การวิเคราะห์การรุกตัวของความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา

Salinity Intrusion Analysis in The Chao Phraya River

วิศรุต บุตรแสงดี[1] , วรรณดี ไทยสยาม[2] , จิระวัฒน์ กณะสุต[3]

Witsarut Butsangdee[1] , Wandee Thaisiam[2] , Jirawat Kanasut[3]

[1,2,3] **ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน**

E-mail: witsarut.not66@gmail.com[1] , fengwdt@ku.ac.th[2], fengjwg@ku.ac.th[3]

บทคัดย่อ

แม่น้ำเจ้าพระยาได้รับอิทธิพลจากการขึ้น-ลงของระดับน้ำทะเล ทำให้ในช่วงฤดูแล้งประสบปัญหา ความเค็มรุกล้ำเข้ามาในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างส่งผลต่อคุณภาพน้ำดิบที่นำไปผลิตน้ำประปาที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล จังหวัดปทุมธานี ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11– HD เพื่อจำลองการไหลในลำน้ำ และแบบจำลอง MIKE 11-AD เพื่อจำลองการพัดพาและแพร่กระจายความเค็ม ของแม่น้ำเจ้าพระยาตั้งแต่ มกราคม ถึง พฤษภาคม ปี พ.ศ.2560และปี พ.ศ.2561 ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ แบบจำลอง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ (Manning's n)ของแม่น้ำเจ้าพระยามีค่าอยู่ ระหว่าง 0.026 – 0.040 และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายความเค็มมีค่าอยู่ระหว่าง 1000 –1800 ตารางเมตร ต่อวินาที การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาการรุกตัวของความเค็มที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล หากมีการก่อสร้างสูบน้ำดิบอีกแห่ง บริเวณอำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา ช่วงเดือน มกราคม ถึง พฤษภาคม ปี พ.ศ.2561 กรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการสูบน้ำสถานีสำแล อัตราสูบน้ำ 4.0 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน และมีการสูบน้ำที่สถานีบางไทร อัตราการสูบน้ำ 1.0 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน พบว่าค่าความเค็มสูงขึ้น เดือนที่มีความเค็มมากที่สุด คือ เดือนเมษายน มีค่า 0.225 กรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานค่าความเค็มของน้ำดิบ และอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มเพิ่มขึ้นสูงสุด ที่ร้อยละ 21.42 กรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการสูบน้ำสถานีสำแล อัตราสูบน้ำ 3.5 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน และมีการสูบน้ำที่สถานีบางไทร อัตราการสูบน้ำ1.5 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน พบว่า ค่าความเค็มสูงขึ้น เดือนที่มีความเค็มมากที่สุด คือ เดือนเมษายน มีค่า 0.237 กรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานค่าความเค็มของน้ำดิบ อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มเพิ่มขึ้นสูงสุด ที่ร้อยละ 30.00 กรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการสูบน้ำสถานีสำแล อัตราสูบน้ำ 2.5 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน และมีการสูบน้ำที่สถานีบางไทร อัตราการสูบน้ำ 2.5 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน พบว่าค่าความเค็มสูงขึ้น เดือนที่มีความเค็มมากที่สุด คือเดือนเมษายน มีค่า 0.262 กรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าเกินเกณฑ์มาตรฐานค่าความเค็มของน้ำดิบในการผลิตน้ำประปา0.25 กรัมต่อลิตร โดยมีค่าความเค็มที่เกินเกณฑ์ จำนวน 17 วัน อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ร้อยละ 46.42

คำสำคัญ: แม่น้ำเจ้าพระยา, การรุกตัวความเค็ม , แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11–HD ,แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11–AD

Abstract

The Chao Phraya River is influenced by sea level fluctuations. As a result, during the dry season, the problem of salinity invasion into the Chao Phraya River, affecting many areas, especially the use of water to produce tap water at the raw water pumping station. Pathumthani Province . In this study,using MIKE 11- HD mathematical model simulated flows in the river and using MIKE 11-AD simulated the dispersion of salinity in the river. In the calibration and verification of the model, Between January and May 2017 and 2018, in the calibration and verification of the model, it was found that the river roughness coefficient (Manning's n) of the Chao Phraya River was between 0.026 - 0.040. The salinity diffusion coefficient was between 1000–1800 square meters per second. Application of the model to study salinity penetration at raw water pumping stations. If there is construction of another raw water pumping Bang Sai area Ayutthaya Province, January to May 2018 **Case Study 1** When pumping water stations, the pumping rate is 4.0 million cubic meters per day.

And water is pumped at Bang Sai Station The pumping rate is 1.0 million cubic meters per day. It was found that the salinity was higher. The salinity of the month was the highest at 0.225 g / l, which is not exceeding the raw water salinity standard. And the rate of change in salinity increased the highest at 21.42 percent. **Case Study 2** when the pumping station was pumped 3.5 million cubic meters per day. And water is pumped at Bang Sai Station The pumping rate of 1.5 million cubic meters per day. It was found that the salinity was higher. The salty month in April is0. 237 grams per liter, which is not exceeding the salinity standard of raw water. The highest salinity change rate was 30.00 percent. **Case Study 3** when pumping stations were pumped at 2.5 million cubic meters per day. And water is pumped at Bang Sai Station The pumping rate of 2.5 million cubic meters per day. It was found that the salinity was higher. The salinity month in April was 0.262 g / l, which was over the norm.Salinity of raw water in tap water production was 0.25 g / l with a salinity value exceeding the threshold for 17 days. The highest salinity change rate increased at 46.42 percent.

Keywords: Chao Phraya River , Salinity Intrusion , MIKE 11-HD mathematical model, MIKE 11-AD mathematical model,

1. **บทนำ**

แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแม่น้ำที่มีความสำคัญต่อการอุปโภค-บริโภค การเกษตร การอุตสาหกรรมและอื่นๆ ของประชาชนที่ใช้น้ำอยู่ตลอดสองฝั่งแม่น้ำ ในช่วงฤดูแล้งของทุกปี แม่น้ำเจ้าพระยาจะได้รับอิทธิพลของน้ำทะเลหนุนจากปากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้ามา รวมกับการกระจายน้ำเข้าพื้นที่การเกษตรเป็นเหตุให้ปริมาณน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามีอัตราการไหลไม่มากนัก ทำให้ค่าความเค็มของน้ำ ณ จุดต่างๆ ของแม่น้ำเจ้าพระยาในบางช่วงเวลามีค่าสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณปากคลองสำแล จ.ปทุมธานีซึ่งเป็นต้นคลองแหล่งน้ำดิบของการประปานครหลวง ทำให้เกิดผลกระทบต่อการอุปโภค-บริโภคของประชาชนในเขตเมือง ตลอดจนการขาดแคลนน้ำจืดในการทำการเกษตรพืชไร่ พืชสวนในพื้นที่ชุ่มน้ำตอนล่าง และการประมงสัตว์น้ำจืด โดยน้ำที่จะใช้ในการอุปโภค-บริโภคนั้น ค่าความเค็มของน้ำที่ใช้สำหรับการผลิตน้ำประปาจะต้องไม่เกินมาตรฐานในการผลิตน้ำประปาที่ 0.25 กรัมต่อลิตร

