Research and Development Journal
Volume 25 Issue 4 October-December 2014

Received 17 April 2014 Accepted 19 June 2014

A STUDY ON SALINITY INTRUSION AND CONTROL MEASURE IN THE THACHIN RIVER

The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

The Engineering Institute of Thailand
under H.M. The King's Patronage

การศึกษาการรุกล้ำความเค็มและมาตรการควบคุมความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

A STUDY ON SALINITY INTRUSION AND CONTROL MEASURE IN THE THACHIN RIVER

ณัฐวุฒิ อินทบุตร[1] และวิษุวัฒก์ แต้สมบัติ[2]

[1] อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา ศูนย์สุพรรณบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ อ.สามชุก จ.สุพรรณบุรี 72130
E-mail: Nuttawut_took@hotmail.com[1] and fengwwt@ku.ac.th[2]

[2] อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหามาตรการควบคุมความเค็มที่เหมาะสมซึ่งเกิดจาการรุกล้ำความเค็มจากปากแม่น้ำท่าจีนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้ถูกนำมาประยุกต์ในการวิเคราะห์การรุกล้ำความเค็ม ผลการวิเคราะห์พบว่าการรุกล้ำความเค็มจะมีระยะทางเพิ่มขึ้นในอนาคตอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำและผลการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี พ.ศ. 2558 2563 และ 2568 พบว่าค่าความเค็มจะรุกล้ำเข้าไปเป็นระยะทางสูงสุด 55 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ โดยคิดเป็นระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากสภาพปัจจุบัน 3 กิโลเมตรตามแนวยาวลำน้ำ ดังนั้นการควบคุมความเค็มเพื่อลดผลกระทบดังกล่าวจะใช้มาตรการเพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำท่าจีน ผลการวิเคราะห์พบว่าการเพิ่มอัตราการไหลจะแปรผันโดยตรงกับระยะทางการขับไล่ความเค็มที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของระยะทางการขับไล่ความเค็มไม่ได้เป็นสัดส่วนเดียวกับในทุก ๆ ช่วงของการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล โดยอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการขับไล่ความเค็มของแม่น้ำท่าจีนจะอยู่ที่ประมาณ 20-40 ลบ.ม.ต่อวินาที เพราะอัตราการไหลดังกล่าวนี้จะขับไล่ความเค็มให้ออกไปได้ระยะทางไกลกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเพิ่มอัตราการไหลที่สูงกว่านี้ และอีกประการหนึ่งคือการเพิ่มอัตราการไหลในปริมาณที่มากเกินกว่าความจุลำน้ำอาจก่อให้เกิดปัญหาน้ำล้นตลิ่งซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเกษตรกรริมฝั่งแม่น้ำได้

คำสำคัญ:การรุกล้ำความเค็ม, การขับไล่ความเค็ม, มาตรการควบคุมความเค็ม, แม่น้ำท่าจีน

ABSTRACT

This study aims to consider the suitable salinity control measure affected by salinity intrusion in ThaChin estuarine which has an increasing trend to continuous occurred every year. The mathematical model was applied for an analysis of salinity intrusion. The results showed that salinity intrusion will increase further upstream in the future because of the rise of sea level at the estuarine, and the forecast result of salinity intrusion in the year 2015, 2020 and 2025 showed that the salinity would be intruded to a maximum distance of 55 km from the estuarine which is around 3 km further upstream along the river comparing to the existing condition. Consequently, to control the salinity for reducing the impact, the increasing of flow rate in ThaChin river was considered as a measure. The results showed that the increasing flow rate is directly proportional to the increasing distance downstream of repel salinity. However, the increasing distance of repel salinity is not

Nuttawut Intaboot[1] and Wisuwat Taesombat[2]

[1]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi Sam Chuk, Suphan Buri 72130

[2]Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering of Kamphaengsaen Kasetsart University Kamphaengsaen Campus, Kamphaengsaen Nakhon Pathom 73140

the same proportion for every range of the increasing flow rate. The appropriate flow rates for repelling salinity in ThaChin River are around 20-40 cms. Because these flow rates will repel salinity to leave more distance downstream comparing with other higher flow rates. In addition, the higher flow rates in excessive amounts of river capacity may cause inundation problems, which will affect the farmers along the river.

KEYWORDS: Salinity Intrusion, Expulsion Salinity, Salinity Control Measure, ThaChin River

1. บทนำ

แม่น้ำท่าจีนเป็นแม่น้ำสำคัญสายหนึ่งที่ไหลผ่านทุ่งราบภาคกลาง โดยผ่านจังหวัดชัยนาท–สุพรรณบุรี–นครปฐม ไปลงอ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรสาคร โดยในอดีตที่ผ่านมาแม่น้ำท่าจีนนับว่าเป็นลำน้ำสายหนึ่งที่มีความอุดมสมบูรณ์ สามารถหล่อเลี้ยงพื้นที่ทำนา ทำสวน และทำไร่ ในบริเวณสองฝั่งลำน้ำเป็นอย่างดีรวมทั้งเป็นแหล่งอาหาร และเป็นเส้นทางคมนาคมทางน้ำให้ประชาชนได้อาศัยสัญจรไปมา [1]

ในปัจจุบันสภาพความอุดมสมบูรณ์ในเขตลุ่มน้ำท่าจีนค่อย ๆแปรเปลี่ยนไป โดยเริ่มจะมีปัญหาตั้งแต่พื้นที่ชายทะเลขึ้นไป ปัญหาแรกคือการขาดแคลนน้ำจืดเพื่อใช้ทำการเกษตรในช่วงฤดูแล้ง ปัญหาต่อมาคือการรุกล้ำของน้ำเค็มเข้าไปตามลำน้ำท่าจีนยิ่งนานวันยิ่งรุกล้ำเข้าไปได้ไกลขึ้นซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายแก่พื้นที่การเกษตรบริเวณสองฝั่งแม่น้ำท่าจีนตอนล่างโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง หรือช่วงเวลาที่น้ำทะเลหนุนสูง [2]

