



การศึกษาภาคสนามลักษณะรูปแบบของการรุกของน้ำเค็มเข้ามาสู่บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง
FIELD INVESTIGATION OF SALINITY INTRUSION CHARACTERISTIC PATTERNS
IN THE VICINITY OF BANGPAKONG ESTUARY

ธรรมณูญ รัชมีมาสเมือง¹, ชัยวัฒน์ เอกวัฒน์พานิชย์², สัจจะ เสถบุตร³ และชาญยุทธ กาฬกาญจน์^{4*}

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

³รองศาสตราจารย์ และอาจารย์พิเศษ, โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{4*}ผู้ช่วยศาสตราจารย์, หน่วยวิจัยวิศวกรรมโยธาและโครงสร้างพื้นฐานเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

*Corresponding author, E-mail: chanyut@eng.buu.ac.th

บทคัดย่อ

การรุกตัวของน้ำเค็มเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นในทางน้ำและมีลักษณะการกระจายความเค็มที่แตกต่างกันไปตามสภาพธรรมชาติ บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะรูปแบบการรุกของน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยทำการสำรวจภาคสนาม และรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ ในการอธิบายลักษณะรูปแบบการรุกของน้ำเค็มในแม่น้ำบางปะกง ผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญที่ทำให้เข้าใจกระบวนการทางอุทกพลศาสตร์ และการรุกของน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ในการพัฒนาวิธีการจัดการกับปัญหาการรุกของน้ำเค็ม รวมทั้งการบริหารจัดการน้ำ ผลการศึกษาพบว่าแม่น้ำบางปะกงมีลักษณะเป็นปากแม่น้ำที่ราบชายฝั่ง การกระจายความเค็มบริเวณปากแม่น้ำตามฤดูกาลที่แตกต่างกัน เนื่องจากอิทธิพลของปริมาณน้ำจืดทางต้นน้ำและน้ำเค็มจากทะเลตามลำดับ การกระจายความเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงผลที่ได้มีความสอดคล้องกับลักษณะที่มีการอธิบายทางทฤษฎี เช่น เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553 ปากแม่น้ำมีลักษณะเป็นปากแม่น้ำเนกาทิฟ หรืออินเวอร์ส และเกิดการผสมกันระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดเป็นอย่างดี เป็นต้น

คำสำคัญ: การสำรวจภาคสนาม; แม่น้ำบางปะกง; ปากแม่น้ำบางปะกง; ปากแม่น้ำเนกาทิฟ; ปากแม่น้ำลุ่มความเค็ม

ABSTRACT

Salinity intrusion is a natural phenomenon that occurs in channels, and its patterns vary depending on areas and landscape. This paper aims to study the salinity intrusion distribution patterns of the vicinity of Bangpakong estuary in different seasons by using field investigation and corrected the secondary field data in order to explain the characteristic pattern of saltwater intrusion of Bangpakong River. The results of this study could provide crucial information for gaining a better understanding of

Thamnoon Rasmeemasmuang¹ Chaiwat Ekkawatpanit² Sacha Sethaputra³ and Chanyut Kalakan^{4*}

¹Assistant Professor, ²Assistant Professor, ³Associate Professor, ^{4*}Assistant Professor

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, Thailand.

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand.

³Visiting Faculty Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy, Thailand.

^{4*}Sustainable Civil Engineering and Infrastructure Research Unit, Faculty of Engineering, Burapha University, Thailand.

the hydrodynamics and salinity intrusion in the Bangpakong estuary area, as well as developing a solution to the salinity intrusion that includes water management. According to the research results, the Bangpakong River is a coastal plain estuary or a drowned river valley. Because of the influences of the quantity of fresh water and brine in the river, the salinity intrusion process of distribution with the seasons. In June 2010, the salinity intrusion distribution patterns corresponded to the theory, such as the negative estuaries or inverse estuaries and well-mixed estuaries in the Bangpakong estuary.

KEYWORDS: Field Investigation; Bangpakong River; Bangpakong Estuary; Negative Estuaries; Salt-wedge Estuaries

1. บทนำ

การรุกตัวของน้ำเค็ม (Salinity Intrusion) เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากความหนาแน่นไม่เท่ากันของน้ำจืดและน้ำเค็ม ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ตามลักษณะที่แตกต่างกันทั้งแม่น้ำ (River) หรือปากแม่น้ำ (River Mouth) [1] และชั้นดินอุ้มน้ำริมชายฝั่งทะเล (Coastal Aquifer) [2, 3] กระบวนการรุกตัวของน้ำเค็มในแม่น้ำเป็นกระบวนการผสมระหว่างน้ำเค็มจากทะเลและน้ำจืดจากแม่น้ำ และการแบ่งชั้นของน้ำ (Estuarine Stratification) เป็นผลจากความเร็วของการแพร่กระจายความปั่นป่วน (Turbulent Diffusion Velocity) และความไม่คงที่ของความเร็วพัดพา (Variation of Advective Velocity) ซึ่งมีความไม่สม่ำเสมอเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time) พื้นที่ (Space) และทิศทาง (Direction) อีกทั้งลักษณะการไหลของน้ำมีความแตกต่างกันทั้งในด้านทิศทางและความลึก ระยะทางการเกิดการรุกตัวของน้ำเค็มในแม่น้ำถูกควบคุมโดยปริมาณน้ำที่ไหลในแม่น้ำ (River Flow) แอมพลิจูดของคลื่นน้ำ (Tidal Amplitude) และสัณฐานวิทยาแม่น้ำ (River Morphology) [4, 5]

ปัญหาการรุกของน้ำเค็มสามารถเกิดขึ้นโดยทั่วไปในแม่น้ำซึ่งมีปากแม่น้ำเชื่อมต่อกับทะเล ในประเทศไทยมีผู้ทำการศึกษาในลำน้ำที่มีความสำคัญต่าง ๆ เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำกลอง ท่าจีน และบางปะกง เป็นต้น [1, 2, 6, 7] ปัจจุบันปัญหานี้ได้ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเป็นผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณการใช้น้ำจากแม่น้ำและจากน้ำใต้ดินที่เพิ่มสูงขึ้น การขยายตัวของชุมชนเมือง การเพิ่มพื้นที่หรือเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินด้านการเกษตร การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม รวมทั้งยังมีผลของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลด้วย [6, 7] ซึ่งผลกระทบที่ชัดเจนของการรุกของน้ำ ณ ปัจจุบัน คือ เกษตรกรไม่สามารถทำการเกษตรได้ เพราะหากมีปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำเกิน 2.00 กรัม/ลิตร หรือมากกว่า 2 ppt (part per thousand) และมีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 3.2 dS/m จะส่งผลกระทบต่อพืชโดยเฉพาะข้าวที่เกษตรกรปลูกเป็นพันธุ์ที่ไม่สามารถทนทานต่อความเค็มได้ [2, 6] อีกทั้งยังจะส่งผลให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพน้ำอีกด้วย [8] ความรุนแรงของปัญหาเกิดขึ้นมากจนกระทั่งภาครัฐ โดยกรมชลประทานต้องตรวจวัดค่าความเค็มในลำน้ำสำคัญ ๆ ของประเทศเพื่อดำเนินการหามาตรการในการลดผลกระทบดังกล่าว [9] การศึกษาปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการรุกของน้ำเค็มนั้น เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนจึงมีการใช้แบบจำลองช่วยในการคำนวณและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในสนาม ทั้งข้อมูลคุณภาพน้ำตามลำน้ำ [9] และคุณภาพน้ำในชั้นดินอุ้มน้ำ [10, 11] ข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง เช่น หน้าตัดทางน้ำ ปริมาณน้ำที่ไหลในทางน้ำ ระดับน้ำทะเล ระดับน้ำใต้ดิน หรือคุณลักษณะของชั้นดิน เป็นต้น [1] ส่วนหนึ่งของความถูกต้องของผลการคำนวณและการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพข้อมูลในสนาม

แม่น้ำบางปะกงเป็นแม่น้ำซึ่งเกิดจากการไหลมาบรรจบกันระหว่างแม่น้ำนครนายกกับแม่น้ำปราจีนบุรี ที่ตำบลบางแตน อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดฉะเชิงเทรา ลำน้ำวางตัวจากทิศเหนือผ่านที่ราบต่ำตอนกลางและตอนล่างลงสู่ทิศใต้ และปากแม่น้ำเชื่อมกับอ่าวไทยที่ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา การใช้ประโยชน์จากน้ำในแม่น้ำบางปะกงมีหลากหลายลักษณะ เช่น ช่วงบริเวณปากแม่น้ำมีการไหลเวียนของกระแสน้ำซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมและปริมาณน้ำที่ไหลในแม่น้ำซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล [12] ส่งผลให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ด้านสัตว์ทะเล ทำให้เกิดการส่งเสริมกิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศในพื้นที่ปาก

แม่น้ำบางปะกง [13] และมีกิจกรรมการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและการเลี้ยงปูทะเลในกระชัง การเลี้ยงปลากระพงขาวทั้งในกระชังและบ่อดิน [14] ช่วงกลางน้ำและต้นน้ำ พบว่า เป็นพื้นที่อุดมสมบูรณ์ เหมาะกับการทำการเกษตรกรรม เช่น การปลูกข้าว พืชผัก พืชไร่ และผลไม้ต่าง ๆ [15]