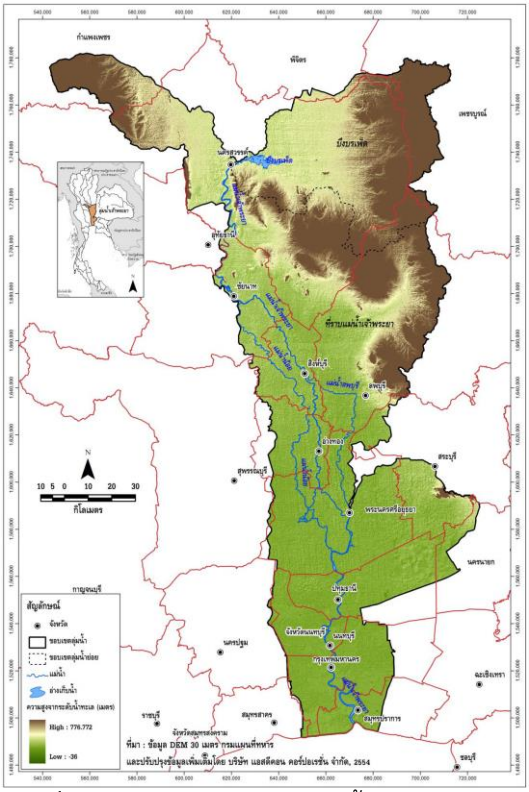
ทางการประปานครหลวงได้จัดทำรายงานศึกษาศักยภาพและแนวทางการแก้ไขวิกฤตการณ์ด้านแหล่งน้ำดิบ ได้ศึกษาแนวทางในการปรับเปลี่ยนจุดรับน้ำดิบเพื่อบรรเทาปัญหาจากการรุกตัวของความเค็มที่มีผลต่อการผลิตน้ำดิบของการประปานครหลวงจากตำแหน่งเดิมที่สถานีสูบน้ำดิบสำแลอำเภอเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี โดยการพิจารณาตำแหน่งที่ตั้งจากความเหมาะสม ด้านวิศวกรรม เป็นจุดรับน้ำดิบบริเวณอำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยตั้งอยู่ด้านเหนือน้ำของสถานีสูบน้ำดิบสำแล จากปัญหาการรุกตัวความเค็มดังกล่าว จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิเคราะห์การรุกตัวของน้ำเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา เพื่อจะนำผลจากการศึกษามาเป็นข้อมูล ในการแก้ไขปัญหา โดยกรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มบริเวณสถานีสูบน้ำดิบสำแล จังหวัดปทุมธานี หากมีการดำเนินการก่อสร้างสถานีสูบน้ำดิบเพื่อนำมาผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวงอีกแห่ง บริเวณอำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา โดยนำผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มมาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการน้ำต่อไป และบรรเทาการรุกตัวของความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งเป็นแหล่งน้ำดิบที่สำคัญของการประปานครหลวง

การศึกษาการเคลื่อนตัวของความเค็มในแม่น้ำได้มีการประยุกต์แบบจำลอง MIKE11 ในการวิเคราะห์การไหลในแม่น้ำและการเคลื่อนตัวของความเค็ม อาทิเช่น การประปานครหลวง (2556) ได้ทำการว่าจ้างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อทำการศึกษา โครงการศึกษาศักยภาพและแนวทางการแก้ไขวิกฤติการณ์ด้านแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันออก โดยศึกษาการรุกตัวของความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา ครอบคลุมพื้นที่ ตั้งแต่ปากอ่าวไทยไปจนถึงด้านเหนือน้ำของสถานีสูบน้ำดิบสำแล โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการศึกษาครั้งนี้ผลจากการศึกษาการตรวจพิสูจน์แบบจำลองการเคลื่อนย้ายและแพร่กระจายกับค่าความเค็มที่ตรวจวัดจากกรมชลประทาน ที่สถานีวัดค่าความเค็มสำแลและศาลากลางพระประแดง จากการตรวจพิสูจน์แบบจำลองค่าความเค็มในปี พ.ศ. 2553 ช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม พบว่าค่าดัชนีการยอมรับ (IA) อยู่ระหว่าง 0.72-0.87 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) อยู่ระหว่าง 0.71 – 0.81 ณัฐวุฒิ (2557) ได้ศึกษาสภาพอุทก

พลศาสตร์และการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการจำลองและวิเคราะห์การไหลของน้ำในพื้นที่ซึ่งได้รับอิทธิพลจากระดับน้ำทะเล โดยในการศึกษาจะทำการทดลองปรับเทียบโค้งการไหล ของสถานีวัดท่า T1 ของปี พ.ศ.2553 และปี พ.ศ.2554 ในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ และในช่วงฤดูน้ำหลาก ระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม โดยพิจารณาการไหลแบบคงที่ กำหนดขอบเขตการไหลด้านเหนือน้ำมีค่าตั้งแต่ 5 จนถึง 705 ลบ.ม.ต่อวินาที และกำหนดขอบเขตด้านท้ายน้ำเป็นระดับน้ำคงที่ ที่ระดับ -0.5, 0.65 และ 1.00 เมตร (รทก.) พบว่าน้ำมีการไหลค่อนข้างน้อย(ในฤดูน้ำหลาก) โดยการไหลจะได้รับอิทธิพลของระดับน้ำทะเลที่ลดลง ดังนั้น ในการปรับเทียบแบบจำลองจำเป็นต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านท้ายน้ำ โดยผลการปรับเทียบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ manning's n ทั้งลำน้ำมีค่าเท่ากับ 0.0375 ซึ่งจะทำให้ค่าที่ดีที่สุดทางสถิติ R^2 , NSE และ RMSE เท่ากับ 0.741, 0.703, 0.197 ตามลำดับ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าแบบจำลอง MIKE 11 สามารถประยุกต์ใช้ในการจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำและความเค็มในแม่น้ำได้อย่างดี การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา ที่เกิดจากน้ำทะเลหนุนในช่วงฤดูแล้ง และวิเคราะห์การรุกตัวของความเค็มที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล ในกรณีเพิ่มจุดสูบน้ำดิบบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาเขตพื้นที่อำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา เพื่อเป็นแนวทางในการบริหาจัดการน้ำต่อไป

2. พื้นที่ศึกษา

แม่น้ำเจ้าพระยา มีจุดกำเนิดอยู่ที่ปากน้ำโพจังหวัดนครสวรรค์ โดยจะไหลจากทิศเหนือลงสู่อ่าวไทยผ่านที่ราบภาคกลางในเขตจังหวัดนครสวรรค์และลพบุรี ซึ่งเป็นที่ราบสูงมีเนินเขาเป็นสันกั้นน้ำระหว่างลุ่มน้ำเจ้าพระยาและลุ่มน้ำป่าสัก ส่วนทางตอนล่างอยู่ในเขตจังหวัดสระบุรีและฉะเชิงเทรา เป็นที่ราบลาดเขาลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา และเป็นที่ราบชายฝั่งทะเลในเขตจังหวัดสมุทรปราการ ทางฝั่งตะวันตกของลุ่มน้ำ ตอนบนเป็นที่ราบและตอนล่างเป็นที่ราบลุ่ม ซึ่งมีเขตติดต่อกับลุ่มน้ำท่าจีนลาดลงไปจรดชายฝั่งทะเล โดยมีความยาวของแม่น้ำเจ้าพระยาลงไปจนถึงพื้นที่ปากอ่าวไทย ประมาณ 379 กิโลเมตร ลักษณะทางกายภาพในบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาดังแสดงงรูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา คือแม่น้ำเจ้าพระยา ตั้งแต่ท้ายเขื่อนเจ้าพระยา อำเภอสรรพยา ลงมาจนถึงป้อมพระจุลจอมเกล้า จังหวัดสมุทรปราการ



รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพแม่น้ำเจ้าพระยา

3. ทฤษฎีเกี่ยวข้อง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE11 ด้านอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Module).....

