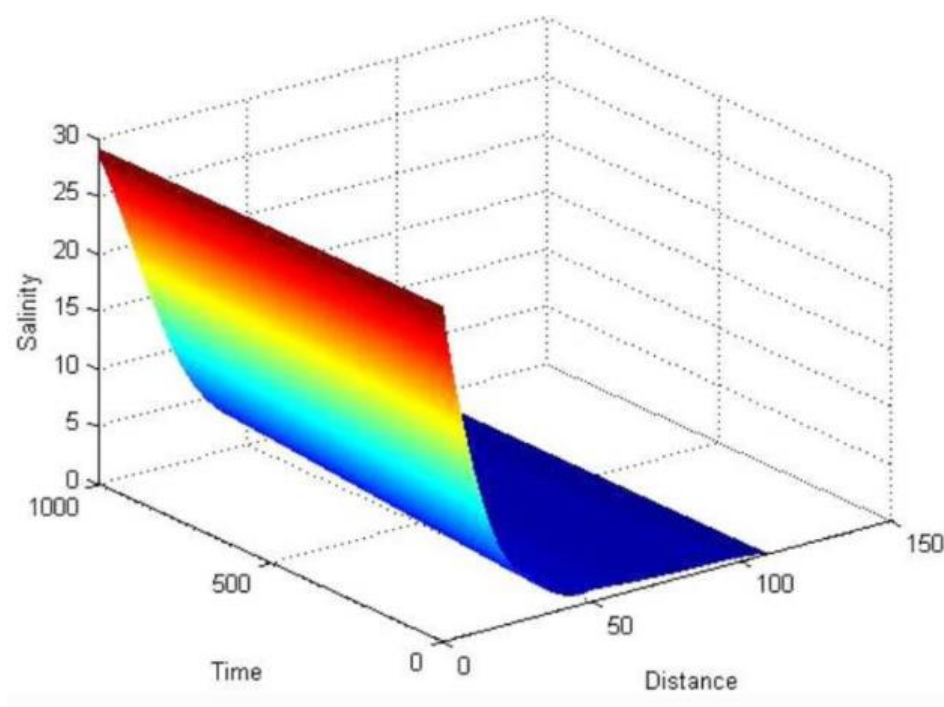




ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์

เพื่อการตรวจวัดปริมาณน้ำเค็มรูก้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา



ผศ.ดร.นพรัตน์ โพธิ์ชัย

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านคณิตศาสตร์

คำนำ

เอกสารตำราตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เพื่อการตรวจวัดปริมาณน้ำเค็มรुक้าในแม่น้ำเจ้าพระยาฉบับนี้ นั้น เรียบเรียงจากการรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับปัญหาน้ำเค็มรुक้าในแม่น้ำเจ้าพระยา ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยผู้เขียนและคณะได้รับความกรุณาในการอำนวยความสะดวกและสนับสนุนข้อมูลต่างๆจากการประสานครหลวง จากการลงพื้นที่บริเวณสถานีสูบน้ำดิบสำแล จังหวัดปทุมธานีและสถานีตรวจวัดต่างๆโดยรอบ ทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงปัญหาและอุปสรรคที่หน่วยงานต่างๆได้ประสบ โดยพบว่าการใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์นั้นแม้มีหลายทางเลือก ในการเลือกใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนเพื่อให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูงในการคำนวณเชิงทฤษฎีนั้น พบว่าในปัญหาจริงนักวิจัยควรคำนึงถึงข้อมูลภาคสนามที่มีอยู่ ข้อจำกัดทางกายภาพ ค่าใช้จ่ายในการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อปรับปรุงตัวแบบจนแม่นยำเชื่อถือได้ และที่สำคัญคือความสะดวกในการนำตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นไปใช้งานได้จริงโดยผู้ปฏิบัติงาน ทั้งภายใต้ข้อจำกัดของงบประมาณในหน่วยงานนั้นๆอีกด้วย ดังนั้นผู้เขียนจึงนำเสนอเฉพาะตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เพื่อการตรวจวัดปริมาณน้ำเค็มรुक้าในแม่น้ำเจ้าพระยาที่มีความเหมาะสมกับสถานการณ์ปัจจุบัน ที่เหมาะกับการใช้งานจริง และประหยัดค่าใช้จ่ายในการแปรข้อมูลเข้าสู่ตัวแบบ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการของการปรับปรุงตัวแบบจนมีความแม่นยำในระดับที่พึงพอใจเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่าน รองศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ อนันต์ชิน ผู้ช่วยผู้อำนวยการศูนย์ความเป็นเลิศด้านคณิตศาสตร์ ฝ่ายวิชาการ ที่สละเวลาให้ความกรุณาตรวจทานข้อผิดพลาดและให้ข้อชี้แนะต่อเอกสารฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณท่าน ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.ยงค์วิมล เลณบุรี ผู้อำนวยการศูนย์ความเป็นเลิศด้านคณิตศาสตร์ที่ให้การสนับสนุน และให้ข้อแนะนำอันมีค่ายิ่งแก่ผู้เขียนในการผลิตงานวิจัยมาโดยตลอด

ผศ.ดร.นพรัตน์ โพธิ์ชัย

สารบัญ

บทที่ 1

ปัญหาการรุกรานของน้ำเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา	1
---	---

บทที่ 2

ตัวแบบการวัดความเค็มในสถานะเสถียรแบบหนึ่งมิติในแม่น้ำที่มีเขื่อนทดน้ำโดยวิธียิงเป้า	34
---	----

บทที่ 3

ตัวแบบสถานะเสถียรของการตรวจวัดความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยาสำหรับระบบผลิตน้ำประปา	
โดยใช้วิธีผลต่างจำกัด	65

บทที่ 4

ตัวแบบสถานะเสถียรของการตรวจวัดความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยาสำหรับระบบผลิตน้ำประปา	
โดยใช้วิธีคอลโล케이션	117

บรรณานุกรม	134
------------	-----

บทที่ 1

ปัญหาการรุกรานของน้ำเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา

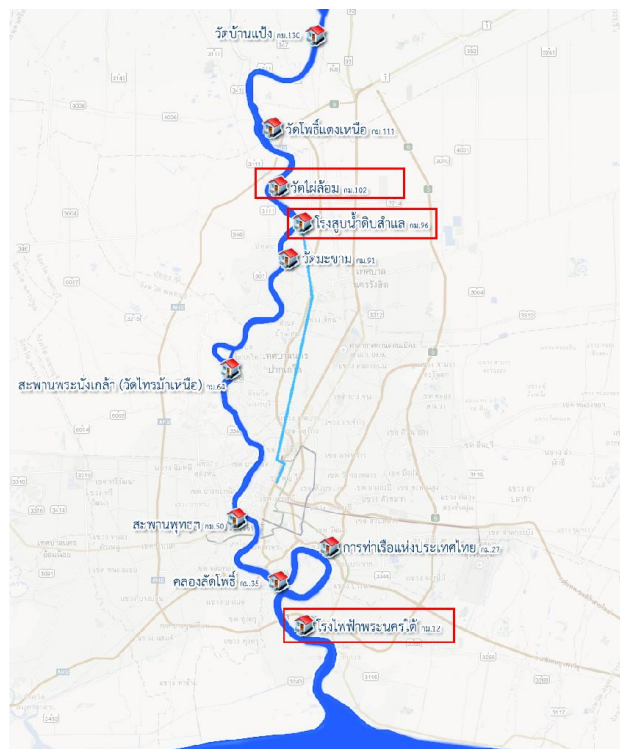
ปัญหาการรุกรานของน้ำเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยาเกิดจากปัจจัยของสภาพแวดล้อม และเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาต่อน้ำดิบในแม่น้ำเจ้าพระยาที่นำมาอุปโภคบริโภค รวมไปถึงเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม ในบทนี้เป็นการอธิบายเนื้อหาเกี่ยวกับปัญหาการรุกรานของน้ำเค็ม จากภัยพิบัติทางธรรมชาติ

1.1 สภาพภูมิประเทศ

แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแม่น้ำสายใหญ่ที่สุดในประเทศไทย มีความยาว 372 กิโลเมตร มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 178,000 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ประเทศไทย เกิดจากแม่น้ำทางภาคเหนือ 4 สาย ได้แก่ แม่น้ำปิง แม่น้ำวัง แม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน ซึ่งต้นกำเนิดมาจากเทือกเขาทางภาคเหนือ แล้วไหลผ่านที่ราบภาคกลางเกิดการรวมตัวกันของแม่น้ำสายหลัก 2 สาย คือ แม่น้ำปิงและแม่น้ำน่าน ลงมาบรรจบกันที่บริเวณตำบลปากน้ำโพ อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ จากนั้นไหลลงไปทางทิศใต้ ผ่านจังหวัดอุทัยธานี โดยมีแนวลำน้ำไหลผ่านจังหวัดชัยนาทแล้วแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนหนึ่งจะผ่านเขื่อนเจ้าพระยา จังหวัดชัยนาท ไหลผ่านจังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี มารวมกับแม่น้ำป่าสักที่บริเวณป้อมเพชร จังหวัดอยุธยา (กม. 153 จากจังหวัดสมุทรปราการ) จากนั้นจึงไหลผ่านจังหวัดนนทบุรี กรุงเทพมหานคร และออกอ่าวไทยที่ปากน้ำ ซึ่งอยู่ระหว่างเขตตำบลท้ายบ้าน ตำบลบางปูใหม่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ และตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ ดังรูปที่ 1.1 บริเวณตอนล่างของแม่น้ำเจ้าพระยาได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลที่อ่าวไทย ประกอบกับปริมาณน้ำที่ปล่อยออกมาจากเขื่อนเจ้าพระยา เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนภูมิพล และเขื่อนกักเก็บ มีปริมาณน้อยในฤดูแล้ง จึงทำให้เกิดการแพร่ของน้ำเค็มเข้ามาในแม่น้ำ ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะมีลักษณะค่อนข้างเรียบ กล่าวคือความลาดชันของระดับน้ำจากอำเภอบางไทรถึงกรุงเทพมหานคร ประมาณ 5 ถึง 6 เซนติเมตรต่อกิโลเมตร และจากกรุงเทพมหานครถึงสมุทรปราการ จะมีความลาดชันน้อยมาก คือประมาณ 2 ถึง 3 เซนติเมตรต่อกิโลเมตร มีความลึกโดยเฉลี่ยประมาณ 13 เมตร เทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง มีความกว้างตั้งแต่ 180 เมตร ถึง 731 เมตร มีการไหลจากนครสวรรค์

เฉลี่ย 718 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (25,356 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที) และการไหลเฉลี่ยสูงสุด 5,960 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (210,475 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที)

ซึ่งเราจะศึกษาบริเวณตอนล่างของแม่น้ำเจ้าพระยา ที่มีจุดวัดปริมาณความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา 6 สถานี ได้แก่ สถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ จังหวัดสมุทรปราการ สถานีคลองลัดโพธิ์ จังหวัดสมุทรปราการ สถานีสะพานพุทธยอดฟ้า จังหวัดกรุงเทพมหานคร สถานีสะพานพระนั่งเกล้า (วัดไทรมาเหนือ) จังหวัดนนทบุรี สถานีวัดมะขาม จังหวัดปทุมธานี และสถานีสูบน้ำสำแล จังหวัดปทุมธานี ลำน้ำส่วนนี้มีสภาพคดเคี้ยว มีความยาวประมาณ 84 กิโลเมตร โดยระยะห่างของสถานีจากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ถึงสถานีคลองลัดโพธิ์ ประมาณ 23 กิโลเมตร สถานีคลองลัดโพธิ์ถึงสถานีสะพานพุทธยอดฟ้า ประมาณ 15 กิโลเมตร สถานีสะพานพุทธยอดฟ้าถึงสถานีสะพานพระนั่งเกล้า (วัดไทรมาเหนือ) ประมาณ 14 กิโลเมตร สถานีสะพานพระนั่งเกล้า (วัดไทรมาเหนือ) ถึงสถานีวัดมะขาม ประมาณ 27 กิโลเมตร และ สถานีวัดมะขามถึงสถานีสูบน้ำสำแล ประมาณ 5 กิโลเมตร ซึ่งมีความกว้างโดยเฉลี่ย 0.5 กิโลเมตร



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงระยะทางระหว่างสถานีต่าง ๆ ของคลองประปาตะวันออก

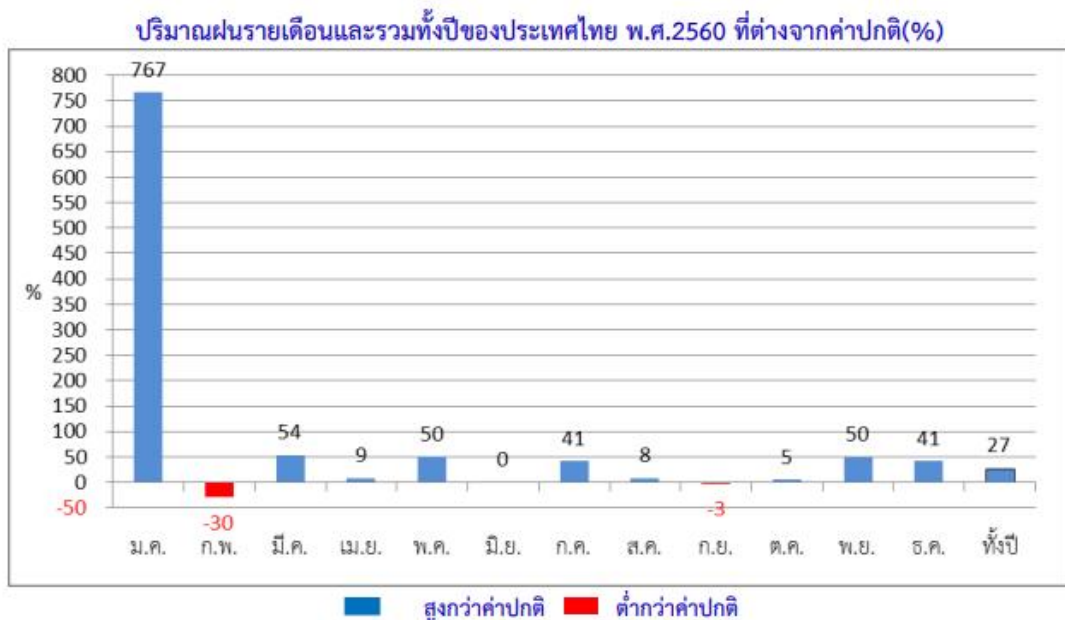
แหล่งที่มา : การประปานครหลวง



1.2 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณที่ศึกษาส่วนใหญ่จะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม พายุดีเปรสชันและไต้ฝุ่น โดยจะมี 3 ฤดูในหนึ่งปี คือ ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน ดังต่อไปนี้

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมเมื่อมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทย และร่องความกดอากาศต่ำ พาดผ่านประเทศไทยทำให้มีฝนชุกทั่วไป ร่องความกดอากาศต่ำนี้ปกติ จะพาดผ่านภาคใต้ในเดือนพฤษภาคม แล้วจึงเลื่อนขึ้นไปทางเหนือ ตามลำดับ จนถึงช่วงประมาณ ปลายเดือนมิถุนายนจะพาดผ่านอยู่บริเวณประเทศจีนตอนใต้ ทำให้ฝนในประเทศไทยลดลงระยะ หนึ่งและเรียกว่าเป็นช่วงฝนทิ้ง ซึ่งอาจนานประมาณ 1-2 สัปดาห์หรือบางปีอาจเกิดขึ้นรุนแรงและมี ฝนน้อยนานนับเดือน ในเดือนกรกฎาคมปกติร่องความกดอากาศต่ำจะเลื่อนกลับลงมาทางใต้พัด ผ่านบริเวณประเทศไทยอีกครั้งทำให้มีฝนชุกต่อเนื่อง จนกระทั่งมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดเข้า มาปกคลุมประเทศไทยแทนที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ประมาณกลางเดือนตุลาคม ประเทศไทย ตอนบนจะเริ่มมีอากาศเย็นและฝนลดลง โดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เว้นแต่ ภาคใต้ยังคงมีฝนชุกต่อไปจนถึงเดือนธันวาคมและมักมีฝนหนักถึงหนักมากจนก่อให้เกิดอุทกภัย โดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันออกซึ่งจะมีปริมาณฝนมากกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันตก อย่างไรก็ตามการ เริ่มต้นฤดูฝนอาจจะช้าหรือเร็วกว่ากำหนดได้ประมาณ 1-2 สัปดาห์ สำหรับในปี 2560 ในเดือน กุมภาพันธ์จะมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าค่าปกติ -30% ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.2 ปริมาณฝนรายเดือนและรวมทั้งปีของประเทศไทย พ.ศ.2560



ฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทยตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม ในช่วงกลางเดือนตุลาคมนานราว 1-2 สัปดาห์ เป็นช่วงเปลี่ยนฤดูจากฤดูฝนเป็นฤดูหนาวอากาศแปรปรวนไม่แน่นอน อาจเริ่มมีอากาศเย็นหรืออาจยังมีฝนฟ้าคะนอง โดยเฉพาะบริเวณภาคกลางตอนล่างและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงกลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และเป็นระยะที่ข้าวโลกเหนือห่นเข้าหาดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะเดือน เมษายนบริเวณประเทศไทยมีดวงอาทิตย์อยู่เกือบตรงศีรษะในเวลาเที่ยงวัน ทำให้ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เต็มที่ สภาพอากาศจึงร้อนอบอ้าวทั่วไป ในฤดูนี้ แม้ว่าโดยทั่วไปจะมีอากาศร้อนและแห้งแล้ง แต่บางครั้งอาจมี มวลอากาศเย็นจากประเทศจีนแผ่ลงมาปกคลุมถึงประเทศไทยตอนบน ทำให้เกิดการปะทะกันของมวลอากาศเย็นกับ มวลอากาศร้อนที่ปกคลุมอยู่เหนือประเทศไทยซึ่งก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนองและลมกระโชกแรงหรืออาจมีลูกเห็บตกก่อให้เกิดความเสียหายได้พายุฝนฟ้าคะนองที่เกิดขึ้นในฤดูนี้มักเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าพายุฤดูร้อน

1.3 ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การผันแปรของปริมาณฝน ซึ่งเป็นสภาพที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติไม่สามารถเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขได้จากสภาพการผันแปรของปริมาณฝนดังกล่าวนี้ ส่งผลให้เกิดภาวะภัยแล้งในช่วงที่ฝนทิ้งช่วง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลจากแหล่งน้ำหรือแม้แต่ในพื้นที่อยู่ติดลำน้ำสาขา หากฝนทิ้งช่วงติดต่อกันเป็นเวลานานก็จะเกิดการขาดแคลนน้ำได้ ส่วนในช่วงที่ฝนตกหนักในช่วงสั้นๆ ก็ก่อให้เกิดปริมาณน้ำจำนวนมากไหลหลากมาตามลำน้ำเข้าท่วมพื้นที่ที่อยู่อาศัยและพื้นที่เกษตรกรรม สภาพความผันแปรของปริมาณฝนจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเริ่มปรากฏให้เห็นชัดเจนขึ้น ในภาพรวมการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนเฉลี่ยต่อปี การเปลี่ยนแปลงด้านการกระจายตัวของปริมาณฝนรายเดือนซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเกษตร ฝนตกติดต่อกันหลายเดือน และการระบายน้ำฝนมากกว่าปกติในช่วงฤดูฝนกรณีปกติ จากข้อมูลปริมาณของกรมอุตุนิยมวิทยาในปี พ.ศ. 2549-2553 เทียบกับค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในรอบ 30 ปี (ช่วงปี 2514-2543) พบว่ามีการกระจายตัวของฝนเปลี่ยนแปลงจากค่าเฉลี่ยในรอบ 30 ปีเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด



1.4 สถานการณ์คุณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยา

กรมควบคุมมลพิษ โดยกองจัดการคุณภาพน้ำ ร่วมกับสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 1-16 กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มีการติดตามตรวจวัดคุณภาพน้ำทุกๆ 3 เดือน โดยมีสถานีตรวจวัดทั้งสิ้น 18 สถานี ซึ่งผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำในปี 2549 ดังนี้

1. เจ้าพระยาตอนบน

ช่วงตั้งแต่ป้อมเพชร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ถึงจุดเริ่มต้นแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดนครสวรรค์ กำหนดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 2 โดยมีดัชนีคุณภาพน้ำตามมาตรฐานดังนี้

- 1) ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ไม่ต่ำกว่า 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 2) ปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดี (BOD) ไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3) ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ไม่เกิน 5,000 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิตร
- 4) ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม ไม่เกิน 1,000 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิตร

ปัจจุบันแม่น้ำเจ้าพระยาตอนบน มีคุณภาพน้ำโดยรวมไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 หรือเกณฑ์ดี แต่มีคุณภาพน้ำลดต่ำลงไปอยู่ในเกณฑ์พอใช้ โดยปัญหาคุณภาพน้ำได้แก่ การปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม

2. เจ้าพระยาตอนกลาง

ช่วงตั้งแต่ป้อมเพชร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ถึงศาลากลางจังหวัดนนทบุรี (หลังเก่า) รวมระยะทาง 80 กิโลเมตร กำหนดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 3 โดยมีดัชนีคุณภาพน้ำตามมาตรฐานดังนี้

- 1) ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ไม่ต่ำกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 2) ปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดี (BOD) ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3) ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ไม่เกิน 20,000 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิตร
- 4) ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (FCB) ไม่เกิน 4,000 เอ็มพีเอ็นต่อ 100

มิลลิตร

ปัจจุบันแม่น้ำเจ้าพระยาตอนกลาง มีคุณภาพน้ำโดยรวมอยู่ในเกณฑ์พอใช้ ซึ่งได้ตามเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินที่กำหนด แต่มีบางช่วงที่คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรม ปัญหา



คุณภาพน้ำ ได้แก่ การปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์ม

3. เจ้าพระยาตอนล่าง

ตั้งแต่วัดพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ ถึงศาลากลางจังหวัดนนทบุรี (หลังเก่า) รวมระยะทาง 55 กิโลเมตร เป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 4 โดยมีดัชนีคุณภาพน้ำตามมาตรฐานดังนี้

- 1) ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ไม่ต่ำกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 2) ปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดี (BOD) ไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปัจจุบันแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง มีคุณภาพน้ำโดยรวมอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรม ปัญหาคุณภาพน้ำ ได้แก่ การปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์มสูง [5]

1.5 ปัญหาการรูล้ำน้ำเค็ม

อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงที่ปากแม่น้ำเป็นตัวแปรที่สำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อการรูล้ำของน้ำเค็ม ถ้าการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำมีความรุนแรงมาก ปริมาณน้ำเค็มก็จะถูกดันเข้าไปในแม่น้ำได้มาก การรูล้ำของน้ำเค็มจะมีมาก และในทางกลับกันถ้าการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำมีความรุนแรงน้อย การรูล้ำของน้ำเค็มจะมีน้อย

