ผลกระทบการก่อสร้างเขื่อนต่อน้ำเค็มและทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำบางปะกงตอนล่าง

Effects of Dam Construction on Salinity and Water Resources in Lower Bang Pakong Basin

สนิท วงษา[1,*] และ สุนารี เสือทุ่ง[2]

[1] *สาขาวิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จ.กรุงเทพมหานคร*

[2] *บริษัท แอพพลิแคด จำกัด (มหาชน) (สำนักงานใหญ่) เขตบางนา จ.กรุงเทพมหานคร*

**Corresponding author; E-mail address: sanit.won@kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกเป็นปัจจัยหลักในการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลส่งผลทำให้หลายประเทศทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยได้รับผลกระทบเนื่องจากปัญหาการรุกตัวของน้ำเค็มสูงขึ้นไปบริเวณปากแม่น้ำได้สร้างปัญหาอย่างมากต่อการบริหารจัดการน้ำอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และน้ำอุปโภค-บริโภค สำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางชลศาสตร์และประเมินผลกระทบของการรุกตัวของน้ำเค็มในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงตอนล่างเนื่องจากการก่อสร้างเขื่อนโดยใช้แบบจำลอง MIKE11 ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองทางชลศาสตร์มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำ n = 0.025-0.030, R^2 = 0.90-0.99, IA = 0.71-0.98, RMSE = 0.12-0.28 กับแบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจายมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย D_f = 100-1,400 m^2/s, R^2 = 0.80-0.99 IA = 0.54-0.98, RMSE = 0.16-0.31 เมื่อประยุกต์ใช้ศึกษาผลกระทบของการสร้างเขื่อนและการผันน้ำไปโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออกภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ พบว่าน้ำเค็มรุกเข้าไปในบริเวณปากแม่น้ำเป็นระยะทางเพิ่มมากขึ้นกว่าในปัจจุบันและอาจจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางเกษตรกรรมกับความหลากหลายทางชีวภาพในอนาคต ซึ่งผลจากการวิจัยได้นำไปประยุกต์ใช้เพื่อประเมินพื้นที่ความเสี่ยงน้ำเค็มเพื่อใช้เป็นแนวทางกับวางแผนการปรับตัวสำหรับการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงตอนล่างได้

คำสำคัญ: ผลกระทบของการสร้างเขื่อน, การจัดการทรัพยากรน้ำ, ลุ่มน้ำบางปะกงตอนล่าง, โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก, แบบจำลอง MIKE11

Abstract

Climate change is main factor of water level increment in the sea that affects all over the world and the gulf of Thailand to confront with problem of salinity intrusion in estuaries. Much damage from this problem, such as, management for industrials, agricultural and domestic water had been increased continuously. The purpose of this research aims to investigate hydraulic behaviors and assessment effect of salinity intrusion during dry season in Bang Pakong basin by using MIKE11 model. It was found that roughness coefficient n = 0.025 - 0.030, R^2= 0.80-0.99, IA = 0.54-0.98, RMSE = 0.16-0.31 for Hydrodynamic (HD) module. Advection Dispersion (AD) modules, dispersion coefficients D_f = 100-2000 m^2/sec., R^2 = 0.80-0.99 IA = 0.54-0.98 , RMSE = 0.16-0.31. By applied to study the effects of dam construction and water diversion to the Eastern Economic Corridor under the climate change situation, it was found that salinity will encroach to the river estuary longer distant than in the present, and will be impact on agricultural productivity and biodiversity in the future. Results from this study can use to estimate risk area from salinity, guidelines and adaptation plan for management of water resources and agriculture in Lower Bang Pakong basin.

Keywords: Effects of Dam Construction, Water Resources Management, Lower Bang Pakong Basin, Eastern Economic Corridor, MIKE11 Model

1. คำนำ

ลุ่มน้ำบางปะกง นับว่าเป็นลุ่มน้ำสำคัญที่มีปากแม่น้ำเชื่อมออกกับทะเลอ่าวไทยตอนบนซึ่งมีความสำคัญต่อระบบนิเวศน์ปากแม่น้ำ การเกษตรกรรม อุปโภค-บริโภค อุตสาหกรรม ประมง และอื่นๆ ซึ่งความอุดมสมบูรณ์ของลุ่มน้ำยังเป็นตัวแปรสำคัญที่หล่อเลี้ยงพื้นที่ทางการเกษตรตลอดสองฝั่งลุ่มน้ำและเศรษฐกิจของประเทศโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor: EEC) ที่เป็นแผนยุทธศาสตร์ภายใต้นโยบายไทยแลนด์ 4.0 เพื่อยกระดับประเทศให้มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นเปลี่ยนผ่านประเทศไทยจากประเทศที่มีรายได้ปานกลางไปสู่ประเทศที่มี

รายได้สูง ด้วยการลงทุนด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม ซึ่งในปัจจุบันบางปีประสบปัญหาการรุกตัวของความเค็มโดยเฉพาะบริเวณตอนล่างก่อนไหลลงสู่อ่าวไทย รวมถึงการขาดแคลนน้ำจืดในการเกษตรกรรม เพื่อการอุปโภค-บริโภค และอื่นๆ ซึ่งฤดูแล้งสถานการณ์การรุกตัวของน้ำเค็มจะทวีความรุนแรงมาก ความเค็มจะลดลงตามระยะทางที่ห่างจากปากแม่น้ำ อีกทั้งในบางปีปริมาณน้ำจืดต้นทุนมีน้อยเกินกว่าจะช่วยผลักดันน้ำทะเล