คำนวณการไหลใน 1 มิติ โดยใช้ทฤษฎีของกฎทรงมวลคือ มวลน้ำไม่สูญหายไป และหากมีแรง กระทำที่ไม่สมดุลจึงเกิดการเคลื่อนทีของมวลน้ำ ในรูปแบบของสมการของ Saint-Venant จะประกอบไปด้วยสมการต่อเนื่อง (Continuity equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum equation) ซึ่งเป็นแบบ 1 มิติ (1 - Dimension) มีรูปแบบของสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \qquad \text{สมการต่อเนื่อง}$$

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

เมื่อ Q คือ อัตราการไหล
A คือ พื้นที่หน้าตัด
X คือ ระยะทาง
t คือ เวลา
B คือ ความกว้างของลำน้ำ
g คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก
S_f คือ ความลาดชันของความเสียดทาน
S_0 คือ ความลาดชันท้องน้ำ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE11 จำลองการพาและแพร่กระจายสสาร (Advection-Dispersion Module)

แบบจำลอง MIKE 11 AD เป็นแบบจำลองที่อธิบายถึงลักษณะการเคลื่อนตัวของสารในลำน้ำแบบหนึ่งมิติ ซึ่งอาศัยสมการหลัก 2 สมการคือ สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) และสมการการพาและการแพร่กระจาย (Advection-Dispersion Equation) โดยสามารถอธิบายถึงกลไกการเคลื่อนที่ของสสารในล้ำในการจำลองการ เคลื่อนที่มวลสารในลำน้ำนั้นใช้หลักการของกฎทรงมวล โดยจำลองการไหลใน 1 มิติสมการพื้นฐานที่ใช้ ในการคำนวณ ดังต่อไปนี้

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

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารในน้ำ (g/m^3)
D = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)
A = พื้นที่หน้าตัดลำน้ำ (m^2)
K = สัมประสิทธิ์การย่อยสลายแบบเส้นตรง (s^{-1})
C_s = ความเข้มข้นของสารที่ปล่อยลงสู่ลำน้ำ
q = อัตราการไหลของน้ำทิ้งลงสู่ลำน้ำ ($m^3/s/m$)
x = ระยะห่างระหว่างตำแหน่งกริด
t = เวลา (t)

สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Dispersion Coefficient)

การพิจารณาการแพร่กระจายของมวลสารในลำน้ำ จะพิจารณาตามความยาวของลำน้ำเป็นสำคัญ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเร็วการไหลแบบไม่คงที่ตามเวลา (Non-uniform Velocity) และการแพร่กระจาย (Diffusion) โดยค่า

สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเป็นฟังก์ชั่นของความเร็วการไหลเฉลี่ย (Mean Flow Velocity) ซึ่งอาศัยหลักการแพร่กระจายของ Fick (Fick Diffusion Law) โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสามารถคำนวณได้จากสมการในรูปทั่วๆไปดังนี้

$$D_f = fV^{exp}$$

เมื่อ D = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)
f = แฟคเตอร์การแพร่กระจาย
V = ความเร็วการไหล (m/s)
exp = ค่าคงที่ยกกำลัง (Dimensionless Exponent)

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

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

4. วิธีการศึกษา

1.การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานต่าง ๆ ได้แก่ กรมชลประทาน กรมเจ้าท่า และกรมแผนที่ทหาร เพื่อนำมาใช้ในการจัดทำแบบจำลอง จากนั้นจึงทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเพื่อให้แบบจำลองที่จะจัดทำขึ้นในการศึกษานี้มีความถูกต้อง ข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำแบบจำลอง ประกอบด้วย

(1) ข้อมูลลักษณะรูปร่าง รูปตัดขวาง ของลำน้ำสายหลัก และลำน้ำสาขา ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำลพบุรี แม่น้ำน้อย และแม่น้ำป่าสัก จากหน่วยงานกรมชลประทาน

(2) แผนที่ภูมิประเทศ: แผนที่มาตราส่วน 1: 50,000 ของกรมแผนที่ทหารครอบคลุมพื้นลุ่มน้ำเจ้าพระยา

(3) ข้อมูลระดับน้ำ: ทำการรวบรวมข้อมูลระดับน้ำ สถานีวัดน้ำ C.7A อ.เมืองอ่างทอง จ.อ่างทอง สถานีวัดน้ำ C.35 อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา สถานีวัดน้ำ C.38 อ.เมืองปทุมธานี จ.ปทุมธานี และสถานีวัดน้ำป้อมพระจุลจอมเกล้า อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ จากหน่วยงานกรมชลประทานและกรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ

(4) ข้อมูลอัตราการไหล: ทำการรวบรวมข้อมูลอัตราการไหล สถานีวัดน้ำ C.13 อ.สรรพยา จ.ชัยนาท สถานีวัดน้ำ S.26 อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยาจากหน่วยงานกรมชลประทาน

(5) ข้อมูลค่าความเค็ม: ทำการรวบรวมข้อมูลความเค็มปี พ.ศ.2560 – 2561 สถานีสูบน้ำดิบสำแล อ.เมืองปทุมธานี จ.ปทุมธานี จากหน่วยงานกรมชลประทาน และการประปานครหลวง

2.จัดทำแบบจำลอง

สำหรับการจัดทำแบบจำลองเพื่อจำลองสภาพการไหล และจัดทำแบบจำลองการพัดพา และการแพร่กระจายของสสาร ของแม่น้ำเจ้าพระยา พื้นที่ศึกษา ตั้งแต่ท้ายเขื่อนเจ้าพระยา อำเภอสรรพยาจังหวัดชัยนาท ลงมาจนถึงป้อมพระจุลจอมเกล้าอำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ สำหรับขั้นตอนในการจัดทำแบบจำลอง มีรายละเอียดดังนี้