จากกรณีที่เกิดปัญหาน้ำประปาเค็มในพื้นที่หลายส่วนของกรุงเทพมหานครเมื่อ วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2557 นายสง่า ดามาพงษ์ อุปนายกสมาคมโภชนาการแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ กล่าวว่า ปัญหาดังกล่าวไม่น่าจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากกระบวนการผลิตน้ำประปามีมาตรฐาน แต่หากมีรสเค็มมากเกินไปจนเหมือนกินน้ำเกลือก็อาจทำให้ร่างกายได้โซเดียมคลอไรด์ แต่เฉพาะกรณีที่ดื่มน้ำประปาในปริมาณมาก ๆ ทุกวัน ด้าน นายธนศักดิ์ วัฒนฐานะ ผู้ว่าการการประปานครหลวง เผยว่า ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นในพื้นที่กรุงเทพฯ เขตพระนคร ทั้งหมด รวมถึงปลายน้ำสมุทรปราการ ส่วนฝั่งธนบุรีนั้นไม่มีแน่ ส่วนวิธีการแก้ปัญหานี้ เบื้องต้น ตนได้ประสานไปยังกรมชลฯ ให้ดึงน้ำจากทางตะวันตกเข้ามาเติมเพื่อลดความเค็มแล้ว จากที่เคยเค็มสูงสุดอยู่ที่ 1,800 มก./ลิตร จากค่ามาตรฐานที่ 250 มก./ลิตร พร้อมกันนี้ ทางกรมชลฯ ได้ระบายน้ำในเขื่อนมาช่วย





รูปที่ 1.3 ผู้ว่าการการประปาฯแจงเหตุ น้ำประปาเค็ม

ทั้งนี้ สำหรับสาเหตุที่น้ำประปาเค็มนั้น นายวิสูตร นพคุณทอง รองผู้ว่าการประปานครหลวงฝ่ายผลิตและส่งน้ำในฐานะประธานกรรมการศูนย์อำนวยการเพื่อแก้ไขปัญหาวิกฤติการณ์น้ำและคุณภาพน้ำ รูปที่ 1.3 ระบุว่า เป็นผลกระทบจากสถานการณ์ภัยแล้งในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ประกอบกับปรากฏการณ์น้ำทะเลยกตัวสูงที่มาเร็วกว่าทุกปี ส่งผลให้มีน้ำทะเลหนุนเข้าแม่น้ำเจ้าพระยามาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อการผลิตน้ำประปาในฝั่งตะวันออกที่ใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยา เรียกได้ว่า เป็นสถานการณ์ที่ไม่เคยเจอมาก่อนในรอบ 100 ปี ที่เคยพบสูงสุดเมื่อปี 2553 ก็น้อยกว่านี้มาก [6]



รูปที่ 1.4 สถานีสูบน้ำดิบสำแล จ.ปทุมธานี



การประปานครหลวง (กปน.) เตือนให้ชาวกรุงเทพมหานครสำรองน้ำดื่มไว้ล่วงหน้า ซึ่งมีแนวโน้มว่าน้ำประปามีค่าความเค็มเพิ่มขึ้น หลังจากเมื่อวานนี้ (18 มิ.ย.2558) ต้องหยุดสูบน้ำดิบเมื่อค่าความเค็มสูงขึ้นเป็นช่วงๆ เมื่อวันที่ 18 มิ.ย.2558 ค่าความเค็มน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณสถานีสูบน้ำดิบสำแล จ.ปทุมธานี รูปที่ 1.4 วัดได้สูงสุดถึง 0.43 กรัมต่อลิตร ซึ่งสูงที่สุดในรอบปี ทั้งที่ค่าความ

เค็มไม่ควรเกิน 0.25 กรัมต่อลิตร ทำให้การประปานครหลวงต้องหยุดสูบน้ำในช่วงเวลานี้ และช่วงเช้าวันที่ 19 มิ.ย.2558 ค่าความเค็มยังเกินมาตรฐานที่ 0.32 กรัมต่อลิตร จึงต้องหยุดสูบน้ำดิบเพื่อรอเวลาให้ค่าความเค็มลดลง โดยขณะนี้สามารถสูบน้ำดิบมาผลิตน้ำประปาได้ตามปกติแล้ว แต่การประปานครหลวงยังคงเตือนว่าถ้าภายใน 30 วันนี้ ยังไม่มีฝนตกมาช่วยเติมน้ำในเขื่อนและเจือจางความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา อาจทำให้น้ำประปามีรสกร่อย [7]

วันที่ 18 ก.ค. 2558 การประปานครหลวง(กปน.) ได้ออกประกาศแจ้งว่า ช่วงเวลาจากนี้ไปน้ำประปาภายในบ้านอาจมีรสชาติเปลี่ยนไปจากเดิมบ้างในพื้นที่ฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา 11 จุด ประกอบด้วย สำนักงานประปาสาขาสุขุมวิท พระโขนง สมุทรปราการ แม่นศรี ทุ่งมหาเมฆ ลาดพร้าว พญาไท มินบุรี สุวรรณภูมิ ประชาชื่น และบางเขน สำหรับเหตุการณ์น้ำประปาเค็มมีสาเหตุมาจากน้ำทะเลหนุนสูงกว่าปกติ ส่งผลให้น้ำทะเลหนุนขึ้นมาถึงจุดรับน้ำดิบของ กปน. บริเวณสถานีสูบน้ำดิบสำแล อ.เมือง จ.ปทุมธานี โดยพบค่าความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยาเริ่มขยับสูงขึ้นตั้งแต่คืนวันที่ 11 ก.ค. 2558 ทั้งนี้ กปน. ได้หลีกเลี่ยงการสูบน้ำดิบในช่วงเวลาดังกล่าวมาผลิตน้ำประปาแล้ว แต่เนื่องจากภาวะน้ำทะเลหนุนครั้งนี้สูงต่อเนื่องหลายวัน จึงจำเป็นต้องสูบน้ำดิบที่มีลิ้มความเค็มดังกล่าวมาผลิตน้ำประปาด้วย จึงอาจส่งผลให้น้ำประปาในช่วงนี้มีรสชาติเปลี่ยนไปจากเดิมบ้างในบางช่วงเวลา โดยเฉพาะช่วงน้ำขึ้น แต่คุณภาพน้ำประปาในด้านอื่นๆ ยังได้มาตรฐานองค์การอนามัยโลกทุกประการ และสามารถดื่มได้อย่างปลอดภัย นายธนศักดิ์ วัฒนฐานะ ผู้ว่าการ กปน. เปิดเผยว่าการเฝ้าระวัง 11 จุดเสี่ยงที่น้ำประปาเค็มเนื่องจากผลกระทบจากน้ำทะเลหนุนสูงส่งผลให้การผลิตน้ำประปาอาจได้รับผลกระทบจากน้ำเค็มในบางช่วงเป็นเรื่องที่เจ้าหน้าที่ กปน.อยู่ระหว่างการแก้ไข และต้องยอมรับว่าน้ำดิบที่มี อยู่ขณะนี้ปริมาณน้อยมาก การผลักดันน้ำเค็มอาจเกิดความยากลำบาก ซึ่ง กปน.พยายามเร่งแก้ไขและหาแหล่งน้ำจากจุดอื่นเข้ามาช่วยผลักดันน้ำทะเลด้วย [8]





รูปที่ 1.5 กรมชลประทานระบายน้ำต้นพันเจ้าพระยา

เมื่อวันที่ 13 ก.พ. 2560 นายทองเปลว กองจันทร์ รองอธิบดีกรมชลประทาน เปิดเผยว่า จากการติดตามสถานการณ์น้ำทะเลหนุนสูงในแม่น้ำเจ้าพระยาภายหลังจากได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดปกคลุมอ่าวไทยและภาคใต้มีกำลังแรงขึ้นทำให้บริเวณดังกล่าวมีคลื่นลมแรง หรือ สตอร์ม เซิร์จ (Storm surge) ส่งผลให้น้ำทะเลยกตัวสูงขึ้นกว่าที่คาดการณ์ไว้ถึง 30 – 40 เซนติเมตร ทำให้ความเค็มรุกเข้าไปในแม่น้ำเจ้าพระยาจนถึงจุดฝักระวังบริเวณสถานีสูบน้ำดิบสำแล ต.สำแล อ.เมือง จ.ปทุมธานี วัดค่าความเค็มได้ 0.50 กรัมต่อลิตร (น้ำที่ใช้ในการผลิตประปามีค่าความเค็มได้ไม่เกิน 0.50 กรัมต่อลิตร) ยังไม่ส่งผลกระทบต่อน้ำดิบผลิตประปามากนัก เนื่องจากการประปานครหลวง จะสูบน้ำไปสำรองไว้เมื่อค่าความเค็มต่ำกว่า 0.50 กรัมต่อลิตร และหยุดสูบน้ำเมื่อความเค็มขึ้นสูงเกินมาตรฐาน ทั้งนี้ เพื่อป้องกันความเค็มไม่ให้รุกเข้าเข้าไปบริเวณจุดฝักระวังสถานีสูบน้ำดิบสำแลมากกว่านี้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการผลิตน้ำประปาได้ กรมชลประทาน ได้เพิ่มการระบายน้ำผ่านเขื่อนเจ้าพระยา รูปที่ 1.5 เพิ่มขึ้นจาก 70 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็น 75 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พร้อมกับเพิ่มการระบายน้ำผ่านเขื่อนพระรามหกจาก 30 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็น 45 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ส่งผลให้ค่าความเค็มบริเวณปากคลองสำแลไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานในการผลิตน้ำประปา นอกจากนี้ ยังใช้ประตูระบายน้ำคลองลัดโพธิ์ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ในการผลักดันน้ำเค็ม โดยในช่วงที่น้ำทะเลลงจะยกบานประตูระบายน้ำขึ้นเพื่อให้ น้ำไหลออกสู่ทะเลได้เร็วขึ้น และเมื่อน้ำทะเลสูงขึ้นจะปิดประตูระบายน้ำ ช่วยหน่วงน้ำทะเลที่รุกเข้ามามีให้ช้าลงจนถึงขณะนี้สถานการณ์ความเค็มเริ่มดีขึ้นแล้ว โดยข้อมูลจากกรมชลประทาน



(14 ก.พ. 2560) ตรวจวัดค่าความเค็ม แม่น้ำเจ้าพระยาที่กรมชลประทาน สามเสน 4.10 ทำน่านนทบุรี 1.84 (มาตรฐานเพื่อการเกษตร ไม่เกิน 2.00 กรัมต่อลิตร) สถานีสูบน้ำสำแล 0.18 (มาตรฐานเพื่อการผลิตน้ำประปา ไม่เกิน 0.50 กรัมต่อลิตร) [9]

เมื่อวันที่ 1 มี.ค. 2560 จากวิกฤตการณ์น้ำเค็มที่เกิดจากน้ำทะเลหนุนเข้ามาปะปนกับน้ำจืดในแม่น้ำเจ้าพระยา ทำให้เกษตรกรผู้ใช้น้ำในการทำเกษตรกรรมในหลายจังหวัดที่อยู่ใกล้ปากอ่าว เริ่มพบเจอผลกระทบที่เกิดกับพืชผลทางการเกษตร ทำให้ชาวนาที่ปลูกข้าวนาปรังในจังหวัดปทุมธานี ที่เพิ่งเริ่มปลูกข้าวไปเมื่อประมาณปลายปีที่แล้ว จนถึงตอนนี้ข้าวเริ่มออกรวงแล้ว ก็หวังจะได้รับผลกระทบจากภัยน้ำเค็มชาวนาในพื้นที่หมู่ 1 ต.บางคูวัด อ.เมือง จ.ปทุมธานี ได้ลองนำเครื่องวัดค่าความเค็มที่ซื้อเก็บไว้มาวัดค่าความเค็มในน้ำ ระหว่างน้ำประปา กับน้ำในคลองที่เขาใช้ในการทำเกษตรกรรมเปรียบเทียบให้ทีมข่าวดู ซึ่งน้ำประปาพบค่าความเค็มอยู่ที่ 230 PPM ถือเป็นค่าปกติ ขณะที่น้ำในคลองมีความเค็มเจือปนอยู่ที่ 600 PPM ขึ้นไป ทำให้ชาวนาในพื้นที่รู้สึกเป็นห่วงกับสถานการณ์นี้ที่มาเร็วกว่ากำหนด เพราะได้มีการประมาณการณ์ว่าน้ำเค็มน่าจะเกิดขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม แต่ปีนี้กลับเกิดขึ้นตั้งแต่ต้นเดือนกุมภาพันธ์ ทำให้ข้าวที่กำลังออกรวง และกำลังจะเก็บเกี่ยวในอีก 1 เดือนข้างหน้าอยู่ในสภาวะน่าเป็นห่วง ทำให้ชาวนาต้องเฝ้าสังเกตการณ์รายวัน สำหรับปัญหานี้ ปีที่ผ่านมาชาวนาก็ประสบกับปัญหานี้มาแล้วครั้งหนึ่ง เนื่องจากภัยแล้ง ทำให้ปลูกข้าวได้ครั้งเดียว มาปีนี้ที่หวังว่าจะปลูกข้าวนาปรังได้ ก็กลับเจอวิกฤตน้ำเค็มมาเร็วอีก ชาวนาบางรายบอกกับทีมข่าวว่า ตนไม่รู้ว่าน้ำเค็มมาถึงที่นี่แล้ว เพราะไม่ทราบสถานการณ์นี้เลย และไม่รู้จะรับฟังข่าวสารจากที่ใด โดยหากข้าวได้รับน้ำเค็ม ผลผลิตก็จะได้รับความเสียหาย เนื่องจากเมล็ดข้าวจะลีบ ไม่มีน้ำหนัก หรือบางครั้งก็อาจจะยืนต้นตาย ทั้งนี้ ชาวนาต่างตั้งข้อสงสัยเหตุใดน้ำจึงไม่พอ ทั้งที่ก่อนหน้านี้มีฝนมาก จนเกิดน้ำท่วม ในขณะที่เกิดสถานการณ์น้ำเค็ม ทางโครงการชลประทานจังหวัดปทุมธานี ได้ปิดประตูระบายน้ำ เพื่อไม่ให้ น้ำเค็มหนุนเข้ามาเพิ่ม แต่เมื่อปิดบางจุดก็ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่า จึงอยากให้ประชาชนบางส่วนเข้าใจ โดยในพื้นที่ 7 อำเภอในจังหวัดปทุมธานีต่างได้รับผลกระทบจากน้ำเค็มแทบทุกจุด ซึ่งสาเหตุที่น้ำเค็มมาเร็วกว่าทุกปีเกิดจากลมพัดสอที่ปากอ่าว ทำให้น้ำเค็มขึ้นสูงและเร็ว โครงการชลประทานจังหวัดปทุมธานียังคงรับมือกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นได้อยู่ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ผลิตน้ำประปาส่งให้ประชาชนในกรุงเทพมหานครได้ใช้ โดยจะควบคุมค่าความเค็มของน้ำไม่ให้เกิน 0.5 กรัมต่อลิตร สถานการณ์ภัยแล้งที่เกิดขึ้นเป็นเวลานานกว่า 2 ปี ได้ทำให้ปริมาณน้ำลดลงไปอย่างมาก แม้ในช่วงปลายปีและต้นปีที่ผ่านมาปริมาณน้ำฝนจะเพิ่มมากขึ้น แต่ก็มีน้ำเต็มเต็มอยู่ในอ่างเพียงแค่ 8,000 ล้านลูกบาศก์



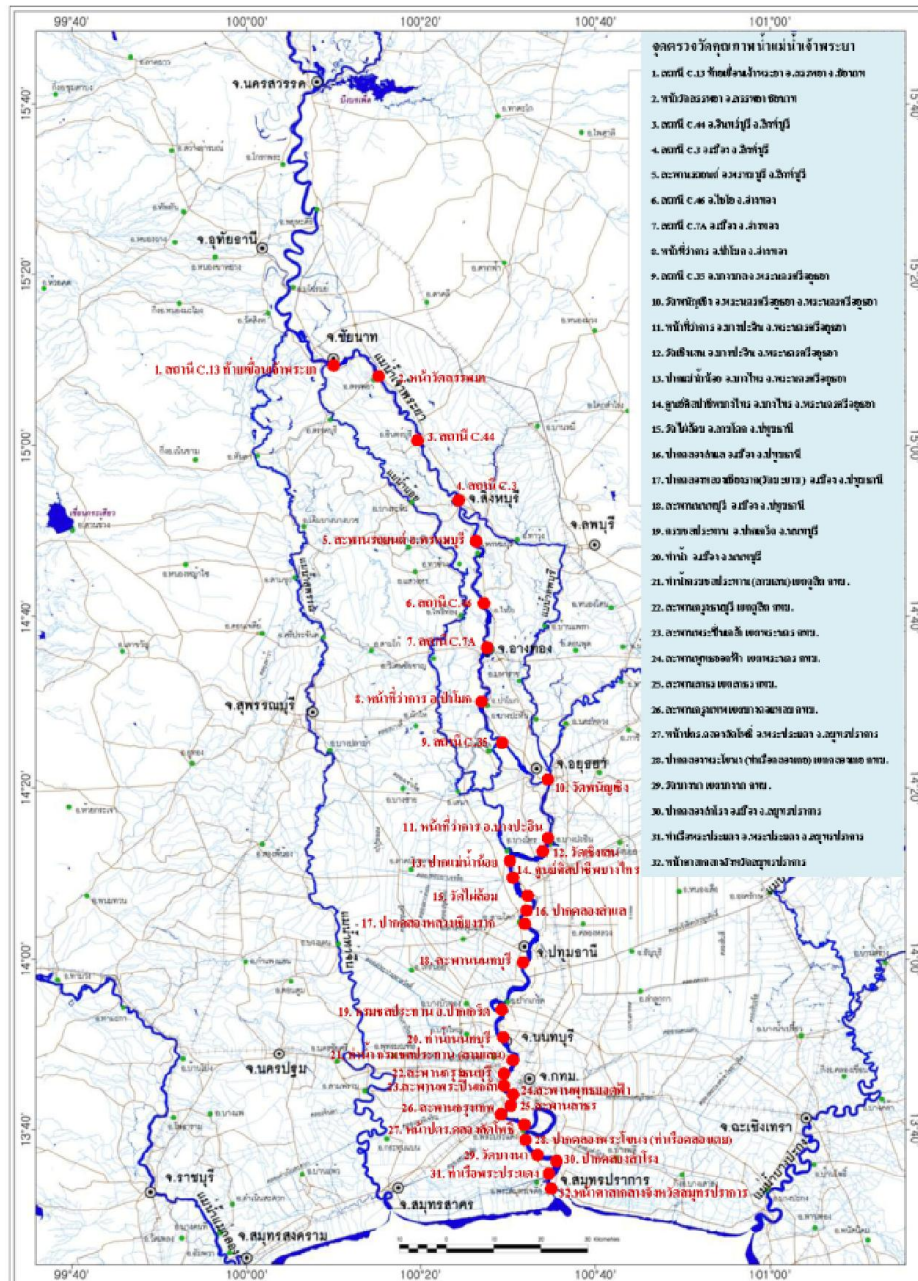
เมตร ทั้งที่ในความเป็นจริงจำเป็นต้อง มีน้ำอยู่ในอ่างที่ประมาณ 10,000 ล้านลูกบาศก์เมตรขึ้นไป จึงเป็นเหตุผลที่ชลประทานต้องให้ ชาวนางคทำนาปรัง [10]

1.6 ปัญหาการรกล้ำของน้ำเค็มต่อคุณภาพน้ำ

แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแม่น้ำสายหลักที่สำคัญของภาคกลาง ที่มีความสำคัญต่อการอุปโภค-บริโภค การรักษาระบบนิเวศน์การเกษตร อุตสาหกรรมและอื่น ๆ ของประชาชนที่ใช้น้ำอยู่ตลอดสองฝั่งแม่น้ำ โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งของทุกปีแม่น้ำเจ้าพระยาจะได้รับอิทธิพลของน้ำทะเลหนุนจากปากแม่น้ำเจ้าพระยา เข้ามาได้ไกลถึงจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ทำให้ค่าความเค็มในบางช่วงเวลาสูง เกิดผลกระทบต่ออุปโภคบริโภค การประปา การเกษตร และการประมง ซึ่งกรมชลประทานได้ดำเนินการวางแผนและจัดสรรน้ำโดยมี การจัดลำดับความสำคัญ กล่าวคือ เพื่อการอุปโภค-บริโภค การรักษาระบบนิเวศน์การเกษตรและการอุตสาหกรรม ดังนั้นอย่างต่อเนื่องเพื่อความสมดุล ทั้งถึงและเป็นธรรม ตลอดจนการควบคุมคุณภาพน้ำด้านความเค็มให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในปีพ.ศ. 2535 กรมชลประทานได้เริ่มทำการตรวจวัดค่าความเค็มของแม่น้ำเจ้าพระยาทำจัน และแม่น้ำแม่กลอง ในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน โดยกำหนดจุดเฝ้าระวังค่าความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยาที่สะพานพระพุทธรยอดฟ้า กรุงเทพมหานคร แม่น้ำทำจัน ที่หน้าท่าเรือการท่าเรือสมุทรสาคร จังหวัดนครปฐม แม่น้ำแม่กลองที่ปากคลองดำเนินสะดวก อำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรีโดยกำหนดค่าความเค็มที่จุดเฝ้าระวังไม่เกิน 2.00 กรัมต่อลิตร (มาตรฐานค่าความเค็มสำหรับการเกษตร) ต่อมาในปีพ.ศ. 2547 ได้เปลี่ยนจุดเฝ้าระวังความเค็มจากสะพานพระพุทธรยอดฟ้า มาเป็นที่ทำนายนนท์จังหวัดนนทบุรีเนื่องจากสภาพการใช้พื้นที่ของกรุงเทพมหานครได้เปลี่ยนไป มีพื้นที่ทำการเกษตรลดน้อยลงกลายเป็นพื้นที่เพื่อการอยู่อาศัยและการอุตสาหกรรม ในขณะที่พื้นที่บริเวณจังหวัดนนทบุรียังมีพื้นที่ทำการเกษตรอยู่อย่างกว้างขวางและการเลื่อนจุดเฝ้าระวังค่าความเค็มขึ้นมาจะช่วยลดปริมาณน้ำต้นทุนที่จะระบายลงมาเพื่อผลักดันน้ำเค็มลงได้จึงได้ใช้จุดเฝ้าระวังค่าความเค็มที่ทำนายนนท์จังหวัดนนทบุรีนับแต่นั้น เป็นต้นมา ส่วนแม่น้ำทำจัน และแม่น้ำแม่กลองยังคงใช้จุดเฝ้าระวังค่าความเค็มจุดเดิม ในปีพ.ศ. 2550 สืบเนื่องจากพระราชเสาวนีย์ในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ เมื่อ วันที่ 11 สิงหาคม 2550 เกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา เนื่องจากคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมจนอยู่ในขั้นวิกฤต และทรงขอให้หน่วยงานต่าง ๆ ร่วมกันป้องกันและแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยา กรมชลประทานจึงได้สนองพระราชเสาวนีย์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์พระบรมราชินีนาถ



โดยการแต่งตั้งคณะทำงานเรื่องคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา เพื่อดำเนินการตรวจสอบคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา โดยครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ท้ายเขื่อนเจ้าพระยา อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท ไปจนถึงบริเวณหน้าศาลากลางจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งมีจุดสำรวจตรวจสอบคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาจำนวน 32 จุดสำรวจ ดังแสดงในรูปที่ 1.6