นอกจากสาเหตุตามฤดูกาลแล้ว การทรุดตัวของแผ่นดินในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน และการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ก็ยังเป็นสาเหตุที่ส่งผลให้เกิดการรุกล้ำความเค็มเข้าไปในแม่น้ำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปัญหาดังกล่าวนับวันยิ่งทวีความรุนแรง และส่งผลกระทบต่อเกษตรกรในวงกว้าง[3] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาในเรื่องของการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง พร้อมกับศึกษามาตรการการควบคุมความเค็มเพื่อบรรเทาปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตได้

งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการศึกษาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและคาดการณ์แนวโน้มในอนาคต โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์และพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำ พร้อมกับเสนอมาตรการหรือแนวทางในการควบคุมความเค็มในแม่น้ำ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนจัดการควบคุมความเค็มในแม่น้ำท่าจีนต่อไป

2. ลักษณะพื้นที่ศึกษา

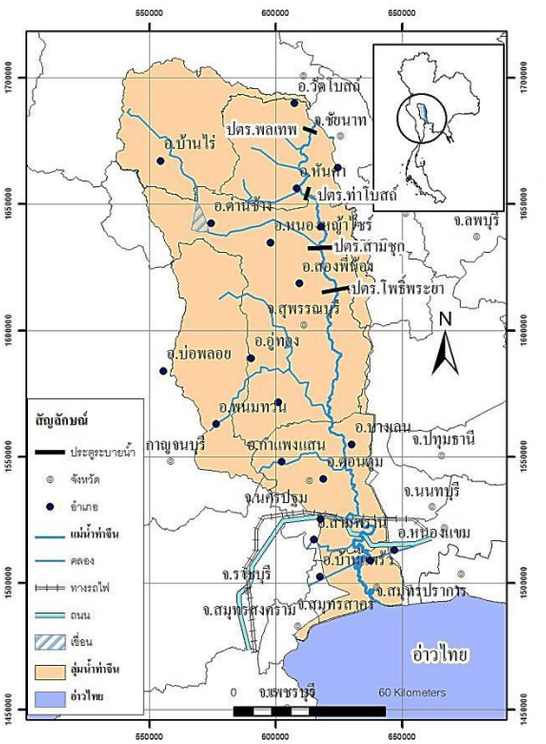
2.1 ลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำท่าจีน

แม่น้ำท่าจีนที่ใช้ในการศึกษาเริ่มตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา อำเภอเมืองจังหวัดสุพรรณบุรี ลงมาจนถึงปากแม่น้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร รวมระยะทาง 202 กิโลเมตรแม่น้ำท่าจีนเป็นแม่น้ำสายเดี่ยว(single branch) ที่ไหลผ่านลุ่มน้ำท่าจีนดังแสดงในรูปที่ 1 โดยแม่น้ำมีความลาดชันในตอนต้นและราบเรียบในตอนล่างเพราะมีสภาพภูมิประเทศเป็นลักษณะราบลุ่ม ลาดเทจากเหนือลงใต้ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นา สวนผลไม้ สวนผัก และบ่อปลา มีพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) และป่าชายเลนอยู่ประปรายบริเวณที่น้ำทะเลขึ้น [2]

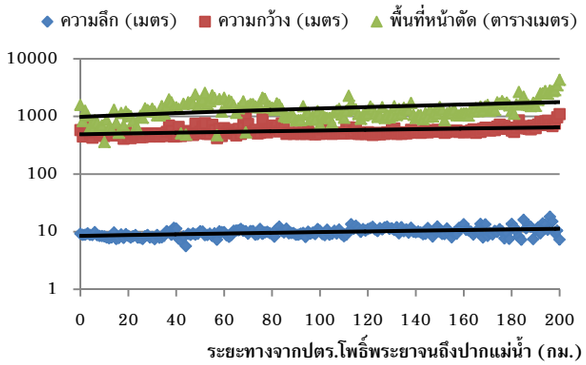
แม่น้ำท่าจีนแยกจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่อำเภอวัดสิงห์จังหวัดชัยนาทและไหลลงสู่อ่าวไทยที่อำเภอเมืองจังหวัดสมุทรสาคร โดยมีแหล่งน้ำหลักมาจากแม่น้ำเจ้าพระยา และทำหน้าที่เปรียบเสมือนคลองส่งน้ำสายใหญ่สายหนึ่งของโครงการให้กับเกษตรกรในลุ่มน้ำท่าจีน แม่น้ำท่าจีนเป็นแม่น้ำที่มีขนาดไม่ใหญ่มากมีความกว้างเฉลี่ย ความลึกเฉลี่ย และมีพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำเฉลี่ย ประมาณ 570 เมตร, 10 เมตร และ1380 ตารางเมตร ตามลำดับโดยที่ความกว้างของแม่น้ำท่าจีนจะเพิ่มตามระยะทางตามหลักของการเพิ่มขึ้นของความกว้างของแม่น้ำโดยจะมีความกว้างน้อยที่สุดบริเวณต้นน้ำและกว้างมากขึ้นในช่วงปลายแม่น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2

2.2 ระบบโครงข่ายของแม่น้ำท่าจีน

แม่น้ำท่าจีนรับน้ำมาจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดชัยนาทไหลผ่านลงมาบรรจบกับลำน้ำกระเสียวในเขต อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี โดยที่แม่น้ำท่าจีนทำหน้าที่เป็นทั้งคลองส่งน้ำและระบายน้ำ โดยมีประตูระบายน้ำหลักกลางแม่น้ำ 4 แห่ง ดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อทำหน้าที่บริหารจัดการน้ำให้กับโครงการชลประทานต่าง ๆ โดยประตูระบายน้ำโพธิ์พระยาเป็นประตูระบายน้ำตัวสุดท้ายที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำในแม่น้ำให้มีความเพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกรทางตอนล่างของแม่น้ำ