ปัญหาการรุกตัวของน้ำเค็มเกิดในแม่น้ำบางปะกง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งปัญหานี้ได้สร้างผลกระทบกับแม่น้ำบางปะกงตลอดสายและเกิดปัญหากับบริเวณต้นแม่น้ำ ได้แก่ แม่น้ำนครนายก และแม่น้ำปราจีนบุรี รวมทั้งลำน้ำสาขาต่าง ๆ เช่น คลองท่าลาด และคลองพานทอง เป็นต้น ส่งผลให้ขาดแคลนน้ำดิบในการผลิตน้ำประปา เพื่อการอุปโภคและบริโภค อีกทั้งน้ำเพื่อการชลประทานทางภาคเกษตร ปัญหานี้ลดความรุนแรงลงในช่วงฤดูฝน เนื่องจากมีปริมาณน้ำในธรรมชาติไหลลงสู่ลำน้ำ ทำให้ช่วยผลักดันความเค็มไม่ให้เคลื่อนที่เข้ามาในลำน้ำได้ [16]

วิธีการจัดการกับปัญหาการรุกของน้ำเค็มในแม่น้ำในด้านการบริหารจัดการใช้วิธีการวางแผน โดยเลือกพืชที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และการตลาดโดยกำหนดปฏิทินปลูกพืชให้เหมาะสมกับฤดูกาล บริหารจัดการการใช้น้ำและระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ที่อยู่ต้นน้ำให้สัมพันธ์กับการขึ้นลงของน้ำทะเลและจากต้นน้ำถึงปากแม่น้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้ปริมาณน้ำลดลงจนไม่สามารถผลักดันน้ำเค็ม หรือเจือจางค่าความเค็มของน้ำลงได้ ในด้านวิศวกรรมการสำรวจข้อมูลในแม่น้ำเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการรุกของน้ำเค็มและระยะทางที่น้ำเค็มเคลื่อนที่ไปตามลำน้ำ ซึ่งทำให้ทราบลักษณะรูปแบบการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ในทางน้ำ โดยการใช้วิธีการตรวจวัดค่าความเค็มโดยอ้อม คือ ใช้เครื่องมือวัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ โดยความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนที่แตกตัวได้ ชนิดของไอออน การเคลื่อนที่ของไอออน อุณหภูมิ ความเป็นกรด/ด่าง [17] ดังนั้น สำหรับการสำรวจข้อมูลในแม่น้ำบางปะกงนี้ ใช้เครื่องมือวัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ หากวัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำได้มาก แสดงว่า ณ ตำแหน่งและเวลานั้น น้ำมีค่าความเค็มสูง

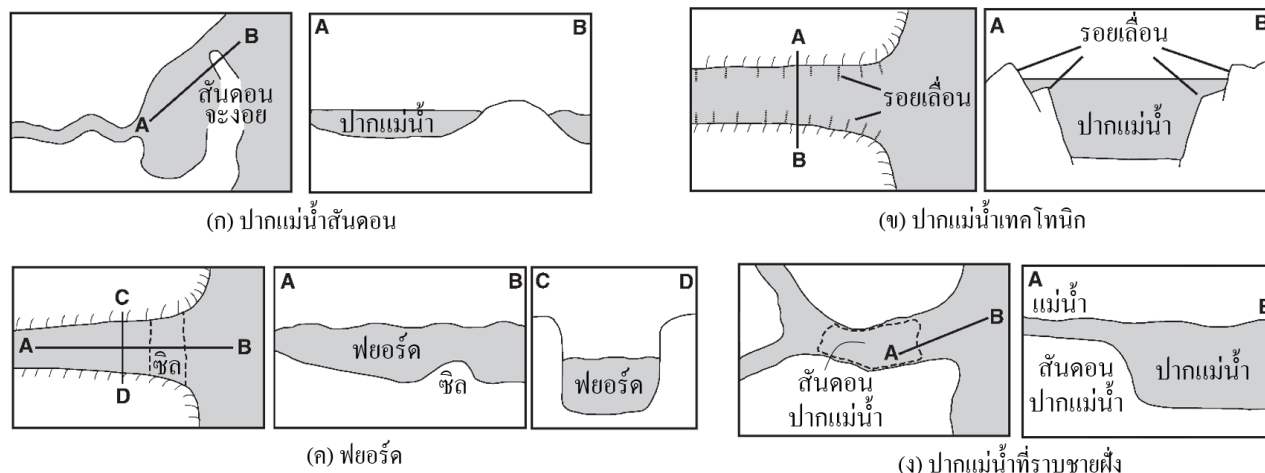
บทความนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการรุกของน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง โดยทำการสำรวจภาคสนามและรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ ในการอธิบายลักษณะรูปแบบการรุกของน้ำเค็มในแม่น้ำบางปะกง โดยผลการศึกษาจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญที่ทำให้เข้าใจอุทกพลศาสตร์และการรุกของน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ในการพัฒนาวิธีการจัดการกับปัญหาการรุกของน้ำเค็ม รวมทั้งการสำรวจคุณภาพน้ำและการบริหารจัดการน้ำต่อไป

2. การจำแนกลักษณะของปากแม่น้ำและการวิเคราะห์รูปแบบของการรุกของน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำ

การจำแนกลักษณะของปากแม่น้ำ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ ตามธรณีสัณฐานวิทยา หลักการสมดุลน้ำ และการกระจายความเค็มตามแนวลำน้ำ

2.1 การจำแนกลักษณะของปากแม่น้ำ โดยอาศัยธรณีสัณฐานวิทยา

ปากแม่น้ำสามารถถูกจำแนกได้ตามธรณีสัณฐานวิทยาของแม่น้ำ [18, 19] โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 รูปแบบ คือ ปากแม่น้ำสันดอน (Bar-built Estuaries) ดังรูปที่ 1(ก) ปากแม่น้ำเทคโทนิคหรือปากแม่น้ำที่ตั้งอยู่ตามแนวเปลือกโลกที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (Tectonic) ดังรูปที่ 1(ข) ปากแม่น้ำหน้าผาสองชั้นหรือฟยอร์ด (Fjord) ดังรูปที่ 1(ค) และปากแม่น้ำที่ราบชายฝั่ง (Coastal Plain Estuaries หรือ Drowned River Valleys) ดังรูปที่ 1(ง)



รูปที่ 1 การจำแนกลักษณะรูปแบบการเคลื่อนที่ของน้ำในแหล่งน้ำกร่อยบริเวณปากแม่น้ำโดยอาศัยธรณีสัณฐานวิทยา
(ดัดแปลงจาก [18, 20])

ปากแม่น้ำสันดอน ดังรูปที่ 1(ก) โดยแรกเริ่มบริเวณนี้มีลักษณะเป็นอ่าว จากนั้นกลายเป็นพื้นที่ที่ถูกปิดล้อมไว้บางส่วน เนื่องจากการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งทะเลจนเกิดสันดอนจะงอย (Sand Spit) หรือแนวแผ่นดินแหลมยื่นออกมาถึงกลางระหว่าง ชายฝั่งและทะเล ซึ่งบางสันดอนอาจเชื่อมต่อกับผืนดินที่เป็นปากอ่าวแต่เดิม โดยอาจมีความยาวประมาณ 200 ถึง 300 เมตรทำให้ เห็นเป็นช่องทางเข้าเล็ก ๆ ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างปากแม่น้ำและทะเล ในขณะที่บางสันดอนไม่ได้เชื่อมต่อกับผืนดินปากอ่าว ทำให้ดู คล้ายกับเป็นเกาะ (Barrier Islands) แทรกขึ้นมา ทำให้เกิดเป็นช่องทางน้ำที่เชื่อมระหว่างปากแม่น้ำและทะเล ในบางกรณีสันดอน ทรายเกิดจากระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น

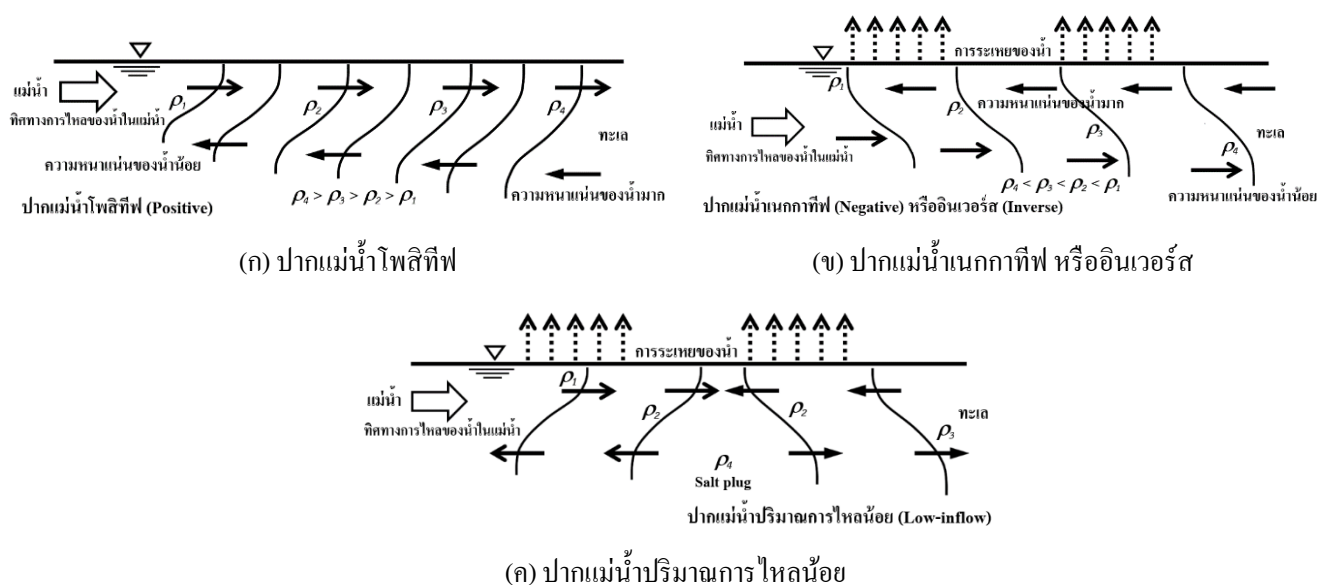
ปากแม่น้ำเทคโทนิค ดังรูปที่ 1(ข) เกิดขึ้นจากการเกิดแผ่นดินไหว หรือมีรอยแตกหรือรอยเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก แล้วทำ ให้เกิดแอ่งน้ำในบริเวณที่อยู่ติดกับทะเล หรือรอยเลื่อนต่าง ๆ เมื่อมีการเคลื่อนตัวทำให้เปลือกโลกบางส่วนจมลงแล้วเกิดเป็นโพรง น้ำ ปากแม่น้ำลักษณะนี้เกิดขึ้นเมื่อน้ำจากทะเลไหลเข้ามาเติมในโพรงหรือแอ่งน้ำนี้