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลก่อให้เกิดปัญหาการรุกตัวของน้ำเค็มเข้าสู่แม่น้ำสายสำคัญที่เชื่อมต่อกับพื้นที่อ่าวไทย ส่งผลให้การใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคได้รับผลกระทบจากความเค็มที่รุกตัวดันเข้าสู่แม่น้ำ ในช่วงระยะเวลาสิบปีที่ผ่านมา พบว่าผลกระทบได้รุนแรงขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะในปีนี้ที่มีปริมาณฝนน้อย และน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่มีน้อยมาก จึงมีความยากลำบากในการบริหารจัดการน้ำให้กับทุกภาคส่วนอย่างเหมาะสม และเพียงพอ ซึ่งทำให้หน่วยงานของรัฐมีแผนก่อสร้างเขื่อนเพื่อเพิ่มปริมาณแหล่งน้ำสำรอง และความมั่นคงทางน้ำกับคุณภาพน้ำ มีหลายโครงการได้ก่อสร้างแล้วเสร็จ และมีโครงการที่จะก่อสร้างเขื่อน/อ่างเก็บน้ำเพิ่มเติมในอนาคต ในโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบการปล่อยน้ำจากเหนือน้ำ การแบ่งปริมาณน้ำผันส่งไปยังพื้นที่ของโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออกกับระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นที่จะอาจทำให้ปัญหาความเค็มในแม่น้ำบางปะกงด้านท้ายน้ำทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น โดยมีขอบเขต คือ แม่น้ำบางปะกงตอนล่างซึ่งเป็นแม่น้ำสายหลักของภูมิภาคตะวันออกที่ไหลลงทะเลอ่าวไทย

มีการศึกษาเรื่องผลกระทบของภาวะโลกร้อนที่มีต่อสภาพทางชลศาสตร์และความเค็มบริเวณอ่าวไทย เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่มีต่อความเค็มและคุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลอง โดยใช้แบบจำลอง MIKE11[1] ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจาก IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำเท่ากับ 0.025-0.030 สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายมวลสารเท่ากับ 500-1000 m^2/s โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0.06-4.40 m. ค่า R2 กับ IA อยู่ในช่วง 0.71-0.99 กับ 0.87-0.99 ตามลำดับ จากนั้นวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลต่อความเค็มที่มีผลต่อศักยภาพการเจริญเติบโตของพืช พบว่าระดับน้ำในแม่น้ำสูงสุดที่ 19-22.5 km จากปากแม่น้ำ และส่งผลให้ความเค็มเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 22-23 km ในปีพ.ศ.2592 และ 2642 ตามลำดับ ในปีพ.ศ.2592 ผลการรุกตัวของความเค็มส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชผัก เช่น ข้าว ข้าวโพด พริก ส้ม ลิ้นจี่ [1] – [8]

มีการศึกษาการควบคุมการรุกล้ำของความเค็มในปากแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงฤดูแล้งด้วยการระบายน้ำลงท้ายเขื่อนเจ้าพระยา เขื่อนป่าสัก และผันน้ำข้ามลุ่มจากแม่กลองมาเพื่อผลักดันความเค็มที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล จ.ปทุมธานี ไม่ให้เกินค่ามาตรฐาน 0.2 g/l พบว่าจะต้องควบคุมอัตราการไหลที่บางไทรให้มากกว่า 80-100 m^3/s [4]

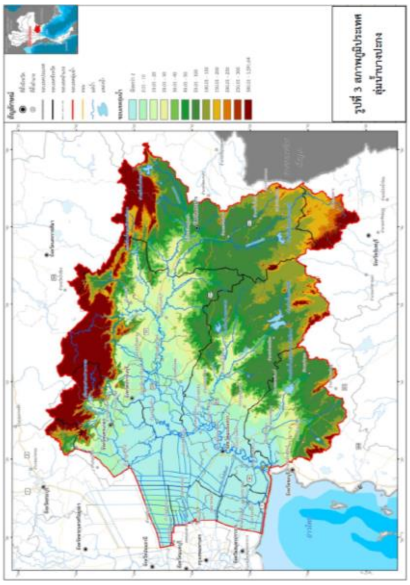
ได้มีการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) แบบ Back Propagation ในการพยากรณ์ระดับความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา ศึกษาโดยรวบรวมข้อมูลความเค็มรายวันที่สะพานกรุงเทพฯ และสะพานพุทธฯ ข้อมูลน้ำขึ้นสูงสุดรายวันที่ป้อมพระจุลจอมเกล้า ข้อมูลอัตราการไหลของเขื่อนเจ้าพระยาในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม รวมระยะเวลา 7 ปี (2535-2543) โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ คือ ข้อมูลน้ำขึ้นและน้ำลง ข้อมูลอัตราการไหล และข้อมูลความเค็ม ตัวแปรตาม คือ ข้อมูลระดับความเค็มล่วงหน้า พบว่าสามารถประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์การผันแปรของความเค็มได้ล่วงหน้า 1-2 วัน [9]

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ศึกษาพฤติกรรมทางชลศาสตร์และการคาดการณ์ผลกระทบของการรุกล้ำของความเค็มเนื่องการก่อสร้างเขื่อน ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม MIKE11 พัฒนาโดย Danish Hydraulic Institute (DHI) เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากค่าความเค็มที่เกิดขึ้น สำหรับเป็นแนวทางในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ด้านการจัดการทรัพยากรน้ำและการเกษตรบริเวณที่อาจจะได้รับผลกระทบต่อไป

2. วิธีการศึกษา

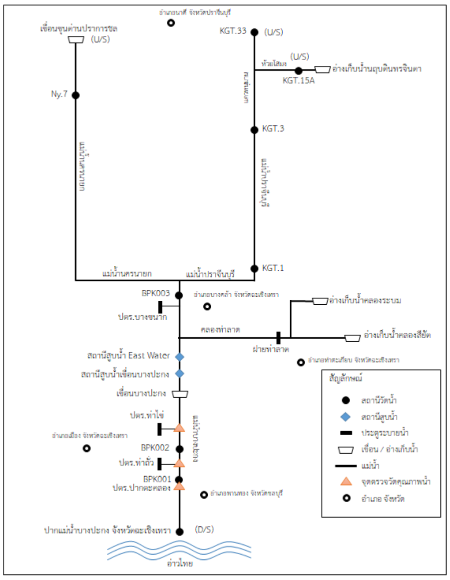
2.1 ขอบเขตและพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงแบ่งได้เป็น 10 ลุ่มน้ำสาขา รายละเอียดแต่ละลุ่มน้ำสาขา แม่น้ำและลำน้ำสาขาสำคัญในลุ่มน้ำบางปะกง เช่น คลองพระสะทึง คลองพระปรงทั้งหมดไหลมาบรรจบ กลายเป็นแม่น้ำบางปะกงแล้วไหลลงไปถึงบริเวณเหนือ อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา ทางทิศเหนือมีแม่น้ำนครนายกไหลลงมาบรรจบทางทิศใต้ มีคลองท่าลาดไหลมาบรรจบกับแม่น้ำบางปะกงแล้วค่อยไหลลงอ่าวไทย ลุ่มน้ำบางปะกงมีการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2553 เป็นพื้นที่เกษตรกรรมมากที่สุด คิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 65.52 ของเนื้อที่ลุ่มน้ำ การใช้ที่ดินรองลงมาได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เบ็ดเตล็ด และพื้นที่น้ำ คิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 15.62, 11.43, 5.21 และ 2.22 ของพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ (รูปที่ 1)

