าระดับน้ำทะเลจะมีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 3.3-5.0 มิลลิเมตรต่อปี (Becker *et al.,* 2011) ในรอบ 15 ปีตั้งแต่ปี พ.ศ.2536-2551 ระดับน้ำทะเลทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าประมาณ 3.1 ± 0.1 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น การขยายตัวของน้ำทะเลเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นของมหาสมุทร และปริมาณน้ำที่ไหลลงมหาสมุทรเนื่องจากธารน้ำแข็งขั้วโลกและภูเขาน้ำแข็งเกิดการละลาย (Cazenave *et al.,* 2008)ยิ่งไปกว่านั้น การเคลื่อนที่ทางดิ่งของแผ่นดินในบริเวณที่ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีสำรวจข้อมูลจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลด้วย (Fenoglio-Marc *et al.,* 2011)

การศึกษาของนักวิจัยต่างๆที่ผ่านมาสามารถชี้ให้เห็นว่าปัจจุบันโลกกำลังประสบกับปัญหาที่เกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ซึ่งมีผลกระทบที่ตามมาคือทะเลจะมีคลื่นสูงและรุนแรงขึ้นเนื่องจากมหาสมุทรมีการเพิ่มของระดับน้ำ คลื่นที่รุนแรงนี้จะส่งผลกระทบต่อชายฝั่ง และสิ่งปลูกสร้างในทะเล และนอกเหนือจากคลื่นลมแรงแล้ว การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลยังส่งผลทำให้เกิดน้ำท่วมใหญ่อีกด้วย (Chini *et al.,* 2010)

งานวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในส่วนของประเทศไทยที่ผ่านมามีผลการศึกษาที่ขัดแย้งกันอยู่โดยการศึกษาของสมมาตรและอิทธิ (2550) ซึ่งใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายปีช่วงระหว่างปี พ.ศ.2483 ถึงพ.ศ.2546 พบว่าระดับทะเลในอ่าวไทยมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยประมาณ 0.22-0.81 มิลลิเมตรต่อปี ส่วนที่เกาะหลัก จ.ชุมพรระดับน้ำทะเลมีค่าลดลงด้วยอัตรา 0.5 มิลลิเมตรต่อปีซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Neelasri *et al.*(1998) ซึ่งใช้ข้อมูลในช่วงปีพ.ศ. 2506-2530 จากสถานีวัดระดับน้ำทะเลสัตหีบ และสถานีเกาะหลักพบว่าระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยกำลังลดลงด้วยอัตรา 0.3 และ 0.6 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาโดย Vongvisessomjai (2006) ซึ่งพบว่าระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยที่คำนวณจากข้อมูลจากการเก็บเป็นเวลา 56 ปีในช่วงปีพ.ศ.2483-2539 ของสถานีวัดระดับน้ำสัตหีบและสถานีเกาะหลักกำลังลดลงอย่างช้าๆด้วยอัตราประมาณ 0.36 มิลลิเมตรต่อปี อย่างไรก็ตามตัวเลขของงานวิจัยทั้ง 3ชิ้นขัดแย้งกับตัวเลขที่ได้ทำการศึกษาโดย อิทธิ (2548) ซึ่งใช้ข้อมูลระดับน้ำทะเลที่ของสถานีเกาะหลักและข้อมูลจาก Satellite Altimetry ในช่วงปี พ.ศ.2536 - 2545 พบว่าระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยกำลังเพิ่มขึ้นด้วยอัตราประมาณ 1.5 มิลลิเมตรต่อปี

ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในบริเวณน่านน้ำของประเทศเพื่อนบ้าน ได้แก่ ประเทศมาเลเซียรายงานว่าระดับน้ำทะเลเฉลี่ยกำลังเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 2.4 มิลลิเมตรต่อปี ในขณะที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยของเวียดนามเพิ่มขึ้นในอัตรา 1.75 - 2.56 มิลลิเมตรต่อปี (อิทธิและคณะ, 2551)

สำหรับน่านน้ำที่ไม่ได้มีอาณาบริเวณกว้างใหญ่มากอย่างเช่นอ่าวไทยและทะเลจีนใต้มีความเป็นไปได้น้อยมากที่บางบริเวณจะมีระดับน้ำลดลง และการที่อัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเฉลี่ยที่ได้จากการศึกษาต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นแตกต่างกันเกิดจาก 2 ปัจจัยหลักได้แก่จำนวนปีของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณและการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของแผ่นดิน (Vertical Motion) ณ บริเวณสถานีวัดระดับน้ำที่เกิดจากปัจจัยต่างๆคือ การดีดกลับของเปลือกโลกหลังยุคน้ำแข็ง การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก (ทั้งทางราบและทางดิ่ง) การทรุดตัวและยกตัวอันเนื่องมาจากการสูบน้ำบาดาลไปใช้ (อิทธิและคณะ, 2551)

ดังนั้น อิทธิและคณะ (2551) จึงได้ทำการศึกษาถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยโดยนำเอาอัตราการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแผ่นดินที่ตรวจจับได้โดยเทคนิคการประมวลผลจุดเดี่ยวความเที่ยงตรงสูงจากข้อมูลGPS ระหว่าง ปีพ.ศ. 2537-2547 ที่ได้จากสถานีรังวัดสองแห่งในชุมพรและชลบุรีมาปรับแก้อัตราสัมพัทธ์ของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่คำนวณจากข้อมูลสถานีวัดระดับน้ำเกาะหลักและสัตหีบโดยค่าที่ประมวลผลได้บ่งชี้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยอยู่ที่ 1.9 ± 0.6 มิลลิเมตรต่อปีที่เกาะหลัก และ 5.1 ± 2.0 มิลลิเมตรต่อปีที่สัตหีบโดยค่าที่สถานีวัดระดับน้ำสัตหีบที่สูงกว่าเกาะหลักเป็นอย่างมากอาจเป็นผลมาจากการทรุดตัวของบริเวณสถานีสัตหีบเองที่โครงสร้างไม่ได้อยู่บนชั้นหินดังเช่นสถานีเกาะหลักและอยู่ใกล้พื้นที่เมืองและนิคมอุตสาหกรรมซึ่งมีการสูบน้ำบาดาลมาใช้