2.1 การกำหนดโครงข่ายลำน้ำ

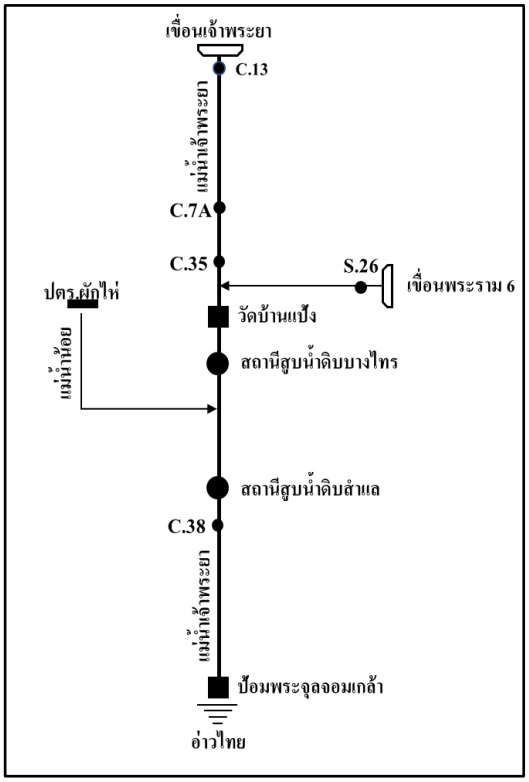
สำหรับการกำหนดโครงข่ายของลำน้ำเจ้าพระยา เพื่อเป็นเส้นทางการไหลของลำน้ำหลัก และลำน้ำสาขาให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงในปัจจุบัน แสดงโครงข่ายล้ำน้ำของลุ่มน้ำเจ้าพระยาในแบบจำลอง MIKE11 HD/AD ดังรูปที่ 22 สำหรับขอบเขตเงื่อนไขของลำน้ำ มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ขอบเขตเงื่อนไขแบบจำลองทางชลศาสตร์

- ขอบเขตเงื่อนไขด้านเหนือน้ำ ใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันลำน้ำสายหลักแม่น้ำเจ้าพระยาที่สถานีวัด C.13 ท้ายเขื่อนเจ้าพระยา อ.สรรพยา จ.ชัยนาท

- ขอบเขตเงื่อนไขด้านข้าง ใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวัน ได้แก่ ลำน้ำสาขาแม่น้ำป่าสักที่สถานีวัด S.26 อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยา และแม่น้ำน้อยที่ประตูระบายน้ำผักไห่ จ.พระนครศรีอยุธยา

- ขอบเขตเงื่อนไขด้านท้ายน้ำ ใช้ข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมงที่ป้อมพระจุลจอมเกล้า อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการโดยขอบเขตการศึกษาแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขอบเขตการศึกษา

2.1.2 ขอบเขตเงื่อนไขแบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจาย

- ขอบเขตเงื่อนไขด้านเหนือน้ำ ใช้ข้อมูลความเค็มรายวันที่ได้จากการกำหนดค่าของลำน้ำสายหลักแม่น้ำเจ้าพระยาที่สถานีวัด C.13 ท้ายเขื่อนเจ้าพระยา อ.สรรพยา จ.ชัยนาท

- ขอบเขตเงื่อนไขด้านข้าง ใช้ข้อมูลความเค็มรายวัน ได้แก่ ลำน้ำสาขาแม่น้ำป่าสักที่สถานีวัด S.26 อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยา และแม่น้ำน้อยที่ประตูระบายน้ำผักไห่ จ.พระนครศรีอยุธยา

- ขอบเขตเงื่อนไขด้านท้ายน้ำที่ป้อมพระจุล ใช้ข้อมูลความเค็มที่กำหนดเท่ากับค่าความเค็มน้ำทะเล

3. การปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

การปรับเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ให้ค่าที่ดีที่สุดทางสถิติ จะทำการปรับเทียบจนกระทั่งค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการเก็บสำรวจมากที่สุดตัวแปรทางสถิติที่ใช้ในการประกอบการตัดสินใจความแม่นยำของแบบจำลองประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์, ค่าดัชนีการยอมรับ และค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งในการปรับเทียบแบบจำลองในการศึกษานี้แบ่งเป็น การปรับเทียบแบบจำลองชลศาสตร์โดยทำการปรับแก้สัมประสิทธิ์ความขรุขระตลอดลำน้ำหรือเฉพาะช่วงใดช่วงหนึ่งของลำน้ำ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ข้อมูลระดับน้ำปี พ.ศ.2560 ที่ตำแหน่งสถานีวัดน้ำ C.7A, C.35 และC.38 เป็นตำแหน่งปรับเทียบแบบจำลองของแม่น้ำเจ้าพระยา แสดงดังรูปที่ 3 และตารางที่ 1 และทำการสอบเทียบจนได้ค่าการคำนวณจากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัดจริงให้ผลทางสถิติที่ดีที่สุด และการพัดพาและแพร่กระจาย จะทำการปรับแก้สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย โดยใช้ข้อมูลความเค็มปี พ.ศ.2560 ที่สถานีวัดบ้านแป้ง จ.อยุธยา และสถานีสูบน้ำดิบสำแล จ.ปทุมธานี เป็นตำแหน่งปรับเทียบค่าความเค็มของแม่น้ำเจ้าพระยา

การตรวจพิสูจน์แบบจำลองเพื่อยืนยันค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่ผ่านขั้นตอนการปรับเทียบสามารถใช้ได้กับสภาพลำน้ำจริงในเหตุการณ์อื่นๆ โดยการเปลี่ยนชุดข้อมูลขอบเขตเงื่อนไขโดยแบ่งเป็นการตรวจพิสูจน์แบบจำลองชลศาสตร์ จะเลือกใช้ข้อมูลระดับน้ำปี พ.ศ.2561 ที่ตำแหน่งสถานีวัดน้ำ C.7A, C.35 และ C.38 เป็นตำแหน่งตรวจพิสูจน์ แสดงดังรูปที่ 3 และการตรวจสอบแบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจาย จะเลือกใช้ข้อมูลความเค็มปี พ.ศ. 2561 ที่ตำแหน่งสถานีวัดบ้านแป้ง จ.อยุธยา และสถานีสูบน้ำดิบสำแล จ.ปทุมธานี เป็นตำแหน่งตรวจสอบแบบจำลองของแม่น้ำเจ้าพระยา

5. ผลการศึกษา

1. การสอบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์

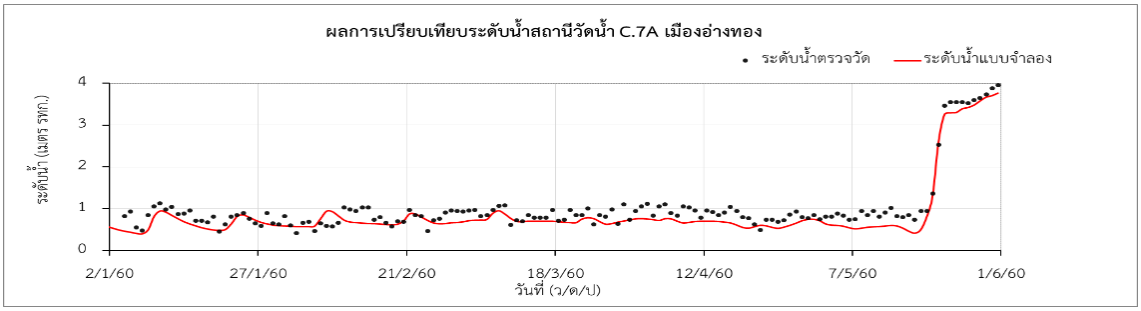
ในการศึกษาได้ทำการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ (Manning's n) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยผลการคำนวณจากแบบจำลองทางชลศาสตร์โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ.2560 ของแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างที่มีข้อมูลเพียงพอสำหรับนำมาใช้ในการศึกษาจำนวน 3 สถานี ได้แก่ สถานีวัดน้ำ C.7A, สถานีวัดน้ำ C.35 และสถานีวัดน้ำ C.38 ซึ่งค่าดังกล่าวจะเป็นค่าที่ยอมรับทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 3