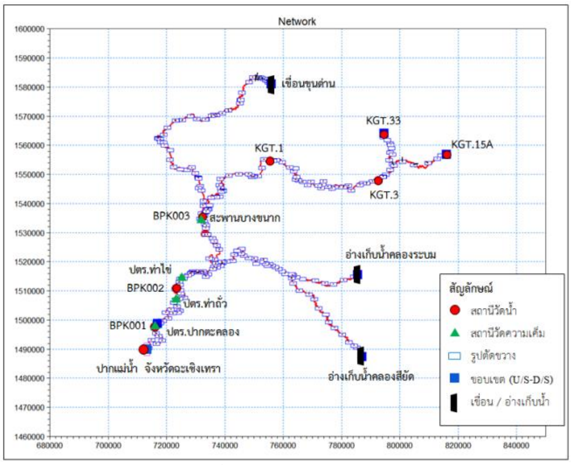


รูปที่ 1 สภาพพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง (ที่มา: โครงการจัดทำผังน้ำ ลุ่มน้ำบางปะกง 2564)

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งเป็นขอบเขตลุ่มน้ำด้านโปรแกรม MIKE11 โดยการจัดทำแบบจำลอง MIKE11 HD/AD ของแม่น้ำบางปะกง (รูปที่ 2) ขอบเขตของการวิจัยเริ่มตั้งแต่สถานีวัดน้ำ KGT.3 อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี แม่น้ำปราจีนบุรี, เขื่อนขุนด่านปราการชล แม่น้ำนครนายก จนถึงปากแม่น้ำบางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา สำหรับปริมาณน้ำฝนไม่ได้นำมาพิจารณาเนื่องจากเป็นกรณีศึกษาช่วงน้ำน้อยในฤดูแล้ง ช่วงเดือนมกราคม - เดือนพฤษภาคม และขอบเขตด้านการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลและความเค็ม ซึ่งได้ใช้ข้อมูลการเพิ่มขึ้นระดับน้ำทะเลจาก IPCC รวมถึงพิจารณาผลกระทบการแบ่งปริมาณน้ำผันส่งไปยังพื้นที่ของโครงการเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก



รูปที่ 2 โครงข่ายลุ่มน้ำบางปะกง



รูปที่ 3 โครงข่ายแม่น้ำบางปะกงโดยแบบจำลอง MIKE11

2.2 แบบจำลอง MIKE11

งานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม MIKE11 จำนวน 2 โมดูล คือ แบบจำลองทางชลศาสตร์ (HD) กับการพัดพาและแพร่กระจาย (AD) ซึ่งประกอบด้วยสมการพื้นฐานเขียนได้ดังสมการ (1) - (3) คือ

$$\frac{\quad}{\quad} \quad \frac{\quad}{\quad} \qquad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \qquad (2)$$

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(AD\frac{\partial C}{\partial x} \right) = -AKC + qC_2 \qquad (3)$$

เมื่อ Q คืออัตราการไหล, A คือพื้นที่หน้าตัดของการไหล, q คืออัตราไหลเข้า-ออกด้านข้าง, h คือความลึกของน้ำ, α คือค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้โมเมนตัม, C คือค่าสัมประสิทธิ์ของ Chezy ($C=R^{1/6}/n$), g คืออัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, c คือ ความเข้มข้น (มวล/ปริมาตร), D คือสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย, K คือ สัมประสิทธิ์การย่อยสลาย, C_2 คือ Source/Sink Concentration, x คือระยะทาง และ t คือเวลา

ก่อนนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ได้ทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองเพื่อยืนยันค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณและข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ตัวแปรทางสถิติที่ใช้เป็นดัชนีในการตรวจสอบประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์; R^2 ค่าดัชนีการยอมรับ; IA และค่าความคลาดเคลื่อน; RSME แสดงในสมการ (4)-(6) ตามลำดับคือ

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\left(O_i - \bar{O}_{avg} \right)\left(P_i - \bar{P}_{avg} \right) \right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(O_i - \bar{O}_{avg} \right)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(P_i - \bar{P}_{avg} \right)^2}} \right)^2 \qquad (4)$$

$$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(O_i - P_i \right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(\left| P_i - \bar{O}_{avg} \right| + \left| O_i - \bar{O}_{avg} \right| \right)^2} \qquad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(O_i - P_i \right)^2}{n}} \qquad (6)$$

เมื่อ O คือ ค่าที่ได้จากการตรวจวัด, P คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลอง, ตัวห้อย $_{ave}$ คือ ค่าเฉลี่ย, $_i$ คือ ลำดับข้อมูล และ n คือ จำนวนข้อมูล

เมื่อนำข้อมูลทางกายภาพต่างๆ ของแม่น้ำบางปะกงนำเข้าแบบจำลอง MIKE11 จะได้โครงข่ายลำน้ำสำหรับการคำนวณที่ใช้ในการศึกษาซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 3

สำหรับขอบเขตเงื่อนไขของลำน้ำ มีรายละเอียดดังนี้

- ขอบเขตเงื่อนไขด้านเหนือน้ำ: ใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของแม่น้ำปราจีนบุรีที่สถานีวัดน้ำ KGT.15A ห้วยโสมง บ้านแก่งดินสอ อ.นาดี จ.ปราจีนบุรี และสถานีวัดน้ำ KGT.33 แควน้ำใส บ้านหนองแหน อ.นาดี จ.ปราจีนบุรี ในแม่น้ำหนุมาน

- ขอบเขตเงื่อนไขด้านข้าง: ใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของแม่น้ำสาขาแม่น้ำนครนายกที่เขื่อนขุนด่านปราการชล อ.เมืองนครนายก จ.นครนายก
- ขอบเขตเงื่อนไขด้านท้ายน้ำ: ใช้ข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมงที่ปากแม่น้ำบางปะกง และข้อมูลความเค็มรายวันที่ตำแหน่ง ปตร.ปากตะคลอง จ.ฉะเชิงเทรา