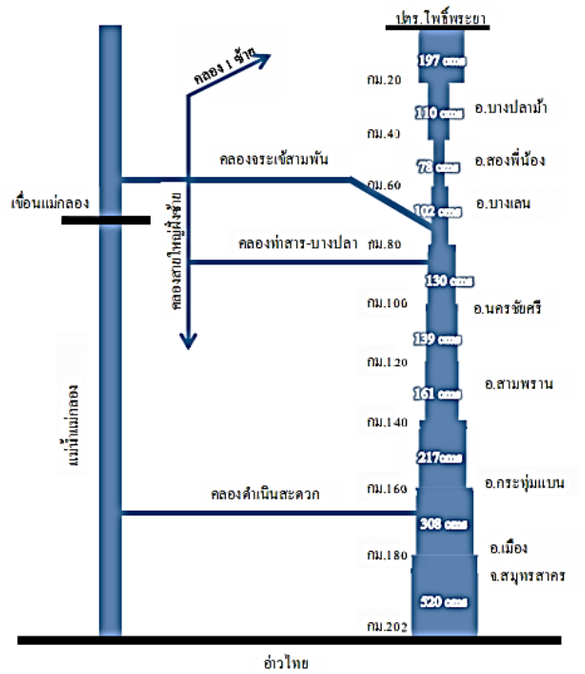


รูปที่ 1 ลักษณะภูมิประเทศของลุ่มน้ำท่าจีน



รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำท่าจีน

และพื้นที่ส่วนล่างซีกตะวันตกของลุ่มน้ำท่าจีนมีอาณาเขตติดต่อกับลุ่มน้ำแม่กลอง มีแม่น้ำแม่กลองเป็นแม่น้ำสายหลักในลุ่มน้ำ ทำหน้าที่จัดสรรน้ำให้กับโครงการชลประทานในลุ่มน้ำท่าจีนตอนล่าง โดยมีเขื่อนแม่กลองซึ่งเป็นเขื่อนทดน้ำให้กับพื้นที่ดังกล่าว และยังช่วยผันน้ำจากแม่น้ำแม่กลองมาสู่แม่น้ำท่าจีนในช่วงฤดูแล้ง และช่วยเพิ่มปริมาณน้ำในแม่น้ำท่าจีนเพื่อผลักดันน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้งอีกด้วย โดยผ่านทางคลองจระเข้สามพัน และคลองท่าสารบางปลา ซึ่งเป็นคลองที่เชื่อมต่อของทั้งสองแม่น้ำ ดังในแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผังระบบแหล่งน้ำของแม่น้ำแม่กลองและแม่น้ำท่าจีน (ในกรณีไม่พิจารณาผลของระดับน้ำทะเล)

3. การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล

ในการศึกษาบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำพบว่าคุณภาพน้ำและความเค็มของน้ำในแม่น้ำมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการรุกล้ำของน้ำเค็มจากมหาสมุทรเข้าไปในแม่น้ำ ซึ่งการรุกล้ำของน้ำเค็มนี้จะขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำโดย ในปัจจุบันระดับน้ำทะเลทั่วโลกได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นผลจากปัจจัยต่าง ๆโดยเฉพาะอย่างยิ่งปรากฏการณ์ El Niño–Southern Oscillation (ENSO) จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน โดยในรอบ 15 ปีตั้งแต่ปี พ.ศ.2536–2551 ระดับน้ำทะเลทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าประมาณ 3.1 ± 0.1 มิลลิเมตรต่อปี โดยเป็นผลมาจากปัจจัยหลาย ๆอย่าง เช่น การขยายตัวของน้ำทะเลเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นของมหาสมุทร และปริมาณน้ำที่ไหลลงมหาสมุทรเนื่องจากธารน้ำแข็งขั้วโลกและภูเขาน้ำแข็งเกิดการละลาย [4] ยิ่งไปกว่านั้น การเคลื่อนที่ทางดิ่งของแผ่นดินในบริเวณที่ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีสำรวจข้อมูลจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลด้วย [5]

ในส่วนของประเทศไทย [3] ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่บริเวณอ่าวไทยตอนบนเพื่อทำการศึกษาถึงอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่ส่งผลกระทบต่อการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำ พบว่าระดับน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงในทางที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนจะมีค่าการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ค่อนข้างสูงอยู่ที่ 19.2 มิลลิเมตรต่อปี ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณดังกล่าวได้มีการสูบน้ำบาดาลมาใช้เป็นจำนวนมากทำให้แผ่นดินบริเวณนี้เกิดการทรุดตัวจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนของระดับน้ำทะเลอย่างมากเพราะเนื่องจากสถานีวัดระดับน้ำจะเกิดการทรุดตัวไปด้วย โดยจากการศึกษาของ [6] พบว่าจะมีค่าการทรุดตัวดังกล่าวอยู่ที่ 14.5 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งได้สอดคล้องกับการศึกษาของ [7] ที่ทำการสำรวจและวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าเกิดการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่สถานีวัดระดับน้ำเท่ากับ 12.6 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีสันดอนกรุงเทพ และเท่ากับ 14.8 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีป้อมพระจุล ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำอย่างมากดังกล่าวเกิดจากการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำเองด้วย

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณปากแม่น้ำจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำค่อนข้างสูงย่อมจะส่งผลต่อการรุกล้ำความเค็มเข้าไปในแม่น้ำเป็นระยะทางที่ไกลขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปนาน

หลาย ๆปี โดยในการวิเคราะห์ได้พิจารณาขอบเขตด้านท้ายน้ำเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจะพิจารณาผลจากการปรับแก้การทรุดตัวของบริเวณปากแม่น้ำ ดังนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่แท้จริงจะมีค่าประมาณ 4.7 มิลลิเมตรต่อปี [3]