จากการศึกษาของคงวัฒน์ (2551) ในเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในน่านน้ำไทย โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำที่มีระยะเวลานาน 15-45 ปี จำนวน 6 สถานี คือ สถานีแหลมสิงห์ หัวหิน เกาะมัตโพน เกาะปราบทับละมุ และตะรุเตา แนวโน้มเชิงเส้นของระดับน้ำเฉลี่ยรายปีแสดงการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลค่อนข้างชัดเจนตั้งแต่ พ.ศ.2535-พ.ศ.2550 ระดับน้ำทะเลในน่านน้ำไทยเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 3 - 6 มิลลิเมตรต่อปีข้อมูลระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาที่หน้ากองบัญชาการกองทัพเรือมีระยะเวลา 67 ปีระดับน้ำเฉลี่ยรายปีมีแนวโน้มเชิงเส้นสูงขึ้นตามระยะเวลาโดยเฉพาะตั้งแต่ พ.ศ.2516 ถึงปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นประมาณ 4.3 มิลลิเมตรต่อปีและปีที่มีค่าระดับน้ำเฉลี่ยสูงจะสัมพันธ์กับปริมาณฝนที่ตกชุกในภาคเหนือและภาคกลางของประเทศไทย

และจากการทบทวนผลการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ตรวจวัดได้ นอกจากจะเป็นการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเองแล้ว ยังได้รับผลกระทบมาจากการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแผ่นดิน ซึ่งกระทำต่อจุดที่ตั้งของสถานีตรวจวัดระดับน้ำ จากการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) พบว่าบริเวณจังหวัดชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน ประกอบด้วยสมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร และสมุทรปาการ มีการทรุดตัวอย่างต่อเนื่อง ในตลอดระยะเวลา 40 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากมีการสูบน้ำบาดาลมาใช้เป็นจำนวนมาก โดยเหตุผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Trisirisatayawong (2011) ซึ่งได้ทำการสำรวจและวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าเกิดการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่สถานีวัดระดับน้ำเท่ากับ 12.6 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีสันดอนกรุงเทพ และเท่ากับ 14.8 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีป้อมพระจุล ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำอย่างมากดังกล่าวเกิดจากการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำเองด้วย

ดังนั้น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในครั้งนี้จึงได้พิจารณาวิธีการวิเคราะห์ในแนวทางของ อิทธิ (2548), อิทธิและคณะ (2551) และTrisirisatayawong (2011)ซึ่งใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติแบบ Linear Regression ของข้อมูลค่าระดับน้ำทะเลเฉลี่ยรายปีบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนที่ตรวจวัดโดยกรมเจ้าท่าพร้อมทั้งพิจารณาการปรับแก้ด้วยค่าการทรุดตัวของแผ่นดินที่สถานีวัดระดับน้ำในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) เพื่อให้ได้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่แท้จริง

ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้

แบบจำลองคณิตศาสตร์

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้คือแบบจำลอง MIKE11-HD/AD ซึ่งแบบจำลองนี้พัฒนาโดยDHI Water Environment and Health สามารถจำลองสภาพการไหลในลำน้ำแบบ 1 มิติ พร้อมทั้งจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายมวลสารในลำน้ำได้เป็นอย่างดี (DHI, 1995) และได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ได้ดีในหลายลุ่มน้ำของประเทศไทย ยกตัวอย่างเช่น ลุ่มน้ำท่าจีน (พัฒนชัยและวิษุวัฒก์, 2556) ลุ่มน้ำปิงตอนบน (ยุวเรศ, 2550) และลุ่มน้ำบางปะกง (ภูวดล, 2544) เป็นต้น

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (MIKE11-HD, Hydrodynamic Module)

การคำนวณทางอุทกพลศาสตร์ของการไหลในลำน้ำแบบ 1 มิติ มีทฤษฎีที่สำคัญคือ กฎทรงมวลโดยยึดหลักว่าด้วยการไม่สูญสลาย/หายไปของมวลน้ำ และกฎของแรงกระทำทั้งนี้หากมีแรงกระทำที่ไม่สมดุลก็จะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{2\partial}{A}\frac{\partial Q}{\partial x}+\left(g\frac{A}{B}-\frac{Q^2}{A^2}\right)\frac{\partial A}{\partial x}+gA\left(S_f-S_0\right)=0 \quad (2)$$

เมื่อ Q คือปริมาณการไหล, Aคือพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ, t คือเวลา, x คือระยะทาง, B คือความกว้างของลำน้ำ, g คืออัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วง, S_f คือความลาดชันของความเสียดทาน, S_o คือความลาดชันของท้องน้ำ

แบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจาย (MIKE 11-AD, Advection-Dispersion Model)

แบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจายนั้นสามารถอธิบายถึงกลไกการเคลื่อนที่ของมวลสารในลำน้ำ โดยสามารถอธิบายได้ใน 2 ลักษณะคือ การพัดพา (Advective or Convective Transport) เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของมวลสารจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยอิทธิพลการไหลของน้ำ ทิศทางการเคลื่อนที่กับทิศทางการไหล และการแพร่กระจาย (Dispersive transport)เป็นการเคลื่อนที่ของมวลสารในลักษณะฟุ้งกระจายทุกทิศทุกทาง เมื่อรวมกับการเคลื่อนที่ของทิศทางการไหลของน้ำจะเกิดกระบวนการการแพร่กระจาย (dispersion) ในทิศทางการไหลของน้ำ