3. ผลการศึกษา

3.1 การปรับแก้แบบจำลองทางชลศาสตร์และการแพร่กระจาย

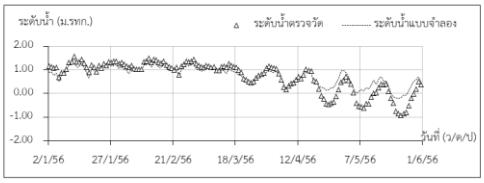
ผลการคำนวณแบบจำลองทางชลศาสตร์โดยใช้ข้อมูลสภาพปี พ.ศ. 2556 ของแม่น้ำบางปะกงตอนล่างตั้งแต่สถานีวัดน้ำ KGT.15A ห้วยโสมง บ้านแก่งดินสอ อ.นาดี จ.ปราจีนบุรีถึงปากแม่น้ำบางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา พิจารณาช่วงน้ำแล้งตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนพฤษภาคม เนื่องจากแม่น้ำบางปะกงมีความคดเคี้ยวตามหลักแม่น้ำธรรมชาติ จึงทำการปรับเทียบแบบจำลองโดยปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำพิจารณาเป็นช่วงๆ ตลอดลำน้ำบางปะกง (ตารางที่ 1) และแสดงการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดจริงจากกรมชลประทานและสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำที่ตำแหน่งสถานีวัดน้ำ KGT.1, BPK003, BPK002 และ BPK001 ซึ่งได้ค่า R^2, IA และ RMSE แสดงในตารางที่ 2 พบว่าค่า Manning's n อยู่ในช่วง 0.025-0.035 ที่ให้ผลการคำนวณที่ดีที่สุดทางสถิติของ R^2 และ IA มีค่าทางสถิติเข้าใกล้ 1.0 และมีค่า RMSE เข้าใกล้ 0 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในรูปที่ 4 เป็นกราฟเปรียบเทียบระดับน้ำระหว่างผลการคำนวณกับค่าวัดจริงตามสถานีวัดน้ำต่างๆ พบว่าลักษณะเส้นกราฟมีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน ซึ่งมีบางช่วงเวลาข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย เนื่องจากบริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างแม่น้ำนครนายกกับแม่น้ำบางปะกง เนื่องจากมีอาคารทางชลศาสตร์หรือสิ่งก่อสร้างในแม่น้ำกีดขวางอยู่

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำ

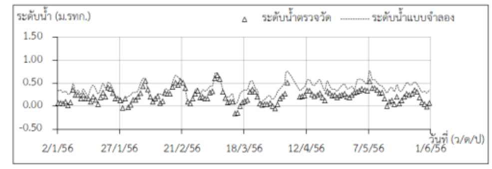
แม่น้ำ	ช่วงพิจารณา	ช่วงระยะทาง (กม.)	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ
ปราจีนบุรี	KGT.3 – KGT.1	0 – 70	0.030
ปราจีนบุรี	KGT.1 – BPK003	70 - 137	0.030
บางปะกง	BPK003 – BPK002	137 - 190	0.035
บางปะกง	BPK002 – BPK001	190 - 223	0.030
บางปะกง	BPK001 – ปากแม่น้ำบางปะกง	223 - 240	0.025
นครนายก	ปตร.บางเม่า – ปากแม่น้ำนครนายก	0 - 30	0.025

ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรทางสถิติของการปรับเทียบแบบจำลองชลศาสตร์

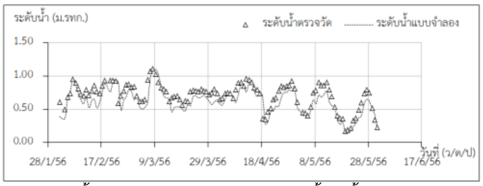
ตำแหน่ง	R^2	IA	RMSE (ม.)
KGT.1	0.960	0.710	0.183
BPK003	0.900	0.890	0.128
BPK002	0.980	0.910	0.284
BPK001	0.990	0.980	0.141



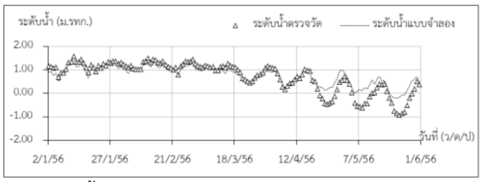
(ก) สถานีวัดน้ำ BPK002 ต.บางพระ อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ปราจีนบุรี



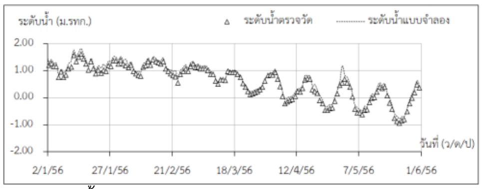
(ข) สถานีวัดน้ำ BPK003 บางน้ำเปรี้ยว ต.บางขนาก อ. จ.ฉะเชิงเทรา



(ค) สถานีวัดน้ำ BPK002 ต.บางพระ อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา



(ง) สถานีวัดน้ำ BPK001 ต.ท่าสะอ้าน อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา



(จ) สถานีวัดน้ำ BPK001 ต.ท่าสะอ้าน อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา

รูปที่ 4 ผลการปรับเทียบแบบจำลองทางชลศาสตร์ของแม่น้ำบางปะกง

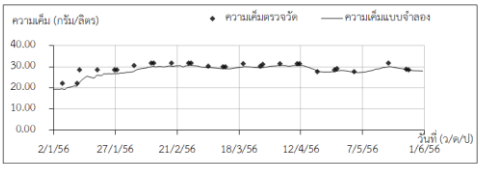
ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการแพร่กระจาย

แม่น้ำ	ช่วงพิจารณา	ช่วงระยะทาง (กม.)	Dispersion Factor	Exponent	Min. Disp. Factor	Max. Disp. Factor
บางปะกง	สะพานบางขนาก	0-128	300	0.1	100	300
	ปตร.ท่าไข่	128-182	600	0.4	100	600
	ปตร.ท่าถั่ว	182-198	500	0.4	500	500
	ปตร.ปากตะคลอง	198-222	800	0.1	100	800
	ปากแม่น้ำบางปะกง	222-240	1400	0.1	500	1400
ปราจีนบุรี	KGT.1	0-67	500	0.1	100	500
	ปากแม่น้ำปราจีนบุรี	67-120	300	0.1	100	300
นครนายก	-	0 - 30	100	0.1	100	100