จากสาเหตุดังกล่าวทำให้ปริมาณความเค็มในแม่น้ำมีการรุกล้ำเพิ่มมากขึ้น และจากการศึกษาของ [8] พบว่าปริมาณความเค็มจะสัมพันธ์กับปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำ กล่าวคือถ้าในช่วงการไหลต่ำ (low flow) จะทำให้ค่าความเค็มแพร่เข้าไปในแม่น้ำได้ไกลขึ้น และถ้าอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำมีปริมาณมากจะทำให้ค่าความเค็มน้อยลงหรือค่าความเค็มแพร่เข้าไปในแม่น้ำได้น้อยลง ดังนั้นในการวางแผนการจัดการควบคุมความเค็มในแม่น้ำจึงจำเป็นต้องมีมาตรการในการเพิ่มปริมาณการไหลที่เหมาะสมของน้ำในแม่น้ำเพื่อที่จะควบคุมความเค็มให้อยู่ในช่วงที่ปลอดภัย

4. ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้

4.1 แบบจำลองคณิตศาสตร์

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้คือแบบจำลอง MIKE11-HD/AD ซึ่งแบบจำลองนี้พัฒนาโดยDHI Water Environment and Health สามารถจำลองสภาพการไหลในลำน้ำแบบ 1 มิติพร้อมทั้งจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายมวลสารในลำน้ำได้เป็นอย่างดี [9] และได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ได้ดีในหลายลุ่มน้ำของประเทศไทย ยกตัวอย่างเช่น ลุ่มน้ำท่าจีน [10] ลุ่มน้ำบางปะกง [11] และลุ่มน้ำปิงตอนบน [12] เป็นต้น

4.2 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์(MIKE11-HD, Hydrodynamic Module)

การคำนวณทางอุทกพลศาสตร์ของการไหลในลำน้ำแบบ 1 มิติ มีทฤษฎีที่สำคัญคือ กฎทรงมวลโดยยึดหลักว่าด้วยการไม่สูญสลาย/หายไปของมวลน้ำ และกฎของแรงกระทำทั้งนี้หากมีแรงกระทำที่ไม่สมดุลก็จะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=0 \tag{1}$$

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

เมื่อ Q คือปริมาณการไหล, Aคือพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ, t คือเวลา, x คือระยะทาง, B คือความกว้างของลำน้ำ, g คืออัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วง, Sf คือความลาดชันของความเสียดทาน, So คือความลาดชันของท้องน้ำ

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

แบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจายนั้น สามารถอธิบายถึงกลไกการเคลื่อนที่ของมวลสารในลำน้ำ โดยสามารถอธิบายได้ใน 2 ลักษณะคือการพัดพา (Advective or Convective Transport)เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของมวลสารจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยอิทธิพลการไหลของน้ำ ทิศทางการเคลื่อนที่กับทิศทางการไหล และการแพร่กระจาย (Dispersive transport)เป็นการเคลื่อนที่ของมวลสารในลักษณะฟุ้งกระจายทุกทิศทุกทาง เมื่อรวมกับการเคลื่อนที่ของทิศทางการไหลของน้ำจะเกิดกระบวนการการแพร่กระจาย (dispersion) ในทิศทางการไหลของน้ำ

ในการจำลองการเคลื่อนย้ายมวลสารในลำน้ำจะใช้หลักของกฎทรงมวล และคิดการไหลเป็นแบบ 1 มิติ โดยจะต้องใช้ข้อมูลอัตราการไหล ระดับน้ำ พื้นที่หน้าตัดการไหล และรัศมีชลศาสตร์ ที่ได้จาก MIKE11-HD สมการพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณคือ [9]

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

โดยที่ C คือความเข้มข้น (มวล/ปริมาตร), Dfคือ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (ตารางเมตร/วินาที), A คือพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ (ตารางเมตร), K คือสัมประสิทธิ์การย่อยสลาย (วินาที-1), Cs คือSource/SinkConcentration (มวล/ปริมาตร), q คืออัตราการไหลด้านข้างต่อหน่วยความยาวลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/วินาที), t คือช่วงเวลาระหว่างหน้าตัดลำน้ำ (วินาที), x คือระยะระหว่างหน้าตัดลำน้ำ (เมตร)

5. วิธีการและขอบเขตการศึกษา

การศึกษากำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนกลางและตอนล่าง ตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ลงมาจนถึงปากแม่น้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร รวมระยะทาง 202 กิโลเมตร 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 โดยขั้นตอนการศึกษาสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- เริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ โดยนำค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำที่ได้ปรับเทียบจากแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ที่ได้จากการศึกษาของ [13] และ [14]
- สร้างแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจาย (MIKE11-AD) เพื่อทำการวิเคราะห์การแพร่กระจายความเค็มในแม่น้ำที่เหมาะสมในลำน้ำจะพิจารณาจากการศึกษาของ [3] มาใช้ในการสร้างแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายด้วย
- พยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ได้ศึกษาของ [3] ด้วยการใช้แบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายโดยได้ทำการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี พ.ศ. 2558 พ.ศ. 2563 และในปี พ.ศ. 2568 เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงการรุกล้ำความเค็มในอนาคตข้างหน้า
- กำหนดมาตรการในการควบคุมความเค็มในแม่น้ำท่าจีนด้วยการเพิ่มปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำ โดยการผันน้ำจากแม่น้ำแม่กลองที่เชื่อนแม่กลองอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี โดยผ่านมาทางคลองจระเข้สามพัน และคลองท่าสารบางปลา ซึ่งในการเพิ่มปริมาณน้ำในแม่น้ำจะทำการทดลองสมมติเพิ่มอัตราการไหลเริ่มต้นที่ 20 ลบ.ม.ต่อวินาทีและค่อย ๆเพิ่มทีละ 20 ลบ.ม.ต่อวินาที ไปจนเต็มความจุของแม่น้ำท่าจีนบริเวณดังกล่าวซึ่งมีค่าประมาณ 102 ลบ.ม.ต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 3โดยจะมีอัตราการไหลที่ใช้ในการศึกษานี้คือ 20, 40, 60, 80 และ100 ลบ.ม.ต่อวินาที ตามลำดับเพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการความเค็มในแม่น้ำท่าจีนต่อไป