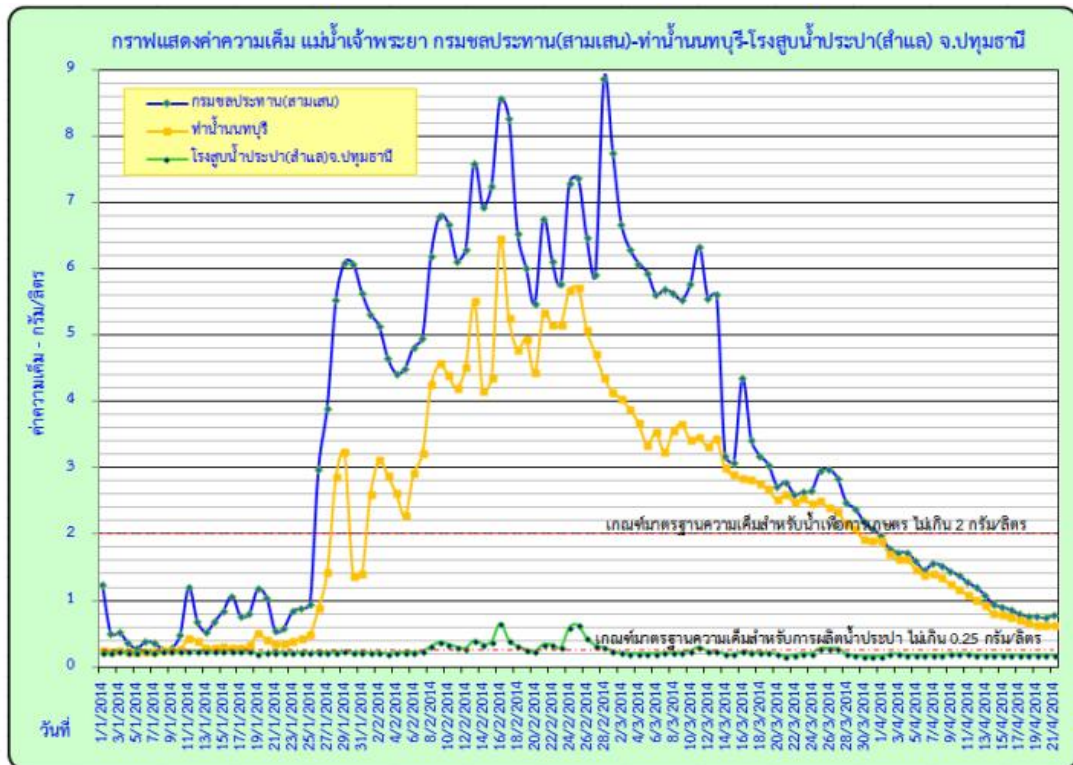


รูปที่ 1.6 จุดสำรวจตรวจสอบคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา



(แหล่งที่มา : กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 21 เมษายน 2557)

สถานการณ์รูก้ำของน้ำเค็ม ปีพ.ศ. 2557 ในปีพ.ศ. 2557 ผลจากการตรวจวัดค่าความเค็มรายวัน ในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายน พ.ศ.2557 ที่โรงสูบน้ำประปาสำแล อำเภอมือ จังหวัดปทุมธานี กรมชลประทาน (สามเสน) กรุงเทพมหานคร และทำนายนันทบุรี-โรงสูบน้ำประปา(สำแล) จ.ปทุมธานี ดังแสดงในรูปที่ 1.7



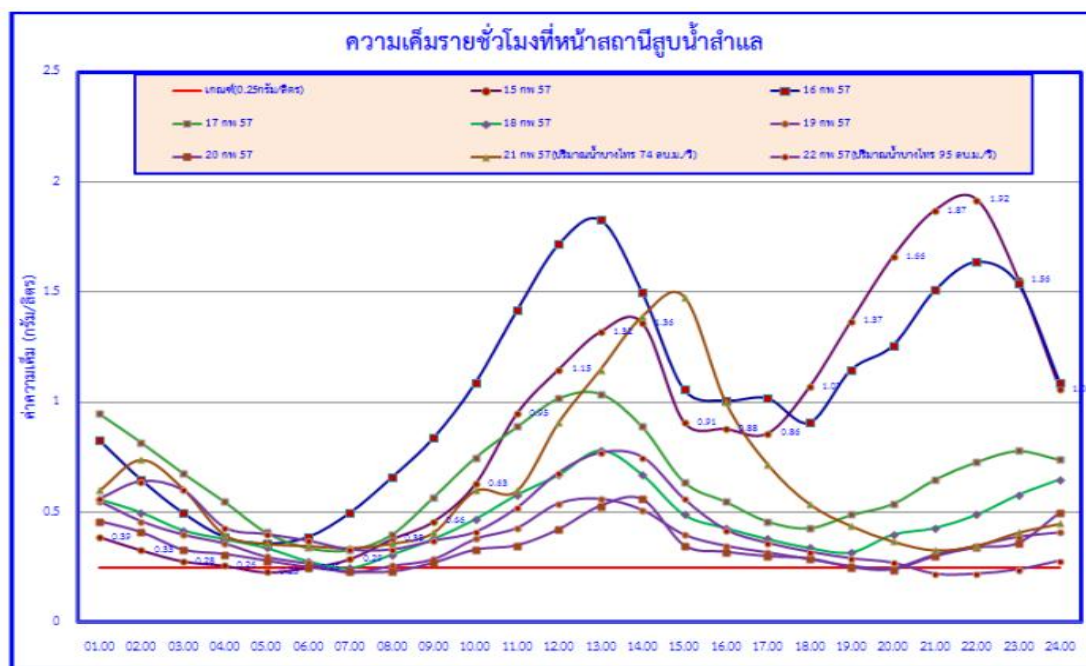
รูปที่ 1.7 ค่าความเค็มรายวันในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายน พ.ศ.2557 ในแม่น้ำเจ้าพระยา

(แหล่งที่มา: กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 21 เมษายน 2557)

โดยจากข้อมูลการตรวจวัดค่าความเค็มในช่วงเวลาดังกล่าว พบว่า ค่าความเค็มจะเริ่มเกินเกณฑ์มาตรฐานสำหรับน้ำดิบที่จะสูบน้ำไปผลิตน้ำประปา (เกณฑ์มาตรฐานค่าความเค็มของน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา ตามองค์การอนามัยโลกค่าความเค็มต้องไม่เกิน 0.25 กรัมต่อลิตร จึงจะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อผู้ใช้น้ำประปา ถ้ามากกว่า 0.25 กรัมต่อลิตร จะมีผลกระทบต่อภาคอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมผลิตสี ผลิตเหล็ก ภาคทางการแพทย์ แต่ใช้ในการอุปโภค-บริโภคได้จนถึงค่าความเค็มไม่เกิน 0.50 กรัมต่อลิตร) ตั้งแต่ วันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2557 จนถึงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ.



2557 มีค่าความเค็มบางช่วงเวลาสูงมากกว่า 1 กรัมต่อลิตร ต่อเนื่องกันถึง 20 ชั่วโมงในวัน และมีค่าความเค็มรายชั่วโมงสูงสุดคือ 1.92 กรัมต่อลิตร เมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 เวลา 22.00 น. ดังแสดงในรูปที่ 1.8 ซึ่งสูงที่สุดจากสถิติข้อมูลความเค็ม ตั้งแต่กรมชลประทานมีการ ตรวจวัดมาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2535 จนถึงปีพ.ศ. 2557 รวม 23 ปี

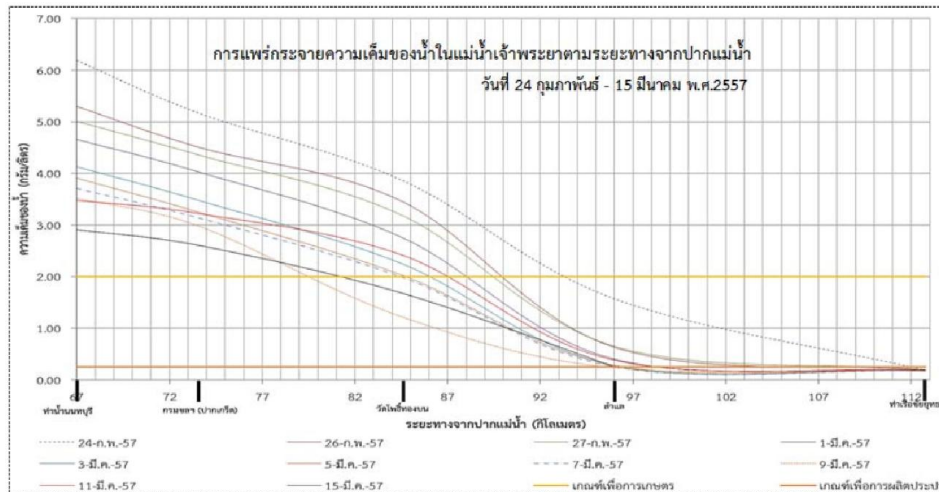


รูปที่ 1.8 ค่าความเค็มรายชั่วโมง เดือนกุมภาพันธ์พ.ศ.2557 ที่สถานีสูบน้ำประปาสำแล

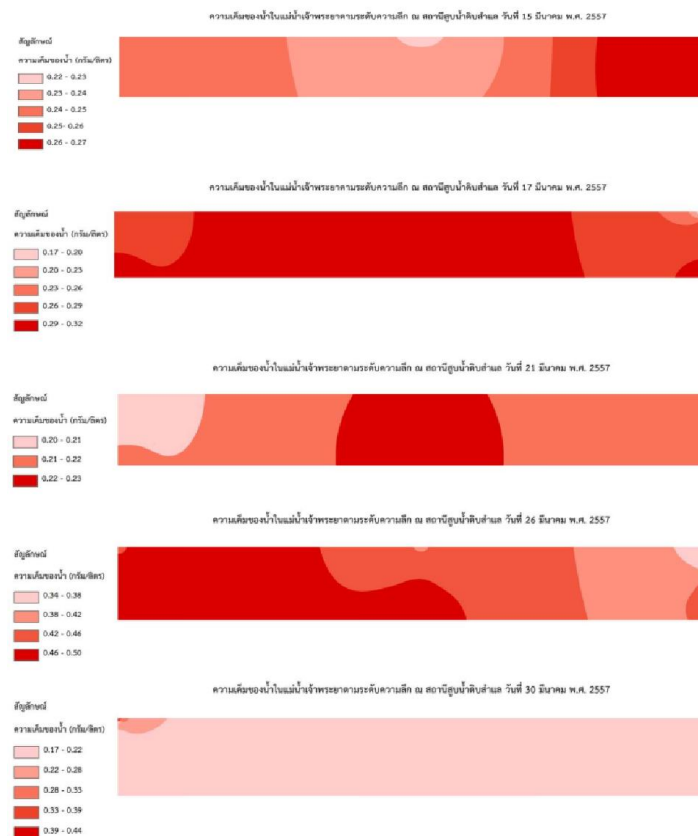
แหล่งที่มา : กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 21 เมษายน 2557

ทั้งนี้จากสถิติข้อมูล ค่าความเค็มจะสูงมากในช่วงกลางเดือนเมษายน ถึงกลางเดือน พฤษภาคมของทุกปี แต่ปรากฏว่าในปีพ.ศ. 2557 ค่าความเค็มมีค่าสูงตั้งแต่ปลายเดือนมกราคมเป็น ต้นมา และสูงสุดในกลางเดือนกุมภาพันธ์ จากการตรวจวัดการแพร่กระจายความเค็มตั้งแต่ทำนํ้า นนท์จังหวัดนนทบุรีถึงอำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ดังรูปที่ 1.9 ซึ่งพบว่า น้ำที่มีค่า ความเค็มเกินเกณฑ์สำหรับน้ำเพื่อการเกษตร คือมีค่าความเค็มสูงกว่า 2.0 กรัมต่อลิตร มีระยะทาง ประมาณ 79-93 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ และบริเวณที่มีค่าความเค็มของน้ำอยู่ในเกณฑ์เพื่อการ ผลิตประปา คือ 0.25 กรัมต่อลิตร มีระยะทางประมาณ 95-112 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ ส่วนการ แพร่กระจายความเค็มในหน้าตัดลำน้ำที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล แสดงดังรูปที่ 1.10





รูปที่ 1.9 การแพร่กระจายความเค็มของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา
แหล่งที่มา : กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 21 เมษายน 2557



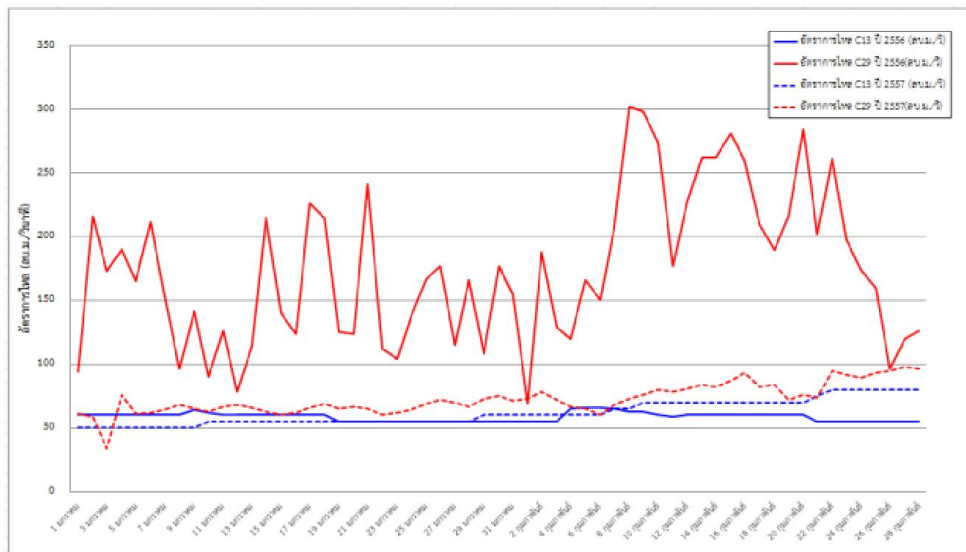
รูปที่ 1.10 การแพร่กระจายความเค็มในหน้าตัดลำน้ำที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล
แหล่งที่มา : กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 21 เมษายน 2557



1.7 การวิเคราะห์สาเหตุ

ที่สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำ C.29 อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในเดือนมกราคมถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์ 2557 มีค่าเฉลี่ยเพียง 70 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีซึ่งน้อยกว่าค่าปกติที่สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำ C.29 ที่ต้องรักษาไว้ประมาณ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีถึงแม้ว่าในช่วงดังกล่าวมีการระบายน้ำผ่านเขื่อนเจ้าพระยาระหว่าง 55-70 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีซึ่งมากกว่าปี พ.ศ.2556 ในช่วงเวลาเดียวกัน ประมาณ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีดังรูปที่ 1.11 แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณน้ำเหลือใช้จากภาคการเกษตรน้อยกว่าปีที่ผ่านมา เนื่องจากมีการใช้น้ำมากกว่าแผนที่จัดสรรน้ำให้ทั้งนี้เป็นไปตามพื้นที่เพาะปลูกที่มากกว่าแผน กล่าวคือ แผนการปลูกพืชในลุ่มน้ำเจ้าพระยาทั้งหมด 4.74 ล้านไร่ ผลการปลูกพืช ณ วันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2557 มีมากถึง 9.28 ล้านไร่ หรือมากกว่าแผนถึงร้อยละ 96 ในขณะที่ฤดูแล้งปี 2555-2556 มีพื้นที่ เพาะปลูกมากกว่าแผนเพียงร้อยละ 19 แสดงดังตารางที่ 1.7.1

อิทธิพลของน้ำทะเลหนุนสูงในช่วงปลายเดือนมกราคมต่อเนื่องถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 และในบางช่วงเวลาเกิดลักษณะของน้ำตาย (น้ำตาย หมายถึงค่าความแตกต่างของระดับน้ำขึ้นสูงสุดและลงต่ำสุดไม่ต่างกันมาก) ดังรูปที่ 1.12 ซึ่งทำให้เกิดความเค็มสะสมจากการที่น้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาไหลลงสู่ทะเลได้ช้า



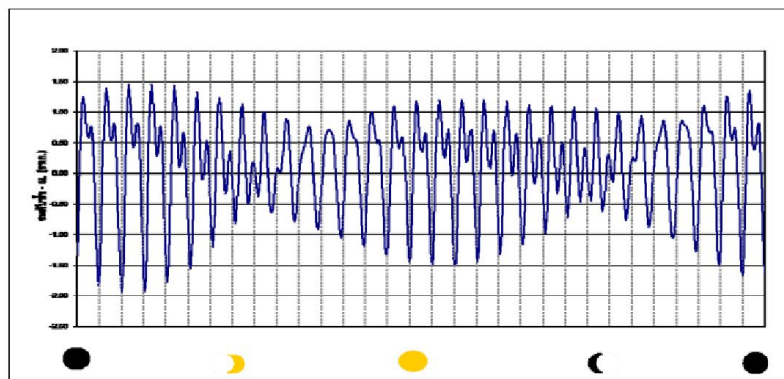
รูปที่ 1.11 ปริมาณน้ำไหลผ่านท้ายเขื่อนเจ้าพระยา และอำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
 แหล่งที่มา : กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 21 เมษายน 2557



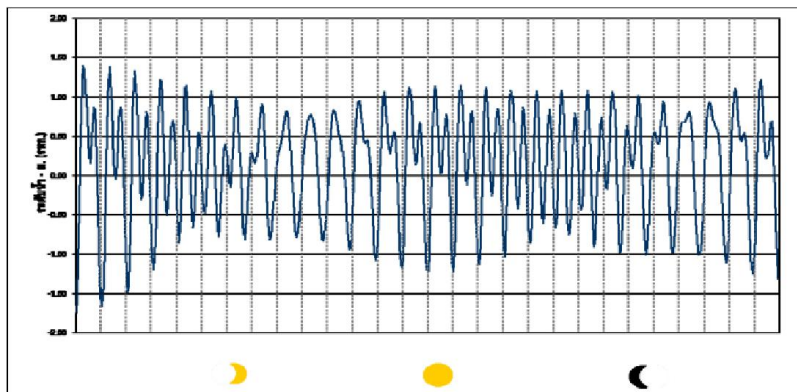
ตารางที่ 1.7.1 สถิติแผน-ผลการปลูกพืชและการใช้น้ำ ในฤดูแล้งของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

ปี	การปลูกพื้นไร่ (ล้านไร่)				การจัดสรรน้ำ (ล้านลูกบาศก์เมตร)			
	แผน	ผล	มากกว่า/ น้อยกว่า +/-	ร้อยละ	แผน	ผล	มากกว่า/ น้อยกว่า +/-	ร้อยละ
55/56	9.60	11.45	1.85	19.00	9,000	9,043	43	0.50
56/57	4.74	9.28	4.54	96.00	5,300	6,951	1,651	31.20

แหล่งที่มา : กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 21 เมษายน 2557



ก) เดือนมกราคม พ.ศ. 2557



ข) เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557

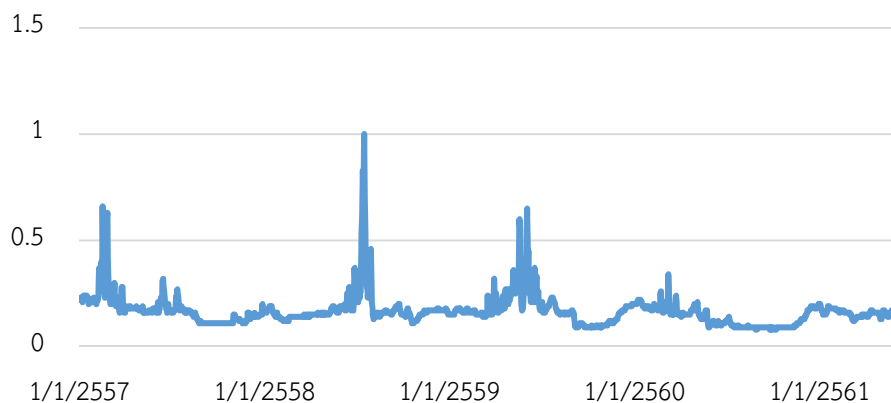
รูปที่ 1.12 ระดับน้ำขึ้นสูงสุดและลงต่ำสุดบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา เดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 แหล่งที่มา : กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 21 เมษายน 2557



1.8 มาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำเค็ม

จากสถานการณ์รุกรานของน้ำเค็มในทุก ๆ ปี กรมชลประทานได้มีมาตรการป้องกันและดำเนินการแก้ไขปัญหารุกรานของน้ำเค็มเรื่อยมา ในปีพ.ศ. 2557 มีมาตรการในการผลักดันการรุกรานของน้ำเค็มโดยการระบายน้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ ลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาโดยควบคุมปริมาณการไหลของน้ำ เพื่อให้ความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยาเจือจางลง และมีการควบคุมการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำคลองลัดโพธิ์อันเนื่องมาจากพระราชดำริให้สัมพันธ์กับการขึ้น-ลงของระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา ที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำทะเลหนุน โดยในช่วงเวลาที่น้ำทะเลหนุนสูงจะทำการปิดประตูระบายน้ำ เพื่อหน่วงการไหลของน้ำทะเล โดยการเพิ่มระยะทางการไหล ให้น้ำทะเลหนุนไปตามลำน้ำเค็มซึ่งมีระยะทางมากกว่า ในขณะที่ระดับน้ำทะเลลดลงจะทำการเปิดประตูระบายน้ำเพื่อให้ น้ำเค็มไหลกลับสู่ทะเลได้เร็วขึ้น

ในปีพ.ศ. 2559 กรมชลประทานได้ดำเนินการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำนฤบดินทรจินดาอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ.นาดี จ.ปราจีนบุรี ซึ่งช่วยเสริมศักยภาพการควบคุมค่าความเค็มในแม่น้ำบางปะกงได้ดียิ่งขึ้นด้วย



รูปที่ 1.13 กราฟแสดงค่าความเค็มบริเวณโรงสูบน้ำประปา(สำแล) จ.ปทุมธานี
ตั้งแต่ 1 มกราคม 2557 จนถึง 31 พฤษภาคม 2561

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าความเค็มในปีพ.ศ. 2557 มีค่าสูงสุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม ในปีพ.ศ. 2558 มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม ในปีพ.ศ. 2559 มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม และในปีพ.ศ. 2560-2561 ค่าความเค็มลดน้อยลงแต่ยังคงส่งผลกระทบต่อการผลิตน้ำประปาเป็นบางช่วง



จากสถานการณ์ดังกล่าว กรมชลประทาน ได้พิจารณาและประเมินสถานการณ์แล้ว เห็นว่า การเก็บเกี่ยวผลผลิตของเกษตรกรจะเริ่มขึ้นในช่วงประมาณปลายเดือนมกราคม 2557 ซึ่งหากมีการเพาะปลูกข้าวนาปรังอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ไปจนถึงเดือนเมษายน 2557 จะเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำและเกิดความเสียหายต่อพืชผลของเกษตรกรได้ ดังนั้น ตั้งแต่ต้นเดือนกุมภาพันธ์ 2557 เป็นต้นไป กรมชลประทาน จะระบายน้ำเพื่อสนับสนุนเพื่อการอุปโภค-บริโภค และรักษาระบบนิเวศน์เท่านั้น เพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะวิกฤตที่จะเกิดขึ้น