ปากแม่น้ำหน้าผาสูงชันหรือฟยอร์ด ดังรูปที่ 1(ค) คือ ปากแม่น้ำที่ตั้งอยู่ระหว่างหน้าผาสูงชัน มักพบในบริเวณละติจูดสูง ที่ บริเวณชายฝั่งทะเลซึ่งถูกธารน้ำแข็งกัดเซาะทำให้ปากแม่น้ำลักษณะนี้มีลักษณะเป็นลำน้ำยาว เป็นร่องแคบลึก ที่บริเวณท้องน้ำมีซิล (Sill) หรือตะกอนซึ่งเกิดจากการถูกธารน้ำแข็งกัดเซาะ ซึ่งอาจเป็นตะกอนที่เกิดจากการกัดเซาะของธารน้ำแข็งที่ยังมีอยู่ในปัจจุบัน หรืออาจเป็นตะกอนที่เกิดจากการกัดเซาะของธารน้ำแข็งเก่าในสมัยโบราณ ปากแม่น้ำแบบนี้จะมีความลึกหลายร้อยเมตร มีตลิ่งที่ ลื่นชันและร่องน้ำมีลักษณะแคบ โดยพบว่าสัดส่วนความกว้างต่อความลึกมีค่าน้อย

ลักษณะสุดท้าย คือ ปากแม่น้ำที่ราบชายฝั่ง ดังรูปที่ 1(ง) เกิดขึ้นจากการที่ระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นในยุคเมื่อประมาณ 15,000 ปี ก่อน แม่น้ำหลายสายดั้งเดิมถูกสร้างขึ้นในระหว่างที่เกิดน้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอดีต ลักษณะรูปร่างของแม่น้ำ เหล่านี้คล้ายคลึงกับในปัจจุบันแต่มีความกว้างเพิ่มขึ้น โดยส่วนใหญ่แม่น้ำเหล่านี้จะมีขนาดค่อนข้างกว้างหลายกิโลเมตร แต่ ลื่นชันและอาจมีสันดอนปากแม่น้ำ (Deltas) โดยอาจมีความลึกประมาณ 10 เมตร กล่าวคือมีสัดส่วนความกว้างต่อความลึก ค่อนข้างมาก

2.2 การจำแนกลักษณะของปากแม่น้ำ โดยอาศัยหลักการสมดุลน้ำ

หลักการสมดุลน้ำที่นำมาใช้ในการจำแนกลักษณะของปากแม่น้ำ ทำให้เราสามารถจำแนกลักษณะของปากแม่น้ำได้เป็น 3 รูปแบบ คือ ปากแม่น้ำโพสิทีฟ (Positive Estuaries) ดังรูปที่ 2(ก) ปากแม่น้ำเนกาทีฟ (Negative Estuaries) หรืออินเวอร์ส (Inverse Estuaries) ดังรูปที่ 2(ข) และปากแม่น้ำปริมาณการไหลน้อย (Low-inflow Estuaries) ดังรูปที่ 2(ค)



สัญลักษณ์ ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ $\rightarrow$ ทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำทะเล (น้ำเค็ม) $\leftarrow$ ทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำจืด

รูปที่ 2 การจำแนกลักษณะรูปแบบการเคลื่อนที่ของน้ำในแหล่งน้ำกร่อยบริเวณปากแม่น้ำโดยอาศัยหลักการสมดุลน้ำ
(ดัดแปลงจาก [19])

ปากแม่น้ำโพสิทีฟ เกิดจากปริมาณน้ำจืดที่ไหลเข้าทางน้ำมีปริมาณมากกว่าค่าการระเหยหรือค่าการสูญเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำตามยาวของทางน้ำ (Longitudinal Density Gradient) เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของน้ำและควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลออกสู่ทะเล น้ำจืดซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าจะไหลออกสู่ทะเลที่ด้านบนใกล้กับผิวน้ำ น้ำเค็มที่มีความหนาแน่นสูงกว่าจะไหลเข้าสู่ทางน้ำที่ด้านใกล้กับท้องทางน้ำ ปริมาณน้ำจืดที่ไหลออกสู่ทะเลมีอิทธิพลมากกว่าปริมาณน้ำเค็มที่ไหลเข้าสู่ปากแม่น้ำและการหมุนเวียนของน้ำบริเวณปากแม่น้ำซึ่งเป็นการไหลของน้ำภายใต้อิทธิพลแรงโน้มถ่วงของโลก

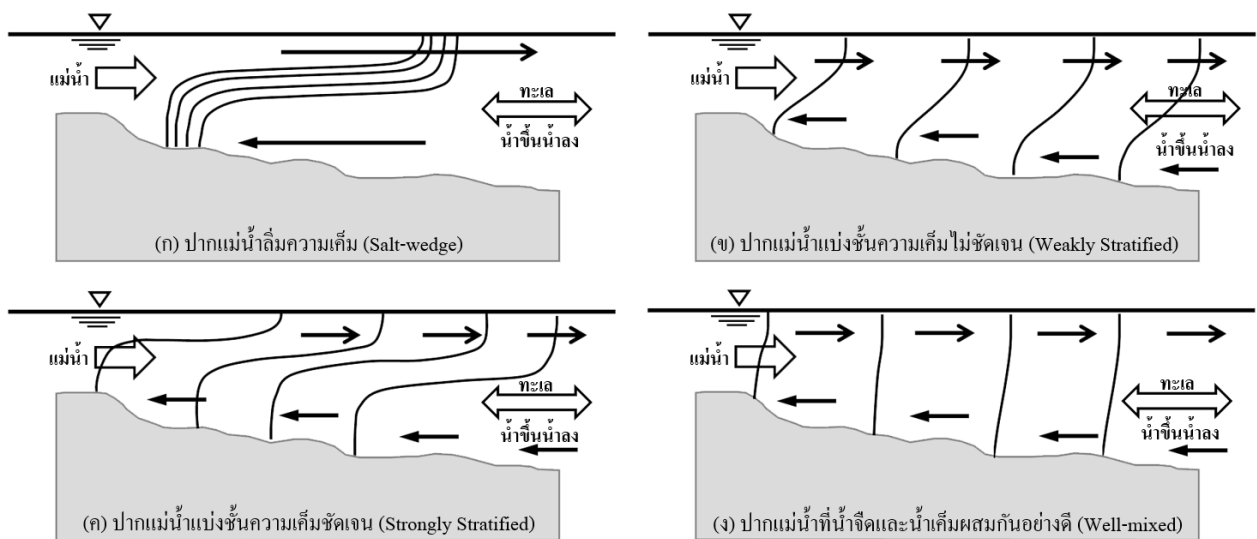
ปากแม่น้ำเนกาทีฟ หรืออินเวอร์ส เป็นลักษณะของปากแม่น้ำที่พบในเขตที่มีภูมิอากาศแห้งแล้ง โดยน้ำที่ไหลอยู่ในทางน้ำเกิดการสูญเสียไปเนื่องจากการระเหยมากกว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ทางน้ำ สาเหตุที่ปากแม่น้ำลักษณะนี้ถูกเรียกว่าเนกาทีฟ หรืออินเวอร์ส เพราะความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำตามยาวของทางน้ำมีทิศทางตรงข้ามกับปากแม่น้ำโพสิทีฟ โดยน้ำเค็มซึ่งมีความหนาแน่นมากจะมีทิศทางไหลไปสู่ต้นน้ำที่ด้านบนใกล้กับผิวน้ำ น้ำจืดซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าจะไหลออกสู่ทะเลที่ด้านใกล้กับท้องทางน้ำ ปริมาณการระเหยจะสัมพันธ์กับปริมาณการไหลของน้ำเค็มเข้าสู่ปากแม่น้ำและมีแนวโน้มที่จะสร้างปัญหาน้ำเค็มรุกไล่ในทางน้ำได้รุนแรงกว่าปากแม่น้ำโพสิทีฟ

ปากแม่น้ำปริมาณการไหลน้อย เป็นลักษณะของปากแม่น้ำที่พบได้ในพื้นที่ซึ่งมีค่าการระเหยของน้ำสูงมากกว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ทางน้ำมาก ๆ โดยในช่วงฤดูแล้งการระเหยของน้ำในปากแม่น้ำจะทำให้เกิดบริเวณที่มีค่าความเค็มของน้ำสูงมาก ๆ จนอาจ