6. ผลการศึกษาและวิจารณ์

6.1 การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

จากผลการศึกษาของ [3] พบว่าระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณปากแม่น้ำจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำค่อนข้างสูงย่อมจะส่งผลต่อการรุกล้ำความเค็มเข้าไปในแม่น้ำเป็นระยะทางที่ไกลขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปนานหลาย ๆ ปีดังนั้นในการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์หาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนเพื่อทำการพยากรณ์ถึงการรุกล้ำความเค็มในอนาคตและทำการเปรียบเทียบกับค่าความเค็มที่ได้ในปีปัจจุบัน (ปี 2553) โดยในการวิเคราะห์ได้พิจารณาขอบเขตด้านท้ายน้ำเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจะพิจารณาผลจากการปรับแก้การทรุด

ตัวของบริเวณปากแม่น้ำด้วย

จากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนมีค่าเท่ากับ 19.2 มิลลิเมตรต่อปี [3] ทำให้ทราบว่าค่าดังกล่าวได้รวมผลของการทรุดตัวของสถานีตรวจวัดระดับไปด้วย โดยค่าการทรุดตัวของสถานีตรวจวัดระดับน้ำที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมามีค่าเท่ากับ 14.5 มิลลิเมตรต่อปี [6] 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 ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล และสถานที่บริเวณการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

ปี	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล (มม.)	การรุกล้ำความเค็มที่ส่งผลกระทบต่อเกษตรกร (0.05 ppt)		
		สถานี (กม.)	ระยะทางจากปากแม่น้ำ (กม.)	สถานที่
2553	0.0	150	52	ต.บางช้าง อ.สามพราน จ.นครปฐม
2558	23.5	149	53	ต.บางช้าง อ.สามพราน จ.นครปฐม
2563	47.0	148	54	ต.คลองใหม่ อ.สามพราน จ.นครปฐม
2568	70.5	147	55	ต.สามพราน อ.สามพราน จ.นครปฐม

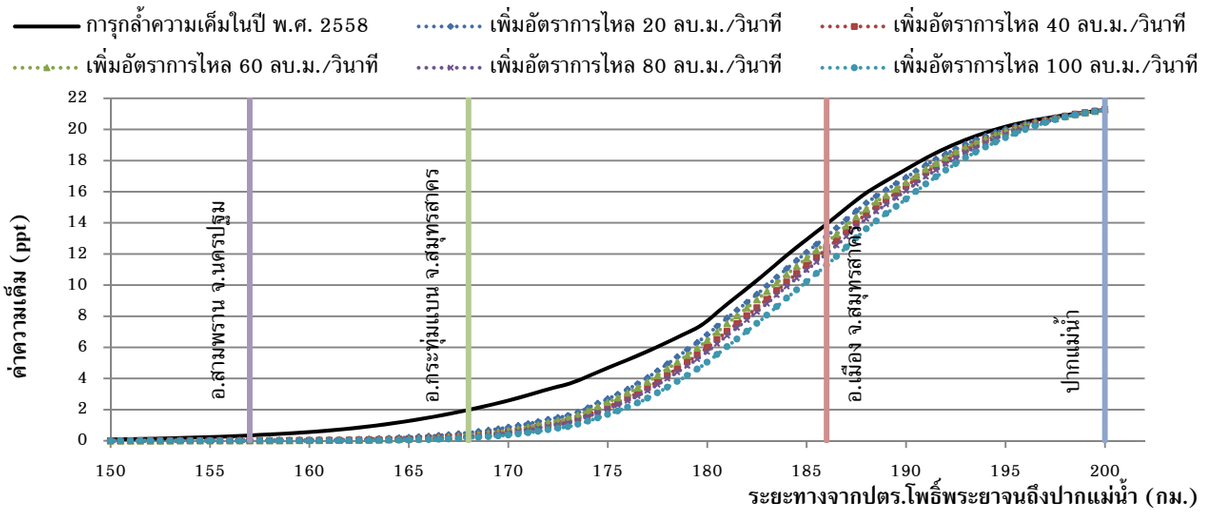
จากตารางที่ 1 พบว่าในสภาพปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2553) ค่าความเค็มได้รุกล้ำเข้าไปถึง กม.150 บริเวณคลองทำนา เขต ต.บางช้าง อ.สามพราน จ.นครปฐม และผลการวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคตของปี พ.ศ. 2558 2563 และ 2568 พบว่า ค่าความเค็มจะรุกขึ้นไปถึง กม.149 กม.148 และ กม. 147 ตามลำดับซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบัน พบว่าอัตราการรุกล้ำของความเค็มจะรุกเข้าไปสูงสุดในปี 2568 ที่ระยะทาง 55 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำหรือรุกเข้าไปมากกว่าในปัจจุบันประมาณ 3 กิโลเมตร

6.2 การเพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำเพื่อช่วยลดปัญหาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