จากปัญหาน้ำเค็มรุกกล้าที่เกิดขึ้น กรมชลประทานได้กำหนดมาตรการในเบื้องต้น โดยเพิ่มการระบายน้ำที่เขื่อนเจ้าพระยา จากเดิม 50-60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็น 80 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที รวมทั้งผันน้ำจากแม่น้ำแม่กลองผ่านคลองจรเข้สามพันและคลองท่าสาร-บางปลา ลงสู่แม่น้ำท่าจีน แล้วผันเข้าคลองพระยาบันลือ ลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณอำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา แต่ค่าความเค็มในบางช่วงก็ยังคงเกินกว่าค่ามาตรฐานความเค็มน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา เนื่องจากการยังคงมีการสูบน้ำไปใช้ระหว่างทางจำนวนมากและปริมาณน้ำย้อนกลับจากพื้นที่การเกษตรมีน้อย

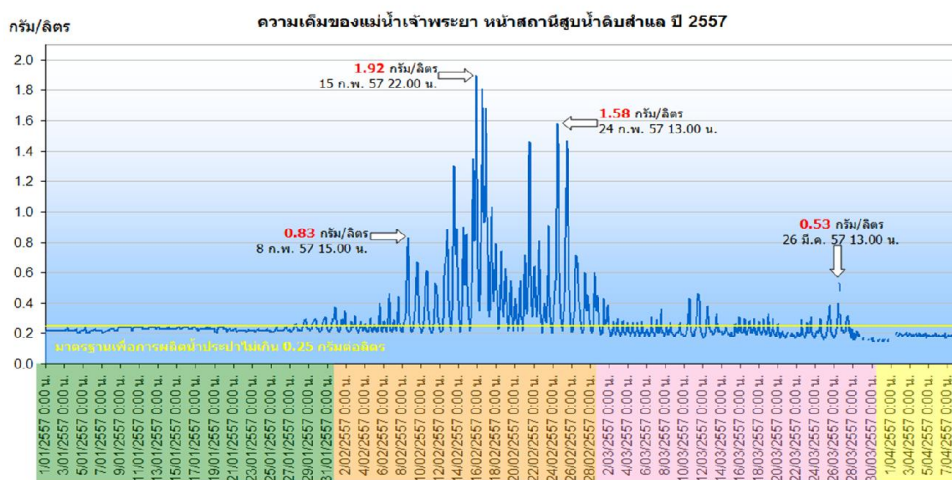
นอกจากนี้การประปานครหลวง กองทัพเรือ กรมทางหลวงกรุงเทพมหานคร กรมชลประทาน และสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน) ได้ร่วมกันปฏิบัติการผันน้ำจากแม่น้ำแม่กลองเพื่อเจือจางความเค็ม ตั้งแต่วันที่ 22 มีนาคม 2557 โดยรับน้ำจากแม่น้ำแม่กลองเข้าคลองประปามหาสวัสดิ์ ปลอยลงสู่คลองปลายบาง ให้ไหลต่อเนื่องไปยังคลองมหาสวัสดิ์ คลองบางกอกน้อย และแม่น้ำเจ้าพระยา ติดตั้งเครื่องผลักดันน้ำเพื่อเร่งความเร็วของน้ำให้ไหลไปยังแม่น้ำเจ้าพระยาให้มากขึ้น ควบคุมไปกับการจัดการระบายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยาและเขื่อนพระรามหก ส่งผลให้สถานการณ์ความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยาที่เกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงปลายเดือนมกราคม เข้าสู่สภาวะปกติในช่วงปลายเดือนมีนาคม และช่วยให้ค่าความเค็มบริเวณสถานีสูบน้ำสำแลลดต่ำลงจนไม่มีผลกระทบต่อการผลิตน้ำประปา และจากการวิเคราะห์ค่าไอโซโทปของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าน้ำจากแม่น้ำแม่กลองได้ไหลมาผสมกับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะบริเวณทำน้ำสามเสน กรมชลประทาน มีสัดส่วนของน้ำจากแม่น้ำแม่กลองถึงร้อยละ 65-74 แม่น้ำเจ้าพระยาร้อยละ 25-33 และน้ำทะเลร้อยละ 1.5 อีกทั้งค่าความเค็มบริเวณคลองมหาสวัสดิ์จนถึงคลองบางกอกน้อยลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับก่อนเริ่มปฏิบัติการ ส่งผลให้คลองสาขาในพื้นที่กรุงเทพมหานครบริเวณทิศใต้ของคลองมหาสวัสดิ์ มีคุณภาพดี สามารถนำไปใช้ใน



การเกษตรได้ ซึ่งโดยปกติช่วงเวลานี้ของทุกปี กรุงเทพมหานครจะปิดประตูระบายน้ำไม่ให้น้ำจาก คลองมหาสวัสดิ์เข้าพื้นที่ เนื่องจากมีค่าความเค็มเกินค่ามาตรฐานทำให้พื้นที่เกษตรได้รับผลกระทบ เป็นประจำ

สำหรับแม่น้ำบางปะกง จากการตรวจวัดค่าความเค็มของกรมควบคุมมลพิษ ที่สถานีบาง แตน ต.บางแตน อ.บ้านสร้าง จ.ปราจีนบุรี ซึ่งเป็นบริเวณใกล้จุดบรรจบของแม่น้ำปราจีนบุรีและ แม่น้ำนครนายก พบว่ามีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 4.7-7.9 กรัมต่อลิตร ซึ่งเกินค่ามาตรฐานสำหรับการ ผลิตน้ำประปาและมาตรฐานน้ำเพื่อการเกษตร ส่วนที่ อ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา ค่าความเค็ม มากกว่า 10 กรัมต่อลิตร ส่งผลให้ระบบผลิตน้ำประปาที่ใช้น้ำดิบจากแม่น้ำบางปะกง อาทิ การ ประปาส่วนภูมิภาคที่ อ.บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา รวมไปถึงระบบประปาชุมชนในหลายแห่ง เกิด ปัญหาในการผลิตน้ำประปาเนื่องจากมีความเค็มเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งค่าความเค็มที่เกินมาตรฐาน เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ดังรูปที่ 1.13-1.14

ส่วนแม่น้ำท่าจีน ไม่ได้รับผลกระทบน้ำจากปัญหาน้ำเค็มรุกล้ำ เนื่องจากกรมชลประทาน ได้ผันน้ำจากแม่น้ำแม่กลองผ่านคลองจรเข้สามพันและคลองท่าสาร-บางปลา ลงสู่แม่น้ำท่าจีนเป็น จำนวนมากทำให้ค่าความเค็มอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเพื่อการผลิตน้ำประปาตลอดช่วงฤดูแล้ง



รูปที่ 1.14 ความเค็มของแม่น้ำเจ้าพระยา หน้าสถานีสูบน้ำดิบสำแล ปี 2557



1.9 ปัญหามลพิษทางน้ำ

1.9.1 ความหมายของมลพิษทางน้ำ

ในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ได้ให้คำจำกัดความของคำว่า “มลพิษ” “ภาวะมลพิษ” และ “น้ำเสีย” ดังนี้

“มลพิษ” หมายความว่า ของเสีย วัตถุอันตรายและมลสารอื่น ๆ รวมทั้งกากตะกอนหรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านั้น ที่ถูกปล่อยทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษ หรือที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพ สิ่งแวดล้อมหรือภาวะที่เป็นพิษภัยอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนได้ และให้หมายความรวมถึง รังสี ความร้อน เสียง แสง กลิ่น ความสั่นสะเทือนหรือเหตุรำคาญอื่น ๆ ที่เกิดหรือถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดมลพิษด้วย

“ภาวะมลพิษ” หมายความว่า สภาวะที่สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงหรือปนเปื้อนโดยมลพิษ ซึ่งทำให้คุณภาพของสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมลง เช่น มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ และมลพิษในดิน

“น้ำเสีย” หมายความว่า ของเสีย ที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปน หรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น

ดังนั้น มลพิษทางน้ำ หมายถึง สภาพน้ำที่เสื่อมคุณภาพ น้ำจะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากสภาพธรรมชาติ เนื่องจากมีสารมลพิษเข้าไปปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก น้ำในลักษณะนี้ไม่เหมาะต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ไม่เหมาะต่อการบริโภคและอุปโภคของมนุษย์ เช่น น้ำที่มีสีผิดปกติ มีกลิ่นเหม็นน้ำที่มีสารเคมีที่เป็นพิษหรือเชื้อโรคปะปนอยู่ รวมทั้งน้ำที่มีอุณหภูมิสูงผิดปกติ

1.9.2 สาเหตุที่ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ

ในปัจจุบันมลพิษทางน้ำเป็นปัญหาหลักของการนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคของมนุษย์ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ สาเหตุที่ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำส่วนใหญ่อาจเกิดจากการปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมหรือตามบ้านเรือน สาเหตุอื่นที่ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำอาจเป็นดังนี้

1. น้ำเสียด้านกายภาพ (Physical waste water)

คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำที่ใช้ใน การประเมินคุณภาพด้านกายภาพของน้ำ ได้แก่

1.1) อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิของน้ำที่สิ่งมีชีวิตจะอยู่ได้อย่างปกติขึ้นอยู่กับ

สิ่งมีชีวิตนั้น ๆ ปลาในเขตอบอุ่นอาจจะอยู่ในอุณหภูมิสูงสุด 15 องศาเซลเซียส และต่ำสุดอาจเพียง 3 องศาเซลเซียสก็ได้ ส่วนสัตว์ในประเทศไทยอยู่ได้ระหว่าง 20-35 องศาเซลเซียส ถ้าร้อนหรือเย็น



กว่านี้อาจทำให้ตายได้ เนื่องจากมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาเคมี และมีผลต่อการละลายของออกซิเจนในน้ำ และมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมอุณหภูมิน้ำต้องไม่เกิน 20 องศาเซลเซียส

1.2) สีและความขุ่น (Color and turbidity) สีของน้ำสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าและบ่งชี้ที่สด ปกติแหล่งน้ำในธรรมชาติทั่วไปจะมีสีใส เหลืองอ่อน จนถึงสีน้ำตาลอ่อน แต่การที่สีของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจากธรรมชาติจนมีสีดำ สีแดง สีเขียว หรือสีอื่น ๆ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากมีสารแขวนลอยและสารละลาย รวมทั้งสารอินทรีย์ต่าง ๆ ละลายอยู่ หรืออาจเกิดจากพืชในน้ำทำให้สีของน้ำเปลี่ยนไป โดยที่น้ำนั้นไม่ได้เป็นน้ำเสียแต่อย่างใด สำหรับสีของน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติในประเทศไทย มีค่าระหว่าง 11 - 18 หน่วย แต่ในแม่น้ำเจ้าพระยา 20-26 หน่วย ซึ่งใกล้เคียงกับแม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำบางปะกง ส่วนความขุ่นโดยธรรมชาติอยู่ระหว่าง 25-75 เจทียู แม่น้ำใหญ่ ๆ ทุก ๆ ภาค มีค่าความขุ่นมากกว่า 80 หน่วยเจทียู สีในน้ำไม่ควรเกิน 20 หน่วย ความขุ่นไม่เกิน 25 หน่วย

1.3) กลิ่น (Odor) น้ำในธรรมชาติเป็นน้ำที่ไม่มีกลิ่น น้ำที่มีกลิ่นมักเป็นน้ำเสียซึ่งอาจจะมีสารเคมีหรือสิ่งเน่าเปื่อยปะปนอยู่จนทำให้มีกลิ่น โดยมากจะเกิดจากกลิ่นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ กลิ่นของน้ำจึงขึ้นอยู่กับการปริมาณสิ่งปฏิกูลที่ละลายอยู่ในน้ำ

1.4) การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) การนำไฟฟ้าของน้ำ หมายถึง ความสามารถของน้ำในการเป็นสื่อนำกระแสไฟฟ้า ตัวกลางที่เป็นสื่อนำกระแสไฟฟ้าในแหล่งน้ำ คือ สารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายน้ำแล้วให้อิออน เช่น กรดอนินทรีย์ ต่าง และเกลือ การวัดการนำไฟฟ้าสามารถอธิบายถึงความเข้มข้นของแร่ธาตุหรือสารประกอบต่าง ๆ หรือปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่ละลายอยู่ในน้ำได้ ถ้ามีสารละลายปะปนอยู่ในปริมาณมากก็จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามากขึ้นด้วย ซึ่งหมายความว่าน้ำจะมีสารที่ทำให้เกิดน้ำเสียมากขึ้นด้วยเช่นกัน แหล่งน้ำธรรมชาติจะมีค่าการนำไฟฟ้าได้ระหว่าง 0.10 - 50 มิลลิโอมห์/เซนติเมตร

1.5) ของแข็งในน้ำ (Total Solids) หมายถึง ของแข็งที่เป็นสารแขวนลอย เช่น ตะกอน และสารที่ละลายน้ำได้ ปกติน้ำที่ใช้ในการอุปโภคบริโภค จะมีของแข็งในน้ำระหว่าง 20-1,000 มิลลิกรัม/ลิตร อาจเป็นได้ทั้งสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ ซึ่งถ้ามีของแข็งเกินกว่า 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และไปใช้ผลิตน้ำประปาแล้ว จะเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก

1.6) ลักษณะทางกายภาพอื่น ๆ เช่น ความหนาแน่น และความหนืด ซึ่งจะเปลี่ยนไปตาม



อุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศ ความลึก ความเข้มข้นของสารแขวนลอย หรือความเค็มของน้ำ

2. น้ำเสียทางเคมี (Chemical Waste Water)

คุณลักษณะทางเคมีของน้ำที่ใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำด้านเคมีของน้ำ

2.1) ความกระด้างของน้ำ (Hardness) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ความกระด้างชั่วคราว ซึ่งมีสาเหตุมาจากสารพวกคาร์บอเนต ไบคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียมละลายอยู่ ส่วนความกระด้างถาวรเกิดจากมีสารพวกซัลเฟต คลอไรด์ของแคลเซียมและแมกนีเซียมละลายอยู่ น้ำที่มีความกระด้างมากกว่า 300 มิลลิกรัม/ลิตรแคลเซียมคาร์บอเนต (mg/CaCO_3) ไม่ควรใช้เป็นน้ำดื่ม

2.2) ความเป็นกรดต่างของน้ำ (pH Value of Water) น้ำใช้ปกติมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.5-8.5 และสำหรับน้ำดื่ม pH ควรอยู่ระหว่าง 6-8

2.3) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen หรือ DO) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำเป็นอย่างมาก น้ำในธรรมชาติที่มีคุณภาพดี มักมี DO อยู่ประมาณ 5-7 ppm หากน้ำเสียจะมี DO น้อยกว่า 3 ppm แต่มาตรฐานคุณภาพน้ำที่ทำให้ปลาและสัตว์น้ำมีชีวิตรอดได้ต้องไม่น้อยกว่า 2 ppm ออกซิเจนจะละลายได้น้อยมาก ถ้าน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นและ DO ลดลงอย่างรวดเร็วแสดงว่ามีสารอินทรีย์อยู่ในแหล่งน้ำมาก

2.4) บีโอดี (Bio-chemical oxygen demand : BOD) การวิเคราะห์หาค่า BOD เป็นการวิเคราะห์ความสกปรกของน้ำเสียในรูปของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน จากขบวนการชีวเคมีนี้จุลินทรีย์จะได้รับพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและแบ่งตัวต่อไป ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายของการออกซิไดซ์สารอินทรีย์จะให้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ หรือแอมโมเนีย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำ ถ้าค่า BOD ในน้ำเสียสูงแสดงว่าน้ำถูกปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์เป็นจำนวนมาก ในทางกลับกันถ้าค่า BOD ต่ำแสดงว่าน้ำถูกปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์น้อย

2.5) ซีโอดี (Chemical oxygen demand : COD) ค่า COD เป็นการวัดความสกปรกของน้ำเสียในรูปของปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักการที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดภายใต้สภาวะที่เป็นกรด พวกอะมิโน ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรท ค่า COD ของน้ำจะสูงกว่าค่า BOD เสมอ



2.6) สารเคมีที่กำจัดศัตรูพืชและสัตว์ สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (Pesticides) ซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวางในการเกษตร ซึ่งสารเคมีพวกนี้จะสลายตัวช้าและตกค้างในสิ่งแวดล้อมนาน ได้แก่ กลุ่มคลอรีนไฮโดรคาร์บอน

2.7) โลหะหนัก (Heavy Metals) โลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีเลขอะตอมในช่วง 23-92 อยู่ในคาบ 5-7 ในตารางธาตุ และความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป ในสถานะปกติโลหะหนักเมื่ออยู่ในรูปของธาตุบริสุทธิ์จะมีความเป็นพิษเล็กน้อย แต่ถ้าอยู่ในรูปสารประกอบบางตัวจะเป็นอันตรายมาก โลหะหนักมีทั้งหมด 68 ธาตุ เช่น ตะกั่ว พรอท สังกะสี ทองแดง แคดเมียม เหล็ก สารหนู เป็นต้น โลหะหนักที่มีบทบาทต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ พรอท ตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู

3. น้ำเสียทางชีววิทยา (Biological Waste Water)

สภาพน้ำเสียทางชีววิทยา หมายถึง น้ำที่มีสิ่งมีชีวิตเป็นพิษเป็นภัยต่อมนุษย์ สัตว์และพืชไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง โดยสิ่งมีชีวิตนั้นอาจจะไม่ทำให้น้ำเน่าเสียโดยตรง เพียงแต่ตัวมันเองอาศัยอยู่แล้วทำให้เกิดพิษขึ้น เช่น แบคทีเรีย โปรโตซัว ไวรัส พยาธิ เป็นต้น โดยปกติการตรวจวัดความสกปรกของน้ำทางด้านชีววิทยา มักจะตรวจสอบลักษณะของน้ำทางจุลชีววิทยา ด้วยการตรวจหาปริมาณของโคลิฟอร์มแบคทีเรียซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์เลือดอุ่นสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี และอยู่ในอุจจาระปริมาณ 95 % ตามแหล่งน้ำธรรมชาติ 5 % ถ้าพบปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียเกิน 10 MPN/100 ml ไม่ควรใช้เป็นน้ำดื่ม ถ้าเกิน 10,000 10 MPN/100 ml ไม่ควรใช้ทำน้ำประปา และถ้าเกิน 25,000 10 MPN/ 100 ml ไม่ควรลงไปอาบในแหล่งน้ำนั้น ๆ

1.9.3 ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ (Water Quality Index) ใช้เป็นตัวบ่งชี้สถานการณ์ของคุณภาพน้ำ โดยบอกเป็นตัวเลข หรือสัญลักษณ์สี เพื่อใช้ในการติดตามเปรียบเทียบสภาวะแวดล้อม และแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำ (Water Quality) เป็นคำที่มีความหมายกว้างมากแต่มีขอบเขต ซึ่งจะถูกกำหนดโดยคุณลักษณะของน้ำที่ต้องการหรือเหมาะสมสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ โดยปกติในธรรมชาติจะมีคุณลักษณะที่แตกต่างกันออกไปโดยมีสารเจือปนอยู่ในน้ำมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ



กับแหล่งที่มาของน้ำ คุณลักษณะของน้ำที่เหมาะสมจะแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานว่าต้องการคุณลักษณะของน้ำอย่างไร มีส่วนประกอบอะไรและไม่ควรมีส่วนประกอบหรือสารเจือปนชนิดใด คุณภาพของน้ำขึ้นอยู่กับสิ่งเจือปนหรือปนเปื้อนอยู่ในน้ำซึ่งมีอยู่หลากหลายชนิด ได้แก่ ธาตุหรือ อีออนต่าง ๆ เช่น โซเดียมโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ที่ทำให้น้ำมีคุณภาพต่างกัน

คุณลักษณะที่สำคัญของน้ำสามารถแบ่งออกเป็นคุณลักษณะใหญ่ ๆ ได้ 3 ลักษณะ คือ

1. คุณลักษณะทางกายภาพ (Physical Characteristics) เป็นคุณลักษณะของน้ำที่บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำทางกายภาพ ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ สภาพนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็ง กลิ่น สี และรส

2. คุณลักษณะทางเคมี (Chemical Characteristics) เป็นคุณลักษณะที่เกิดจากสารเคมีที่เจือปนอยู่ในน้ำ ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ต้องใช้การตรวจสอบด้วยวิธีการทางห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีทั้งที่เป็นปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เจือปนอยู่ในน้ำ ตัวอย่างเช่น ความกระด้าง อีออนลบชนิดต่าง ๆ เช่น ฟอสเฟต คลอไรด์ ซัลเฟต ความเป็นกรดต่าง เป็นต้น ค่าที่แสดงถึงความสกปรกในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ค่าบีโอดี (BOD) ค่าซีโอดี (COD) เป็นต้น โลหะต่าง ๆ เช่น ตะกั่วปรอทแคดเมียม สังกะสี ทองแดง เป็นต้น น้ำมันและไขมัน ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณแขวนลอยทั้งหมด ยาปราบวัชพืชและยากำจัดแมลง สารกัมมันตภาพรังสี สารซักฟอกและสารอินทรีย์ต่าง ๆ

3. คุณลักษณะทางชีววิทยา (Biological Characteristics) เป็นคุณลักษณะที่แสดงถึงคุณภาพของน้ำที่เกิดจากจุลินทรีย์ที่เจือปนอยู่ในน้ำ โดยจุลินทรีย์บางชนิดที่ทำให้เกิดโรคในคนและจุลินทรีย์บางชนิดที่ทำให้คุณภาพของน้ำเปลี่ยนไป เช่น ซัลเฟอร์แบคทีเรียจะสร้างสารประกอบซัลเฟอร์ ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเป็นเหตุทำให้น้ำมีกลิ่นเหม็นเหมือนไข่เน่า ซึ่งจะเป็นกลิ่นเฉพาะตัวของแข็งนี้ และถ้าซัลไฟด์อีออนจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์รวมตัวกับโลหะบางชนิดที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ เช่น เหล็ก เป็นต้น จะทำให้เกิดสารประกอบของโลหะซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ ตัวอย่างการตรวจคุณลักษณะทางชีววิทยา เช่น การตรวจหาชนิดและปริมาณของสาหร่าย การตรวจหาไวรัส การตรวจหาแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

สามารถสรุปรายละเอียดของดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำที่สำคัญ ดังนี้

1) อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิของน้ำเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำพื้นฐาน ซึ่งหมายถึงระดับความร้อนของน้ำ โดยปกติแล้วตามธรรมชาติจะได้รับพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีของดวง



อาทิตย์และการถ่ายเทความร้อนจากบรรยากาศและพื้นดิน อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ซึ่งตามปกติอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติจะผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงดวงอาทิตย์ กระแสลม ความลึก ปริมาณสารแขวนลอย ความขุ่นและสภาพแวดล้อมทั่ว ๆ ไปของแหล่งน้ำ (แสงสรรค์ ภูมิสถานและคณะ, 2547) และสำหรับอุณหภูมิของน้ำในแม่น้ำลำคลองและแหล่งน้ำตามธรรมชาติของประเทศไทย มีค่าอยู่ระหว่าง 20-35 องศาเซลเซียส