ในการจำลองการเคลื่อนย้ายมวลสารในลำน้ำจะใช้หลักของกฎทรงมวล และคิดการไหลเป็นแบบ 1 มิติ โดยจะต้องใช้ข้อมูล อัตราการไหล ระดับน้ำ พื้นที่หน้าตัดการไหล และรัศมีชลศาสตร์ที่ได้จาก MIKE11-HD สมการพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณคือ (DHI, 1995)

$$\frac{\partial AC}{\partial t}+\frac{\partial QC}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(AD_f\frac{\partial C}{\partial x}\right)=-AKC+C_s.q \quad (3)$$

โดยที่ C คือความเข้มข้น (มวล/ปริมาตร), D_fคือสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (ตารางเมตร/วินาที), A คือพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ (ตารางเมตร), K คือสัมประสิทธิ์การย่อยสลาย (วินาที$^{-1}$), C_s คือ Source/Sink Concentration (มวล/ปริมาตร), q คืออัตราการไหลด้านข้างต่อหน่วยความยาวลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/วินาที), t คือช่วงเวลาระหว่างหน้าตัดลำน้ำ (วินาที), x คือระยะระหว่างหน้าตัดลำน้ำ (เมตร)

สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Dispersion Coefficient)

การพิจารณาการแพร่กระจายของมวลสารในลำน้ำ จะพิจารณาตามความยาวของลำน้ำเป็นสำคัญ โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเป็นฟังก์ชั่นของความเร็วการไหลเฉลี่ย (Mean Flow Velocity) ซึ่งอาศัยหลักการแพร่กระจายของ Fick (Fick Diffusion Law)โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสามารถคำนวณได้จากสมการในรูปทั่วๆไปดังนี้ (ยุวเรศ, 2550)

$$D_f = fv^{ex} \quad (4)$$

เมื่อD_f คือสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s), f คือแฟคเตอร์การแพร่กระจาย, v คือความเร็วการไหล (m/s), ex คือค่าคงที่ยกกำลัง (Dimensionless Exponent)

ถ้า ex = 0 แล้ว ความเร็วของการไหลจะไม่มีอิทธิพลต่อความเร็วการแพร่กระจาย และหน่วยของแฟคเตอร์การแพร่กระจาย (f) จะเป็นตารางเมตรต่อวินาที(m^2/s)

ถ้า ex = 1 แล้ว ความเร็วของการไหลจะเป็นฟังก์ชั่นแบบเส้นตรงกับสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย และหน่วยของแฟคเตอร์การแพร่กระจาย (f) จะเป็นเมตร(m)

วิธีการวัดผลการศึกษา

ในการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองฯจะใช้ดัชนีทางสถิติมาเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบและตัดสินใจ ประกอบด้วย ค่าความแม่นยำจะใช้วิธี Root mean square error (RMSE) ซึ่งจะแสดงวิธีคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{RMSE}=\sqrt{\frac{\sum(x-y)^2}{n}} \quad (5)$$

ค่าความสอดคล้องกันจะใช้วิธีทาง Goodness-of-fit ประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์ Coefficient of determination (R^2) และ Nash coefficient (NSE) ดังสมการ

$$R^2=\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i-\bar{x}\right)\left(y_i-\bar{y}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i-\bar{x}\right)^2\times\sum_{i=1}^{n}\left(y_i-\bar{y}\right)^2}\right)^2 \quad (6)$$

$$NSE = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2} \quad (7)$$

เมื่อ y = ระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง, x = ระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัด, $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัด, $\bar{y}$ = ค่าเฉลี่ยระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง, i = ลำดับของข้อมูล, n = จำนวนข้อมูล

ค่าที่ยอมรับได้ของค่าดัชนีทางสถิติ RMSE ต้องมีค่าน้อยที่สุด (เข้าใกล้ 0) และค่าสัมประสิทธิ์ Coefficient of determination (R^2) และ Nash coefficient (NSE) ต้องเข้าใกล้ 1 และควรมากกว่า 0.6 ขึ้นไป

วิธีการและขอบเขตการศึกษา

การศึกษากำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนกลางและตอนล่าง ตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ลงมาจนถึงปากแม่น้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร รวมระยะทาง 202 กิโลเมตร ดังแสดงใน Figure 1 สำหรับการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการจัดทำแบบจำลอง MIKE11-HD/AD ประกอบด้วยข้อมูลอัตราการไหล และระดับน้ำรายวันที่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา ในปี พ.ศ. 2551-2553 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมชลประทาน รูปตัดขวางลำน้ำซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 209 รูปตัด ซึ่งรวบรวมได้ในปี พ.ศ. 2545 จากกรมชลประทาน ข้อมูลระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนรายชั่วโมงในปี พ.ศ. 2551-2553 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมเจ้าท่า ข้อมูลอัตราการไหลและระดับน้ำรายวันที่สถานีวัดน้ำท่า T1 (กม.117) ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐมในปี พ.ศ. 2551-2553 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมชลประทาน และข้อมูลค่าความเค็มของน้ำในแม่น้ำท่าจีน ได้แก่ สถานี TC01 (กม.202) และ สถานี TC04 (กม.186) ซึ่งเป็นข้อมูลคุณภาพน้ำที่รวบรวมได้จากกรมควบคุมมลพิษในช่วงปี 2550-2553 โดยขั้นตอนการศึกษาสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. การสร้างแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ (MIKE11-HD) และแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจาย (MIKE11-AD) โดยแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ได้ทำการปรับเทียบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ ซึ่งใช้ข้อมูลอัตราการไหล และระดับน้ำในปี พ.ศ. 2551-2553 มาทำการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายเพื่อทำการหาสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายที่เหมาะสมในลำน้ำ โดยจะใช้ข้อมูลความเค็มในแม่น้ำในปี พ.ศ. 2553 มาทำการปรับเทียบซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะต้องให้ค่าที่ดีที่สุดทางสถิติที่ใช้ในการตัดสินใจ โดยจะทำการปรับเทียบฯจนกระทั่งค่าความเข้มข้นของมวลสารที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากข้อมูลเก็บสำรวจ โดยสารที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองที่ดีนั้น ควรเป็นสารที่ไม่มีการย่อยสลายตามเวลา หรืออัตราการย่อยสลายคงที่จะดีที่สุด ซึ่งค่าที่นิยมใช้คือ ค่าความเค็ม (Salinity) โดยในการศึกษาจะทำการปรับเทียบการแพร่กระจายความเค็ม ซึ่งพิจารณาจากปริมาณการไหลรายวันที่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยาเป็นขอบเขตเงื่อนไขด้านเหนือน้ำ และการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนเป็นขอบเขตเงื่อนไขด้านท้ายน้ำส่วนค่าความเค็มบริเวณปากแม่น้ำกำหนดให้เป็นค่าความเค็มของน้ำทะเลที่ได้

จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษในปีพ.ศ. 2553 ซึ่งมีค่าความเค็มสูงสุดที่บริเวณปากแม่น้ำเท่ากับ 21.4 ppt ทั้งนี้เนื่องจากน้ำทะเลในบริเวณดังกล่าวได้รับอิทธิพลของน้ำจืดที่ไหลลงสู่ปากแม่น้ำ และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ฐิติมา และคณะ (2551) ซึ่งพบว่าค่าความเค็มเฉลี่ยที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนจะมีความเค็ม±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 15.7 ± 9.4 ppt โดยมีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 0.7-29.3 ppt เนื่องจากน้ำทะเลในบริเวณดังกล่าวได้รับอิทธิพลของน้ำจืดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝน บริเวณปากแม่น้ำจะได้รับอิทธิพลของทั้งน้ำฝนและน้ำจืดที่ไหลมาจากแม่น้ำซึ่งเป็นลักษณะเด่นของระบบนิเวศบริเวณปากแม่น้ำที่มักจะมีความผันแปรค่าความเค็มค่อนข้างสูงและกำหนดค่าความเค็มซึ่งเริ่มจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ที่ประมาณ 0.05 ppt จากผลการศึกษาของภัทรา (2541)

2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน โดยทำการศึกษาจากการตรวจเอกสารถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย และปากแม่น้ำท่าจีน จากนั้นทำการวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลโดยใช้ข้อมูลทางสถิติย้อนหลัง มาวิเคราะห์ด้วยวิธี Linear Regression พร้อมทั้งทำการปรับแก้ผลของการทรุดตัวของแผ่นดินที่สถานีตรวจวัดระดับน้ำเพื่อที่จะได้อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนที่แท้จริง เพื่อใช้ในการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในอนาคตต่อไป

3. การพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ได้ศึกษาก่อนหน้านี้ โดยใช้แบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายโดยได้ทำการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี พ.ศ. 2558 พ.ศ. 2563 และในปี พ.ศ. 2568 เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงการรุกล้ำความเค็มในอนาคตข้างหน้า และเพื่อเป็นแนวทางในการหามาตรการ หรือการบริหารจัดการความเค็มในแม่น้ำท่าจีนต่อไป

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การปรับเทียบแบบจำลอง

การปรับเทียบแบบจำลอง MIKE11-HD ซึ่งจากผลการศึกษาของ ณัฐวุฒิและวิษุวัฒก์(2555) พบว่าการไหลในลำน้ำที่ได้รับอิทธิพลของการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลด้านท้ายน้ำจะเป็นการไหลไม่คงที่และขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้น/ลดลงของระดับน้ำทะเลโดยผลที่ได้จากการปรับเทียบฯ ที่สถานีวัดระดับน้ำT1 (กม.117)พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำในแม่น้ำท่าจีนจะมีค่าสัมประสิทธิ์ n=0.0375 โดยจะให้ค่าที่ดีที่สุดทางสถิติของ R^2, NSE, และRMSE, เท่ากับ0.741, 0.703, และ 0.197เมตรตามลำดับ อย่างไรก็ตามสภาพลำน้ำของแม่น้ำท่าจีนมีสภาพคดเคี้ยวช่วงปลายลำน้ำ ซึ่งต่อมาการศึกษาของ Intaboot and Taesombat (2012) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำจะแปรผันตามแต่ละช่วงของลำน้ำ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำที่เหมาะสมที่สุดจะอยู่ในช่วง 0.035-0.062 ซึ่งได้จากการปรับเทียบแบบจำลองฯ ที่สถานีประตูระบายน้ำบางยี่หน (กม.25), ประตูระบายน้ำพระพิมล (กม. 82), และประตูระบายน้ำมหาสวัสดิ์ (กม.116)

การปรับเทียบแบบจำลอง MIKE11-AD จะใช้ข้อมูลค่าความเค็มที่ได้จากการสำรวจที่สถานี TC04 (กม.186) ของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งตั้งอยู่ที่ อ.เมือง จ.สมุทรสาคร ซึ่งมีระยะทางห่างจากปากแม่น้ำ 16 กิโลเมตร มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความเค็มที่ได้จากแบบจำลองโดยการแปรผันค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (D_f) ในช่วง 300 - 1000 m^2/s ซึ่งผลการศึกษาพบว่าค่า D_f ที่เหมาะสมกับแม่น้ำท่าจีนมีค่าเท่ากับ 400 ตารางเมตรต่อวินาที ซึ่งจะให้ค่าที่ดีที่สุดทางสถิติที่ใช้ในการตัดสินใจได้แก่ R^2, NSE, และ RMSE, เท่ากับ 0.9987, 0.9875, และ0.2274 ppt ตามลำดับดังแสดงใน Table 1 และ Figure 2