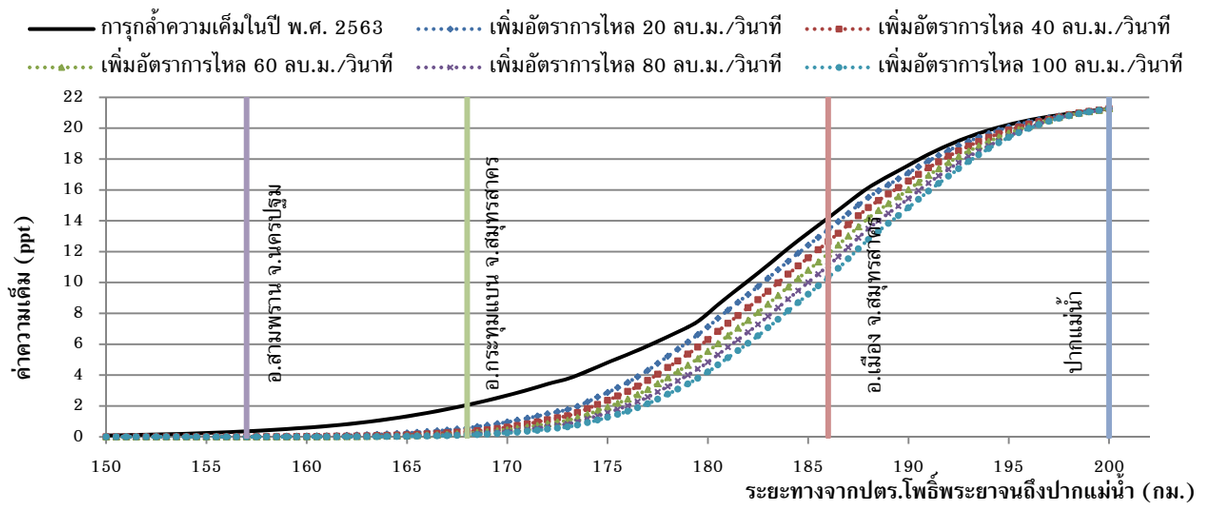
จากการศึกษาถึงการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลทำให้ทราบว่า ในแม่น้ำท่าจีนมีการรุกล้ำความเค็มเป็นระยะทางที่ไกลขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคตข้างหน้า ดังนั้นในการแก้ปัญหาการรุกล้ำความเค็มดังกล่าวต้องทำการเพิ่มปริมาณการไหลในแม่น้ำเพื่อช่วยในการขับไล่ความเค็มในแม่น้ำ ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวจึงได้พิจารณาจำลองเพิ่มการปล่อยน้ำจากเขื่อนแม่กลอง (แม่น้ำแม่กลอง) ให้ไหลลงมาสมทบในแม่น้ำท่าจีนโดยการผันน้ำผ่านคลองจระเข้สามพันและคลองท่าสาร-บางปลา เพื่อให้มีปริมาณน้ำในแม่น้ำเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ช่วยในการขับไล่ความเค็มให้ลงสู่ปากแม่น้ำทำให้ความเค็มในแม่น้ำลดน้อยลง

ในการลดปัญหาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำได้ทำการจำลองสถานการณ์ในการเพิ่มปริมาณน้ำในแม่น้ำ โดยจะพิจารณาเริ่มให้มีการเพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำเพิ่มขึ้น 20, 40, 60, 80, และ100 ลบ.ม./วินาที จากปริมาณน้ำที่มีอยู่เดิมในแม่น้ำตามลำดับ และจะพิจารณาวิเคราะห์ถึงการการเพิ่มอัตราการไหลเพื่อขับไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2558 ปี พ.ศ. 2563 และปี พ.ศ. 2568 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการน้ำในแม่น้ำท่าจีนต่อไปในอนาคต

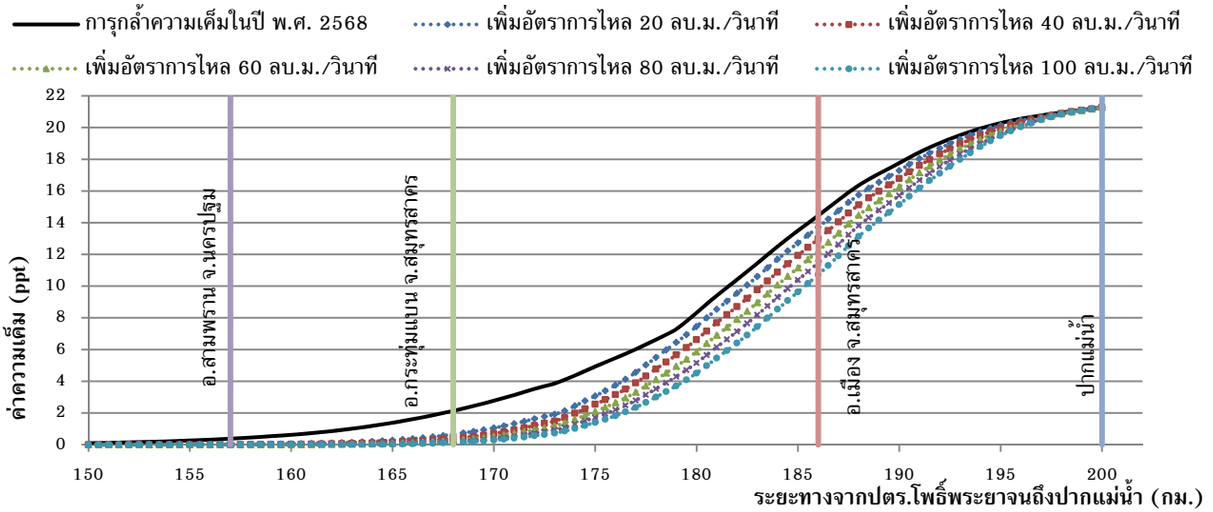
จากการเพิ่มอัตราการไหลและวิเคราะห์จากแบบจำลองพบว่าค่าความเค็มจะค่อย ๆถูกผลักดันให้ไหลไปทางปากแม่น้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งถ้ายิ่งเพิ่มอัตราการไหลมากขึ้นเท่าใดจะส่งผลให้ค่าความเค็มในบริเวณนั้นลดลงดังแสดงในรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 4 การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2558