ทำให้เกิดลักษณะแนวผนังความเค็ม (Salt Plug) กีดขวางการไหลของน้ำในทางน้ำ น้ำจืดพยายามไหลออกสู่ทะเล น้ำเค็มพยายามไหลเข้าสู่ทางน้ำ เนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ทางน้ำมีจำนวนน้อยทำให้เกิดปัญหาน้ำเค็มรุกล้ำมากและมีแนวโน้มที่จะสร้างปัญหาน้ำเค็มรุกตัวในทางน้ำได้รุนแรง

2.3 การจำแนกลักษณะของปากแม่น้ำ โดยอาศัยการกระจายความเค็มตามแนวลำ

การกระจายความเค็มตามแนวลำสามารถนำมาใช้จำแนกลักษณะของปากแม่น้ำได้ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 รูปแบบ คือ ปากแม่น้ำลิ่มความเค็ม (Salt-wedge Estuaries) ดังรูปที่ 3(ก) ปากแม่น้ำแบ่งชั้นความเค็มไม่ชัดเจน (Weakly Stratified Estuaries) ดังรูปที่ 3(ข) ปากแม่น้ำแบ่งชั้นความเค็มชัดเจน (Strongly Stratified Estuaries) ดังรูปที่ 3(ค) และปากแม่น้ำที่น้ำจืดและน้ำเค็มผสมกันอย่างดี (Well-mixed Estuaries) ดังรูปที่ 3(ง)



รูปที่ 3 การจำแนกลักษณะปากแม่น้ำโดยอาศัยการกระจายความเค็มตามแนวลำ (ดัดแปลงจาก [19])

การจำแนกโดยอาศัยการกระจายความเค็มตามแนวลำนั้นเป็นการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำที่เกิดขึ้นจากแรงลอยตัว (Buoyancy Forcing) ที่เกิดจากอัตราการไหลของน้ำในทางน้ำและการรวมกันของแรงน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Forcing) โดยการรวมกันของแรงน้ำขึ้นน้ำลงนี้เป็นสัดส่วนของปริมาตรของน้ำทะเลที่ไหลเข้าสู่ปากแม่น้ำในทุก ๆ รอบของปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลง หรือปริศมน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Prism) หากแม่น้ำมีอัตราการไหลของน้ำจืดในทางน้ำมีปริมาณมากและปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลงมีอิทธิพลน้อย ทำให้มีลักษณะเป็นปากแม่น้ำลิ่มความเค็ม (Salt-wedge) ดังรูปที่ 3(ก) หรือปากแม่น้ำบางแห่งอาจเปลี่ยนแปลงลักษณะการกระจายความเค็มไปในช่วงฤดูร้อน ลักษณะทั่วไปของภาพตัดขวางของความเค็มเป็นลักษณะ Pycnocline หรือ Halocline (บริเวณที่ค่าความเค็มเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว) ปากแม่น้ำแบ่งชั้นความเค็มไม่ชัดเจน (Weakly Stratified Estuaries) ดังรูปที่ 3(ข) เป็นผลที่เกิดขึ้นกับปากแม่น้ำที่มีอัตราการไหลไม่มาก แต่แรงกระทำที่เกิดขึ้นจากน้ำขึ้นน้ำลงมีค่าค่อนข้างมาก แต่หากปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลงมีอิทธิพลมาก จะทำให้มีลักษณะเป็นปากแม่น้ำแบ่งชั้นความเค็มชัดเจน (Strongly Stratified) ดังรูปที่ 3(ค) ส่วนปากแม่น้ำที่น้ำผสมกันอย่างดี (Well-mixed Estuaries) ดังรูปที่ 3(ง) อาจเกิดขึ้นในช่วงที่น้ำเค็มไหลเข้าสู่ทางน้ำในช่วงน้ำขึ้นน้ำเค็มไหลเข้าสู่ทางน้ำและผสมกับน้ำจืดในทางน้ำ โดยมีกระแสและแรงน้ำขึ้นน้ำลงช่วยทำให้เกิดการผสมกันเป็นอย่างดี

3. วิธีการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษา

แม่น้ำบางปะกงเป็นแม่น้ำหลักในกลุ่มน้ำบางปะกง เป็นลุ่มน้ำสำคัญของภาคตะวันออก ครอบคลุมอยู่พื้นที่ 11 จังหวัด เช่น นครนายก ปราจีนบุรี จันทบุรี และชลบุรี เป็นต้น ลักษณะภูมิประเทศด้านต้นน้ำเป็นเทือกเขาสูงอยู่ทางทิศเหนือแล้วลาดลงอย่างรวดเร็วจนถึงระดับที่มีลักษณะเป็นที่ราบ ซึ่งเกิดจากการตกทับถมของตะกอนที่น้ำพัดพามา (Alluvium) ในช่องหุบเขากว้าง ทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำบางปะกงเป็นที่ราบ [15, 16] โดยสอดคล้องกับคุณสมบัติของดินที่ได้จากการเจาะสำรวจลาดตลิ่งและทดสอบคุณสมบัติของดินด้านวิศวกรรม จากการสำรวจตามแนวลำน้ำตั้งแต่ตำแหน่งปากแม่น้ำ (โดยประมาณ) ถึงที่ตั้งของเขื่อนทดน้ำบางปะกง พบว่า ลักษณะดินชั้นบน (จากผิวดินลงไปถึงระยะ -6.00 ม. หรือมากกว่า) ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) บางช่วงแทรกสลับด้วยชั้นดินเหนียวอ่อนมาก (Very Soft Clay) และรองรับอยู่ด้วยชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง (Medium Clay) ถึงแข็งมาก ๆ (Hard Clay) ส่งผลให้เกิดปัญหาหาดตลิ่งไม่แข็งแรงเกิดการพังทลาย [21]

ลักษณะธรณีสัณฐานของปากแม่น้ำบางปะกง ซึ่งมีที่ตั้งอยู่ตรงขอบภูมิประเทศ รูปหัว ก.ไก่ ของอ่าวไทย [16] ลำน้ำมีลักษณะโค้งคด (Meander) ซึ่งเกิดจากการกัดเซาะของน้ำและทับถมของดินตะกอนในทางน้ำเป็นระยะเวลานานสลับหมุนเวียนไปตามฤดูกาล อีกทั้งความเร็วการไหลของน้ำในทางน้ำมีค่าไม่เท่ากันตลอดหน้าตัดการไหล ทำให้เกิดการกัดเซาะในทางน้ำที่ตลิ่งทั้งสองด้านไม่เท่ากัน การกัดเซาะจะทำให้ทางน้ำเปลี่ยนแปลงจากทางน้ำที่มีความโค้งเพียงเล็กน้อยและเกิดการตกตะกอนทับถม จนทำให้เกิดความโค้งที่มากขึ้นจนมีลักษณะคล้ายห่วง หรือวงเส้นเชือกที่วัดโค้งไปมา [1]

ปากแม่น้ำบางปะกง ณ จุดสิ้นสุดการสำรวจ มีความกว้างประมาณ 2,000 เมตร (บริเวณสถานีโทรมาตรกรมชลประทาน) เป็นช่วงทางน้ำในแนวตรงช่วงสุดท้ายก่อนที่จะเชื่อมต่อกับทะเล โดยระยะทางจากจุดสิ้นสุดการสำรวจถึงทะเลประมาณ 2,500 เมตร ความลึกของทางน้ำช่วงที่ทำการสำรวจมีค่าผันแปรระหว่าง 10 ถึง 15 เมตร (จากระดับผิวน้ำ) ความลาดเทของท้องน้ำมีความลาดเปลี่ยนแปลงไปและช่วงท้ายน้ำที่เชื่อมต่อกับทะเลมีความลึกจากผิวน้ำมากกว่าช่วงทางด้านเหนือ

3.2 การสำรวจภาคสนาม

การวิจัยนี้ทำการศึกษารูปแบบการรุกของน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงซึ่งมีการเก็บรวบรวมข้อมูล 2 รูปแบบ คือ (1) การสำรวจความเค็มในภาคสนาม และ (2) การเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิเกี่ยวกับความเค็มจากโครงการศึกษาวางระบบและติดตั้งระบบโทรมาตรเพื่อการพยากรณ์น้ำและเตือนภัยลุ่มน้ำบางปะกง รับผิดชอบโดยโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนบางปะกง กรมชลประทาน

การสำรวจความเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงดำเนินการสำรวจโดยใช้เรือประมงขนาดเล็ก ดังรูปที่ 4(ก) เริ่มต้นการสำรวจกลางลำน้ำใกล้เชิงหน้าว่าการอำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา พิกัดภูมิศาสตร์ $13^{\circ} 32' 23.5''$ N, $100^{\circ} 59' 42.7''$ E ระยะทางตามลำน้ำ 15 กิโลเมตร จากปากแม่น้ำ (จุดสิ้นสุดการสำรวจ) ดังรูปที่ 5 เรือสำรวจล่องไปตามลำน้ำโดยคนขับเรือซึ่งเป็นชาวประมงในพื้นที่ที่มีความชำนาญขับเรือไปตามร่องน้ำที่ลึกที่สุดของลำน้ำ นักวิจัยทำการตรวจวัดความลึกด้วยเครื่องวัดความลึกด้วยเสียง (Sonar depth meter: Speedtech) และตรวจวัดความเค็มด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบหลายพารามิเตอร์ (Multi-parameter water quality sensor: JFE ALEC Electronics, AAQ Rinko 170) ดังรูปที่ 4(ข) และ 4(ค) ดำเนินการเช่นนี้จนถึงจุดสิ้นสุดการสำรวจบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ในการดำเนินงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในด้านจำนวนของเครื่องวัดความลึกด้วยเสียง และเครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบหลายพารามิเตอร์ ที่มีเพียงชนิดละ 1 เครื่อง ทำให้ข้อมูลที่ตรวจวัดยังคงอยู่ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงซึ่งส่งผลต่อการแปลความหมายข้อมูล แต่กระนั้น ด้วยวิธีการตรวจวัดข้อมูลจริงในสนามตามลำน้ำ ทำให้ทราบถึงลักษณะการกระจายความเค็มที่