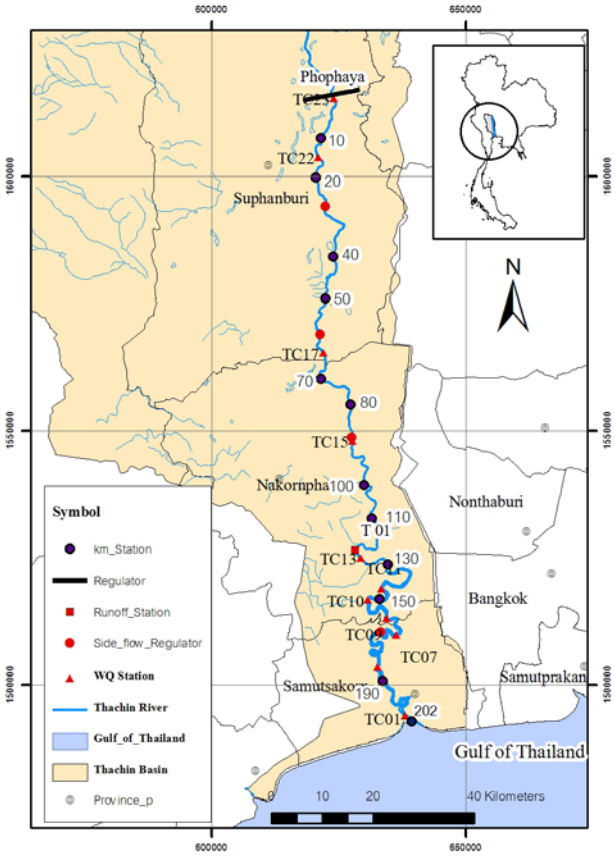

Figure 1 Locations of water quality monitoring stations

การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนในครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยรายปีจากสถานีวัดระดับน้ำของกรมเจ้าท่า สถานีตัวแทน 1 สถานี คือสถานีแหลมงอบ จ.ตราด เพื่อใช้เป็นตัวแทนการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2527-2554 จำนวน 28 ปี มาทำการคำนวณตามเทคนิควิธี Linear Regression พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่สถานีนี้มีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3.1 มิลลิเมตรต่อปีดังแสดงใน Figure 3 โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ตรวจวัดได้จากสถานีแหลมงอบนี้ จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสอดคล้องกับผลการศึกษาของคงวัฒน์ (2551) และ Trisirisatayawong (2011) โดยได้ระบุไว้ว่าการเพิ่มขึ้นของระดับเฉลี่ยรายปีของสถานีวัดระดับน้ำในอ่าวไทยจะสูงขึ้นประมาณปีละ 3–6 มิลลิเมตร

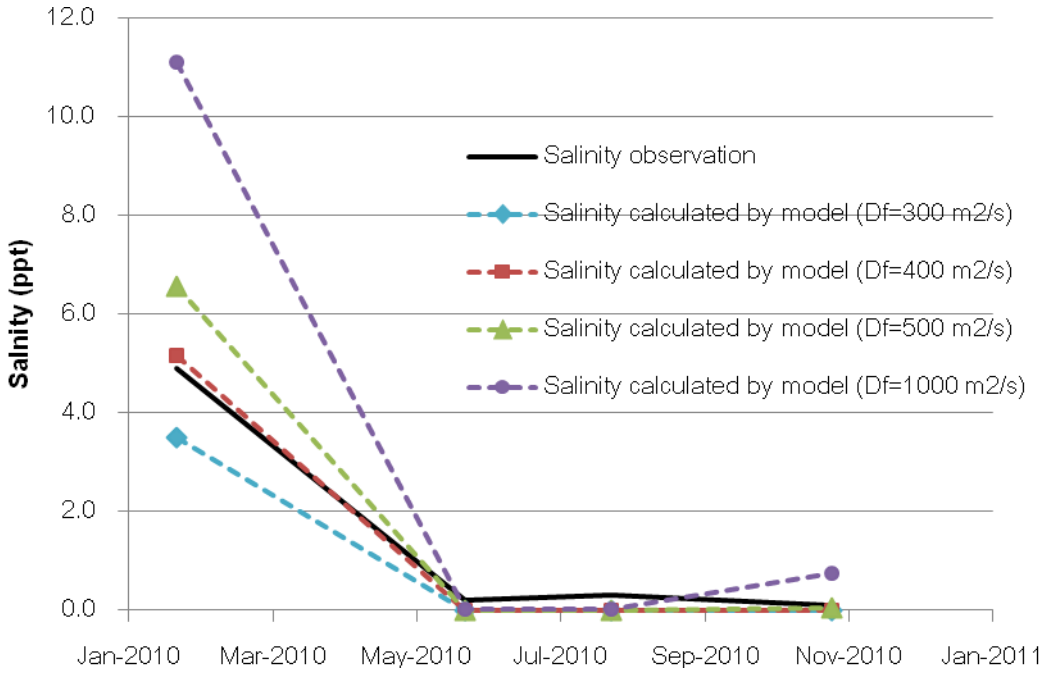

Figure 2 Comparison of salinity at the TC04 station

Table 1 Comparisons of model calibration of salinity at TC04 station (km.186)

Dispersion Coefficient (D_f)	Statistical measures		
	(R^2)	NSE	RMSE
D_f=300	0.9988	0.8744	0.7216
D_f=400	0.9987	0.9875	0.2274
D_f=500	0.9984	0.8220	0.8592
D_f=1000	0.9911	-1.3587	3.1275

การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Linear Regression เช่นเดียวกับสถานีแหลมงอบโดยใช้ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยรายปีจากสถานีวัดระดับน้ำของกรมเจ้าท่าที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนในปี พ.ศ. 2520–2554 จำนวน 35 ปี พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 19.2 มิลลิเมตรต่อปี ดังแสดงใน Figure 3 โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำ จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย เพราะบริเวณดังกล่าวจะมีผลกระทบจากการทรุดตัวของแผ่นดินที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนด้วย