2) ความเป็นกรด-เบส (pH) ปกติแหล่งน้ำตามธรรมชาติจะมี pH อยู่ระหว่าง 5-9 แต่มีกรณีที่ pH อาจสูงหรือต่ำกว่านี้ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่อยู่ในดินเปรี้ยวอาจได้รับอิทธิพลจากการเป็นกรดของดินทำให้ค่า pH ของน้ำต่ำจนเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ส่วนมากสัตว์น้ำจะตายเมื่อ pH น้อยกว่า 4 และ pH มากกว่า 11 น้ำในธรรมชาติส่วนมากมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเล็กน้อย เนื่องจากมีคาร์บอนและไบคาร์บอนเตละลายอยู่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำในช่วง 7-8.5 สิ่งมีชีวิตในน้ำจะเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี น้ำที่เหมาะสมแก่การเลี้ยงสัตว์มากที่สุดจะอยู่ระหว่าง 6.5-8.5 หรือ 9 เป็นอย่างสูง น้ำที่มี pH ต่ำจะมีความอุดมสมบูรณ์น้อยกว่าแหล่งน้ำที่มี pH สูง และสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะสามารถทนต่อ pH ไม่เท่ากัน ระดับ pH อาจแปรผันไปตามอิทธิพลของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น จุลินทรีย์ แพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำ

3) ความโปร่งใส (Transparency) และความขุ่น (Turbidity) ความขุ่น หมายถึง น้ำที่มีสารแขวนลอยซึ่งขัดขวางทางเดินของแสงที่ผ่านน้ำนั้น ความขุ่นจะเกิดจากการที่น้ำนั้นมีสารแขวนลอยอยู่ เช่น ดินละเอียดหรืออาจเป็นพวกอินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร แพลงก์ตอน และสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ซึ่งสารพวกนี้จะก่อให้เกิดการกระจายและการดูดซึมของแสงแทนที่จะปล่อยให้แสงผ่านไปเป็นเส้นตรง สารแขวนลอยดังกล่าวอาจจะมีขนาดตั้งแต่คอลลอยด์ซึ่งละเอียดมาก (ใหญ่กว่า 0.2 มิลลิเมตร แต่เล็กกว่า 10 มิลลิเมตร) จนกระทั่งถึงหยาบ (102 ถึง 103 มิลลิเมตร) พวกหลังนี้ตกตะกอนได้ง่าย แต่พวกแรกจะไม่ตกตะกอนและจะเป็นสาเหตุของความขุ่นของน้ำตามทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำหรือน้ำที่ค่อนข้างสงบนิ่ง (แสงสรรค์ ภูมิสถานและคณะ, 2546) แหล่งน้ำโดยทั่วไปที่มีความโปร่งใสจะอยู่ระหว่าง 30-60 เซนติเมตร จัดว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ หากมีค่าต่ำกว่า 30 เซนติเมตร น้ำมีความขุ่นมากเกินไป ซึ่งอาจทำให้เกิดการขาดแคลนออกซิเจนได้ แต่ถ้าความโปร่งใสมีมากกว่า 60 เซนติเมตร ก็แสดงว่าแหล่งน้ำนั้นขาดความอุดมสมบูรณ์



4) ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen : DO) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีความสำคัญมากต่อแหล่งน้ำและเป็นปัจจัยที่สำคัญของการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิของอากาศ ความเค็ม ความเร็วของกระแสและอัตราการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำยังเป็นดัชนีแสดงคุณภาพน้ำที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งด้วย เพราะออกซิเจนเป็นธาตุที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ปริมาณออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลง เช่น ออกซิเจนจะมีความสามารถในการละลายน้ำเพิ่มขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีอุณหภูมิของน้ำลดลงจาก 25 องศาเซลเซียสไปจนกระทั่งเกือบ 0 องศาเซลเซียส ในน้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดีมักมีออกซิเจนละลายในน้ำอยู่ระหว่าง 5-7 มิลลิกรัมต่อลิตร

5) ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand : BOD) คือ ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งค่าบีโอดีนี้บอกให้ทราบถึงปริมาณการเจือปนของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำและเป็นการวัดค่าความสกปรกของแหล่งน้ำที่จะกำจัดความสกปรกโดยธรรมชาติและยังมีรายงานว่าค่าบีโอดีจะบอกถึงความสกปรกของน้ำในรูปแบบของออกซิเจนซึ่งแบคทีเรียต้องการใช้ ถ้ามีสารอินทรีย์ในน้ำมากออกซิเจนจะถูกใช้ในกระบวนการทางชีวเคมีมากขึ้น ทำให้ค่าบีโอดีสูง แต่ถ้าสารอินทรีย์ในน้ำน้อยกระบวนการย่อยสลายก็มีน้อยทำให้ค่าบีโอดีต่ำลง

6) ฟอสฟอรัส (Phosphorus) การหมุนเวียนของฟอสฟอรัสต่างจากธาตุอื่นที่ไม่มีการหมุนเวียนผ่านรูปแบบที่เป็นก๊าซ ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่อยู่ในธรรมชาตินี้้อยมาก และเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา เช่น แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด ด้วยเหตุนี้ฟอสฟอรัสจึงถูกใช้หมุนเวียนอยู่ระหว่างสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตในปริมาณที่จำกัด ดังนั้นฟอสฟอรัสจึงเป็นปัจจัยที่จำกัดจำนวนสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศหลายชนิด ฟอสฟอรัสถือเป็นธาตุอาหารจำกัดบนพื้นดินเพราะเกิดจากการชะล้างเท่านั้น ในการเกษตรกรรมจะใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในรูปของสารประกอบอินทรีย์ แต่ถ้าปุ๋ยเหล่านี้ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำมากจะเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชน้ำจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ตามมาเช่นกัน

7) ไนโตรเจน (Nitrogen) สารประกอบไนโตรเจนที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสียแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดอะมิโนและสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียไนโตรเจนและไนเตรต สารประกอบไนโตรเจนรูปต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันโดยสามารถเปลี่ยนรูปกลับไปมากันได้โดยปฏิกิริยาชีวเคมีแบคทีเรีย ไนโตรเจนเป็นตัวบ่งชี้ถึงความ



สะอาดของน้ำ โดยในการตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ ถ้าพบสารประกอบไนโตรเจนในรูปอินทรีย์ไนโตรเจน (Org-N) และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH₃-N) ในปริมาณมากอาจแสดงว่าน้ำนั้นมีความสกปรกและมีการปนเปื้อน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549) ถ้ามีไนโตรเจนในน้ำมากจะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วหรือเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันตามมา

8) ปริมาณไขมันน้ำมันและไขมันในน้ำ (Fat Oil and Grease: FOG) น้ำมันและไขมันหมายถึง ปริมาณน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนน้ำ เมื่อน้ำมันและไขมันลอยอยู่บนผิวน้ำทำให้ออกซิเจนจากอากาศไม่สามารถถ่ายเทลงสู่ได้ น้ำมันและไขมันเป็นสารอินทรีย์ที่มีแอลกอฮอล์หรือกลีเซอรอลและกลีเซอรินเป็นองค์ประกอบที่สะสมอยู่ในพืชและสัตว์โดยธรรมชาติ ซึ่งต่างกับน้ำมันแร่ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอน เมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติเรียกว่า น้ำมัน แต่ถ้าอยู่ในสถานะที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติเรียกว่า ไขมัน ไขมันจะมีความคงตัวมากกว่าสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ ทำให้ถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้ยาก ถ้ามีสารละลายต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ฯลฯ จะทำให้กลีเซอรินถูกปล่อยออกมาเกิดเกล็ดต่างของกรดไขมัน (fatty acid) น้ำมันและไขมันอาจปนเปื้อนกับน้ำเสียที่มาจากบ้านเรือน เช่น เนย น้ำมันหมู เนยเทียม น้ำมันและน้ำมันธัญพืช ผลไม้บางชนิด ฯลฯ

1.9.4 การคำนวณและเกณฑ์การแบ่งดัชนีวัดคุณภาพน้ำ

การดำเนินการในการควบคุมและจัดการคุณภาพน้ำ สามารถตรวจสอบได้จากค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป โดยเกณฑ์ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำมีหน่วยเป็นคะแนนที่เริ่มจาก 0 ถึง 100 คะแนน จากการรวมคะแนนของดัชนีคุณภาพน้ำ 9 ดัชนี คือ อุณหภูมิ (T), ความเป็นกรด-ด่าง (pH), ออกซิเจนละลายน้ำ (DO), ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS), แบคทีเรียกลุ่มฟีคัล โคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria : FCB), ไนเตรต (NO₃-N), ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP), ความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์ (Biological Oxygen Demand : BOD) และความขุ่น (Turbidity) โดยมีวิธีการคำนวณค่าดัชนีคุณภาพน้ำโดยทั่วไป ดังสมการ

$$WQI = \sqrt[9]{(Temp)(pH)(DO)(TS)(FCB)(N_3^-)(TP)(BOD)(Turbidity)}$$

จากผลการคำนวณสามารถแบ่งเป็นเกณฑ์คุณภาพน้ำได้ 5 ระดับ ดังตารางที่ 1.9.1 และมีการกำหนดประเภทน้ำผิวดินและการใช้ประโยชน์ของแต่ละประเภท ดังตารางที่ 1.9.2



ตารางที่ 1.9.1 การแบ่งประเภทคุณภาพน้ำเมื่อเทียบกับคะแนนของ WQI

ค่าคะแนน WQI	เกณฑ์คุณภาพน้ำ	ประเภทคุณภาพน้ำ
0-30	เสื่อมโทรมมาก	5
31-60	เสื่อมโทรม	4
61-70	พอใช้	3
71-90	ดี	2
91-100	ดีมาก	1

แหล่งที่มา : กรมควบคุมมลพิษ



ตารางที่ 1.9.2 การกำหนดประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน

ประเภทแหล่งน้ำ	การใช้ประโยชน์
ประเภทที่ 1	ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยไม่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน (2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน (3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ
ประเภทที่ 2	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยไม่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ (3) การประมง (4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ
ประเภทที่ 3	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยไม่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การเกษตร
ประเภทที่ 4	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยไม่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน (2) การอุตสาหกรรม
ประเภทที่ 5	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

แหล่งที่มา : กรมควบคุมมลพิษ



1.9.5 ประโยชน์ของดัชนีคุณภาพน้ำ

การกำหนดและการใช้ดัชนีเป็นตัวแทนเพื่อแสดงถึงคุณภาพของแหล่งน้ำและเป็นการควบคุมมลพิษทางน้ำ ข้อมูลคุณภาพของน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถแปลความหมายให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการเข้าใจ สามารถบ่งบอกถึงคุณลักษณะของน้ำว่าอยู่ในหลักเกณฑ์ใดซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในด้านการบริหารจัดการน้ำ แบ่งประเภทของน้ำเพื่อการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ และบอกถึงพฤติกรรมการใช้น้ำในบริเวณที่ทำการตรวจวัดว่าบริเวณนั้นมีการปล่อยมลพิษทางน้ำหรือไม่อย่างไร แหล่งที่ทำการตรวจสอบอยู่ในเขตอุตสาหกรรมหรือไม่ โดยสามารถนำดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำมาวิเคราะห์และกำหนดแผนการจัดการน้ำ หรือมาตรการจัดการแหล่งน้ำ เพื่อให้แหล่งน้ำบริเวณนั้นมีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้นและเหมาะสมกับการอุปโภคบริโภคได้อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยตัดสินใจในการกำหนด นโยบายของรัฐบาลเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด กล่าวคือดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำสามารถช่วยตัดสินใจในเรื่องดังต่อไปนี้

1. การจัดสรรทรัพยากร ดัชนีสามารถนำมาประยุกต์ช่วยในการตัดสินใจในการบริหารกองทุนเพื่อการจัดสรรและการกำหนดลำดับความสำคัญที่สัมพันธ์กับเรื่องของน้ำ
2. การจัดอันดับในการจัดสรร ดัชนีสามารถนำมาประยุกต์ช่วยในการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำจากหลายๆ ที่หรือมีสภาพทางภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกัน
3. มาตรฐานในการบังคับ ดัชนีสามารถนำมาประยุกต์ช่วยในการเจาะจงพื้นที่เพื่อที่จะหาขอบเขตของการล่วงละเมิดในทางกฎหมายหรือตามกฎหมายที่มีอยู่
4. การวิเคราะห์แนวโน้ม ดัชนีสามารถนำมาประยุกต์ช่วยในการหาคุณภาพน้ำที่จะมีการเปลี่ยนแปลงต่อไปในภายภาคหน้า ซึ่งอาจจะลดลงหรือดีขึ้นกว่าเดิม
5. ให้ข้อมูลต่อสาธารณะ ค่าคะแนนของดัชนีง่ายต่อการเข้าใจในการวัดระดับของคุณภาพน้ำสามารถเผยแพร่ให้ประชาชนทราบคุณภาพน้ำในแต่ละแหล่งน้ำได้

1.10 ปฏิริยาเคมีที่มีผลต่อกระบวนการทำน้ำประปา

1.10.1 ปฏิริยาเคมี

ปฏิริยาเคมี (Chemical reaction) คือ กระบวนการที่เกิดจากการที่สารเคมีเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วส่งผลให้เกิดสารใหม่ขึ้นมาซึ่งมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม การเกิดปฏิริยาเคมีจำเป็นต้องมีสารเคมีตั้งต้น 2 ตัวขึ้นไป (เรียกสารเคมีตั้งต้นเหล่านี้ว่า "สารตั้งต้น" หรือ reactant)



ทำปฏิกิริยาต่อกัน และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติทางเคมี ซึ่งก่อตัวขึ้นมาเป็นสารใหม่ ที่เรียกว่า "ผลิตภัณฑ์" (product) ซึ่งสารผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติทางเคมีที่เปลี่ยนไปจากเดิม

น้ำที่ใช้ทำน้ำประปา คือ น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่นำมาผ่านกระบวนการทำให้น้ำสะอาด หลายกระบวนการ เริ่มตั้งแต่การกำจัดวัตถุ หรืออนุภาคที่มีขนาดใหญ่ โดยการผ่านน้ำเข้าสู่ตะแกรง และเข้าสู่กระบวนการแรก คือ การปรับปรุงคุณภาพน้ำและการตกตะกอน (Flocculation) โดยการเติมปูนขาว หรือสารส้มเพื่อช่วยในการตกตะกอนและปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ เมื่อทิ้งให้น้ำตกตะกอน จะทำให้ได้น้ำที่ใสสะอาด แล้วจึงส่งต่อไปผ่านกระบวนการกรองเพื่อกำจัดตะกอน และอนุภาคสิ่งสกปรกที่มีขนาดเล็ก โดยกรองผ่านทรายกรองและกรวดกรอง อนุภาคจะจับกับชั้นทราย จึงลดปริมาณความขุ่นได้ ทำให้ได้น้ำที่ใสสะอาดอย่างแท้จริง จากนั้นจึงส่งต่อไปยังกระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Chlorination) โดยการเติม คลอรีนในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อฆ่าเชื้อโรคแต่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย น้ำประปาที่ผ่านกระบวนการทั้งหมด จะเป็นน้ำที่ใสสะอาด ปราศจากเชื้อโรค แต่ยังไม่สามารถจ่ายให้กับประชาชนได้ จนกว่าจะผ่านกระบวนการตรวจสอบ และควบคุมคุณภาพน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ได้น้ำที่ใสสะอาด และปลอดภัย โดยผ่านกระบวนการดังนี้

- 1) แกว่งให้น้ำใสด้วยสารส้ม สารส้มหรืออะลูม (alum) คือสารประกอบเกลืออะลูมิเนียม ซัลเฟต หลักการทำให้ตกตะกอนของสารส้ม อาศัยหลักการทำปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีกับอนุภาคที่มีประจุ เนื่องจากสารแขวนลอยหรือตะกอนจะมีประจุลบ ดังนั้นจึงต้องเติมสารเคมีที่มีประจุบวก เพื่อทำให้เกิดความเป็นกลาง ในกรณีนี้ สารเคมีที่เติมลงไป คือ สารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) เมื่อสารส้มละลายจะทำให้เกิดสารที่มีประจุบวก คือ Al^{3+} และจับกับสารแขวนลอยที่มีประจุลบ เมื่อประจุลบของอนุภาคหายไปจึงทำให้ไม่เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาค ดังนั้นอนุภาคจึงจับตัวกันเป็นก้อนอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนัก จึงทำให้สามารถตกตะกอนโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก น้ำที่แกว่งสารส้มแล้วสามารถใช้อาบ น้ำ ชักเสื้อผ้า ล้างจานชามเครื่องใช้ได้ แต่ยังไม่ดื่มไม่ได้ ถึงแม้จะใสแต่ยังไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ดังนั้นจึงต้องนำมาต้มฆ่าเชื้อโรคก่อน แล้วจึงสามารถนำมาใช้ดื่ม หรือประกอบอาหารรับประทาน

- 2) ปลอดภัยได้ด้วยคลอรีน คลอรีน (Chlorine) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการทำลายเชื้อโรค ทั้งการฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำ และการฆ่าเชื้อโรคในการกระบวนการผลิตน้ำประปา เนื่องจากคลอรีนมีความสามารถในการทำลายเชื้อโรคได้ทั้งแบคทีเรีย เชื้อวัณโรค เชื้อรา และไวรัส เช่น เชื้อแบคทีเรียอีโคไล (E. coli) เชื้อไวรัสตับอักเสบบี และเชื้อ HIV เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถหยุดยั้งการ



เจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้อีกด้วย นอกจากนี้ การฆ่าเชื้อโรคโดยใช้คลอรีนยังมีราคาถูก จึงทำให้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คุณสมบัติของคลอรีนที่เป็นสารออกซิไดซ์อย่างแรง หรือการทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อเติมคลอรีนลงไปในน้ำ คลอรีนจะทำปฏิกิริยาต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว เมื่อคลอรีนละลายน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้เกิดกรดไฮโปคลอรัส (HOCl) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) จากนั้นกรดไฮโปคลอรัสจะแตกตัวเป็นไฮโปคลอไรต์ไอออน

การเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อในน้ำดื่ม หากเติมน้อยเกินไปก็จะมีคลอรีนเหลือตกค้างสำหรับฆ่าเชื้อที่ปนเปื้อนมาใหม่ ในขณะที่การเติมคลอรีนมากเกินไปจะทำให้น้ำมีกลิ่น โดยปกติแล้วระบบน้ำประปาจะเติมคลอรีนให้มีคลอรีนตกค้างอิสระที่เวลาสัมผัส 20 นาที หรือมีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ณ จุดเริ่มต้น และความเข้มข้นประมาณ 0.2- 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อถึงจุดจ่ายน้ำปลายทาง



บทที่ 2

ตัวแบบการวัดความเค็มในสถานะเสถียรแบบหนึ่งมิติในแม่น้ำที่มีเขื่อนทดน้ำโดยวิธียิงเป้า

One-dimensional Steady-state Salinity Measurement Model in a River with Barrage
Dam Using Shooting Method

ปัญหาการรูก้าของน้ำเค็มเข้าสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ ภาครัฐมีมาตรการกำจัดน้ำเค็มที่รูก้าโดยการเร่งการระบายน้ำจืดจากเขื่อนเจ้าพระยา งานวิจัยนี้ต้องการนำเสนอตัวแบบการวัดความเค็มในสถานะเสถียรแบบหนึ่งมิติ ในแม่น้ำที่มีเขื่อนทดน้ำโดยใช้วิธียิงเป้ามาประมาณค่าผลเฉลย โดยการจำลองแบบการตรวจวัดความเค็มจำลองตั้งแต่สถานีโรงไฟฟ้าพระ-นครใต้ถึงสถานีสำแล ผลที่ได้รับพบว่าวิธียิงเป้าสามารถใช้ประมาณผลเฉลยได้พบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อระดับความเค็มคือความเร็วการไหลของน้ำจืดและประสิทธิภาพการละลายความเค็ม

2.1 ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ของตัวแบบการตรวจวัดความเค็มในสถานะเสถียรแบบหนึ่งมิติในแม่น้ำที่มีเขื่อนทดน้ำ

2.1.1 สมการก่อกำเนิด

สมการการแพร่ของน้ำเค็มในแม่น้ำ (Harleman, 1965)

$$A \frac{\partial C}{\partial t} + Q \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

โดยที่ $A(x)$ คือ พื้นที่หน้าตัดของแม่น้ำ (m^2)

$Q(x)$ คือ อัตราการไหล (m^3 / s)

D คือ สัมประสิทธิ์ของการแพร่ (m^2 / s)

$C(x,t)$ คือ ปริมาณความเค็ม (ppt)

x คือ ระยะทาง (m)

t คือ เวลา (s)

สมมติให้ลำน้ำมีพื้นที่หน้าตัดคงที่ตลอดทั้งลำน้ำ $A(x) = A$ เมื่อ A เป็นค่าคงตัวที่ไม่เป็นศูนย์



$$\frac{A}{A} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{Q}{A} \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{A}{A} D \frac{\partial C}{\partial x} \right]$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{Q}{A} \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D \frac{\partial C}{\partial x} \right]$$

กำหนดให้ u คือ ความเร็วการไหล (m/s) หาได้จาก

$$u = \frac{Q}{A}$$

โดยที่ Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

$$\text{จะได้ว่า } \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D \frac{\partial C}{\partial x} \right]$$

สมมติ การแพร่ของน้ำเค็มในแม่น้ำในสถานะคงตัว Steady State

ดังนั้น ไม่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเค็มเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง

$$\text{จะได้ว่า } \frac{T_2 - T_1}{\Delta t} = 0$$

$$\text{จะได้ } \frac{\partial C}{\partial t} = 0 \text{ และ } C(x, t) = C(x)$$

$$\text{จะได้ว่า } u \frac{dC}{dx} = \frac{d}{dx} \left(D \frac{dC}{dx} \right)$$

เนื่องจาก การเคลื่อนที่หรือการไหลของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามีความเร็วในการไหลเฉลี่ย

$$\text{เป็น } u_w \text{ ซึ่งไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับการพาของน้ำเค็ม } u \text{ จะได้ } (u - u_w) \frac{dc}{dx} = \frac{d}{dx} \left(D \frac{dc}{dx} \right)$$

กำหนดให้สถานีสูบน้ำในบริเวณที่พิจารณาอยู่ระหว่างจุด $x=a$ และ $x=b$ โดย

$$x \in [a, b] \text{ และ } a, b > 0$$

การแพร่กระจายของความเค็ม จะอธิบายด้วยสมการการพา-การแพร่ (advection-diffusion equation)

$$(u - Ku_w) \frac{dC}{dx} = D \frac{d^2 C}{dx^2} \quad \text{สำหรับ } x \in [a, b]$$

โดยที่ u คือ ความเร็วการพาน้ำ (m/s)

K คือ ประสิทธิภาพในการละลายความเค็ม โดย $0 \leq K \leq 1$ ซึ่ง K เป็นค่าคงที่

u_w คือ ความเร็วการไหลของน้ำจืด (m/s)

D คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็ม (m^2/s) ซึ่ง D เป็นค่าคงที่

$C(x)$ คือ ความเข้มข้นของน้ำเค็ม (kg/m^3)



เงื่อนไขขอบ

$$C(x) = \alpha \quad \text{ที่จุด } x=a$$

$$C(x) = \beta \quad \text{ที่จุด } x=b$$

เมื่อ α เป็นความเค็มในแม่น้ำ ณ จุด $x=a$

β เป็นความเค็มในแม่น้ำ ณ จุด $x=b$

2.2. ตัวแบบการตรวจวัดความเค็มไร้มิติ

พิจารณา
$$\frac{\partial c}{\partial t} + U \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