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ (Manning's n) ณ ตำแหน่งต่าง ๆในแม่น้ำเจ้าพระยา

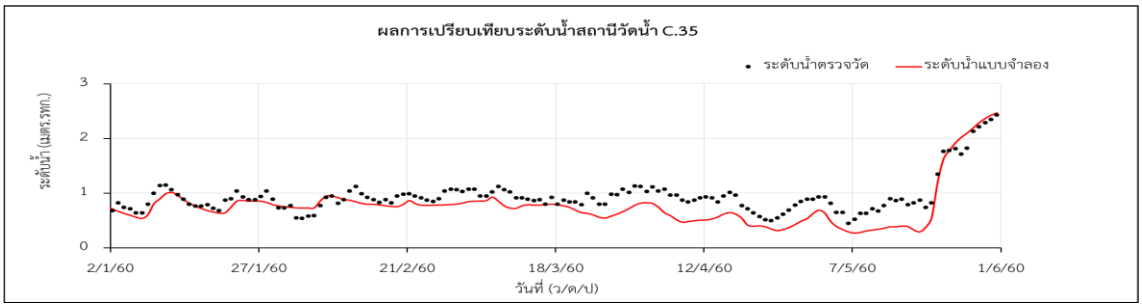
แม่น้ำ	ช่วงพิจารณา	ช่วงระยะทาง (กม.)	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ
แม่น้ำเจ้าพระยา	C.13 – C.7A	0 - 92	0.026
	C.7A – C.35	92 - 124	0.028
	C.35 – C.38	124 - 181	0.032
	C.38 – ป้อมพระจุลฯ	181 - 274	0.040
แม่น้ำป่าสัก	S.26 – แม่น้ำเจ้าพระยา	0 - 93	0.025

ตารางที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิผลของการสอบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ ปี 2560

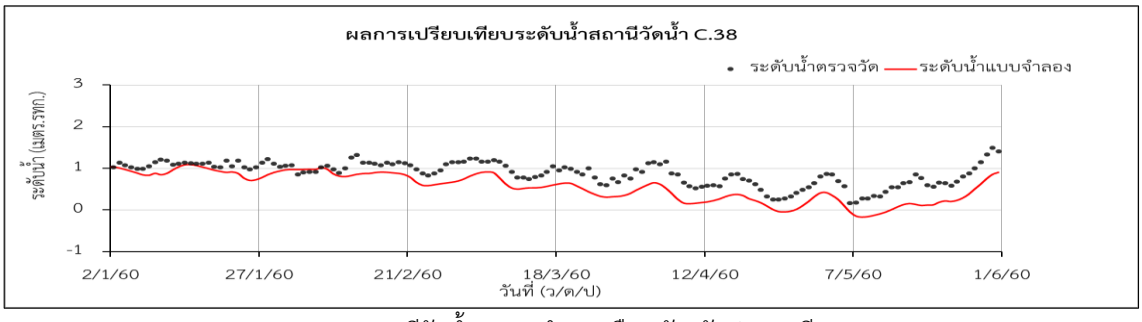
จุดตรวจสอบ	R^2	IA	RMSE (เมตร)
สถานีวัดน้ำ C.7A	0.99	0.97	0.24
สถานีวัดน้ำ C.35	0.96	0.89	0.24
สถานีวัดน้ำ C.38	0.98	0.73	0.36



(ก) สถานีวัดน้ำ C.7A อำเภอเมือง จังหวัดอ่างทอง



(ข) สถานีวัดน้ำ C.35 อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา



(ค) สถานีวัดน้ำ C.38 อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี

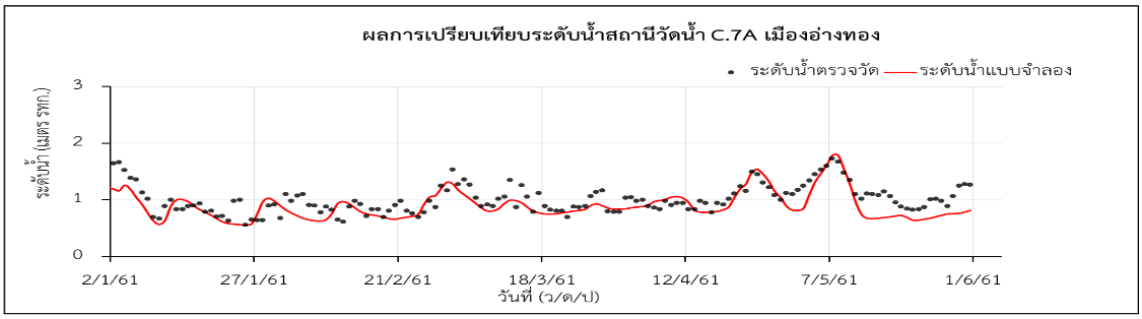
รูปที่ 3 ผลการสอบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์

2. การตรวจพิสูจน์แบบจำลองอุทกพลศาสตร์

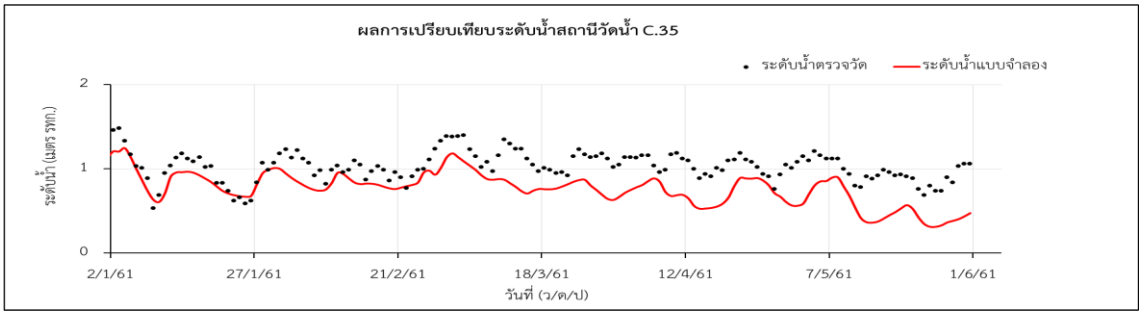
ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ เพื่อตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการคำนวณหลังจากการปรับเทียบแบบจำลอง โดยตรวจสอบข้อมูลระดับน้ำของปี พ.ศ.2561 ซึ่งค่าดังกล่าว จะเป็นค่าที่ยอมรับทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการประเมินประสิทธิผลของการสอบเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ ปี 2561