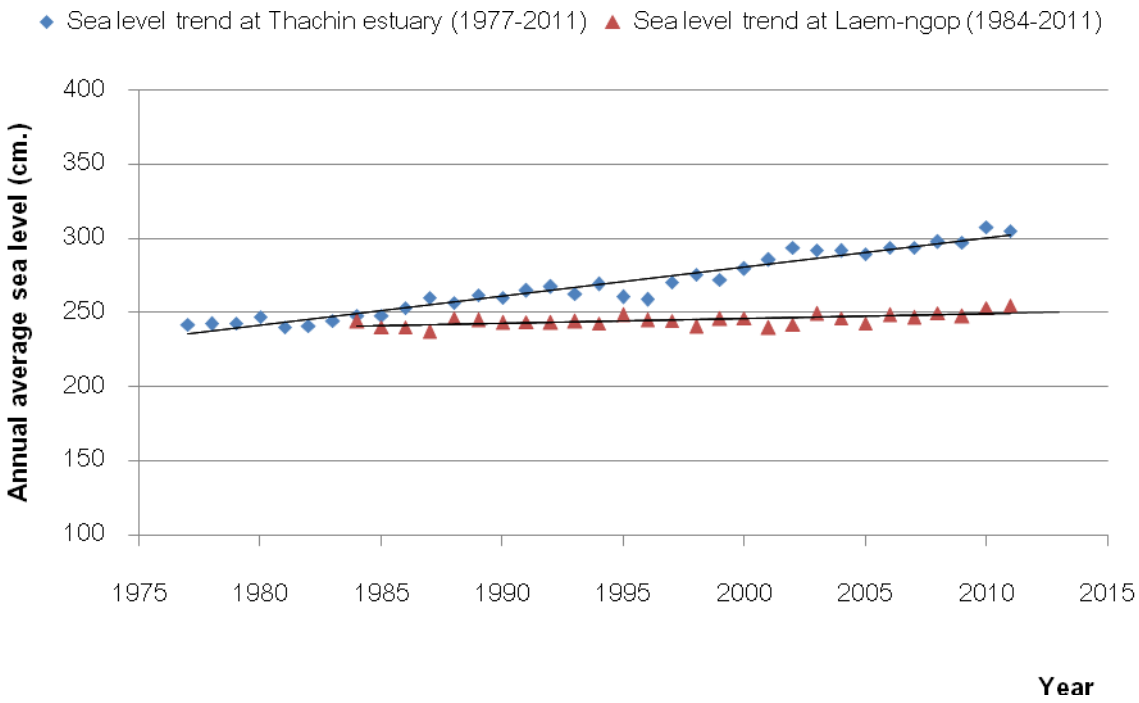

Figure 3 Long term sea level trend in upper gulf of Thailand

การทรุดตัวของแผ่นดินที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน

การที่อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนมีการเพิ่มขึ้นอย่างมากนั้น เป็นผลมาจากการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำที่บริเวณปากแม่น้ำเอง และจากการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) พบว่า บริเวณจังหวัดชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน ประกอบด้วย สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร และสมุทรปราการ แผ่นดินมีการทรุดตัวอย่างต่อเนื่อง ในตลอดระยะเวลา 40 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากมีการสูบน้ำบาดาลมาใช้เป็นจำนวนมาก โดยเหตุผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Trisirisatayawong (2011) ซึ่งได้ทำการสำรวจและวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าเกิดการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่สถานีวัดระดับน้ำเท่ากับ 12.6 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีสันดอนกรุงเทพ และเท่ากับ 14.8 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีป้อมพระจุล ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำอย่างมากดังกล่าวเกิดจากการทรุดตัวของสถานีวัดระดับเองด้วย

ดังนั้นในการศึกษาการทรุดตัวของแผ่นดินที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะทำให้เราทราบถึงการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำที่ปากแม่น้ำ เพราะการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่แท้จริงจำเป็นจะต้องมีการปรับแก้จากค่าการทรุดตัวดังกล่าว ซึ่งที่ผ่านมากรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) ได้ทำการศึกษาการทรุดตัวของแผ่นดินที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนโดยใช้การประมวลผลจากภาพถ่ายดาวเทียม ทำให้ทราบว่าที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนมีการทรุดตัวอย่างมาก ซึ่งการทรุดตัวอยู่ที่ประมาณ 14.5 มิลลิเมตรต่อปี

การรุกล้ำของความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณปากแม่น้ำจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำค่อนข้างสูงย่อมจะส่งผลต่อการรุกล้ำความเค็มเข้าไปในแม่น้ำเป็นระยะทางที่ไกลขึ้นเมื่อระยะเวลา

ผ่านไปนานหลายๆ ปีดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนเพื่อทำการพยากรณ์ถึงการรุกล้ำความเค็มในอนาคตและทำการเปรียบเทียบกับค่าความเค็มที่ได้ในปีปัจจุบัน (ปี 2553) โดยในการวิเคราะห์ได้พิจารณาขอบเขตด้านท้ายน้ำเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจะพิจารณาผลจากการปรับแก้การทรุดตัวของบริเวณปากแม่น้ำด้วย

การวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อก่อนหน้านี้มีค่าเท่ากับ 19.2 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งค่าดังกล่าวได้รวมผลของการทรุดตัวของสถานีตรวจวัดระดับไปด้วย โดยค่าการทรุดตัวของสถานีตรวจวัดระดับน้ำที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมามีค่าเท่ากับ 14.5 มิลลิเมตรต่อปี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555) ดังนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่แท้จริงจะมีค่าประมาณ 4.7 มิลลิเมตรต่อปี

ดังนั้นจะพิจารณาใช้อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำที่จีนเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรต่อปีในการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็ม ซึ่งประกอบไปด้วยการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี 2558 2563 และ2568 หรือพยากรณ์ล่วงหน้า 5 ปีข้างหน้า 10 ปีข้างหน้า และ 15 ปีข้างหน้า ตามลำดับ โดยในอนาคตระดับน้ำทะเลจะเพิ่มขึ้น 23.5 มิลลิเมตร 47 มิลลิเมตร และ 70.5 มิลลิเมตร ตามลำดับดังแสดงใน Table 2