ตำแหน่งปากแม่น้ำที่สัมพันธ์กับช่วงเวลา (ฤดูกาล) ซึ่งทำให้ในอนาคตหากมีความพร้อมด้านอุปกรณ์เครื่องมือ จะสามารถวางแผนการจัดการและการเก็บข้อมูลได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

การสำรวจความเค็มในภาคสนามดำเนินการทั้งหมด 6 ครั้ง วันที่และเวลาเริ่มต้นการสำรวจแสดงดังตารางที่ 1 การสำรวจเริ่มจากการขับเรือจากบริเวณจุดสิ้นสุดการสำรวจขึ้นไปตามลำน้ำ ใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 1.5 ชั่วโมง จนถึงจุดเริ่มต้นการสำรวจ ดังรูปที่ 5 เมื่อถึงจุดเริ่มต้นการสำรวจเริ่มวัดความลึกและความเค็ม จากนั้นล่องเรือตามลำน้ำลงมา ทำการวัดความลึกของร่องน้ำทุกระยะทาง 500 เมตร ในขณะที่ความเค็มถูกตรวจวัดทุกความลึก 0.5 เมตร จากผิวน้ำจนถึงใกล้พื้นท้องแม่น้ำและตรวจวัดทุกระยะทางตามลำน้ำ 1,000 เมตร เนื่องจากความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ยกเว้นการสำรวจครั้งที่ 3 ซึ่งพบว่า ความเค็มเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก จึงทำการตรวจวัดความเค็มทุก 500 เมตร การล่องเรือในช่วงตรวจวัดจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุด ใช้เวลาประมาณ 1.5 ถึง 2 ชั่วโมง



(ก) เรือสำรวจภาคสนาม



(ข) การจัดเตรียมเครื่องมือตรวจวัด



มอนิเตอร์อ่านค่า
เครื่องมือตรวจวัดความเค็ม
เครื่องมือตรวจวัดความลึก

(ค) เครื่องมือตรวจวัด

รูปที่ 4 การสำรวจภาคสนาม

ตารางที่ 1 วันและเวลาในการสำรวจภาคสนาม

การสำรวจ	วันที่	เวลาเริ่มสำรวจ
ครั้งที่ 1	19 มิถุนายน พ.ศ. 2553	7:50 น.
ครั้งที่ 2	26 สิงหาคม พ.ศ. 2553	8:15 น.
ครั้งที่ 3	3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553	9:15 น.
ครั้งที่ 4	11 ธันวาคม พ.ศ. 2553	9:30 น.
ครั้งที่ 5	12 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554	9:30 น.

การตรวจวัดความเค็มในน้ำ (Salinity) หมายถึง ปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยปกติวัดในหน่วย กรัมของเกลือต่อกิโลกรัมของน้ำ หรือหน่วย ppt (part per thousand) แต่ในทางเทคนิคถือว่าความเค็มเป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย (Dimensionless) การวัดความเค็มด้วยเครื่อง AAQ Rinko 170 เป็นการวัดแบบทางอ้อมด้วยการเทียบเคียงกับค่าวัดการนำไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า Practical Salinity Scale 1978 (PSS-78) [22] บางกรณีมีการใช้ตัวย่อ PSU หรือ Practical Salinity Unit [23] เพื่อบ่งชี้ว่าค่าความเค็มได้จากการวัดด้วยวิธี PSS-78



รูปที่ 5 เส้นทางสำรวจภาคสนาม

4. ผลการศึกษา

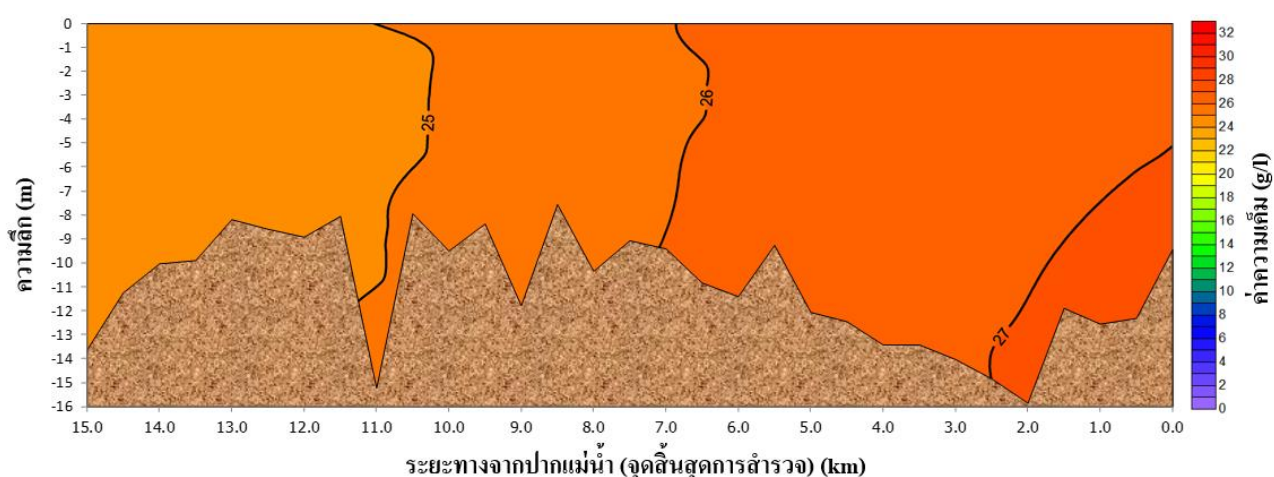
4.1 ผลการสำรวจความเค็มบริเวณปากแม่น้ำ

ผลการสำรวจความเค็มในภาคสนามตามความลึกและตามระยะทางบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงทั้ง 5 ครั้งตามตารางที่ 1 แสดงดังรูปที่ 6 ในการสำรวจภาคสนามครั้งที่ 1 วันที่ 19 มิถุนายน พ.ศ. 2553 ดังรูปที่ 6(ก) ความเค็มบริเวณจุดเริ่มต้นการสำรวจ

ประมาณ 24 ก่อนข้างคงที่ตลอดความลึก ความเค็มเพิ่มขึ้นทีละน้อยตลอดระยะทางตามลำน้ำและก่อนข้างคงที่ตลอดความลึก จนถึงจุดสิ้นสุดการสำรวจ ซึ่งมีความเค็มประมาณ 27 ในการสำรวจครั้งที่ 2 วันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ. 2553 ดังรูปที่ 6(ข) รูปแบบความเค็มบริเวณปากแม่น้ำแตกต่างจากครั้งที่ 1 อย่างสิ้นเชิง ความเค็มตลอดพื้นที่สำรวจอยู่ระหว่าง 0.26 ถึง 0.34 กล่าวได้ว่าความเค็มในน้ำยังไม่ทำให้น้ำจัดเป็น “น้ำกร่อย (Brackish Water)” ตามนิยาม Hillel, D. [24] และ USGS [25] หรือน้ำยังคงมีลักษณะเป็น “น้ำจืด (Freshwater)”

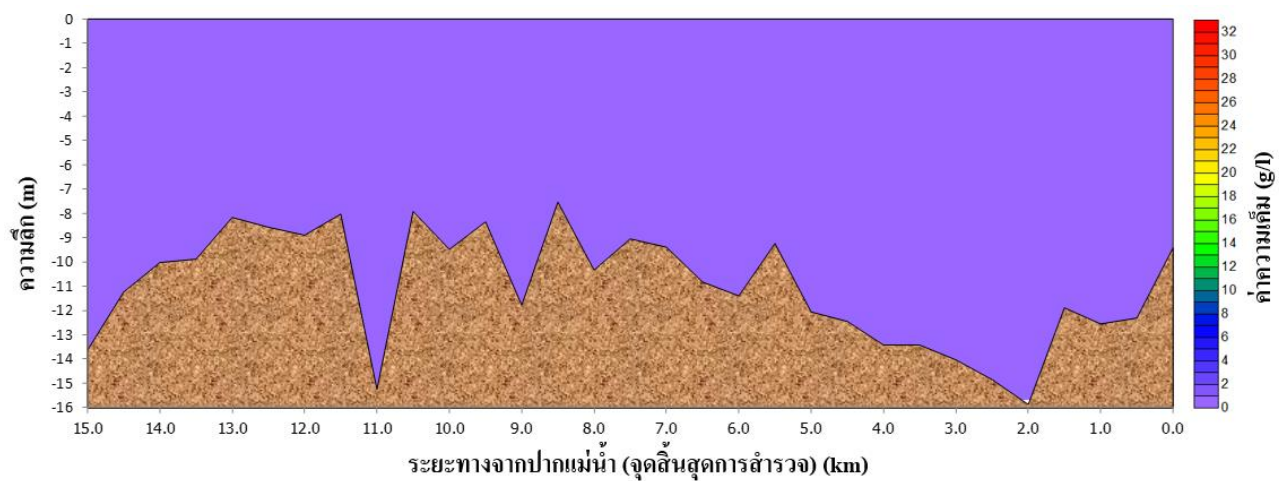
ผลการสำรวจภาคสนาม ครั้งที่ 3 วันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553 ดังรูปที่ 6(ค) แตกต่างจากผลการสำรวจฯ ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 อย่างมาก ความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงตามความลึกอย่างชัดเจน ตัวอย่างเช่น ณ จุดเริ่มต้นการสำรวจ ความเค็มที่ระดับผิวน้ำเท่ากับ 2.71 ความเค็มเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น จนถึง 19.23 บริเวณใกล้พื้นท้องน้ำ (ความลึกเท่ากับ 13.62 เมตร) ณ ตำแหน่ง 10.5 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ (จุดสิ้นสุดการสำรวจ) หรือ 4.5 กิโลเมตรจากจุดเริ่มต้นการสำรวจ ความเค็มตลอดความลึกมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ ความเค็มบริเวณผิวน้ำเท่ากับ 4.53 และความเค็มบริเวณใกล้พื้นท้องน้ำ (ความลึกเท่ากับ 7.92 เมตร) เท่ากับ 29.23 หรือความแตกต่างความเค็มสูงสุดถึง 24.70 ณ ตำแหน่งจุดสิ้นสุดการสำรวจ ความเค็มบริเวณผิวน้ำเท่ากับ 15.56 และความเค็มบริเวณใกล้พื้นท้องน้ำเท่ากับ 31.88