รูปที่ 5 การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2563

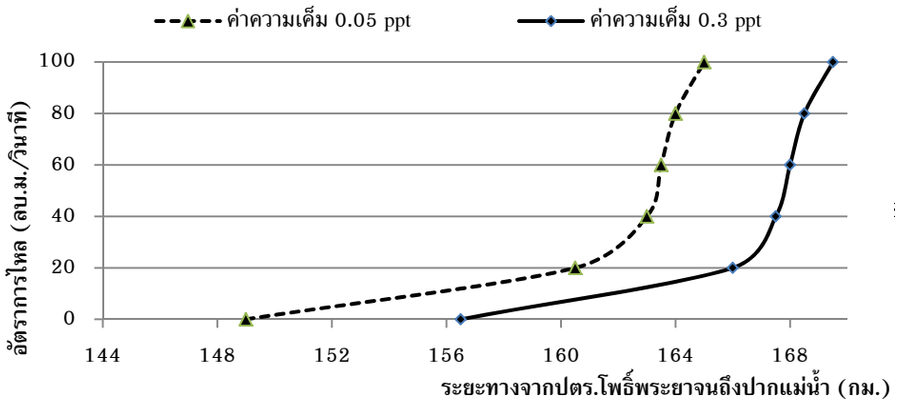


รูปที่ 6 การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2568

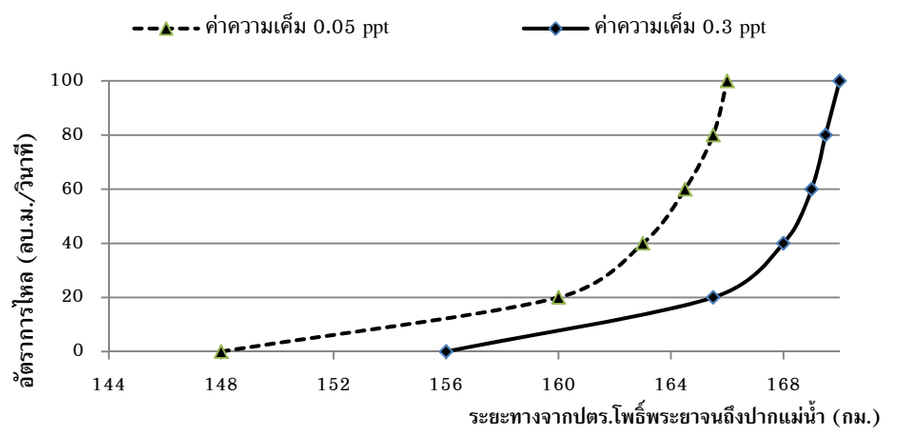
ในการพิจารณาค่าความเค็มที่อยู่ในช่วงของการเริ่มมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชค่าความเค็มจะอยู่ที่ 0.05 ppt จนถึงค่าความเค็ม 0.3 ppt จากการศึกษาพบว่าตำแหน่งค่าความเค็มดังกล่าวในแม่น้ำจะถูกผลักดันออกไปตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล โดยอัตราการไหลที่มีความอ่อนไหวในการขับไล่ความเค็มมากที่สุดจะอยู่ที่ 20 ลบ.ม./วินาที ซึ่งจะสามารถขับไล่ความเค็มออกไปได้เป็นระยะทางที่ไกลสุด ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 7 ถึงรูปที่ 9ซึ่งจากการที่เพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำจะสังเกตเห็นว่าในการเพิ่มอัตราการไหลในปริมาณมาก ๆ (40 ลบ.ม.ต่อวินาที ขึ้นไป) จะไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขับไล่ความเค็มมากนัก โดยเมื่อพิจารณาจากความชันของเส้นกราฟในช่วงอัตราการไหล 20-40ลบ.ม.ต่อวินาที จะมีความชันมากกว่าเส้นกราฟในช่วงอัตราการไหล 40 ลบ.ม.ต่อวินาที ขึ้นไปทั้งนี้เป็นผลมาจากพฤติกรรมการไหลในแม่น้ำที่มีระดับน้ำทะเลหนุนอยู่ตลอดเวลาส่งผลให้น้ำในแม่น้ำไม่สามารถไหลลงทะเลได้อย่างสะดวก ดังนั้นในการเพิ่มอัตราการไหล 20 – 40 ลบ.ม.ต่อวินาที จะทำให้มีประสิทธิภาพในการขับไล่ความเค็มสูงที่สุด

ตารางที่ 2 ตำแหน่งของค่าความเค็มที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในการเพิ่มอัตราการไหล

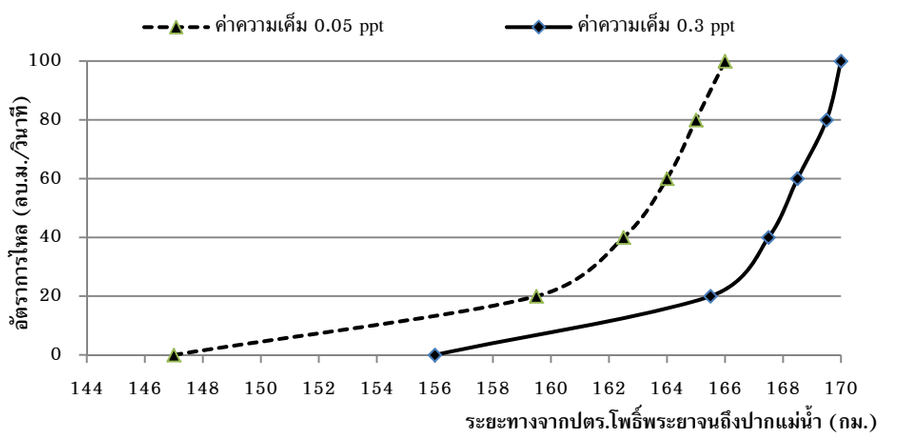
เพิ่ม Q (ลบ.ม/วินาที)	พ.ศ. 2558		พ.ศ. 2563		พ.ศ. 2568	
	สถานี (กม.)		สถานี (กม.)		สถานี (กม.)	
	0.05 ppt	0.3 ppt	0.05 ppt	0.3 ppt	0.05 ppt	0.3 ppt
0	149	156.5	148	156	147	156
20	160.5	166	160	165.5	159.5	165.5
40	163	167.5	163	168	162.5	167.5
60	163.5	168	164.5	169	164	168.5
80	164	168.5	165.5	169.5	165	169.5
100	165	169.5	166	170.5	166	170