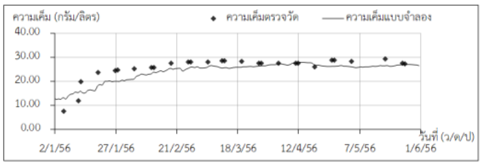
ตารางที่ 4 ค่าตัวแปรทางสถิติของการปรับเทียบแบบจำลองการแพร่กระจาย

ตำแหน่ง	R^2	IA	RMSE (กรัม/ลิตร)
สะพานบางขนาก	0.810	0.840	2.649
ปตร.ท่าไข่	0.780	0.860	3.694
ปตร.ท่าถั่ว	0.990	0.890	2.853
ปตร.ปากตะคลอง	0.960	0.890	1.747

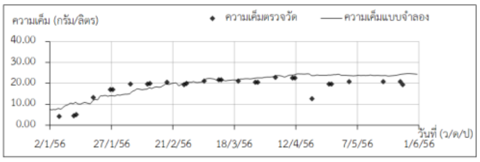
ส่วนการปรับเทียบแบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจายใช้ข้อมูลสภาพปี พ.ศ.2556 ซึ่งทำการปรับเทียบค่าความเค็ม และโดยใช้สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย ดังแสดงในตารางที่ 3 และแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค็มที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับที่ได้จากการตรวจวัดของกรมชลประทานที่จุดตรวจสอบสะพานบางขนาก, ปตร.ท่าไข่, ปตร.ท่าถั่ว และ ปตร.ปากตะคลอง ดังแสดงในตารางที่ 4พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายอยู่ในช่วง 100-1,400 ตร.ม./วินาที ที่ให้ผลการคำนวณที่ดีที่สุดทางสถิติของ R^2 อยู่ในช่วง 0.780-0.990 และ IA อยู่ในช่วง 0.840-0.890 มีค่าทางสถิติเข้าใกล้ 1.0 และมีค่า RMSE อยู่ในช่วง 1.747-2.649 กรัม/ลิตร มีค่าเข้าใกล้ 0 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ รูปที่ 5 เป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความเค็มระหว่างลการคำนวณกับค่าวัดจริงตามสถานีวัดต่างๆ พบว่าลักษณะเส้นกราฟมีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน จะมีบางช่วงเวลาข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยเนื่องจากข้อมูลวัดจริงเป็นข้อมูลความเค็มรายวัน



(ก) ปตร.ปากตะคลอง จ.ฉะเชิงเทรา



(ข) ปตร.ท่าถั่ว จ.ฉะเชิงเทรา



(ค) ปตร.ท่าไข่ จ.ฉะเชิงเทรา

(ง) สะพานบางขนาก อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา

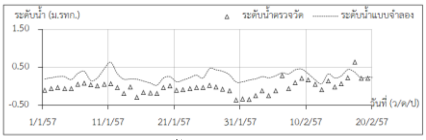
รูปที่ 5 ผลการปรับเทียบแบบจำลองการแพร่กระจายของแม่น้ำบางปะกง

3.2 การตรวจพิสูจน์แบบจำลองทางชลศาสตร์และการแพร่กระจาย

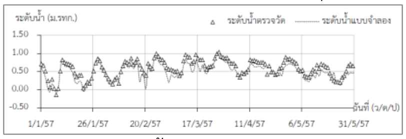
สำหรับการตรวจสูจน์แบบจำลองชลศาสตร์ ได้ใช้ใช้ข้อมูลของปี พ.ศ. 2557 เพื่อยืนยันความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ทำการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองกับระดับน้ำจากการตรวจวัด และตรวจสอบความแม่นยำโดยใช้ค่าตัวแปรทางสถิติของ R^2, IA และ RMSE มีผลดังแสดงในตารางที่ 5 และแสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำที่คำนวณได้กับค่าตรวจวัดจริงดังรูปที่ 6 ซึ่งพบว่าผลการคำนวณใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริงมีแนวโน้มเดียวกันมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ดีถึงดีมาก

ตารางที่ 5 ค่าตัวแปรทางสถิติที่ได้จากการตรวจพิสูจน์แบบจำลองชลศาสตร์

ตำแหน่ง	R^2	IA	RMSE (ม.)
KGT.1	0.990	0.980	0.156
BPK003	0.980	0.900	0.301
BPK002	0.940	0.910	0.139
BPK001	0.800	0.540	0.308



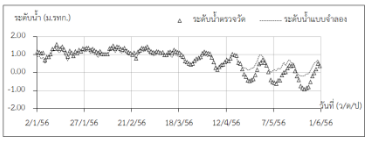
(ก) สถานีวัดน้ำ KGT.1 จ.ปราจีนบุรี



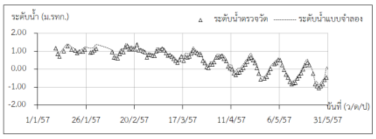
(ข) สถานีวัดน้ำ KGT.1 จ.ปราจีนบุรี

(ข) สถานีวัดน้ำ BPK003 บางน้ำเปรี้ยว ต.บางขนาก อ. จ.ฉะเชิงเทรา

(ค) สถานีวัดน้ำ BPK002 ต.บางพระ อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา



(ง) สถานีวัดน้ำ BPK001 ต.ท่าสะอ้าน อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา



(จ) สถานีวัดน้ำ BPK001 ต.ท่าสะอ้าน อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา

รูปที่ 6 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองทางชลศาสตร์ของแม่น้ำบางปะกง

ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองการแพร่กระจาย เพื่อยืนยันค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการปรับเทียบ โดยใช้ค่าตัวแปรทางสถิติประกอบด้วยค่าสถิติต่างๆ ดังตารางที่ 6 และแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค็มในรูปที่ 7 พบว่าค่าที่ดีที่สุดทางสถิติของ R^2 อยู่ในช่วง 0.900-0.980 และ IA อยู่ในช่วง 0.860-0.930 มีค่าทางสถิติเข้าใกล้ 1 และมีค่า