ผลการสำรวจในครั้งที่ 4 วันที่ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2553 ดังรูปที่ 6(ง) มีลักษณะคล้ายคลึงกับผลการสำรวจครั้งที่ 1 กล่าวคือ ความเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงก่อนข้างคงที่ตามความลึกและมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางลำน้ำ แต่ในการสำรวจครั้งที่ 4 ความเค็มบริเวณจุดเริ่มต้นการสำรวจมีค่าต่ำกว่ากรณีของการสำรวจครั้งที่ 1 ณ ตำแหน่งจุดเริ่มต้นการสำรวจ ความเค็มประมาณ 17.30 ถึง 17.35 ความเค็มเพิ่มขึ้นตามลำน้ำจนถึงประมาณ 26.48 (บริเวณผิวน้ำ) ถึง 28.15 (บริเวณพื้นท้องน้ำ) ณ ตำแหน่งจุดสิ้นสุดการสำรวจ สำหรับการสำรวจครั้งสุดท้าย วันที่ 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 ดังรูปที่ 6(จ) ความเค็มมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งลำน้ำและตลอดความลึก โดยความเค็มมีค่าประมาณ 31.73 ถึง 32.68 หรือมีลักษณะเป็นน้ำทะเลหรือน้ำเกลือระดับปานกลาง ตามนิยาม Hillel, D. [24] และ USGS [25]

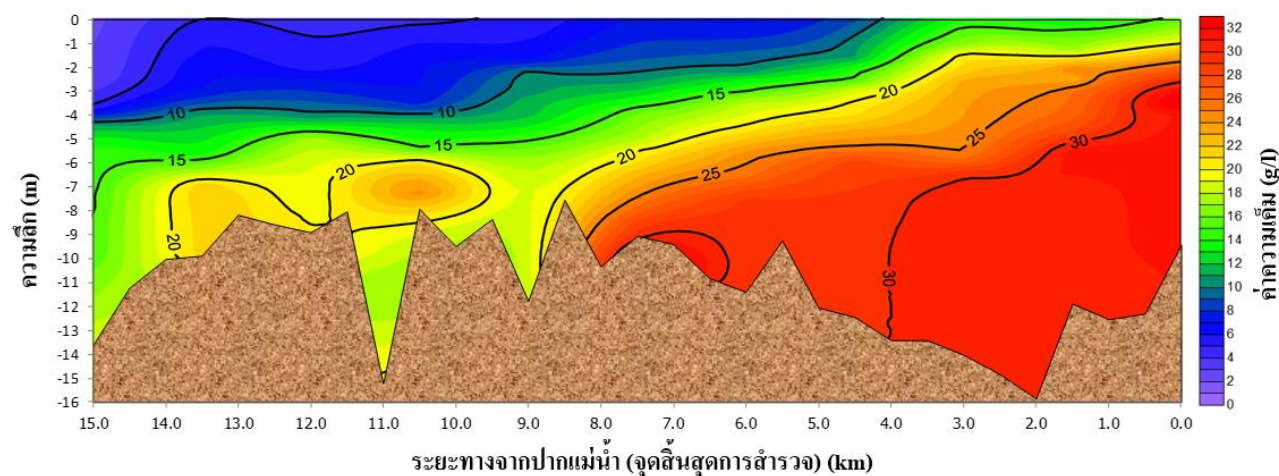


(ก) ผลการสำรวจความเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ครั้งที่ 1 วันที่ 19 มิถุนายน พ.ศ. 2553

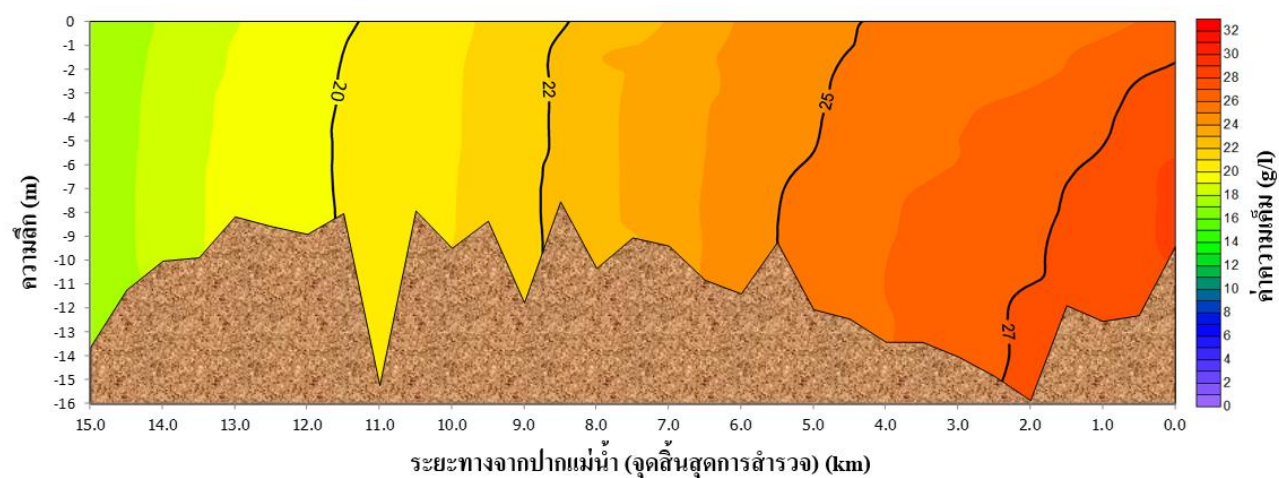
รูปที่ 6 ผลการสำรวจภาคสนาม



(ข) ผลการสำรวจความเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ครั้งที่ 2 วันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ. 2553

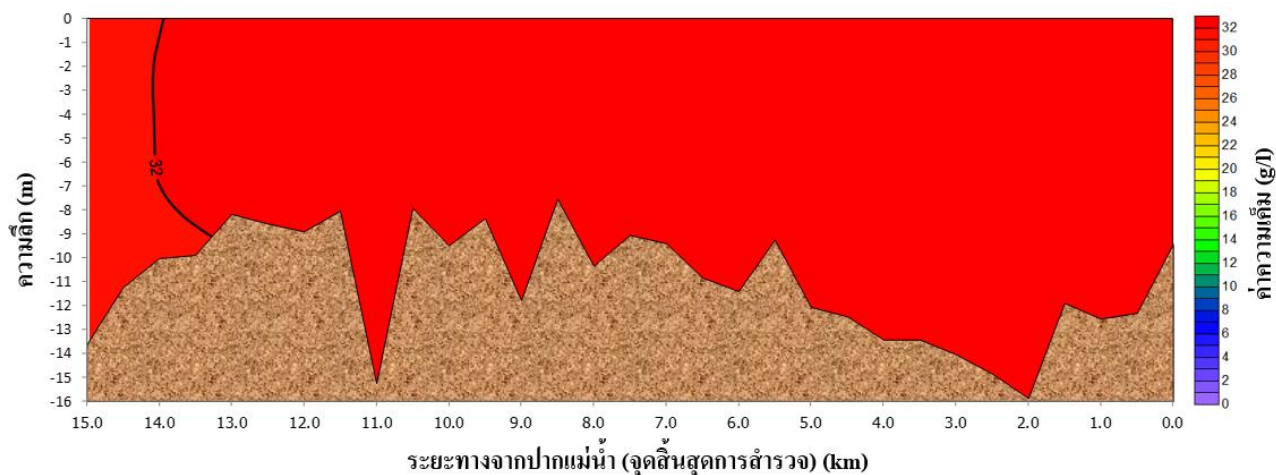


(ค) ผลการสำรวจความเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ครั้งที่ 3 วันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553



(ง) ผลการสำรวจความเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ครั้งที่ 4 วันที่ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2553

รูปที่ 6 ผลการสำรวจภาคสนาม (ต่อ)



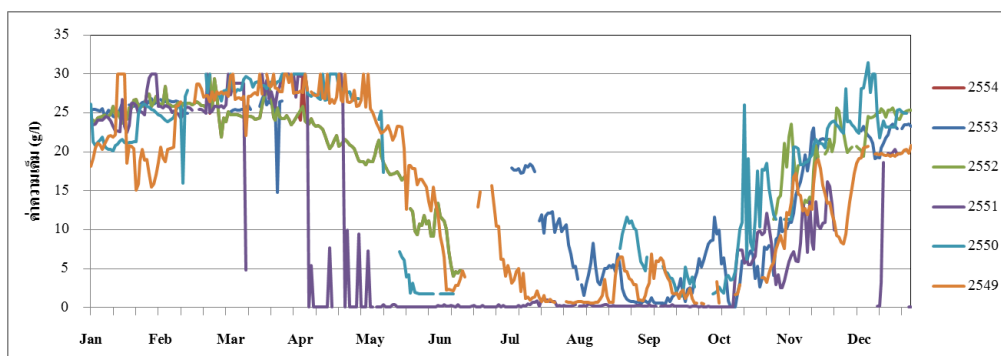
(จ) ผลการสำรวจความเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ครั้งที่ 5 วันที่ 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554