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำในปี พ.ศ. 2558



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำในปี พ.ศ. 2563



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำในปี พ.ศ. 2568

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำจะพบว่าการเพิ่มปริมาณการไหลสูง ๆจะส่งผลช่วยในการขับไล่ความเค็มในช่วงฤดูแล้งได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการไหลที่เพิ่มขึ้นในปริมาณมากอาจจะส่งผลให้ปริมาณน้ำเกินความจุของลำน้ำเดิมได้ซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่งท่วมพื้นที่การเกษตรได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณ กม. 40-กม.60 (ในช่วง อ.บางปลาม้า และ อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี) มีความจุลำน้ำไม่เกิน 78 ลบ.ม./วินาที ดังนั้นในการบริหารจัดการในการขับไล่ความเค็มจึงควรพิจารณาขอความร่วมมือในการผันน้ำจากเขื่อนแม่กลองเป็นสำคัญเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในแม่น้ำท่าจีนให้ดีขึ้น

7. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำมีสาเหตุโดยตรงมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นต่อเนื่องทุกปีบวกกับเกิดการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำที่บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งจากการวิเคราะห์ทำให้สามารถพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่แท้จริงเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรต่อปีซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นดังกล่าวนี้จะส่งผลถึงการรุกล้ำความเค็มเข้าไปในแม่น้ำได้ไกลขึ้น โดยผลพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี 2558 2563 และ 2568 พบว่า ค่าความเค็มจะรุกขึ้นไปถึง กม.149 กม.148 และ กม.147 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบัน ที่จะรุกมาถึงที่ กม.150 และผลการวิเคราะห์ความเค็มในอนาคตปี 2568 ทำให้ทราบว่า บริเวณ บ้านตลาดสามพราน อ.สามพราน จ.นครปฐม ที่ระยะทาง 55 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ หรือในกม.ที่ 147 เรื่อยมาถึงบริเวณปากแม่น้ำ น้ำในแม่น้ำจะมีค่าความเค็มที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อพื้นที่เกษตรกรรม ดังนั้นการควบคุมความเค็มเพื่อลดผลกระทบดังกล่าวจะใช้มาตรการเพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำท่าจีนผลการวิเคราะห์พบว่าการเพิ่มอัตราการไหลจะแปรผันโดยตรงกับระยะทางการขับไล่ความเค็มที่เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของระยะทางการขับไล่ความเค็มไม่ได้เป็นสัดส่วนเดียวกับในทุก ๆการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล โดยอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการขับไล่ความเค็มของแม่น้ำท่าจีนจะอยู่ที่ 20-40 ลบ.ม.ต่อวินาที เพราะอัตราการไหลดังกล่าวนี้จะขับไล่ความเค็มให้ออกไปได้ระยะทางไกลกว่าเมื่อเปรียบเทียบระยะทางการขับไล่ความเค็มจากการเพิ่มอัตราการไหลที่สูงกว่านี้ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการขับไล่ความเค็มไม่ได้สูงมากนักทั้งนี้เนื่องจากปัญหาจากน้ำทะเลหนุนที่บริเวณด้านท้ายน้ำส่งผลให้น้ำในแม่น้ำไหลออกไม่สะดวก และอีกประการหนึ่งการเพิ่มอัตราการไหลในปริมาณที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดปัญหาน้ำล้นตลิ่งซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเกษตรกรริมฝั่งแม่น้ำได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการตีพิมพ์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และใช้ซอฟแวร์แบบจำลองต่าง ๆภายใต้ห้องปฏิบัติการวิจัยการจำลองระบบทรัพยากรน้ำด้วยคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน กรมเจ้าท่า กรมควบคุมมลพิษและศูนย์อุทกวิทยาภาคตะวันตก ที่อนุเคราะห์ข้อมูลประกอบการศึกษาและขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาตลอดการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Royal Irrigation Department. Report of Feasibility Study and Environmental Impact of the Tha Chin River Regulator Project (Lower part) Suphanburi, Nakornpathom, and Samutsakorn Province. Report of Environmental Impact (Main Report). Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, 1998 ก.

[2] Royal Irrigation Department. Report of Feasibility Study and Environmental Impact of the Tha Chin River Regulator Project (Lower part) Suphanburi, Nakornpathom, and Samutsakorn Province. Report of Environmental Impact (Main Report). Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, 1998 ข.

[3] Nuttawut I. and Wisuwat T. (2014). Longitudinal Salinity Intrusion and Dispersion along the Thachin River Due to Sea Level Rise. Journal of Science and Technology Vol. 3, No. 2

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

[5] 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

[6] Department of Groundwater Resources. Survey and study of subsidence of the earth as a system in crisis groundwater. Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok, 2012.

[7] 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

[8] Nguyen, A. D., Savenije, H. H. G., Pham, D. N., and Tang, D. T., (2007). Using salt intrusion measurements to determine the freshwater discharge distribution over the branches of a multi-channel estuary: The Mekong Delta case. Journal of Estuarine Coastal and Shelf Science.Pp 433-445

[9] 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

[10] Buranaprathepprat, 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.

[11] Poovadon P. Water Quality Analysis in Bang Pakong River by MIKE11 Mathematical Model . M.Eng thesis, Kasetsart University, Bangkok, 2001

[12] Yuwaret V. Water Quality Investigation in the Upper Ping River by an Application of the MIKE 11 Model. M.Eng thesis, Kasetsart University, Bangkok, 2007.

[13] Nuttawut I. and Wisuwat T. The study of hydrodynamic model calibration in Thachin river of tidal effect. Proceedings of the 17th National Convention on Civil Engineering. Udon Thani, pp. 1-7.

[14] 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.