RMSE อยู่ในช่วง 1.892-3.433 กรัม/ลิตร เข้าใกล้ 0 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงถึงความเข้ากันได้ของข้อมูลจากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัดจริง

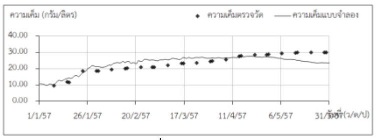
ตารางที่ 6 ค่าตัวแปรทางสถิติของการตรวจพิสูจน์แบบจำลองการแพร่กระจาย

ตำแหน่ง	R^2	IA	RMSE (กรัม/ลิตร)
สะพานบางขนาก	0.890	0.860	2.068
ปตร.ท่าไข่	0.980	0.930	3.082
ปตร.ท่าถั่ว	0.900	0.870	3.433
ปตร.ปากตะคลอง	0.910	0.910	1.892

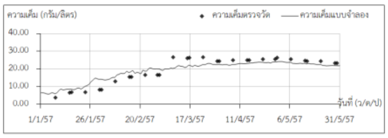
3.3 การประยุกต์ใช้เพื่อคาดการณ์การรุกตัวของน้ำเค็มภายใต้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

การศึกษาการคาดการณ์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในแม่น้ำบางปะกงภายใต้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกในอนาคต (IPCC: AR5) ที่เรียกว่า การใช้ภาพฉายก๊าซเรือนกระจกแบบใหม่ RCP2.6 และ RCP8.5 การคาดการณ์ผลกระทบในปี พ.ศ.2573 และพ.ศ.2643 ข้างหน้าวิเคราะห์เฉพาะหน้าแล้งตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งได้กำหนดอัตราการไหลเหนือน้ำที่เขื่อนขุนด่านปราการชล ในแม่น้ำนครนายก, สถานีวัดน้ำ KGT.15A ในแม่น้ำปราจีนบุรี และสถานีวัดน้ำ KGT.33 ในแม่น้ำหนุมานสรุปผลได้ดังตารางที่ 7

(ก) ปตร.ปากตะคลอง จ.ฉะเชิงเทรา



(ข) ปตร.ท่าถั่ว จ.ฉะเชิงเทรา



(ค) ปตร.ท่าไข่ จ.ฉะเชิงเทรา

(ง) สะพานบางขนาก อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา

รูปที่ 7 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองการแพร่กระจายของแม่น้ำบางปะกง

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำและความเค็มของแม่น้ำบางปะกงที่ตำแหน่งเฝ้าระวังความเค็ม ณ สะพานบางขนาก อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทราทั้งสองเหตุการณ์ โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ.2556 ช่วงเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม ได้มีการผันน้ำจากเขื่อน โดยปริมาณน้ำท่าเขื่อนขุนด่าน 148 ล้าน ลบ.ม. อัตราการไหล 11.270 ลบ.ม./วินาที และปริมาณน้ำท่าในแม่น้ำปราจีนบุรีรวมทั้งสองสถานีประมาณ 37 ล้าน ลบ.ม. อัตราการไหล 2.82 ลบ.ม/วินาที ได้แบ่งผลการศึกษาออกเป็น 2 กรณีคือ

กรณีที่ 1 เป็นการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2573 ทั้ง RCP2.6 และ RCP8.5 พบว่าเมื่อระดับน้ำทะเลเฉลี่ยสูงขึ้น 0.08 ม.รทก. เทียบกับระดับน้ำทะเลจาก IPCC ปี พ.ศ.2556 ส่งผลให้ระดับน้ำแม่น้ำบางปะกงที่สะพานบางขนากเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.100 ม.รทก. และมีค่าความเค็มสูงสุดอยู่ที่ 3.965 กรัม/ลิตร การรุกตัวของความเค็มที่เกินมาตรฐาน 2 กรัม/ลิตร เป็นระยะทาง 136 กม. นับจากปากแม่น้ำบางปะกง

กรณีที่ 2 การคาดการณ์ปี พ.ศ. 2643 เหตุการณ์ RCP2.6 พบว่าเมื่อระดับน้ำทะเลเฉลี่ยสูงขึ้น 0.38และ 0.680 ม.รทก. ตามลำดับ เทียบกับระดับน้ำทะเลจาก IPCC ปี พ.ศ.2556 ส่งผลให้ระดับน้ำแม่น้ำบางปะกงที่สะพานบางขนากเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.390 และ 0.720 ม.รทก. และค่าความเค็มสูงสุดอยู่ที่ 4.264 และ 4.564 กรัม/ลิตร ตามลำดับ การรุกตัวของความเค็มที่เกินมาตรฐาน 2 กรัม/ลิตร เป็นระยะทาง 136 และ 138 กม.ตามลำดับนับจากปากแม่น้ำบางปะกง

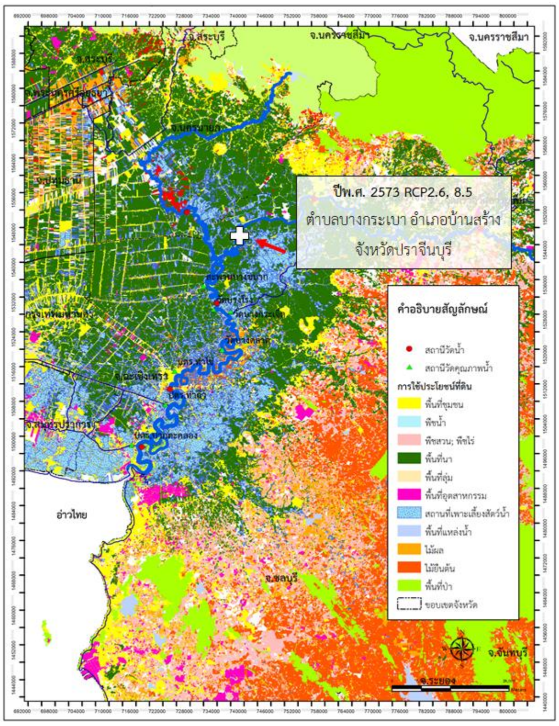
ตารางที่ 7 ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล และค่าความเค็มที่สะพานบางขนาก