ผลการวิเคราะห์ในสภาพปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2553) ค่าความเค็มได้รุกล้ำเข้าไปถึง กม.150 บริเวณคลองทำนา เขต ต.บางช้าง อ.สามพราน จ.นครปฐม ซึ่งค่าความเค็มจากการวิเคราะห์นี้สอดคล้องกับผลการตรวจวัดจริงของค่าความเค็มในแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ และดังแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเค็มเป็นภาพตามแนวยาวของแม่น้ำท่าจีนใน Figure 4 และผลการวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคตของปี พ.ศ. 2558 2563 และ 2568 พบว่า ค่าความเค็มจะรุกขึ้นไปถึง กม. 149 กม.148 และ กม.147 ตามลำดับดังแสดงใน Table 2 และFigure 4 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบัน พบว่าอัตราการรุกล้ำของความเค็มจะรุกเข้าไปสูงสุดในปี 2568 ที่ระยะทาง 55 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำหรือรุกเข้าไปมากกว่าในปัจจุบันประมาณ 3 กิโลเมตร

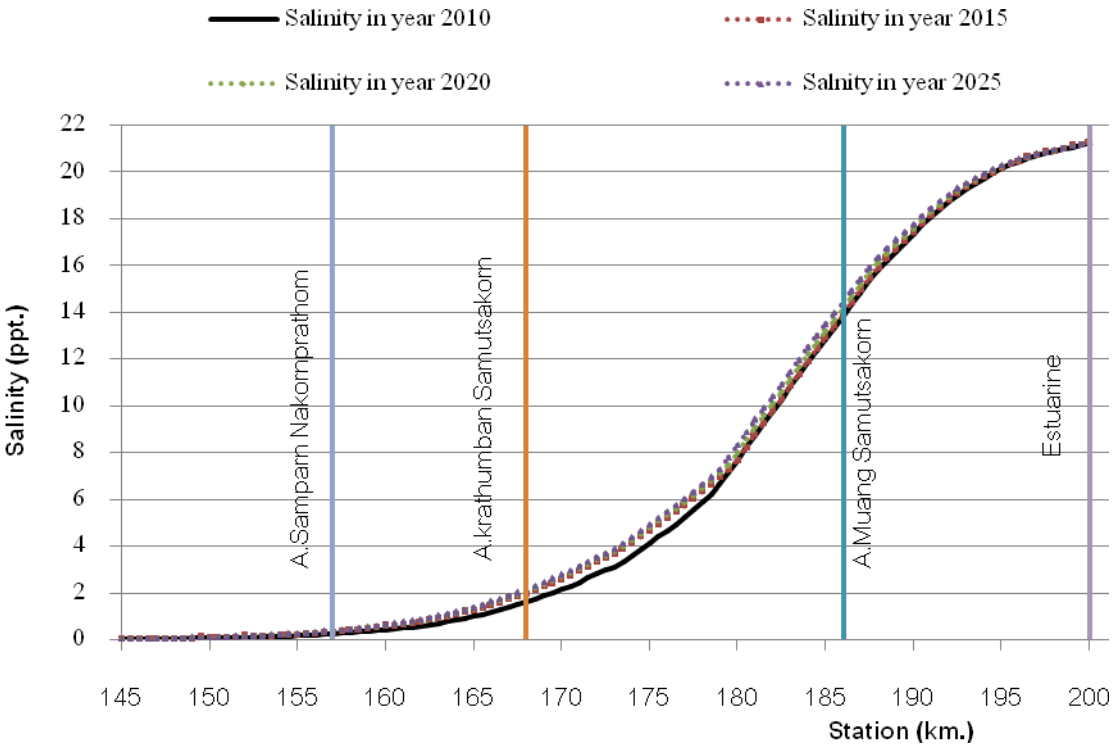

Figure 4 Comparisons of Salinity distribution along Thachin River

Table 2 Sea level change and Location of Salinity intrusion in Thachin River during 2010-2025

Year	Sea Level Change (mm)	Initial salinity values affected to agricultural area (0.05 ppt)		
		Station (km.)	Distance from Estuarine (km)	Location
2010	0.0	150	52	T.Bangchang A.Samparn Nakornprathom
2015	23.5	149	53	T.Bangchang A.Samparn Nakornprathom
2020	47.0	148	54	T.Klongmai A.Samparn Nakornprathom
2025	70.5	147	55	T.Samparn A.Samparn Nakornprathom

สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการปรับเทียบแบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจายเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายมีค่าเท่ากับ 400 m^2/s และผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำจะมีการเพิ่มขึ้นสูงกว่าในบริเวณอื่นๆของอ่าวไทยตอนบน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนจะมีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลประมาณ 19.2 มิลลิเมตรต่อปี แต่เมื่อพิจารณาปรับแก้ค่าการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำที่ปากแม่น้ำ ทำให้สามารถพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่แท้จริงเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรต่อปีซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นดังกล่าวนี้จะส่งผลถึงการรุกล้ำของความเค็มเข้าไปในแม่น้ำได้ไกลขึ้น โดยผลพยากรณ์การรุกล้ำของความเค็มในปี 2558 2563 และ 2568 พบว่า ค่าความเค็มจะรุกขึ้นไปถึง กม. 149 กม.148 และ กม.147 ตามลำดับ เมื่อ

เปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบัน ที่จะรุกมาถึงที่ กม. 150 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเค็มที่ตรวจวัดได้จริง และผลการวิเคราะห์ความเค็มในอนาคตปี 2568 ทำให้ทราบว่า บริเวณ บ้านตลาดสามพราน อ.สามพราน จ.นครปฐม ที่ระยะทาง 55 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ หรือในกม.ที่ 147 เรื่อยมาถึงบริเวณปากแม่น้ำ น้ำในแม่น้ำจะมีค่าความเค็มที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อพื้นที่เกษตรกรรม ดังนั้นการที่จะควบคุมความเค็มในแม่น้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม จำเป็นต้องพิจารณาหามาตรการซึ่งมีความเป็นไปได้ซึ่งการเพิ่มปริมาณน้ำจืดจากต้นน้ำเพื่อผลักดันความเค็มให้อยู่ที่ระดับที่ปลอดภัยซึ่งจำเป็นต้องศึกษาในรายละเอียดของเพิ่มปริมาณการไหลที่เหมาะสมต่อไป และสำหรับการศึกษาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาที่มีผลกระทบเนื่องจากการทรุดตัวของแผ่นดินโดยเฉพาะในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคกลางและบริเวณปากแม่น้ำควรจะต้องคำนึกถึงการปรับแก้เนื่องจากการทรุดตัวดังกล่าว ณ จุดที่ตั้งสถานีวัดระดับน้ำ เพื่อที่จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่แท้จริงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการตีพิมพ์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และใช้ซอฟแวร์แบบจำลองต่างๆ ภายใต้ห้องปฏิบัติการวิจัยการจำลองระบบทรัพยากรน้ำด้วยคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน กรมเจ้าท่า กรมควบคุมมลพิษและศูนย์อุทกวิทยาภาคตะวันตก ที่อนุเคราะห์ข้อมูลประกอบการศึกษาและขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาตลอดการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. 2541 ก. รายงานการศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการประตูระบายน้ำแม่น้ำท่าจีน (ตอนล่าง) จังหวัดสุพรรณบุรีจังหวัดนครปฐมจังหวัดสมุทรสาคร.รายงานด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ฉบับหลัก). กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมชลประทาน. 2541 ข. การศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการประตูระบายน้ำแม่น้ำท่าจีน (ตอนล่าง) จังหวัดสุพรรณบุรีจังหวัดนครปฐมจังหวัดสมุทรสาคร.รายงานด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ฉบับหลัก). กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2555. โครงการสำรวจและศึกษาการทรุดตัวของแผ่นดินอย่างเป็นระบบในเขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาล. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

คงวัฒน์ นีลศรี. 2551. สภาวะโลกร้อนกับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในน่านน้ำไทย. การประชุมวิชาการประเพณีกองทัพเรือ-มหิดล-ธรรมศาสตร์-เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 12.

ฐิติมา วัฒนจัง, วิทยา โกษาผล, กนกพร ล่องอำไพ, และวิษณุ นิยมไทย. 2551. คุณภาพน้ำทะเลบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล 2551. ภูเก็ต.

ณัฐวุฒิ อินทบุตร และ วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ. 2555. “การศึกษาการปรับเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ของแม่น้ำท่าจีนภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำทะเล.การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่17

พัฒนชัย นิ่มทัศนศิริ และ วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ. 2556. การศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำท่าจีนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.การประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 5.

ภูวดล พรหมชา.2544. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางประกงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE11.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ. 2541. การปรับเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยุวเรศ เวชกามา. 2550. การศึกษาด้านคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมมาตร์ เนียมนิล และ อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์. 2550. แนวโน้มระดับน้ำในอ่าวไทย จากข้อมูลสถานีวัดระดับน้ำ. การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12.

อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์. 2548. “แนวโน้มระดับน้ำในน่านน้ำไทยจากข้อมูลสถานีวัดระดับน้ำและSatellite Altimetry”, บทความวิชานำเสนอในที่ประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศ,14-16 ธันวาคม2548, กรุงเทพ.

อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์, เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, สมมาตร เนียมนิล, และ อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. 2551. อัตราการเพิ่มระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทย. การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13.

Becker, M. Meyssignac, B. Letetrel ,C. Llovel, W. Cazenave, A. and Delcroix, T. 2011. Sea level variations at tropical Pacific islands since 1950.Journal of Global and Planetary Change. pp 85-98.

Buranapratheprat, A. Yanagi, T. and Matsumura, S. 2008. Seasonal variation in water column conditions in the upper Gulf of Thailand: Journal of Continental Shelf Research. pp 2509-2522.

Cazenave, A. Lombard, A. and Llovel, W. 2008. Present-day sea level rise: A synthesis. Geoscience. pp 761-770.

Chini, N. Stansby, P. Leake, J. Wolf, J. Robert, J. and Lowe, J. 2010. The impact of sea level rise and climate change on inshore wave climate: A case study for East Anglia (UK). Journal of Coastal Engineering. pp 973-984

Danish Hydraulic Institute (DHI). 1995. MIKE 11 Reference Manual.

DHI Water Environment and Health.2008.MIKE21 & MIKE3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation. Denmark. 52 p.

Fenoglio-Marc, L. Braitenberg, C. and Tunini, L. 2011. Sea level variability and trends in the Ariatic Sea in 1993-2008 form tide gauge satellite altimetry. Physics and Chemistry of the Earth. pp 47-58

Intaboot, N. and Taesombat, W. 2012.A Study on Drainage Efficiency of Shortcut Canal Project in the Lower ThachinRiver. PAWEES 2012 International Conference. Thailand. 6p.

Neelasri, C. Punpuk, V. and Radok, R. 1998.An Investigation of Mean Sea Level Change in the Gulf of Thailand. Paper

on SCOPE Workshop on Sea Level Rise, Bangkok.

Trisirisatayawong, I. Neaije, M. Simons, M. and Fenoglio-Marc, L. 2011. Sea level change in the Gulf of Thailand from GPS-corrected tide gauge data and multi-satellite altimetry. Journal of Global and Planetary Change. pp 137-151

Vongvisessomjai, S. 2006, “Will Sea-Level Really Fall in the Gulf of Thailand”, Songklanakarin Journal of Science and Technology, Vol.28(2), pp.227-248.

Received 29 November 2013

Accepted 21 May 2014