รูปที่ 6 ผลการสำรวจภาคสนาม (ต่อ)

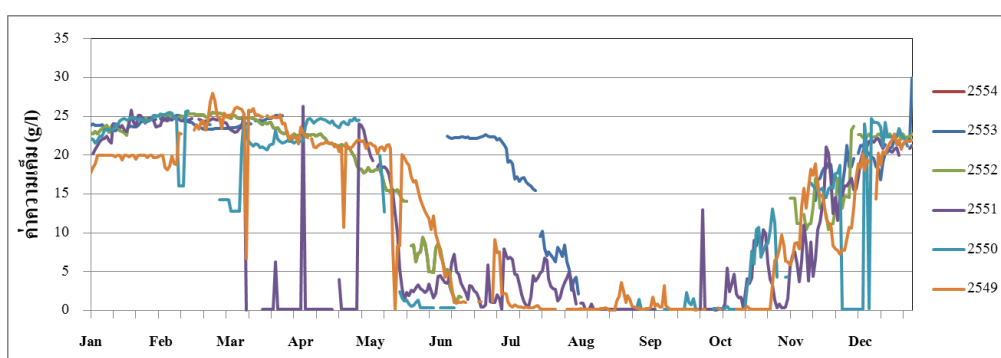
ส่วนของการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากโครงการศึกษาจากระบบและติดตั้งระบบโทรมาตรเพื่อการพยากรณ์น้ำและเตือนภัยลุ่มน้ำบางปะกง ซึ่งดูแลโดยโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนบางปะกง กรมชลประทาน พบว่า ข้อมูลตรวจวัดความเค็มของ 2 สถานี (จากทั้งหมด 19 สถานี) ที่อยู่ในพื้นที่การสำรวจภาคสนามได้นำมาประกอบการวิเคราะห์การรุกตัวของน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ได้แก่ สถานีที่ 1 ปากแม่น้ำบางปะกง และสถานีที่ 2 สะพานเทพหัสดิน ถนนสุขุมวิท (ตำแหน่งของสถานีทั้งสองแสดงในรูปที่ 5)

รูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ณ สถานีตรวจวัดรายวัน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ถึงปี พ.ศ. 2554 ของทั้งสองสถานี เนื่องจากข้อมูลที่ตรวจวัดด้วยเซนเซอร์คุณภาพน้ำที่มีความไวสูงและถูกจัดเก็บอัตโนมัติยังศูนย์ควบคุมที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนบางปะกง ในบางวันเซนเซอร์ตรวจวัดมีการทำงานไม่ปกติทำให้ข้อมูลบางช่วงขาดหายไป จำเป็นต้องมีการตรวจสอบและบำรุงรักษา นอกจากนี้ยังพบว่า บางช่วงมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่มีความแตกต่างกันมากอย่างไม่สมเหตุผลแต่อย่างไรก็ตาม เพื่อคงสภาพของข้อมูลเดิมให้มากที่สุด ข้อมูลจึงถูกนำเสนอด้วยรูปที่ 7 ถึงแม้ว่าข้อมูลจะมีความไม่สมบูรณ์ แต่อย่างน้อยยังสามารถนำไปพิจารณาแนวโน้มของค่าความเค็มเพื่อนำไปเปรียบเทียบในภาพรวมได้

ข้อมูลจากสถานีโทรมาตรทั้งสองสถานีแสดงให้เห็นว่า ความเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงเริ่มสูงขึ้นหลังจากสิ้นสุดฤดูน้ำหลาก คือ ประมาณปลายเดือนกันยายนถึงต้นเดือนตุลาคม ความเค็มเพิ่มสูงขึ้น จนถึงค่าความเค็มสูงสุดประมาณ 30 และคงตัวอยู่จนถึงประมาณเดือนพฤษภาคม จากนั้นความเค็มค่อย ๆ ลดลง (มีค่าน้อยกว่า 5) ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่า ความเค็ม ณ สถานีปากแม่น้ำบางปะกงมีค่าสูงกว่าสถานีสะพานเทพหัสดินเล็กน้อยและมีเวลาหน่วง (Time Lag) ระหว่างสองสถานี โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเค็มระหว่างสถานีปากแม่น้ำปากปะกงและสถานีสะพานเทพหัสดิน พบว่าจะมีเวลาหน่วงประมาณ 2 สัปดาห์ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากตำแหน่งของสถานีอยู่ใกล้ทะเลมากกว่า



(ก) ข้อมูล ณ สถานีที่ 1 ปากแม่น้ำบางปะกง



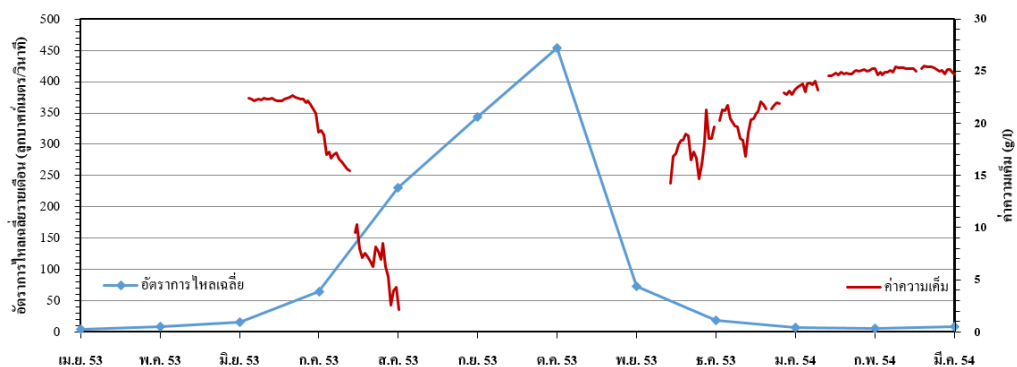
(ข) ข้อมูล ณ สถานีที่ 2 สะพานเทพหัสดิน ถนนสุขุมวิท

รูปที่ 7 ข้อมูลความเค็ม ณ สถานีตรวจวัดรายวัน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ถึงปี พ.ศ. 2554

เมื่อพิจารณาข้อมูลอัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนสถานี KGT.3 กรมชลประทาน ซึ่งตั้งอยู่ที่สะพานข้ามแม่น้ำบางปะกง ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี (ต้นน้ำแม่น้ำบางปะกง) ในช่วงที่มีการสำรวจข้อมูล ได้แก่ เดือนมิถุนายน, สิงหาคม, พฤศจิกายน, ธันวาคม พ.ศ. 2553 และกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 ดังรูปที่ 8 ข้อมูลความเค็มในลำน้ำที่ตรวจวัดได้จากสถานีที่ 2 สะพานเทพหัสดิน ถนนสุขุมวิท มีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำจืดที่ไหลในลำน้ำโดยจากเดือนมิถุนายน 2553 ถึงสิงหาคม 2553 ค่าความเค็มมีค่าลดลงจาก 23 เหลือ 2 โดยอัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนสถานี KGT.3 เพิ่มขึ้นจาก 15 เป็น 230 ลูกบาศก์เมตร/วินาที และยังคงเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสูงสุดที่เดือนตุลาคม มีค่าประมาณ 450 ลูกบาศก์เมตร/วินาที แล้วจึงลดลงเหลือประมาณ 70 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ณ เดือนพฤศจิกายน และลดลงจนมีค่าน้อยกว่า 10 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ในช่วงเดือนมกราคม ถึง มีนาคม 2554 ซึ่งปริมาณอัตราการไหลเฉลี่ยที่ลดลงมีความสอดคล้องกับข้อมูลความเค็มที่เพิ่มขึ้นจากตรวจวัดได้จากสถานีที่ 2 โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 15 ในเดือนพฤศจิกายน เป็น 25 ในเดือนมีนาคม 2554

4.2 การจำแนกลักษณะรูปแบบของการรุกของน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง

จากลักษณะธรณีสัณฐานของปากแม่น้ำบางปะกง จัดเป็นปากแม่น้ำแบบที่ราบชายฝั่ง เช่นเดียวกับปากแม่น้ำอื่นที่ไหลลงสู่อ่าวไทยตอนบน ไม่ว่าจะเป็น ปากแม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำท่าจีน และปากแม่น้ำแม่กลอง ล้วนแต่มีลักษณะเป็นปากแม่น้ำที่ราบชายฝั่ง บริเวณปากแม่น้ำบางปะกงเป็นพื้นที่ราบชายฝั่งที่มีป่าชายเลนทั้งสองข้าง มีการทับถมของตะกอนสันดอนปากแม่น้ำมาเป็นระยะเวลานาน อัตราส่วนความกว้างต่อความลึกบริเวณปากแม่น้ำสูงถึงประมาณ 130 ถึง 200 เท่า (ความกว้างปากแม่น้ำประมาณ



รูปที่ 8 อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนสถานี KGT.3 กรมชลประทาน และ
ข้อมูลความเค็ม ณ สถานีตรวจวัดรายวันสถานีที่ 2 สะพานเทพหัสดิน ถนนสุขุมวิท