ตำแหน่ง	ปี พ.ศ.			
	2556	2573	2643	
	Calibrate	RCP2.6, 8.5	RCP2.6	RCP8.5
ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นตาม IPCC (ม.รทก.)	0.660	0.740	1.040	1.340
ระดับน้ำแม่น้ำบางปะกงเฉลี่ย (ม.รทก.)	0.580	0.680	0.990	1.300
ค่าความเค็มเฉลี่ย (กรัม/ลิตร)	1.920	1.970	2.150	2.330
ค่าความเค็มสูงสุด (กรัม/ลิตร)	3.886	3.965	4.264	4.564
ระยะทางจากปากแม่น้ำบางปะกงที่ความเค็มสูงเกินมาตรฐาน (กม.)	136	136	136	138

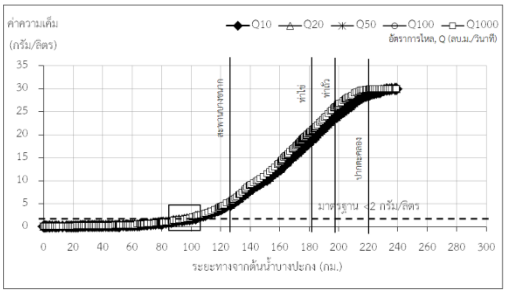
ดังนั้นอิทธิพลของน้ำทะเลส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นระดับน้ำอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลสูง ย่อมส่งผลต่อการรุกตัวความเค็มเข้ามาในแม่น้ำบางปะกงในระยะที่ไกลขึ้นโดยประมาณ 1-2 กม. ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลและความเค็มของแม่น้ำ บางปะกงเทียบค่ามาตรฐาน 2 กรัม/ลิตร ที่ตำแหน่งเฝ้าระวังความเค็ม ณ สะพานบางขนาก พบว่าปี พ.ศ. 2573 (RCP2.6, 8.5), ปีพ.ศ. 2643 (RCP2.6) ค่าความเค็มจะรุกเข้าไปในแม่น้ำบางปะกงประมาณกม.ที่ 136 นับจากปากแม่น้ำบางปะกง และปีพ.ศ. 2643 (RCP8.5) ค่าความเค็มจะรุกไปประมาณกม.ที่ 138 นับจากปากแม่น้ำบางปะกง ตามลำดับ พบว่าความเค็มรุกเข้าไปถึง ต.บางกระเบา อ.บ้านสร้าง จ.ปราจีนบุรี (รูปที่ 8)

3.4 การประยุกต์ใช้เพื่อคาดการณ์การรุกตัวของน้ำเค็มการก่อสร้างเขื่อนและผันน้ำโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก

การศึกษาผลการะทบการก่อสร้างเขื่อนต่อน้ำเค็ม และทรัพยากรน้ำในแม่น้ำบางปะกงตอนล่าง โดยศึกษาในช่วงหน้าแล้งเพื่อประเมินผลกระทบกรณีก่อสร้างเขื่อนเมื่อมีการปล่อยน้ำทางด้านเหนือน้ำที่น้อยลง และผันน้ำให้กับโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 3 จังหวัด ได้แก่ ฉะเชิงเทรา ชลบุรี และระยอง กับระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ต่อภาคเกษตรกรรม อุปโภคบริโภค และอื่นๆ โดยเลือกข้อมูลสำหรับการประเมินผลกระทบปี พ.ศ.2565 ซึ่งมีข้อมูลครบถ้วนสมบูรณ์มากที่สุด โดนตำแหน่งการผันน้ำที่สถานีสูบน้ำบางปะกง ต.เขาดิน อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา ผลจากการจำลองได้เปรียบเทียบกับข้อมูลระดับน้ำสภาพปี พ.ศ.2556 และความเค็มปี พ.ศ.2556 ที่ตำแหน่งเฝ้าระวังคือสะพานบางขนาก อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา ค่าความเค็มตามยาวแม่น้ำบางปะกงแสดงดังรูปที่ 9 พบว่าเมื่อกำหนดตำแหน่งผันน้ำที่สถานีสูบน้ำบางปะกง 10, 20, 50, 100 และ 1,000 ลบ.ม./วินาที ตามลำดับ ส่งผลให้การรุกตัวความเค็มเป็นระยะ 136, 137 และ 139 กม. นับจากปากแม่น้ำบางปะกงบริเวณตำบลบางกระเบา อ.บ้านสร้าง จ.ปราจีนบุรี จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการผันน้ำจากสถานีสูบน้ำบางปะกงส่งไปยังโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออกนั้นมีการรุกตัวความเค็มประมาณ 1-2 กม. แต่อย่างไรก็ตามความเค็มของน้ำ ณ จุดสถานีสูบน้ำมีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานสำหรับนำไปใช้เพื่อการอุปโภค-บริโภคจึงไม่เหมาะสมที่จะสูบเอาไปใช้ได้เลย จึงควรพิจารณาจัดหาน้ำจากแหล่งอื่นมาใช้ทดแทน แต่สำหรับการก่อสร้างเขื่อนจะเพิ่มความยืดหยุ่นในการบริหารจัดการน้ำมากขึ้นเพราะจะมีแหล่งน้ำสำรองสำหรับผลักดันน้ำเค็มมากขึ้น



รูปที่ 8 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน และระดับความเค็มสูงสุดของแม่น้ำบางปะกง ปีพศ. 2643 กรณี RCP8.5



รูปที่ 9 ค่าความเค็มตามรูปตัดตามยาวแม่น้ำบางปะกง

4. บทสรุป

การศึกษาผลกระทบเนื่องจากการก่อสร้างเขื่อนต่อบริหารจัดการน้ำต้นทุน และการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลต่อการจัดการทรัพยากรน้ำและการเกษตรบริเวณปากแม่น้ำอ่าวไทยมีเป้าหมายเพื่อศึกษาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่มีผลต่อลักษณะทางชลศาสตร์ ความเค็มและพื้นที่ทางการเกษตรของแม่น้ำบางปะกง รวมถึงการประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์ผลกระทบในอนาคตของลุ่มน้ำบางปะกง โดยใช้โปรแกรมแบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งทำการศึกษาการคาดการณ์ผลกระทบการรุกตัวของความเค็ม และการสร้างเขื่อนโดยใช้แบบจำลอง MIKE11 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำที่ให้ค่าตัวแปรทางสถิติที่ดีที่สุดของแม่น้ำบางปะกงอยู่ในช่วง 0.025-0.035 ส่วนความเค็มได้ปรับค่าสัมประสิทธิ์การพัดพาและแพร่กระจายตลอดช่วงลำน้ำของแม่น้ำบางปะกงให้ค่าที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง 100-1400 ตร.ม./วินาที