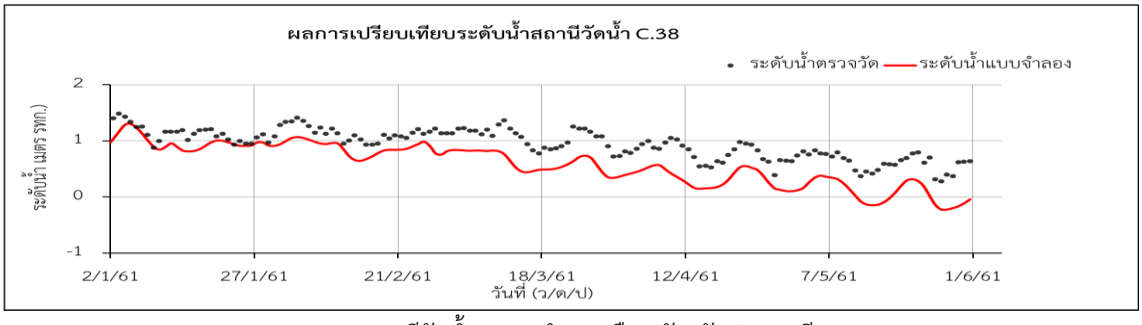
จุดตรวจสอบ	R^2	IA	RMSE
สถานีวัดน้ำ C.7A	0.98	0.97	0.23
สถานีวัดน้ำ C.35	0.98	0.90	0.30
สถานีวัดน้ำ C.38	0.96	0.79	0.34



(ก) สถานีวัดน้ำ C.7A อำเภอเมือง จังหวัดอ่างทอง



(ข) สถานีวัดน้ำ C.35 อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา



(ค) สถานีวัดน้ำ C.38 อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี

รูปที่ 4 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองอุทกพลศาสตร์

3. การสอบเทียบแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายของสสาร

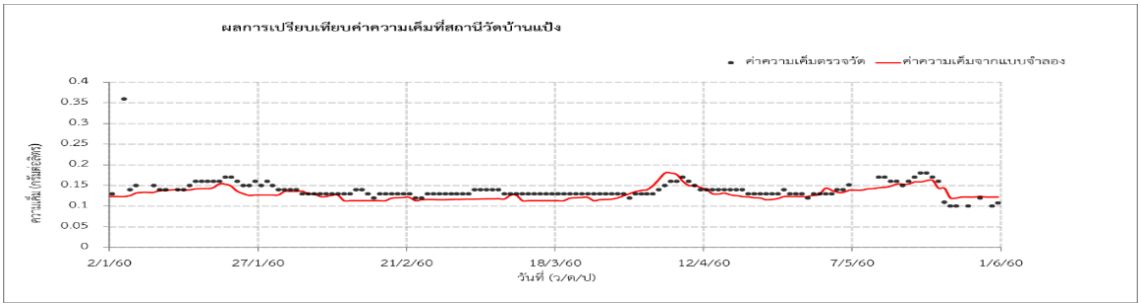
ในการสอบเทียบแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายของสสารได้กำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Dispersion Coefficient) ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยทำการสอบเทียบการแพร่กระจายความเค็ม ซึ่งพิจารณาจากค่าที่ได้จากการสำรวจที่สถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ 2 ตำแหน่ง ได้แก่สถานีวัดบ้านแป้ง จ.อยุธยา และสถานีสูบน้ำดิบสำแล จ.ปทุมธานี มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความเค็มจากแบบจำลอง ซึ่งค่าดังกล่าวจะเป็นค่า ที่ยอมรับทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 5

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Dispersion Coefficient)

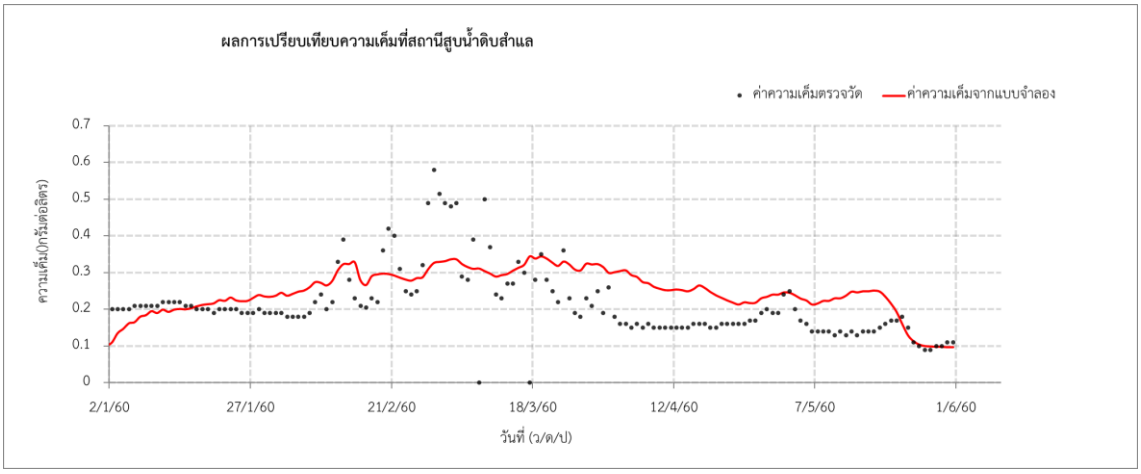
แม่น้ำ	ช่วงระยะทาง (กม.)	Dispersion Factor (กรัม/ลิตร)
แม่น้ำเจ้าพระยา	0-170	1800
	170-220	1200
	220-274	1000

ตารางที่ 5 ผลการประเมินประสิทธิผลของการสอบเทียบแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายของสสาร ปี 2560

สถานีตรวจวัด	R^2	RMSE (กรัม/ลิตร)
สถานีวัดบ้านแป้ง	0.80	0.041
สถานีสูบน้ำดิบสำแล	0.82	0.032



(ก) สถานีวัดบ้างแป้ง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา



(ข) สถานีสูบน้ำดิบสำแล จังหวัดปทุมธานี

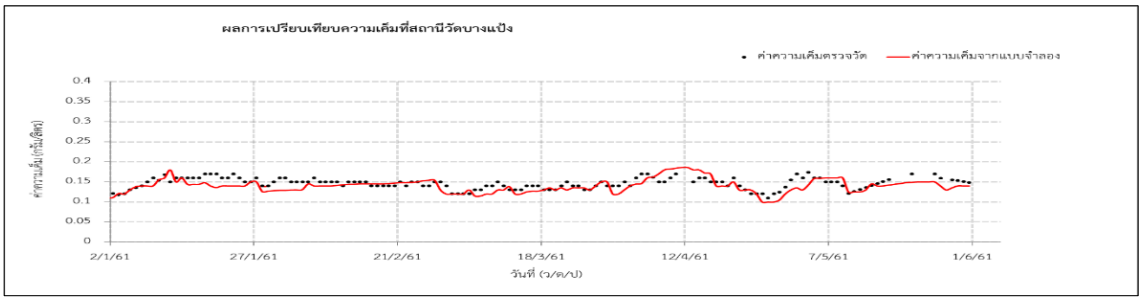
รูปที่ 5 ผลการสอบเทียบแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายของสสาร

4. การตรวจพิสูจน์แบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายของสสาร

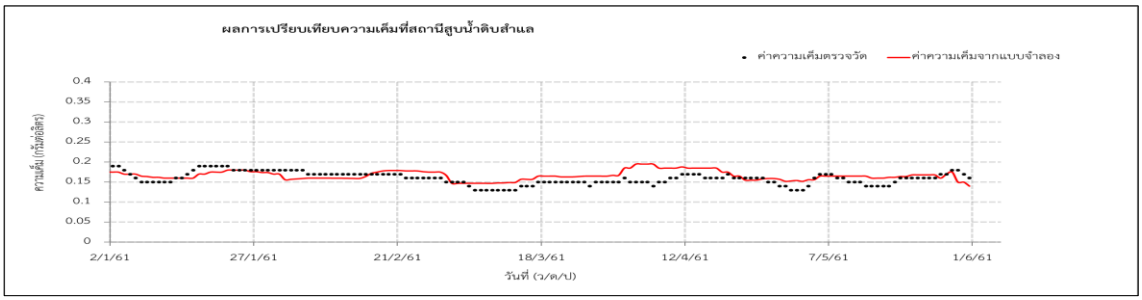
การตรวจพิสูจน์แบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายของสสาร เพื่อตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการคำนวณหลังจากการสอบเทียบแบบจำลอง โดยตรวจสอบข้อมูลระดับน้ำของปี พ.ศ.2561 ซึ่งค่าดังกล่าวจะเป็นค่าที่ยอมรับทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 6 และรูปที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการประเมินประสิทธิผลของการตรวจสอบแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายของสสาร ปี 2561

สถานีตรวจวัด	R^2	RMSE (กรัม/ลิตร)
สถานีวัดบ้านแป้ง	0.79	0.046
สถานีสูบน้ำดิบสำแล	0.80	0.055



(ก) สถานีวัดบ้านแป้ง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา



(ข) สถานีสูบน้ำดิบสำแล จังหวัดปทุมธานี

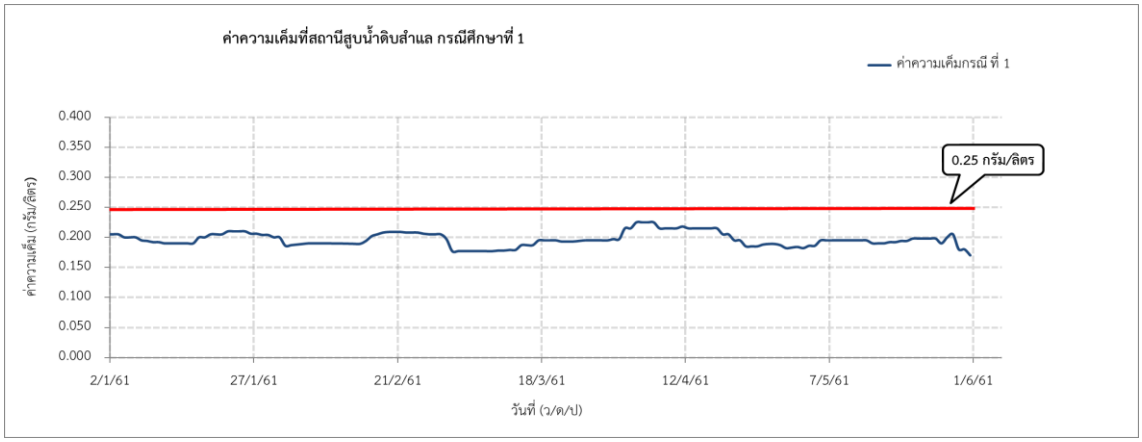
รูปที่ 6 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองการการพัดพาและการแพร่กระจายของสสาร

5. กรณีศึกษา

การรุกตัวของความเค็มที่สถานีสูบน้ำดิบสำแลช่วงหน้าแล้ง พ.ศ.2561 กรณีศึกษา เพิ่มจุดสูบน้ำดิบบริเวณริมฝั่งซ้ายของแม่น้ำเจ้าพระยาเขตพื้นที่ อำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค็มต่อการสูบน้ำที่แตกต่างกัน กรณีการสูบน้ำดังนี้

5.1 กรณีศึกษาที่ 1

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค็มเมื่อมีการสูบน้ำดิบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำประปาของสถานีสูบน้ำสำแล จังหวัดปทุมธานี ที่อัตราสูบน้ำ 4.0 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน และมีการสูบน้ำดิบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำประปาของสถานีอีกแห่ง บริเวณอำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา ที่อัตราการสูบน้ำ 1.0 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน

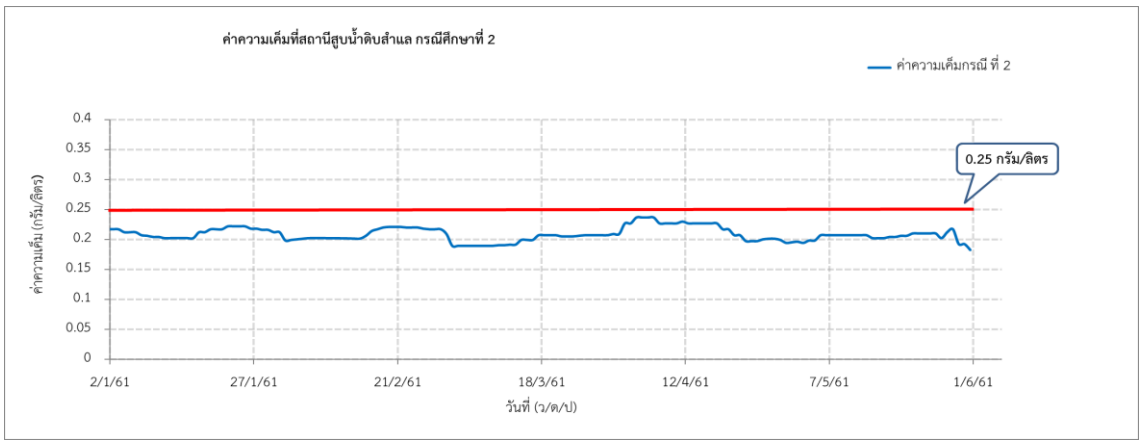


รูปที่ 7 ค่าความเค็มที่สถานีสูบน้ำสำแล จังหวัดปทุมธานี กรณีศึกษาที่ 1

วิเคราะห์กรณีศึกษา ที่ 1 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มจากแบบจำลองการพัดพา และการแพร่กระจายของสสารแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าค่าความเค็มสูงขึ้น โดยในช่วงเดือนเมษายน โดยมีค่าความเค็ม สูงสุด 0.225 กรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน ค่าความเค็มของน้ำดิบในการผลิตน้ำประปา 0.25 กรัมต่อลิตร โดยแนวโน้มมีการเพิ่มขึ้นของค่าความเค็ม พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มเพิ่มขึ้นสูงสุด ที่ร้อยละ 21.42