กำหนดให้
$$X = \frac{x}{L}, \quad C = \frac{c}{c_0}, \quad U = u - Ku_w$$

ซึ่ง L เป็นระยะทางจากสถานีแรกไปจนถึงสถานีสุดท้าย

และ c_0 เป็นค่าความเค็ม ณ สถานีแรก

ดังนั้น
$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial x} &= \frac{\partial c}{\partial X} \cdot \frac{dX}{dx} = \frac{\partial c_0 C}{\partial X} \left(\frac{d\left(\frac{x}{L}\right)}{dx} \right) \\ &= \frac{c_0}{L} \frac{\partial C}{\partial X} \cdot \frac{dx}{dx} \\ &= \frac{c_0}{L} \frac{\partial C}{\partial X} \end{aligned}$$

และ
$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{c_0}{L} \frac{\partial C}{\partial X} \right) \\ &= \frac{c_0}{L} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial C}{\partial X} \right) \\ &= \frac{c_0}{L} \left[\frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\partial C}{\partial X} \right) \cdot \frac{\partial X}{\partial x} \right] \\ &= \frac{c_0}{L} \left[\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \cdot \frac{1}{L} \right] = \frac{c_0}{L^2} \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \end{aligned}$$

จะได้ว่า
$$U \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

$$U \frac{c_0}{L} \frac{\partial C}{\partial X} = D \cdot \frac{c_0}{L^2} \frac{\partial^2 C}{\partial X^2}$$

$$U \frac{\partial C}{\partial X} = \frac{D}{L} \frac{\partial^2 C}{\partial X^2}$$



$$U \frac{dC}{dX} = \frac{D}{L} \frac{dC}{dX^2}$$

จะได้ว่า $(u - Ku_w) \frac{dC}{dX} = \frac{D}{L} \frac{d^2C}{dX^2}$

2.3 วิธียิงเป้า (Shooting Method)

กำหนดปัญหาค่าขอบเชิงเส้น

$$y'' = p(x)y' + q(x)y + r(x) \quad \text{สำหรับ } a \leq x \leq b$$

เงื่อนไขขอบ $y(a) = \alpha$ และ $y(b) = \beta$

โดยที่

1. $p(x), q(x)$ และ $r(x)$ ต่อเนื่องบน $[a, b]$
2. $q(x) > 0$ บน $[a, b]$

ขั้นตอนที่ 1

เพื่อประมาณค่าผลเฉลยที่มีเอกลักษณ์ของปัญหาเชิงเส้นนี้ อันดับแรกพิจารณาปัญหาค่าเริ่มต้น

$$y'' = p(x)y' + q(x)y + r(x) \quad (2.1)$$

สำหรับ $a \leq x \leq b$ เงื่อนไข $y(a) = \alpha$ และ $y'(a) = 0$

และ

$$y'' = p(x)y' + q(x)y \quad (2.2)$$

สำหรับ $a \leq x \leq b$ เงื่อนไข $y(a) = 0$ และ $y'(a) = 0$

ให้ $y_1(x)$ เป็นผลเฉลยของ (2.1) และให้ $y_2(x)$ เป็นผลเฉลยของ (2.2)

$$y(x) = y_1(x) + \frac{\beta - y_1(b)}{y_2(b)} y_2(x) \quad (2.3)$$

เนื่องจาก $y(x)$ เป็นผลเฉลยของปัญหาค่าขอบเชิงเส้น (2.1) จะได้ว่า



$$y'(x) = y'_1(x) + \frac{\beta - y_1(b)}{y_2(b)} y'_2(x)$$

และ

$$y''(x) = y''_1(x) + \frac{\beta - y_1(b)}{y_2(b)} y''_2(x)$$

แทนค่า $y''_1(x)$ และ $y''_2(x)$ ลงในสมการ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} y'' &= p(x)y'_1 + q(x)y_1 + r(x) + \frac{\beta - y_1(b)}{y_2(b)} (p(x)y'_2 + q(x)y_2) \\ &= p(x) \left(y'_1 + \frac{\beta - y_1(b)}{y_2(b)} y'_2 \right) + q(x) \left(y_1 + \frac{\beta - y_1(b)}{y_2(b)} y_2 \right) + r(x) \\ &= p(x)y'(x) + q(x)y(x) + r(x) \end{aligned}$$

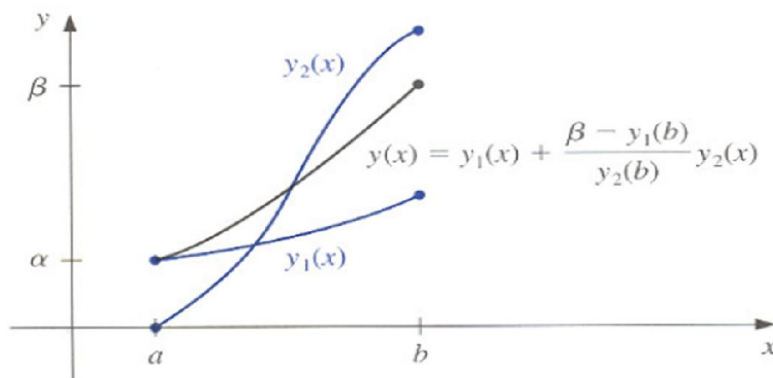
ดังนั้น

$$y(a) = y_1(a) + \frac{\beta - y_1(b)}{y_2(b)} y_2(a) = \alpha + \frac{\beta - y_1(b)}{y_2(b)} \cdot 0 = \alpha$$

และ

$$y(b) = y_1(b) + \frac{\beta - y_1(b)}{y_2(b)} y_2(b) = y_1(b) + \beta - y_1(b) = \beta$$

วิธีนี้ยังเป่าสำหรับสมการเชิงเส้นเป็นพื้นฐานบนการแทนที่ของปัญหาค่าขอบเชิงเส้น โดยสองปัญหาค่าเริ่มต้น (2.1) และ (2.2) สำหรับการประมาณค่าผลเฉลย $y_1(x)$ และ $y_2(x)$ และครั้งนี้การประมาณค่าสามารถใช้ได้ ผลเฉลยของปัญหาค่าขอบเป็นการประมาณโดยใช้สมการ (2.3) จากกราฟ วิธีนี้จะมีผลเฉลยดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการประมาณค่าผลเฉลยของปัญหาเริ่มต้นและปัญหาค่าขอบโดยวิธียิงเป้า

ขั้นตอนที่ 2 ใช้วิธีรุ่งเง-คุตต่าอันดับสี่ เพื่อหาค่าประมาณ $y_1(x)$ และ $y_2(x)$ เพื่อประมาณผลเฉลยของปัญหาค่าขอบ

ขั้นตอนการคำนวณ 2.1

$$-y'' + p(x)y' + q(x)y + r(x) = 0$$

สำหรับ $a \leq x \leq b$ เงื่อนไขขอบ $y(a) = \alpha$ และ $y(b) = \beta$

กำหนดค่าประมาณ $w_{1,i}$ ของ $y(x_i)$ และ $w_{2,i}$ ของ $y'(x_i)$ สำหรับ $i = 0, 1, \dots, N$

ขั้นตอน 1 ให้ $h = (b - a) / N$

$$u_{1,0} = \alpha \quad u_{2,0} = 0$$

$$v_{1,0} = 0 \quad v_{2,0} = 1$$

ขั้นตอน 2 สำหรับ $i = 0, 1, \dots, N - 1$ ทำในขั้นตอน 3 และ 4

(ใช้รุ่งเง-คุตต่าอันดับสี่ในขั้นตอน 3 และ 4)

ขั้นตอน 3 ให้ $x = a + ih$

ขั้นตอน 4 ให้ $k_{1,1} = hu_{2,i}$

$$k_{1,2} = h \left[p(x)u_{2,i} + q(x)u_{1,i} + r(x) \right]$$

$$k_{2,2} = h \left[p(x+h/2) \left(u_{2,i} + \frac{1}{2}k_{1,2} \right) + q(x+h/2) \left(u_{1,i} + \frac{1}{2}k_{1,1} \right) + r(x+h/2) \right]$$

$$k_{3,1} = h \left[u_{2,i} + \frac{1}{2}k_{2,2} \right]$$

$$k_{3,2} = h \left[p(x+h/2) \left(u_{2,i} + \frac{1}{2}k_{2,2} \right) + q(x+h/2) \left(u_{1,i} + \frac{1}{2}k_{2,1} \right) + r(x+h/2) \right]$$

$$k_{4,1} = h \left[u_{2,i} + k_{3,2} \right]$$

$$k_{4,2} = h \left[p(x+h) \left(u_{2,i} + \frac{1}{2}k_{3,2} \right) + q(x+h) \left(u_{1,i} + k_{3,1} \right) + r(x+h) \right]$$



$$u_{1,i+1} = u_{1,i} + \frac{1}{6} [k_{1,1} + 2k_{2,1} + 2k_{3,1} + k_{4,1}]$$

$$u_{2,i+1} = u_{2,i} + \frac{1}{6} [k_{1,2} + 2k_{2,2} + 2k_{3,2} + k_{4,2}]$$

$$k'_{1,1} = hv_{2,i}$$

$$k'_{1,2} = h [p(x)v_{2,i} + q(x)v_{1,i}]$$

$$k'_{2,1} = h \left[v_{2,i} + \frac{1}{2} k'_{1,2} \right]$$

$$k'_{2,2} = h \left[p(x+h/2) \left(v_{2,i} + \frac{1}{2} k'_{1,2} \right) + q(x+h/2) \left(v_{1,i} + \frac{1}{2} k'_{1,1} \right) \right]$$

$$k'_{3,1} = h \left[v_{2,i} + \frac{1}{2} k'_{2,2} \right]$$

$$k'_{3,2} = h \left[p(x+h/2) \left(v_{2,i} + \frac{1}{2} k'_{2,2} \right) + q(x+h/2) \left(v_{1,i} + \frac{1}{2} k'_{2,1} \right) \right]$$

$$k'_{4,1} = h [v_{2,i} + k'_{3,2}]$$

$$k'_{4,2} = h \left[p(x+h) (v_{2,i} + k'_{3,2}) + q(x+h) \left(v_{1,i} + \frac{1}{2} k'_{3,1} \right) \right]$$

$$v_{1,i+1} = v_{1,i} + \frac{1}{6} [k'_{1,1} + 2k'_{2,1} + 2k'_{3,1} + k'_{4,1}]$$

$$v_{2,i+1} = v_{2,i} + \frac{1}{6} [k'_{1,2} + 2k'_{2,2} + 2k'_{3,2} + k'_{4,2}]$$

ขั้นตอน 5

ให้ $w_{1,0} = \alpha$

$$w_{2,0} = \frac{\beta - u_{1,N}}{v_{1,N}}$$

จะได้ $(a, w_{1,0}, w_{2,0})$

ขั้นตอน 6

สำหรับ $i = 1, \dots, N$

ให้ $w1 = u_{1,i} + w_{2,0}v_{1,i}$

$$w2 = u_{2,i} + w_{2,0}v_{2,i}$$

ขั้นตอน 7

หยุดการคำนวณ



ตัวอย่าง 2.3.1 พิจารณาปัญหาค่าขอบ

$$y'' = -\frac{2}{x}y' + \frac{2}{x^2}y + \frac{\sin(\ln x)}{x^2} \quad \text{สำหรับ } 1 \leq x \leq 2$$

เงื่อนไขขอบ $y(1)=1, y(2)=2$ โดยจะประยุกต์ใช้วิธียิงเป้าด้วย $N=10$

พิจารณาปัญหาค่าเริ่มต้น

$$y''_1 = -\frac{2}{x}y'_1 + \frac{2}{x^2}y_1 + \frac{\sin(\ln x)}{x^2} \quad \text{สำหรับ } 1 \leq x \leq 2$$

โดยมีเงื่อนไขขอบเป็น $y_1(1)=1, y'_1(1)=0$

และ

$$y''_2 = -\frac{2}{x}y'_2 + \frac{2}{x^2}y_2 \quad \text{สำหรับ } 1 \leq x \leq 2$$

โดยมีเงื่อนไขขอบเป็น $y_2(1)=0, y'_2(1)=1$

ผลลัพธ์ของการคำนวณโดยใช้ ขั้นตอนการคำนวณจาก 2.1 ด้วย $N=10$ และ $h=0.1$ แสดงค่าในตารางที่ 2.1 (ตารางแสดงค่าผลเฉลย โดยวิธียิงเป้า) ค่า $u_{1,i}$ ประมาณค่า $y_1(x_i)$ ค่า $v_{1,i}$ ประมาณค่า $y_2(x_i)$ และ w_i ประมาณค่า

$$y(x_i) = y_1(x_i) + \frac{2-y_1(2)}{y_2(2)}y_2(x_i)$$

และเปรียบเทียบผลลัพธ์ค่าประมาณและค่าจริงของผลเฉลย

$$y = c_1x + \frac{c_2}{x^2} - \frac{3}{10}\sin(\ln x) - \frac{1}{10}\cos(\ln x)$$

ซึ่ง

$$c_2 = \frac{1}{70} [8 - 12\sin(\ln 2) - 4\cos(\ln 2)] \approx -0.03920701320$$

และ

$$c_1 = \frac{11}{10} - c_2 \approx 1.1392070132$$



ตารางที่ 2.3.1 ผลเฉลยโดยวิธียิงเป้า

x_i	$u_{1,i} \approx y_1(x_i)$	$v_{1,i} \approx y_2(x_i)$	$w_i \approx y(x_i)$	$y(x_i)$	$ y(x_i) - w_i $
1.0	1.00000000	0.00000000	1.00000000	1.00000000	
1.1	1.00896058	0.09117986	1.09262917	1.09262930	1.43×10^{-7}
1.2	1.03245472	0.16851175	1.18708471	1.18708484	1.34×10^{-7}
1.3	1.06674375	0.23608704	1.28338227	1.28338236	9.78×10^{-8}
1.4	1.10928795	0.29659067	1.38144589	1.38144595	6.02×10^{-8}
1.5	1.15830000	0.35184379	1.48115939	1.48115942	3.06×10^{-8}
1.6	1.21248372	0.40311695	1.58239245	1.58239246	1.08×10^{-8}
1.7	1.27087454	0.45131840	1.68501396	1.68501396	5.43×10^{-10}
1.8	1.33273851	0.49711137	1.78889854	1.78889853	5.05×10^{-9}
1.9	1.39750618	0.54098928	1.89392951	1.89392951	4.41×10^{-9}
2.0	1.46472815	0.58332538	2.00000000	2.00000000	



2.4 แบบจำลองเชิงตัวเลขของตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เพื่อการตรวจวัดความเค็มในสถานะเสถียรแบบหนึ่งมิติในแม่น้ำที่มีเขื่อนทดน้ำ

2.4.1 การประมาณค่าความเค็มจากสถานีแรกไปยังสถานีสุดท้ายในฤดูแล้ง

พิจารณาจากโรงไฟฟ้าพระนครใต้ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดความเค็มสถานีแรกถึงสถานีสำแล ซึ่งเป็นสถานีสุดท้ายของการตรวจวัด โดยระยะทางทั้งหมดตั้งแต่สถานีแรกไปจนถึงสถานีสุดท้ายคือ 84 กิโลเมตร ดังรูปที่ 2.2 กำหนดให้ความเร็วในการพาน้ำเค็มเป็น 0.05 m/s และความเร็วในการไหลของน้ำจืดเป็น 0.3 m/s โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็มเป็น $1.68 \text{ m}^2/\text{s}$ และประสิทธิภาพในการละลายความเค็มเป็น 0.1 ภายใต้สมมติฐานการไหลของน้ำเหนือในฤดูแล้ง กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้เป็น 18.9 g/l และสถานีสำแลเป็น 0.15 g/l สามารถกำหนดตัวแบบได้เป็น

$$(u - Ku_w) \frac{dc}{dx} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad \text{สำหรับ } x \in [0, 84]$$

เงื่อนไขขอบ $c(0) = 18.9 \text{ g/l}$ (สถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้)

$c(84) = 0.15 \text{ g/l}$ (สถานีสำแล)

84 กิโลเมตร

สถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้

สถานีสำแล

รูปที่ 2.2 ระยะทางจากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ถึงสถานีสำแล

กำหนดตัวแบบไร้มิติ

$$(u - Ku_w) \frac{dC}{dX} = \frac{D}{L} \frac{d^2C}{dX^2} \quad \text{----- (1) สำหรับ}$$

$x \in [0, 1]$ เมื่อ $X = \frac{x}{L}$ และ $C = \frac{c}{c_0}$ จะเห็นว่า $c_0 = 18.9 \text{ g/l}$

จะได้ เงื่อนไขขอบ $C(0) = 1$

และ $C(1) = 0.007936$

โดยที่ $u = 0.05, u_w = 0.3, K = 0.1, \frac{D}{L} = 0.02$



ประมาณค่าความเค็มโดยใช้วิธีอิงเป้า

แทนค่า u, u_w, K, D ลงในสมการที่ (1) จะได้

$$\frac{d^2 C}{dX^2} = \frac{dC}{dX}$$

เงื่อนไขขอบ $C(0) = 1$

และ $C(1) = 0.007936$

ให้ $h = 0.05$ และ $x = a + ih$

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นเป็น $C_0(0) = 1, C_0'(0) = 0$

จะได้ $IVP_1 \quad C'' = C'$

$$IC_1 \quad C_0(0) = 1, C_0'(0) = 0$$

จากสมการ IVP_1 จะได้ $p(x) = 1, q(x) = 0, r(x) = 0$

ให้ $u_{1,0} = 1, u_{2,0} = 0$

คำนวณ แทน $i = 0$ จะได้ $x = a + ih = 0 + 0(0.05) = 0$

$$k_{1,1} = hu_{2,i} = hu_{2,0} = 0.05(0) = 0$$

$$\begin{aligned} k_{1,2} &= h[p(x)u_{2,i} + q(x)u_{1,i} + r(x)] \\ &= h[p(0)u_{2,0} + q(0)u_{1,0} + r(0)] \\ &= 0.05[1(0) + 0(1) + 0] \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{2,1} &= h\left[u_{2,i} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right] \\ &= h\left[u_{2,0} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right] \\ &= 0.05\left[0 + \frac{1}{2}(0)\right] \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{2,2} &= h\left[p\left(x + \frac{h}{2}\right)\left(u_{2,0} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right) + q\left(x + \frac{h}{2}\right)\left(u_{1,i} + \frac{1}{2}k_{1,1}\right) + r\left(x + \frac{h}{2}\right)\right] \\ &= h\left[p\left(0 + (0.05/2)\right)\left(u_{2,0} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right) + q\left(0 + (0.05/2)\right)\left(u_{1,0} + \frac{1}{2}k_{1,1}\right) + r\left(0 + (0.05/2)\right)\right] \\ &= 0.05\left[1\left(0 + \frac{1}{2}(0)\right) + 0 + 0\right] \\ &= 0 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
k_{3,1} &= h \left[u_{2,i} + \frac{1}{2} k_{2,2} \right] \\
&= h \left[u_{2,0} + \frac{1}{2} k_{2,2} \right] \\
&= 0.05 \left[0 + \frac{1}{2} (0) \right] \\
&= 0 \\
k_{3,2} &= h \left[p(x+h/2) \left(u_{2,i} + \frac{1}{2} k_{2,2} \right) + q(x+h/2) \left(u_{1,i} + \frac{1}{2} k_{2,1} \right) + r(x+h/2) \right] \\
&= h \left[p(0 + (0.05/2)) \left(u_{2,0} + \frac{1}{2} k_{2,2} \right) + q(0 + (0.05/2)) \left(u_{1,0} + \frac{1}{2} k_{2,1} \right) + r(0 + (0.05/2)) \right] \\
&= 0.05 \left[1 \left(0 + \frac{1}{2} (0) \right) + 0 + 0 \right] \\
&= 0 \\
k_{4,1} &= h \left[u_{2,i} + k_{3,2} \right] \\
&= h \left[u_{2,0} + k_{3,2} \right] \\
&= 0.05 [0 + 0] \\
&= 0 \\
k_{4,2} &= h \left[p(x+h) \left(u_{2,i} + \frac{1}{2} k_{3,2} \right) + q(x+h) \left(u_{1,i} + \frac{1}{2} k_{3,1} \right) + r(x+h) \right] \\
&= h \left[p(0+0.05) \left(u_{2,0} + \frac{1}{2} k_{3,2} \right) + q(0+0.05) \left(u_{1,0} + \frac{1}{2} k_{3,1} \right) + r(0+0.05) \right] \\
&= 0.05 [1(0+0) + 0 + 0] \\
&= 0
\end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned}
u_{1,i+1} &= u_{1,i} + \frac{1}{6} [k_{1,1} + 2k_{2,1} + 2k_{3,1} + k_{4,1}] \\
u_{1,1} &= u_{1,0} + \frac{1}{6} [k_{1,1} + 2k_{2,1} + 2k_{3,1} + k_{4,1}] \\
&= 1 + \frac{1}{6} [0 + 2(0) + 2(0) + 0] \\
&= 1 \\
u_{2,i+1} &= u_{2,i} + \frac{1}{6} [k_{1,2} + 2k_{2,2} + 2k_{3,2} + k_{4,2}]
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 u_{2,1} &= u_{2,0} + \frac{1}{6} [k_{1,2} + 2k_{2,2} + 2k_{3,2} + k_{4,2}] \\
 &= 0 + \frac{1}{6} [0 + 2(0) + 2(0) + 0] \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

แทนค่า $i = 1, 2, 3, \dots, 19$ จะได้ค่าดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4.1 ผลการคำนวณการทำซ้ำในครั้งแรก จากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ถึงสถานีสำแล

X	$u_{1,i+1} \approx C_1(X_i)$	$u_{2,i+1} \approx C_1'(X_i)$
0.00	1	0
0.05	1	0
0.10	1	0
0.15	1	0
0.20	1	0
0.25	1	0
0.30	1	0
0.35	1	0
0.40	1	0
0.45	1	0
0.50	1	0
0.55	1	0
0.60	1	0
0.65	1	0
0.70	1	0
0.75	1	0
0.80	1	0
0.85	1	0
0.90	1	0
0.95	1	0
1.00	1	0



ขั้นตอนที่ 2 กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นเป็น $C_1(0)=1, C_1'(0)=0$