กรณีการคาดการณ์การรุกตัวความเค็มในอนาคตโดยอ้างอิงข้อมูลการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจากรายงานของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศฉบับที่ 5 (IPCC: AR5) เลือกเหตุการณ์ RCP2.6 และ RCP8.5 ทำการคาดการณ์ปี พ.ศ.2573 และปี พ.ศ.2643 พบว่าเมื่อระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเค็มในแม่น้ำบางปะกงที่สถานีวัดความเค็มสะพานบางขนาก ในปีพ.ศ.2573 (RCP2.6, 8.5) เพิ่มสูงขึ้น 0.05 กรัม/ลิตร และปีพ.ศ.2643 (RCP2.6, RCP8.5) เพิ่มสูงขึ้น 0.23 และ 0.41 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าความเค็มจะสูงในช่วงเดือนพฤษภาคม ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลย่อมส่งผลต่อการรุกตัวของความเค็มเข้าไปในแม่น้ำบางปะกง จากการคาดการณ์อนาคตความเค็มที่เกินมาตรฐาน 2 กรัม/ลิตร รุกไปถึงตำบลบางกระเบา อำเภอบ้างสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี กระทบต่อการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค ภาคการเกษตรพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นา เช่น ข้าว มันสำปะหลัง เป็นต้น ส่งผลต่อพืชไม่ทนเค็ม ดังนั้นการกำหนดมาตรการควบคุมปริมาณน้ำไม่ให้ความเค็มรุกเข้าไปในแม่น้ำเป็นเรื่องที่ต้องเร่งแก้ไขปัญหาอย่างต่อเนื่อง

การศึกษาผลการะทบการก่อสร้างเขื่อนต่อน้ำเค็ม และทรัพยากรน้ำในแม่น้ำบางปะกงตอนล่าง โดยศึกษาในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนพฤษภาคม จากการประเมินผลกระทบกรณีก่อสร้างเขื่อนเมื่อมีการปล่อยน้ำทางด้านเหนือน้ำที่น้อยลง แต่ยังสามารถช่วยรักษาสเถียรภาพในการบริหารจัดการให้มีความมั่นคงและยืดหยุ่นกว่าเขื่อนในสภาพปัจจุบัน ส่วนการผันน้ำให้กับโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก ซึ่ง

ครอบคลุมพื้นที่ 3 จังหวัด ได้แก่ ฉะเชิงเทรา ชลบุรี และระยอง แบบจำลองชุดนี้ ได้มีการกำหนดอัตราการไหลที่เขื่อนขุนด่าน และสถานีวัดน้ำ KGT.15A และ KGT.33 ซึ่งในช่วงเดือนมกราคม ถึงพฤษภาคม ได้มีการผันน้ำจากเขื่อน โดยปริมาณน้ำท่าเขื่อนขุนด่านปราการชล 148 ล้าน ลบ.ม. อัตราการไหล 11.270 ลบ.ม./วินาที และปริมาณน้ำท่าในแม่น้ำปราจีนบุรี รวมทั้งสองสถานีประมาณ 37 ล้าน ลบ.ม. อัตราการไหล 2.82 ลบ.ม/วินาที ซึ่งอาจมีการผลักดันในช่วงเวลาดังกล่าวจึงมีค่าการรุกตัวความเค็มดันเข้าไปในแม่น้ำบางปะกงประมาณ 1-2 กม.แต่ความเค็มของน้ำดิบสูงเกินค่ามาตรฐาน ดังนั้นจึงควรจัดหาน้ำดิบจากแหล่งอื่นมาทดแทน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงบประมาณจาก Fundamental Fund; FF65 ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ให้การสนับสนุนโครงการวิจัย และขอบคุณนักวิจัยกับนักศึกษาที่ช่วยเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] Danish Hydraulic Institute (DHI) (1995) *MIKE11 Reference Manual.*

[2] *สนิท วงษา* (2557) ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลต่อการจัดการทรัพยากรน้ำของลุ่มน้ำท่าจีนและเจ้าพระยาตอนล่าง, *9th Thaicid National Symposium*, กรุงเทพมหานคร, 2559, หน้า 1-13.

[3] ณัฐวุฒิ อินทบุตร และวิษุวัฒก์ แต้สมบัติ (2557) การรุกล้ำของความเค็ม และการแพร่กระจายความเค็มตามความยาวของลำน้ำในแม่น้ำท่าจีนเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับทะเล, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, หน้า 1-16.

[4] เกรียงไกร ตรีฤทธิวิยา (2552) *ผลกระทบของภาวะโลกร้อนที่มีต่อสภาพทางชลศาสตร์และความเค็มบริเวณปากแม่น้ำอ่าวไทย*, ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[5] สุนารี เสือทุ่ง (2558) *ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลต่อการจัดการทรัพยากรน้ำและการเกษตรบริเวณปากแม่น้ำอ่าวไทย*, ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[6] สุนารี เสือทุ่ง (2558) ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลต่อการจัดการทรัพยากรฏ้าและการเกษตรของแม่น้ำเจ้าพระยา, *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 20*, ชลบุรี 8-10 กรกฎาคม 2558.

[7] สิริชัย ขุนณรงค์, และ สนิท วงษา (2560) ผลกระทบทางด้านการเกษตรที่เกิดจากน้ำเค็มในแม่น้ำบางปะกง, *การประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติ ครั้งที่ 7*, ชลบุรี, 23-24 มกราคม 2560.

[8] Sanit Wongsa (2015) Impact of Climate Change on Water Resources management in the Lower ChaoPhraya Basin, Thailand, *Geoscience and Environment Protection*, 3, pp.53-58, Published Online December 2015 in SciRes. http://dx.doi.org/10.4236/gep.2015.310009

[9] สุวัฒนา จิตตลดากร และปกรณ์ ดิษฐกิจ (2547) การพยากรณ์การผันแปรของความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา, *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9*, 2547.