2,000 เมตร ในขณะที่ความลึกบริเวณปากแม่น้ำประมาณ 10 ถึง 15 เมตร) ด้วยลักษณะภูมิประเทศที่มีความลาดมาก ทำให้การรุกของน้ำเค็มสามารถครอบคลุมไปยังต้นน้ำได้ไกล จากข้อมูลพบว่าเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553 (รูปที่ 6(ก)) ปากแม่น้ำบางปะกง มีลักษณะเป็นปากแม่น้ำเนกาทิฟ หรืออินเวอร์ส และเป็นปากแม่น้ำที่มีการผสมกันระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดเป็นอย่างดี เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2553 (รูปที่ 6(ข)) ปากแม่น้ำมีลักษณะเป็นปากแม่น้ำที่มีการผสมกันระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดเป็นอย่างดี มีค่าความเค็มต่ำมาก เนื่องจากเป็นช่วงที่ปริมาณน้ำจืดในแม่น้ำบางปะกงมีมาก (ช่วงฤดูฝน) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 (รูปที่ 6(ค)) ปากแม่น้ำมีลักษณะเป็นปากแม่น้ำโพสิทีฟ และเป็นปากแม่น้ำล้นความเค็ม เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 (รูปที่ 6(ง)) ปากแม่น้ำมีลักษณะคล้ายปากแม่น้ำโพสิทีฟ และเป็นปากแม่น้ำเป็นปากแม่น้ำที่มีการผสมกันระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดเป็นอย่างดี และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 (รูปที่ 6(จ)) ปากแม่น้ำมีลักษณะเป็นปากแม่น้ำที่มีการผสมกันระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดเป็นอย่างดี และมีสภาพค่าความเค็มสูงมาก เนื่องจากเป็นช่วงที่ปริมาณน้ำจืดในแม่น้ำบางปะกงมีน้อย ทำให้เห็นว่าน้ำเค็มจากทะเลสามารถรุกตัวเข้าสู่แม่น้ำบางปะกงเป็นปริมาณมากและเข้าไปในแม่น้ำเป็นระยะทางไกลจากปากแม่น้ำ

5. สรุปผลการศึกษา

การเปลี่ยนแปลงของลักษณะรูปแบบการรุกของน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำ สามารถจำแนกได้หลายลักษณะและตามสภาพธรรมชาติ ซึ่งเป็นไปได้ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ตามช่วงเวลา ตามสภาพภูมิประเทศ แม้ว่าจะเป็นทางน้ำเดียวแต่ตำแหน่งที่พิจารณาแตกต่างกันก็ส่งผลให้การจำแนกแตกต่างกันได้ แม่น้ำบางปะกง มีลักษณะเป็นปากแม่น้ำที่ราบชายฝั่ง หากจำแนกลักษณะรูปแบบการรุกของน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง พบว่า ปากแม่น้ำบางปะกง ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553 อัตราการไหลของน้ำที่สถานี KGT.3 ประมาณ 15 ลบ.ม./วินาที 2553 ปากแม่น้ำบางปะกง มีลักษณะเป็นปากแม่น้ำเนกาทิฟ หรืออินเวอร์ส และเป็นปากแม่น้ำที่มีการผสมกันระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดเป็นอย่างดี เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2553 อัตราการไหลของน้ำที่สถานี KGT.3 ประมาณ 230 ลบ.ม./วินาที ปากแม่น้ำมีลักษณะเป็นปากแม่น้ำที่มีการผสมกันระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดเป็นอย่างดี มีค่าความเค็มต่ำมาก เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 อัตราการไหลของน้ำที่สถานี KGT.3 ประมาณ 70 ลบ.ม./วินาที ปากแม่น้ำมีลักษณะเป็นปากแม่น้ำโพสิทีฟ และเป็นปากแม่น้ำล้นความเค็ม เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 อัตราการไหลของน้ำที่สถานี KGT.3 ประมาณ 20 ลบ.ม./วินาที ปากแม่น้ำมีลักษณะคล้ายปากแม่น้ำโพสิทีฟ และเป็นปากแม่น้ำเป็นปากแม่น้ำที่มีการผสมกันระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดเป็นอย่างดี และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 อัตราการไหลของน้ำที่สถานี KGT.3 ประมาณ 5 ลบ.ม./วินาที ปากแม่น้ำมีลักษณะเป็นปากแม่น้ำที่มีการผสมกันระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดเป็นอย่างดี และมีสภาพค่าความเค็มสูงมาก

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา ประเภทงบประมาณเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
สัญญาเลขที่ วจพ. 6/2558

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุจริต ภูณชนกุลวงศ์ และคณะ. การศึกษาการจัดการการแทรกตัวของน้ำเค็มเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561.
- [2] อภิศักดิ์ โพธิ์ปิ่น. ผลกระทบของการรุกตัวของน้ำทะเลต่อความเค็มของดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา. กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.
- [3] USGS. *Saltwater Intrusion*, 2020. Available from: https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/saltwater-intrusion?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects [Accessed 8 August 2020].
- [4] Mai, N. P., Thang, T. D., Kantoush, S., Sumi, T. and Van Binh, D. The Processes of Saltwater Intrusion into Hau River. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2019)*, Hanoi, Vietnam, 25-28 September 2019, pp. 1477-1483.
- [5] Fischer, H. B., List, J. E., Koh, C. R., Imberger, J. and Brooks, N. H. *Mixing in Inland and Coastal Waters*. Elsevier. 2013.
- [6] สุนทรี เสือทุ่ง และสนธิท วงษา. การคาดการณ์เบื้องต้นผลกระทบการรุกตัวของความเค็มต่อการเกษตร: กรณีศึกษาสมมติใช้ข้อมูล IPCC ต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 2560, 7 (1), หน้า 34-50.
- [7] ณัฐพล อินทบุตร และวิญวัฒน์ แต้สมบัติ. การรุกตัวของความเค็ม และการแพร่กระจายความเค็มตามความยาวของลำน้ำในแม่น้ำท่าจีน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 2557, 3 (2), หน้า 71-86.
- [8] กรมชลประทาน. *รายงานสรุปสถานการณ์รุกรานของน้ำเค็มและมาตรการในการลดผลกระทบ*. กรุงเทพฯ: กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557.
- [9] Leake, S.A., and Barlow, P.M., *Understanding and managing the effects of groundwater pumping on streamflow*. Denver, CO: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2013-3001.
- [10] พรหมวรรณ บุญรัตน์พันธุ์, สุรัช ลิปิวัฒนาการ, ชัยวัฒน์ ชัยการนาวิ และพรณิพิมพ์ พุทธิรักษา มะเปี่ยม. การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินและการรุกตัวของน้ำเค็มรอบบ่อเก็บน้ำ จังหวัดพังงา. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่*, 2562, 26 (2), หน้า 66-79.
- [11] อนุกุล บุณประทีปรัตน์. การไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงและชายฝั่งจังหวัดชลบุรี จากการศึกษาโดยใช้แบบจำลองไฮโดรไดนามิก. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 2552, 14 (2), หน้า 50-60.
- [12] อนุกุล บุณประทีปรัตน์ และเชษฐา โชคจินตเสรี. คุณภาพน้ำทะเลบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง พ.ศ. 2545. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 2552, 17 (2), หน้า 116-129.
- [13] สมัย ผลบุญ. การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงนิเวศบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง. ฉะเชิงเทรา: มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์, 2547.
- [14] วัลลภ ทิมดี. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ในการจัดทำฐานข้อมูลการเสี่ยงปลากะพงขาว ในกระชังบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา. ฉะเชิงเทรา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งฉะเชิงเทรา, 2548.
- [15] บริษัท แอสติคอน คอร์ปอเรชั่น จำกัด. *การดำเนินการด้านการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล โครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 ลุ่มน้ำ และแบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง ลุ่มน้ำบางปะกง*. กรุงเทพฯ: สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน), 2555.
- [16] วรณศิริ เศษคุปต์ และ ทิวา ศุภจรรยา. ลักษณะทางกายภาพและการใช้ที่ดินบริเวณปากแม่น้ำสำคัญในอ่าวไทย. *วารสารภูมิศาสตร์*, 2539, 21 (2), หน้า 33-42.

- [17] อังสนา นั้วสุวรรณ. ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: EC). *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 2547, 52 (164), หน้า 35-37.
- [18] Pritchard, D.V. Salinity distribution and circulation in the Chesapeake Bay estuarine system. *Journal of Marine Research*, 1952, 15, pp. 33-42.
- [19] Valle-Levinson A., W. R. Geyer, C. T. Friedrichs, D. Jay, R. J. Chant, C. Winant, S. G. Monismith, J. O'Donnell, J. Largier, L. Lucas. *Contemporary issues in estuarine physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- [20] FitzGerald, D., Georgiou, I. and Miner, M., Estuaries and Tidal Inlets. In Gerd Masselink, G., Gehrels, R. (ed.) *Coastal Environments and Global Change*, John Wiley & Sons. 2015.
- [21] แสงอรุณ แก้วเย็น. เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวของดินบริเวณตลิ่งท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกงในกรณีระดับน้ำอย่างรวดเร็ว. วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [22] UNESCO. *The Practical Salinity Scale 1978 and the International Equation of State of Seawater 1980*. UNESCO Technical Papers in Marine Science 36, 1981.
- [23] Millero, F. J. "What is PSU?". *Oceanography*, 1993, 6 (3) pp. 67.
- [24] Hillel, D. *Salinity Management for Sustainable Irrigation: Integrating Science, Environment, and Economics*, World Bank Publications, 2000.
- [25] USGS. *What is saline water?*, 2015. Available from: https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/saline-water-and-salinity?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects [Accessed 31 May 2020].