จะได้ $IVP_2 \quad C'' = C'$

$$IC_2 \quad C_1(0)=1, C_1'(0)=0$$

จากสมการ IVP_2 จะได้ $p(x)=1, q(x)=0, r(x)=0$

ให้ $v_{1,0}=0, v_{2,0}=1$

คำนวณ แทน $i=0$ จะได้ $x=a+ih=0+0(0.05)=0$

$$k_{1,1} = hv_{2,i} = hv_{2,0} = 0.05(1) = 0.05$$

$$k_{1,2} = h[p(x)v_{2,i} + q(x)v_{1,i} + r(x)]$$

$$= h[p(0)v_{2,0} + q(0)v_{1,0} + r(0)]$$

$$= 0.05[1(1) + 0 + 0]$$

$$= 0.05$$

$$k_{2,1} = h\left[v_{2,i} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right]$$

$$= h\left[v_{2,0} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right]$$

$$= 0.05\left[1 + \frac{1}{2}(0.05)\right]$$

$$= 0.05125$$

$$k_{2,2} = h\left[p\left(x+h/2\right)\left(v_{2,i} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right) + q\left(x+h/2\right)\left(v_{1,i} + \frac{1}{2}k_{1,1}\right) + r\left(x+h/2\right)\right]$$

$$= h\left[p\left(0+(0.05/2)\right)\left(v_{2,0} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right) + q\left(0+(0.05/2)\right)\left(v_{1,0} + \frac{1}{2}k_{1,1}\right) + r\left(0+(0.05/2)\right)\right]$$

$$= 0.05\left[1\left(1 + \frac{1}{2}(0.05)\right) + 0 + 0\right]$$

$$= 0.05125$$

$$k_{3,1} = h\left[v_{2,i} + \frac{1}{2}k_{2,2}\right]$$

$$= h\left[v_{2,0} + \frac{1}{2}k_{2,2}\right]$$



$$\begin{aligned}
&= 0.05 \left[1 + \frac{1}{2}(0.05125) \right] \\
&= 0.051281 \\
k_{3,2} &= h \left[p(x+h/2) \left(v_{2,i} + \frac{1}{2}k_{2,2} \right) + q(x+h/2) \left(v_{1,i} + \frac{1}{2}k_{2,1} \right) + r(x+h/2) \right] \\
&= h \left[p(0+(0.05/2)) \left(v_{2,0} + \frac{1}{2}k_{2,2} \right) + q(0+(0.05/2)) \left(v_{1,0} + \frac{1}{2}k_{2,1} \right) + r(0+(0.05/2)) \right] \\
&= 0.05 \left[1 \left(1 + \frac{1}{2}(0.05125) \right) + 0 + 0 \right] \\
&= 0.051281
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k_{4,1} &= h [v_{2,i} + k_{3,2}] \\
&= h [v_{2,0} + k_{3,2}] \\
&= 0.05 [1 + 0.051281] \\
&= 0.052564
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k_{4,2} &= h [p(x+h)(v_{2,i} + k_{3,2}) + q(x+h)(v_{1,i} + k_{3,1}) + r(x+h)] \\
&= h [p(0+0.05)(v_{2,0} + k_{3,2}) + q(0+0.05)(v_{1,0} + k_{3,1}) + r(0+0.05)] \\
&= 0.05 [1(1+0.051281) + 0 + 0] \\
&= 0.052564
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{จะได้ } v_{1,i+1} &= v_{1,i} + \frac{1}{6} [k_{1,1} + 2k_{2,1} + 2k_{3,1} + k_{4,1}] \\
v_{1,1} &= v_{1,0} + \frac{1}{6} [k_{1,1} + 2k_{2,1} + 2k_{3,1} + k_{4,1}] \\
&= 0 + \frac{1}{6} [0.05 + 2(0.05125) + 2(0.051281) + 0.052564] \\
&= 0.051271 \\
v_{2,i+1} &= v_{2,i} + \frac{1}{6} [k_{1,2} + 2k_{2,2} + 2k_{3,2} + k_{4,2}] \\
v_{2,1} &= v_{2,0} + \frac{1}{6} [k_{1,2} + 2k_{2,2} + 2k_{3,2} + k_{4,2}]
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned} &= 1 + \frac{1}{6} [0.05 + 2(0.05125) + 2(0.051281) + 0.052564] \\ &= 1.051271 \end{aligned}$$

แทนค่า $i = 1, 2, 3, \dots, 19$ จะได้ค่าดังตารางต่อไปนี้



ตารางที่ 2.4.2 ผลการคำนวณจากการทำซ้ำ จากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ถึงสถานีสำแล

X	$v_{1,i+1} \approx C_2(X_i)$	$v_{2,i+1} \approx C_2'(X_i)$
0.00	0.000000000	1.000000000
0.05	0.05127109	1.051271094
0.10	0.10517091	1.105170913
0.15	0.16183423	1.161834234
0.20	0.22140275	1.221402746
0.25	0.28402540	1.284025401
0.30	0.34985879	1.349858787
0.35	0.41906752	1.419067524
0.40	0.49182467	1.491824668
0.45	0.56831215	1.568312150
0.50	0.64872123	1.648721230
0.55	0.73325297	1.733252970
0.60	0.82211875	1.822118746
0.65	0.91554077	1.915540767
0.70	1.01375264	2.013752637
0.75	1.11699994	2.116999937
0.80	1.22554084	2.225540840
0.85	1.33964675	2.339646753
0.90	1.45960300	2.459603001
0.95	1.58570954	2.585709537
1.00	1.71828169	2.718281693

หาค่าประมาณ $C(X_i)$ ได้จากสูตร

$$C(X_i) = C_1(X_i) + \left(\frac{\beta - C_1(b)}{C_2(b)} \right) C_2(X_i)$$



จะได้ค่าที่แสดงในตารางที่ 2.4.3 แล้ว จะนำมาคิดให้เป็นระยะทางจริง ซึ่งระยะทางจากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ถึงสถานีสำแล (L) คือ 84 กิโลเมตร โดยกำหนดให้ $c(0) = c_0 = 18.9$ g/l, $c(x) = C(X) \cdot c_0$, $x = X \cdot L$ แสดงค่าได้จากตารางที่ 2.4.4

ตารางที่ 2.4.3 ค่าประมาณของผลเฉลย จากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ถึงสถานีสำแล
ตลอดระยะทาง 84 กิโลเมตร

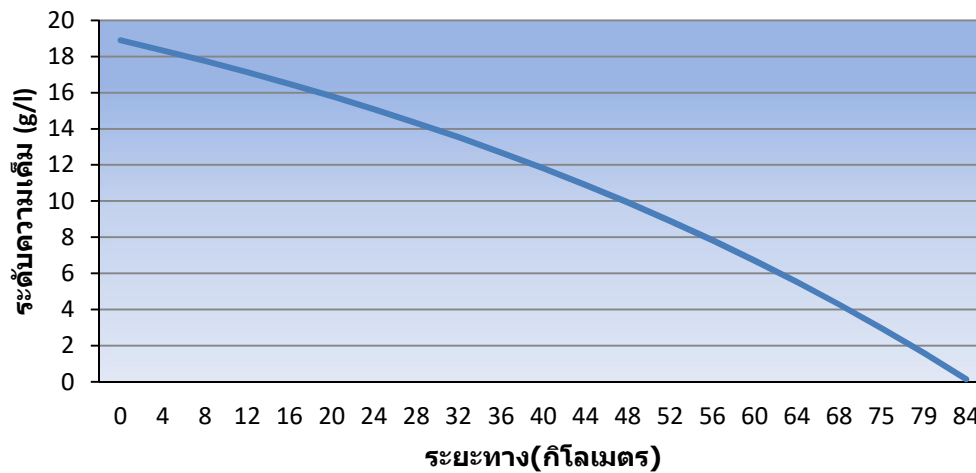
X	$u_{1,i+1} \approx C_1(X_i)$	$v_{1,i+1} \approx C_2(X_i)$	$C(X_i)$
0.00	1	0.000000	1.000000
0.05	1	0.051271	0.970398
0.10	1	0.105171	0.939279
0.15	1	0.161834	0.906564
0.20	1	0.221403	0.872171
0.25	1	0.284025	0.836016
0.30	1	0.349859	0.798006
0.35	1	0.419068	0.758048
0.40	1	0.491825	0.716041
0.45	1	0.568312	0.671880
0.50	1	0.648721	0.625455
0.55	1	0.733253	0.576650
0.60	1	0.822119	0.525343
0.65	1	0.915541	0.471405
0.70	1	1.013753	0.414702
0.75	1	1.117000	0.355091
0.80	1	1.225541	0.292424
0.85	1	1.339647	0.226544
0.90	1	1.459603	0.157286
0.95	1	1.585710	0.084478
1.00	1	1.718282	0.007936



ตารางที่ 2.4.4 ระดับความเค็ม (g/l)

ระยะทาง (กิโลเมตร)	ระดับความเค็ม (g/l)
0.00	18.90000
4.20	18.34053
8.40	17.75237
12.60	17.13405
16.80	16.48404
21.00	15.80070
25.20	15.08232
29.40	14.32711
33.60	13.53317
37.80	12.69854
42.00	11.82111
46.20	10.89869
50.40	9.928983
54.60	8.909555
58.80	7.837861
63.00	6.711219
67.20	5.526813
71.40	4.281681
75.60	2.972710
79.80	1.596627
84.00	0.149990





รูปที่ 2.3 ค่าความเค็มจากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้จนถึงสถานีสำแล

กล่าวคือ จากรูปที่ 2.3 ประสิทธิภาพในการละลายความเค็มด้วยน้ำจืดมีประสิทธิภาพต่ำ ความเค็มรุกเข้ามาในลำน้ำได้มาก ทำให้ช่วงระยะทางก่อนที่จะถึงสถานีสำแล ความสามารถในการละลายความเค็มทำได้น้อย

2.4.2 การประมาณค่าความเค็มจากสถานีแรกไปยังสถานีสุดท้าย โดยสถานีเฝ้าระวังเป็นสถานีก่อนหน้าสถานีสุดท้ายในฤดูฝน

พิจารณาจากโรงไฟฟ้าพระนครใต้ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดความเค็มสถานีแรกถึงสถานีวัดไผ่ล้อมซึ่งเป็นสถานีสุดท้ายของการตรวจวัด โดยระยะทางทั้งหมดตั้งแต่สถานีแรกไปจนถึงสถานีสุดท้ายคือ 90 กิโลเมตร ดังรูปที่ 2.4 ต้องการค่าประมาณความเค็มที่สถานีสำแลซึ่งอยู่ก่อนหน้าสถานีวัดไผ่ล้อม โดยมีระยะทางจากสถานีพระนครใต้ถึงสถานีสำแลเป็นระยะทางประมาณ 84 กิโลเมตร กำหนดให้ความเร็วในการพาน้ำเค็มเป็น 0.05 m/s และความเร็วในการไหลของน้ำจืดเป็น 0.3 m/s โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็มเป็น $1.8 \text{ m}^2/\text{s}$ และประสิทธิภาพในการละลายความเค็มเพิ่มขึ้นเป็น 0.6 ภายใต้สมมติฐานการไหลของน้ำเหนือในฤดูฝน กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้เป็น 18.9 g/l สถานีสำแลเป็น 0.15 g/l และสถานีวัดไผ่ล้อมเป็น 0.14 g/l สามารถกำหนดตัวแบบได้เป็น

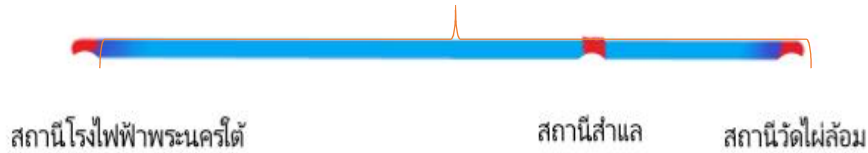
$$(u - Ku_w) \frac{dc}{dx} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad \text{สำหรับ } x \in [0, 90]$$



เงื่อนไขขอบ $c(0) = 18.9 \text{ g/l}$ (สถานีไฟฟ้าพระนครใต้)

$c(90) = 0.14 \text{ g/l}$ (สถานีวัดไผ่ล้อม)

90 กิโลเมตร



รูปที่ 2.4 ระยะทางจากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ถึงสถานีวัดไผ่ล้อม

กำหนดตัวแบบไร้มิติ

$$(u - Ku_w) \frac{dC}{dX} = \frac{D}{L} \frac{d^2C}{dX^2} \quad \text{----- (1) สำหรับ } x \in [0,1]$$

เมื่อ $X = \frac{x}{L}$ และ $C = \frac{c}{c_0}$

เงื่อนไขขอบ $C(0) = 1$

และ $C(1) = 0.007407$

โดยที่ $u = 0.05$, $u_w = 0.3$, $K = 0.6$, $\frac{D}{L} = 0.02$

ประมาณค่าความเค็มโดยใช้วิธีอิงเป้า

แทนค่า u , u_w , K , D ลงในสมการที่ (1) จะได้

$$\frac{d^2C}{dX^2} = -6.5 \frac{dC}{dX}$$

เงื่อนไขขอบ $C(0) = 1$

$C(1) = 0.007407$

ให้ $h = 0.05$ และ $x = a + ih$

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นเป็น $C_0(0) = 1$, $C_0'(0) = 0$

จะได้ $IVP_2 \quad -6.5C'' = C'$

$IC_1 \quad C_0(0) = 1, C_0'(0) = 0$



จากสมการ IVP_1 จะได้ $p(x) = -6.5$, $q(x) = 0$, $r(x) = 0$

ให้ $u_{1,0} = 1, u_{2,0} = 0$

คำนวณ แทน $i = 0$ จะได้ $x = a + ih = 0 + 0(0.05) = 0$

$$k_{1,1} = hu_{2,i} = hu_{2,0} = 0.05(0) = 0$$

$$\begin{aligned} k_{1,2} &= h[p(x)u_{2,i} + q(x)u_{1,i} + r(x)] \\ &= h[p(0)u_{2,0} + q(0)u_{1,0} + r(0)] \\ &= 0.05[-6.5(0) + 0(1) + 0] \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{2,1} &= h\left[u_{2,i} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right] \\ &= h\left[u_{2,0} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right] \\ &= 0.05\left[0 + \frac{1}{2}(0)\right] \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{2,2} &= h\left[p\left(x + \frac{h}{2}\right)\left(u_{2,0} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right) + q\left(x + \frac{h}{2}\right)\left(u_{1,i} + \frac{1}{2}k_{1,1}\right) + r\left(x + \frac{h}{2}\right)\right] \\ &= h\left[p\left(0 + (0.05/2)\right)\left(u_{2,0} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right) + q\left(0 + (0.05/2)\right)\left(u_{1,0} + \frac{1}{2}k_{1,1}\right) + r\left(0 + (0.05/2)\right)\right] \\ &= 0.05\left[-6.5\left(0 + \frac{1}{2}(0)\right) + 0 + 0\right] \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{3,1} &= h\left[u_{2,i} + \frac{1}{2}k_{2,2}\right] \\ &= h\left[u_{2,0} + \frac{1}{2}k_{2,2}\right] \\ &= 0.05\left[0 + \frac{1}{2}(0)\right] \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{3,2} &= h\left[p\left(x + \frac{h}{2}\right)\left(u_{2,i} + \frac{1}{2}k_{2,2}\right) + q\left(x + \frac{h}{2}\right)\left(u_{1,i} + \frac{1}{2}k_{2,1}\right) + r\left(x + \frac{h}{2}\right)\right] \\ &= h\left[p\left(0 + (0.05/2)\right)\left(u_{2,0} + \frac{1}{2}k_{2,2}\right) + q\left(0 + (0.05/2)\right)\left(u_{1,0} + \frac{1}{2}k_{2,1}\right) + r\left(0 + (0.05/2)\right)\right] \end{aligned}$$



$$= 0.05 \left[-6.5 \left(0 + \frac{1}{2}(0) \right) + 0 + 0 \right]$$

$$= 0$$

$$k_{4,1} = h[u_{2,i} + k_{3,2}]$$

$$= h[u_{2,0} + k_{3,2}]$$

$$= 0.05[0 + 0]$$

$$= 0$$

$$k_{4,2} = h \left[p(x+h) \left(u_{2,i} + \frac{1}{2}k_{3,2} \right) + q(x+h) \left(u_{1,i} + \frac{1}{2}k_{3,1} \right) + r(x+h) \right]$$

$$= h \left[p(0+0.05) \left(u_{2,0} + \frac{1}{2}k_{3,2} \right) + q(0+0.05) \left(u_{1,0} + \frac{1}{2}k_{3,1} \right) + r(0+0.05) \right]$$

$$= 0.05[-6.5(0+0) + 0 + 0]$$

$$= 0$$

จะได้ $u_{1,i+1} = u_{1,i} + \frac{1}{6}[k_{1,1} + 2k_{2,1} + 2k_{3,1} + k_{4,1}]$

$$u_{1,1} = u_{1,0} + \frac{1}{6}[k_{1,1} + 2k_{2,1} + 2k_{3,1} + k_{4,1}]$$

$$= 1 + \frac{1}{6}[0 + 2(0) + 2(0) + 0]$$

$$= 1$$

$$u_{2,i+1} = u_{2,i} + \frac{1}{6}[k_{1,2} + 2k_{2,2} + 2k_{3,2} + k_{4,2}]$$

$$u_{2,1} = u_{2,0} + \frac{1}{6}[k_{1,2} + 2k_{2,2} + 2k_{3,2} + k_{4,2}]$$

$$= 0 + \frac{1}{6}[0 + 2(0) + 2(0) + 0]$$

$$= 0$$

แทนค่า $i = 1, 2, 3, \dots, 19$ จะได้ค่าดังตารางต่อไปนี้



ตารางที่ 2.4.5 ผลการคำนวณการทำซ้ำในครั้งแรก จากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ถึงสถานีวัดไผ่

ล่อม

X	$u_{1,i+1} \approx C_1(X_i)$	$u_{2,i+1} \approx C_1'(X_i)$
0.00	1	0
0.05	1	0
0.10	1	0
0.15	1	0
0.20	1	0
0.25	1	0
0.30	1	0
0.35	1	0
0.40	1	0
0.45	1	0
0.50	1	0
0.55	1	0
0.60	1	0
0.65	1	0
0.70	1	0
0.75	1	0
0.80	1	0
0.85	1	0
0.90	1	0
0.95	1	0
1.00	1	0

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นเป็น $C_1(0)=0, C_1'(0)=1$

จะได้ $IVP_2 \quad -6.5C'' = C'$

$IC_2 \quad C_1(0)=0, C_1'(0)=1$



จากสมการ IVP_2 จะได้ $p(x) = -6.5, q(x) = 0, r(x) = 0$

ให้ $v_{1,0} = 0, v_{2,0} = 1$

คำนวณ แทน $i = 0$ จะได้ $x = a + ih = 0 + 0(0.05) = 0$

$$k_{1,1} = hv_{2,i} = hv_{2,0} = 0.05(1) = 0.05$$

$$\begin{aligned} k_{1,2} &= h[p(x)v_{2,i} + q(x)v_{1,i} + r(x)] \\ &= h[p(0)v_{2,0} + q(0)v_{1,0} + r(0)] \\ &= 0.05[-6.5(1) + 0 + 0] \\ &= -0.325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{2,1} &= h\left[v_{2,i} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right] \\ &= h\left[v_{2,0} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right] \\ &= 0.05\left[1 + \frac{1}{2}(-0.325)\right] \\ &= 0.041875 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{2,2} &= h\left[p(x+h/2)\left(v_{2,i} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right) + q(x+h/2)\left(v_{1,i} + \frac{1}{2}k_{1,1}\right) + r(x+h/2)\right] \\ &= h\left[p(0+(0.05/2))\left(v_{2,0} + \frac{1}{2}k_{1,2}\right) + q(0+(0.05/2))\left(v_{1,0} + \frac{1}{2}k_{1,1}\right) + r(0+(0.05/2))\right] \\ &= 0.05\left[-6.5\left(1 + \frac{1}{2}(-0.325)\right) + 0 + 0\right] \\ &= -0.27219 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{3,1} &= h\left[v_{2,i} + \frac{1}{2}k_{2,2}\right] \\ &= h\left[v_{2,0} + \frac{1}{2}k_{2,2}\right] \\ &= 0.05\left[1 + \frac{1}{2}(-0.27219)\right] \\ &= 0.043195 \end{aligned}$$

$$k_{3,2} = h\left[p(x+h/2)\left(v_{2,i} + \frac{1}{2}k_{2,2}\right) + q(x+h/2)\left(v_{1,i} + \frac{1}{2}k_{2,1}\right) + r(x+h/2)\right]$$



$$\begin{aligned}
&= h \left[p(0 + (0.05/2)) \left(v_{2,0} + \frac{1}{2} k_{2,2} \right) + q(0 + (0.05/2)) \left(v_{1,0} + \frac{1}{2} k_{2,1} \right) + r(0 + (0.05/2)) \right] \\
&= 0.05 \left[-6.5 \left(1 + \frac{1}{2} (-0.27219) \right) + 0 + 0 \right] \\
&= -0.28077
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k_{4,1} &= h [v_{2,i} + k_{3,2}] \\
&= h [v_{2,0} + k_{3,2}] \\
&= 0.05 [1 + (-0.28077)] \\
&= 0.035962
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k_{4,2} &= h [p(x+h)(v_{2,i} + k_{3,2}) + q(x+h)(v_{1,i} + k_{3,1}) + r(x+h)] \\
&= h [p(0 + 0.05)(v_{2,0} + k_{3,2}) + q(0 + 0.05)(v_{1,0} + k_{3,1}) + r(0 + 0.05)] \\
&= 0.05 [-6.5(1 + (-0.28077)) + 0 + 0] \\
&= -0.23375
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{จะได้ } v_{1,i+1} &= v_{1,i} + \frac{1}{6} [k_{1,1} + 2k_{2,1} + 2k_{3,1} + k_{4,1}] \\
v_{1,1} &= v_{1,0} + \frac{1}{6} [k_{1,1} + 2k_{2,1} + 2k_{3,1} + k_{4,1}] \\
&= 0 + \frac{1}{6} [0.05 + 2(0.041875) + 2(0.043195) + 0.035962] \\
&= 0.042683 \\
v_{2,i+1} &= v_{2,i} + \frac{1}{6} [k_{1,2} + 2k_{2,2} + 2k_{3,2} + k_{4,2}] \\
v_{2,1} &= v_{2,0} + \frac{1}{6} [k_{1,2} + 2k_{2,2} + 2k_{3,2} + k_{4,2}] \\
&= 0 + \frac{1}{6} [-0.325 + 2(-0.27219) + 2(-0.28077) + (-0.23375)] \\
&= 0.722556
\end{aligned}$$

แทนค่า $i = 1, 2, 3, \dots, 19$ จะได้ค่าดังตารางต่อไปนี้



ตารางที่ 2.4.6 ผลการคำนวณจากการทำซ้ำ จากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ถึงสถานีวัดไผ่ล้อม

X	$v_{1,i+1} \approx C_2(X_i)$	$v_{2,i+1} \approx C_2'(X_i)$
0.00	0.000000000	1.000000000
0.05	0.04268369	0.722556006
0.10	0.07352505	0.522087182
0.15	0.09580966	0.377237229
0.20	0.11191153	0.272575025
0.25	0.12354604	0.196950722
0.30	0.13195263	0.142307927
0.35	0.13802685	0.102825447
0.40	0.14241582	0.074297144
0.45	0.14558710	0.053683848
0.50	0.14787853	0.038789587
0.55	0.14953421	0.028027649
0.60	0.15073053	0.020251546
0.65	0.15159494	0.014632876
0.70	0.15221953	0.010573073
0.75	0.15267083	0.007639637
0.80	0.15299691	0.005520066
0.85	0.15323253	0.003988557
0.90	0.15340278	0.002881956
0.95	0.15352579	0.002082374
1.00	0.15361467	0.001504632

หาค่าประมาณ $C(X_i)$ ได้จากสูตร

$$C(X_i) = C_1(X_i) + \left(\frac{\beta - C_1(b)}{C_2(b)} \right) C_2(X_i)$$



จะได้ค่าที่แสดงในตารางที่ 2.4.7 แล้ว จะนำมาคิดให้เป็นระยะทางจริง ซึ่งระยะทางจากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ถึงสถานีวัดไผ่ล้อม (L) คือ 90 กิโลเมตร โดยกำหนดให้ $c(0) = c_0 = 18.9$ g/l, $c(x) = C(X) \cdot c_0$, $x = X \cdot L$ แสดงค่าที่ได้จากตารางที่ 2.4.8