5.2 กรณีศึกษาที่ 2

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค็มเมื่อมีการสูบน้ำดิบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำประปาของสถานีสูบน้ำสำแล จังหวัดปทุมธานี ที่อัตราสูบน้ำ 3.5 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน และมีการสูบน้ำดิบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำประปาของสถานีอีกแห่ง บริเวณอำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา ที่อัตราการสูบน้ำ 1.5 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน

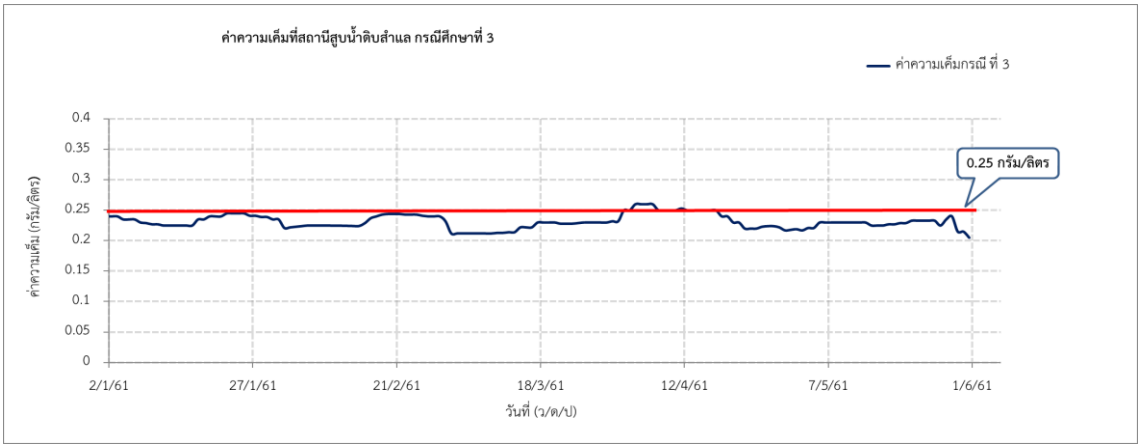


รูปที่ 8 ค่าความเค็มที่สถานีสูบน้ำสำแล จังหวัดปทุมธานี กรณีศึกษาที่ 2

วิเคราะห์กรณีศึกษา ที่ 2 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มจากแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายของสสารแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าค่าความเค็มสูงขึ้น โดยในช่วงเดือนเมษายนโดยมีค่าความเค็ม สูงสุด 0.237 กรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าไม่เกินเกณฑ์มาตราฐานค่าความเค็มของน้ำดิบในการผลิตน้ำประปา 0.25 กรัมต่อลิตร โดยแนวโน้มมีการเพิ่มขึ้นของค่าความเค็ม พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ร้อยละ 30.00

5.3 กรณีศึกษาที่ 3

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค็มเมื่อมีการสูบน้ำดิบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำประปา ของสถานีสูบน้ำสำแล จังหวัดปทุมธานี ที่อัตราสูบน้ำ 2.5 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน และมีการสูบน้ำดิบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำประปาของสถานีอีกแห่ง บริเวณอำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา ที่อัตราการสูบน้ำ 2.5 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน



รูปที่ 9 ค่าความเค็มที่สถานีสูบน้ำสำแล จังหวัดปทุมธานี กรณีศึกษาที่ 3

วิเคราะห์กรณีศึกษาที่ 3 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มจากแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายของสสารแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าค่าความเค็มสูงขึ้น โดยในช่วงเดือนเมษายน โดยมีค่าความเค็ม สูงสุด 0.262 กรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าเกินเกณฑ์มาตราฐานค่าความเค็มของน้ำดิบในการผลิตน้ำประปา 0.25 กรัมต่อลิตร โดยมีค่าความเค็มที่เกินเกณฑ์ จำนวน 17 วัน โดยแนวโน้ม มีการเพิ่มขึ้นของค่าความเค็ม พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มเพิ่มขึ้นสูงสุด ที่ร้อยละ 46.42

6. สรุปผลการศึกษา

จากการใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ จำลองสภาพการไหลในลำน้ำเจ้าพระยา และแบบจำลองการพาและแพร่กระจายสสาร จำลองการนำพา-การแพร่กระจายความเค็มในลำน้ำเจ้าพระยา พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานท้องน้ำ (Manning's n) ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.026-0.040 และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายความเค็ม (Dispersion Factor) มีค่าอยู่ในช่วง 1000-1800 ตารางเมตรต่อวินาที การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาการรุกตัวของความเค็มที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล หากมีการก่อสร้างสูบน้ำดิบอีกแห่ง บริเวณอำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา ช่วงเดือน มกราคม ถึง พฤษภาคม ปี พ.ศ.2561 กรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการสูบน้ำสถานีสำแล อัตราสูบน้ำ 4.0 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน และมีการสูบน้ำที่สถานีบางไทร อัตราการสูบน้ำ 1.0 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน พบว่าค่าความเค็มสูงขึ้น เดือนที่มีความเค็มมากที่สุด คือ เดือนเมษายน มีค่า 0.225 กรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานค่าความเค็มของน้ำดิบ และอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มเพิ่มขึ้นสูงสุด ที่ร้อยละ 21.42 กรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการสูบน้ำสถานีสำแล อัตราสูบน้ำ 3.5 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน และมีการสูบน้ำที่สถานีบางไทร อัตราการสูบน้ำ 1.5 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน พบว่าค่าความเค็มสูงขึ้น เดือนที่มีความเค็มมากที่สุด คือ เดือนเมษายน มีค่า 0.237 กรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานค่าความเค็มของน้ำดิบ อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มเพิ่มขึ้นสูงสุด ที่ร้อยละ 30.00 กรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการสูบน้ำสถานีสำแล อัตราสูบน้ำ 2.5 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน และมีการสูบน้ำที่สถานีบางไทร อัตราการสูบน้ำ 2.5 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน พบว่าค่าความเค็มสูงขึ้น เดือนที่มีความเค็มมากที่สุด คือ เดือนเมษายน มีค่า 0.262 กรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าเกินเกณฑ์มาตรฐานค่าความเค็มของน้ำดิบในการผลิตน้ำประปา0.25 กรัมต่อลิตร โดยมีค่าความเค็มที่เกินเกณฑ์ จำนวน 17 วัน อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มเพิ่มขึ้นสูงสุด ที่ร้อยละ 46.42

เอกสารอ้างอิง

DHI Water Environment and Health, 2007. **MIKE11-A Modelling System for Rivers and Channels, Reference Manual.** DHI, Denmark

การประปานครหลวง. 2556. **รายงานโครงการศึกษาศักยภาพและแนวทางการแก้ไขวิกฤติการณ์ด้านแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันออก.** กระทรวงมหาดไทย

ณัฐวุฒิ อินบุตร. 2557. **การศึกษาสภาพอุทกพลศาสตร์และการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์