ตารางที่ 2.4.7 ค่าประมาณของผลเฉลี่ยจากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ ถึงสถานีวัดไผ่ล้อม
ตลอดระยะทาง 90 กิโลเมตร

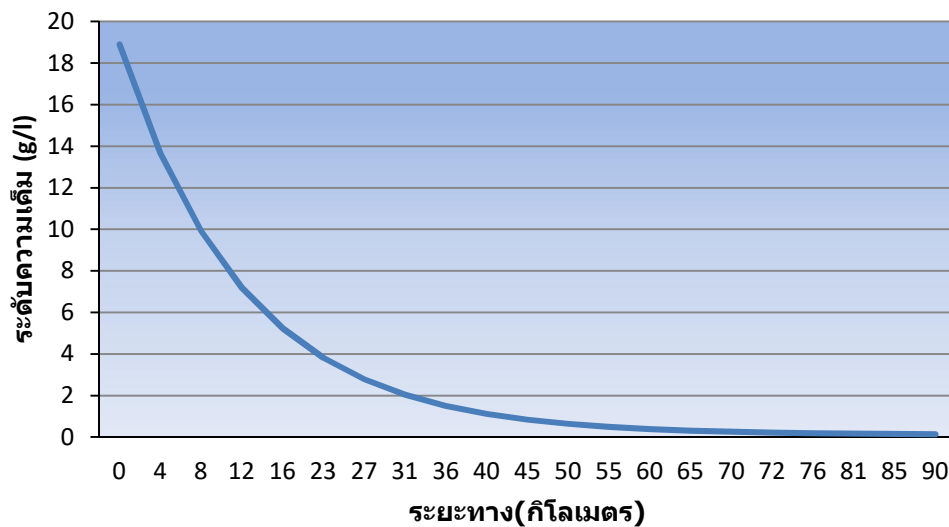
X	$u_{1,i+1} \approx C_1(X_i)$	$v_{1,i+1} \approx C_2(X_i)$	$C(X_i)$
0.00	1	0.000000	1.000000
0.05	1	0.042684	0.724196
0.10	1	0.073525	0.524912
0.15	1	0.095810	0.380919
0.20	1	0.111912	0.276875
0.25	1	0.123546	0.201698
0.30	1	0.131953	0.147378
0.35	1	0.138027	0.108129
0.40	1	0.142416	0.079769
0.45	1	0.145587	0.059278
0.50	1	0.147879	0.044472
0.55	1	0.149534	0.033773
0.60	1	0.150731	0.026043
0.65	1	0.151595	0.020458
0.70	1	0.152220	0.016422
0.75	1	0.152671	0.013506
0.80	1	0.152997	0.011399
0.85	1	0.153233	0.009876
0.90	1	0.153403	0.008776
0.95	1	0.153526	0.007981
1.00	1	0.153615	0.007407



ตารางที่ 2.4.8 ระดับความเค็ม (g/l)

ระยะทาง (กิโลเมตร)	ระดับความเค็ม (g/l)
0.00	18.900000
4.50	13.687310
9.00	9.920840
13.50	7.199360
18.00	5.232938
22.50	3.812088
27.00	2.785444
31.50	2.043636
36.00	1.507638
40.50	1.120350
45.00	0.840512
49.50	0.638314
54.00	0.492215
58.50	0.386649
63.00	0.310373
67.50	0.255258
72.00	0.215435
76.50	0.186661
81.00	0.165870
85.50	0.150847
90.00	0.139992





รูปที่ 2.5 ค่าความเค็มจากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้จนถึงสถานีวัดไผ่ล้อม

กล่าวคือจากรูปที่ 2.5 มีการเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายความเค็มด้วยน้ำจืด พบว่าความเค็มรุกเข้ามามีในลำน้ำได้น้อย ทำให้ช่วงระยะทางก่อนที่จะถึงสถานีวัดไผ่ล้อม ความสามารถในการละลายความเค็มทำได้ดี

2.5 ข้อเสนอแนะ

การวัดค่าความเค็มจากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ไปยังสถานีสำแล มีระยะ-ทางทั้งหมด 84 กิโลเมตร โดยใช้วิธียิงเป้าในการหาค่าความเค็ม กำหนดให้ความเร็วในการพาน้ำเค็มเป็น 0.05 m/s และความเร็วในการไหลของน้ำจืดเป็น 0.3 m/s กำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็มเป็น $1.68 \text{ m}^2/\text{s}$ และประสิทธิภาพในการละลายความเค็มเป็น 0.1 กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้เป็น 18.9 g/l และสถานี สำแลเป็น 0.15 g/l จากการดำเนินการ พบว่า ความเค็มรุกเข้ามามีในลำน้ำได้มาก ทำให้ช่วงระยะทางก่อนที่จะถึงสถานีสำแล ความสามารถในการละลายความเค็มทำได้ต่ำ

ได้ทำการวัดค่าความเค็มจากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ไปยังสถานีวัดไผ่ล้อม โดยมีสถานีเผ้าระวังเป็นสถานีสำแล มีระยะทางทั้งหมด 90 กิโลเมตร โดยใช้วิธียิงเป้าได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายความเค็มเป็น 0.6 ภายใต้สมมติฐานการไหลของน้ำเหนือในฤดูฝน จากการ



ดำเนินการ พบว่า ความเค็มรุกคืบเข้ามาในลำน้ำได้น้อย ทำให้ช่วงระยะทางก่อนที่จะถึงสถานีวัดฝายล้อม ความสามารถในการละลายความเค็มทำได้ดี

จากปัญหาการรุกคืบความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา จึงได้ทำการวัดปริมาณความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยาทั้งในฤดูน้ำหลากและฤดูแล้ง โดยใช้วิธียิงเป้า โดยทราบค่าเงื่อนไขขอบขวา แต่ในอนาคตถ้ามีกรณีที่ไม่ทราบค่าเงื่อนไขขอบขวา อันเนื่องมาจากการไม่มีการติดตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบถาวร ซึ่งทำได้เพียงการตรวจวัดแบบชั่วคราว จึงทำได้โดยคำนวณหาค่าเฉลี่ยความเค็มบริเวณโดยรอบ



บทที่ 3

ตัวแบบสถานะเสถียรของการตรวจวัดความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยาสำหรับ ระบบผลิตน้ำประปา โดยใช้วิธีผลต่างจำกัด

A Steady State Salinity Measurement Model in the Chaophraya River for Water
Supply System Using a Finite Difference Method

การแพร่ของน้ำเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา เกิดจากน้ำทะเลหนุนจากอ่าวไทยประกอบกับน้ำเหนือมีปริมาณน้อยในฤดูแล้ง ส่งผลกระทบต่อประชาชน โดยเฉพาะการผลิตน้ำประปา ซึ่งจะมีสถานีสูบน้ำหลักคือสถานีสูบน้ำดิบสำแล ตำบลบ้านกระแชง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี ซึ่งประสบปัญหาการรุกรานของน้ำเค็มทำให้ค่าระดับความเค็มของน้ำเกินเกณฑ์มาตรฐาน จึงได้เห็นความสำคัญของการทำนายค่าความเค็มบริเวณสถานีสูบน้ำดิบสำแลไม่ให้เกินเกณฑ์เฝ้าระวังที่ 0.25 g/l เพื่อให้ระบบการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวงเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยใช้ตัวแบบสถานะเสถียรการพา-การแพร่ หาผลเฉลยโดยประมาณด้วยวิธีผลต่างจำกัด กำหนดค่าความเค็มเฉลี่ย 7 วัน ในการหาผลเฉลยทั้งหมด 4 กรณี ได้แก่ กรณี การประมาณค่าความเค็มจากสถานีแรกและสถานีสุดท้าย กรณี การประมาณค่าความเค็มข้อมูลสถานีแรกและสถานีสุดท้ายผนวกด้วยข้อมูลจาก 2 สถานีภายในลำน้ำ ได้แก่ สถานีสะพานพระพุทธยอดฟ้าและสถานีสะพานพระนั่งเกล้า กรณี การประมาณค่าความเค็มโดยใช้ข้อมูลจากสถานีแรกเท่านั้น กรณี การประมาณค่าความเค็มโดยใช้ข้อมูลจากสถานีแรก และใช้ข้อมูลจาก 2 สถานีก่อนถึงพื้นที่เฝ้าระวัง ผลเฉลยที่ได้จากกรณีต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจริงที่วัดได้ มีผลการคำนวณเป็นที่พอใจ

3.1 พฤติกรรมของการแพร่ของน้ำเค็มเข้าแม่น้ำ

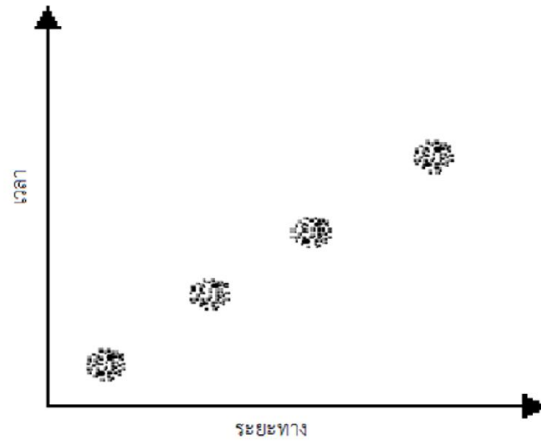
ในการศึกษาพฤติกรรมของการแพร่ของน้ำเค็มเข้าแม่น้ำ ต้องพิจารณาถึงลักษณะการแพร่ของน้ำเค็มแม่น้ำ และสมการการแพร่ของน้ำเค็มในแม่น้ำ ดังต่อไปนี้

3.1.1 ลักษณะการแพร่ของน้ำเค็มเข้าแม่น้ำ

การที่มีสารต่างๆ ที่ละลายหรือแขวนลอยอยู่ในแม่น้ำบริเวณปากแม่น้ำ จะเกิดการแพร่ (Diffusion) ได้นั้น จะประกอบไปด้วยขบวนการ 2 อย่าง ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 คือ

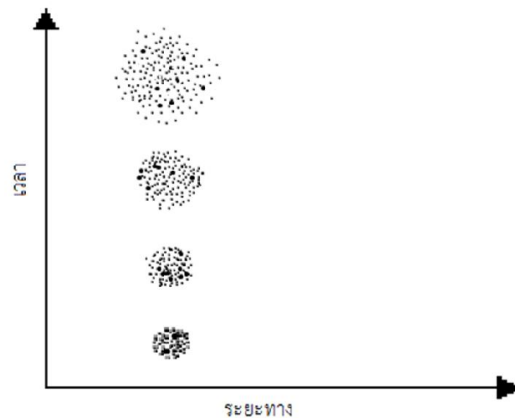


1) การพา (Convection) เป็นกระบวนการที่สารละลายมีการไหลหรือการโยกย้ายจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง เนื่องมาจากอิทธิพลของกระแสน้ำพาไป



รูปที่ 3.1 ลักษณะของการพา (convection)

2) การแพร่ (Diffusion) เป็นการเคลื่อนไหวยของโมเลกุลของสารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่าไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า การเคลื่อนที่นี้เป็นไปในลักษณะทุกทิศทุกทาง โดยไม่มีทิศทางที่แน่นอนผลจากการเคลื่อนที่นี้จะทำให้ความเข้มข้นของโมเลกุลของสารในภาชนะที่มีเนื้อที่จำกัดนั้นมีความเข้มข้นเท่ากันหมด โดยกระบวนการที่เกิดขึ้น ไม่ต้องอาศัยกระบวนการพา



รูปที่ 3.2 ลักษณะของการแพร่ (diffusion)



การแพร่เกิดจากพลังงานจลน์ (Kinetic energy) ของโมเลกุลหรือไอออนของสาร ทำให้เกิดการเคลื่อนที่และกระทบกระทั่งหรือชนกันโดยบังเอิญเป็นผลให้เกิดการกระจายในทุกทิศทาง บริเวณที่มีความเข้มข้นของโมเลกุลหรือไอออนน้อยกว่า จนทำให้ทุกบริเวณมีความเข้มข้นของโมเลกุลหรือไอออนเท่ากัน จึงเรียกว่า ภาวะสมดุลของการแพร่ (diffusion equilibrium) ในภาวะเช่นนี้สารต่าง ๆ ก็ยังมีการเคลื่อนที่อยู่แต่อยู่ในลักษณะที่ไปและมาหรือออกเข้าในจำนวนที่เท่าๆกัน การแพร่ของความเค็มในบริเวณปากน้ำจึงเป็นกระบวนการพาและการแพร่ร่วมกัน [11], [12]

3.1.2 สมการการพา-การแพร่ของน้ำเค็มในแม่น้ำ

ในแม่น้ำตามธรรมชาติและบริเวณปากแม่น้ำจะมีการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งเป็นแบบ Unsteady state และความเร็วของกระแสน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งในการศึกษาเพื่อหาปริมาณความเค็ม ในปี 1965 Holley และ Harleman [13] ได้ใช้คุณสมบัติการอนุรักษ์ (conservative property) หาสมการการแพร่ของน้ำเค็มในการไหลแบบปั่นป่วน 1 มิติ ดังนี้

$$A \frac{\partial c}{\partial t} + Q \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad \text{สำหรับทุก } x \in [0, L] \text{ และ } t > 0 \quad (3.1)$$

โดยที่	$A(x)$	คือ	พื้นที่หน้าตัดของแม่น้ำ (km^2)
	$Q(x, t)$	คือ	อัตราการไหล (km^3/hr)
	D	คือ	สัมประสิทธิ์ของการแพร่ (m^2/s)
	$c(x, t)$	คือ	ปริมาณความเค็ม (g/l)
	x	คือ	ระยะทาง (km)
	t	คือ	เวลา (hr)
	L	คือ	ความยาวของลำน้ำ (km)

จากสมการที่ (3.1) สมมติให้ลำน้ำมีพื้นที่หน้าตัดคงที่ตลอดทั้งลำน้ำ $A(x)$

นำพื้นที่หน้าตัด A มาหารทั้ง 2 ข้างของสมการที่ (3.1) จะได้

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{Q}{A} \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D \frac{\partial c}{\partial x} \right] \quad (3.2)$$

กำหนดให้ V คือ ความเร็วการไหล (m/s) หาได้จาก



$$V = \frac{Q}{A} \quad (3.3)$$

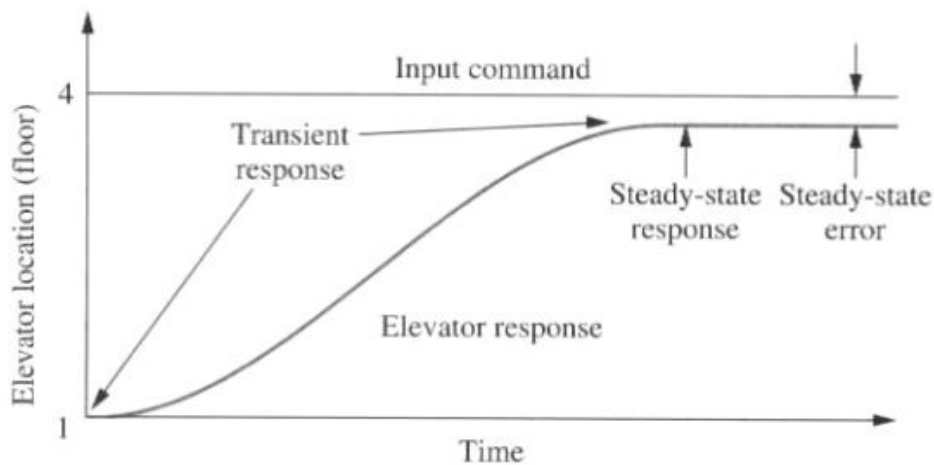
โดยที่ Q คือ อัตราการไหล (km^3/hr)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (km^2)

จากสมการที่ (3.2)

จะได้ว่า
$$\frac{\partial c}{\partial t} + V \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D \frac{\partial c}{\partial x} \right] \quad (3.4)$$

เนื่องจาก สมการการพา-การแพร่ของน้ำเค็มในแม่น้ำเป็นแบบ Steady state เมื่อเวลาผ่านไป ความเค็มไม่เปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สภาวะคงตัวและไม่คงตัว

กำหนดให้ T_1 คือ ช่วงเวลาที่ 1 (hr)

T_2 คือ ช่วงเวลาที่ 2 (hr)

จะได้ว่า
$$\frac{T_2 - T_1}{\Delta t} = 0 \quad (3.5)$$

กำหนดให้
$$\frac{\partial c}{\partial t} = 0 \quad (3.6)$$

และ
$$c(x, t) = c(x) \quad (3.7)$$



ดังนั้น
$$V \frac{dc}{dx} = \frac{d}{dx} \left(D \frac{dc}{dx} \right) \quad (3.8)$$

เนื่องจากการเคลื่อนที่หรือการไหลของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา มีความเร็วการไหลเฉลี่ยเป็น u_w (km/hr) ซึ่งไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับการพาของน้ำเค็ม u (km/hr)

จะได้
$$(u - u_w) \frac{dc}{dx} = \frac{d}{dx} \left(D \frac{dc}{dx} \right) \quad (3.9)$$

ดังนั้น
$$(u - u_w) \frac{dc}{dx} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad (3.10)$$

โดยที่ u คือ ความเร็วการพาของน้ำเค็ม (km/hr)

u_w คือ ความเร็วการไหลเฉลี่ยของแม่น้ำเจ้าพระยา (km/hr)

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ (km^2/hr)

3.2 ตัวแบบไร้มิติ

จากสมการการพา-การแพร่ที่ (3.8) จะได้รูปไร้มิติ [17] เป็น

$$V \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad \text{สำหรับทุก } x \in [0, L] \quad (3.11)$$

กำหนดให้

$$X = \frac{x}{L}, \quad C = \frac{c}{c_0}, \quad V = u - u_w$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial x} &= \frac{\partial c_0 C}{\partial X} \cdot \frac{dX}{dx} = \frac{\partial c_0 C}{\partial X} \left(\frac{d \left(\frac{x}{L} \right)}{dx} \right) \\ &= \frac{c_0}{L} \frac{\partial C}{\partial X} \cdot \frac{dx}{dx} \end{aligned} \quad (3.12)$$

(3.13)

จะได้ว่า
$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{c_0}{L} \frac{\partial C}{\partial X} \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{c_0}{L} \frac{\partial C}{\partial X} \right) = \frac{c_0}{L} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial C}{\partial X} \right) \quad (3.15)$$



$$= \frac{c_0}{L} \left(\frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\partial C}{\partial X} \right) \cdot \frac{\partial X}{\partial x} \right) \quad (3.16)$$

$$= \frac{c_0}{L} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \cdot \frac{1}{L} \right) \quad (3.17)$$

จะได้ว่า
$$\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{c_0}{L^2} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \quad (3.18)$$

ดังนั้น
$$V \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (3.19)$$

$$V \frac{c_0}{L} \frac{\partial C}{\partial X} = D \frac{c_0}{L^2} \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \quad (3.20)$$

$$V \frac{\partial C}{\partial X} = \frac{D}{L} \frac{\partial^2 C}{\partial X^2}$$

(3.21)

$$\left(u - u_w \right) \frac{dC}{dX} = \frac{D}{L} \frac{d^2 C}{dX^2} \quad \text{สำหรับทุก } X \in [0,1] \quad (3.22)$$

3.3 วิธีผลต่างจำกัด (Finite Difference Method)

จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สมการที่เกี่ยวข้องจะอธิบายถึงวิธีผลต่างจำกัด เพื่อหาผลเฉลยโดยประมาณ ดังนี้ [14]

พิจารณาสมการเชิงอนุพันธ์สามัญแบบเชิงเส้นในรูปอันดับสอง

$$y'' + a(x)y' + b(x)y = g(x) \quad (3.23)$$

สำหรับทุก $x_0 \leq x \leq x_n$ เมื่อ $x \in [n, m]$

เงื่อนไขขอบ
$$y(x_0) = y_0 \quad (3.24)$$

และ
$$y(x_n) = y_n \quad (3.25)$$

เมื่อ y_0, y_n ทราบค่าดังรูปที่ 3.4

ใช้วิธีผลต่างจากกลาง โดยการประมาณพจน์ของอนุพันธ์ที่ปรากฏในสมการ

$$y(x_i) = y_i \quad (3.26)$$



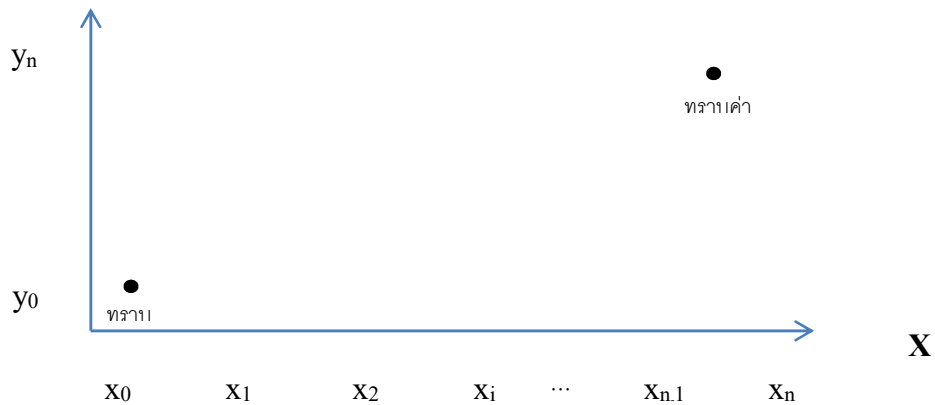
$$y'(x_i) \approx \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2h} \quad (3.27)$$

$$y''(x_i) \approx \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{h^2} \quad (3.28)$$

เมื่อ $h = \frac{m-n}{N} = \frac{x_n - x_0}{N}$

แบ่งโดเมน $[x_0, x_n]$ ออกเป็น N ช่วงย่อย

ให้ $h = \frac{x_n - x_0}{N}$



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงจุดที่ทราบค่าและจุดประมาณผลเฉลย

พิจารณา ณ จุด x_i โดย $x_0 \leq x_i \leq x_n$

จะได้ผลเฉลยที่สอดคล้องกับสมการ

$$y'' + a(x)y' + b(x)y = g(x) \quad (3.29)$$

$$y''(x_i) + a(x_i)y'(x_i) + b(x_i)y(x_i) = g(x_i) \quad (3.30)$$

โดย $y''_i + a_i y'_i + b_i y_i = g_i \quad (3.31)$

เมื่อ $y_i = y(x_i), y'_i = y'(x_i), y''_i = y''(x_i) \quad (3.32)$

$$a_i = a(x_i), b_i = b(x_i), g_i = g(x_i) \quad (3.33)$$



ประมาณค่าพจน์ของอนุพันธ์ในสมการ (3.31) โดยใช้วิธีผลต่างจากกลาง (3.27), (3.28)

$$\left(\frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{h^2} \right) + a_i \left(\frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2h} \right) + b_i y_i = g_i \quad (3.34)$$

นำ h^2 คูณทั้ง 2 ข้างของสมการที่ (3.34) จะได้

$$y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1} + \frac{1}{2}a_i h(y_{i+1} - y_{i-1}) + h^2 b_i y_i = h^2 g_i \quad (3.35)$$

ดังนั้น สมการผลต่างจำกัด คือ

$$\left(1 - \frac{1}{2}a_i h \right) y_{i-1} + \left(-2 + h^2 b_i \right) y_i + \left(1 + \frac{1}{2}a_i h \right) y_{i+1} = h^2 g_i \quad (3.36)$$

สำหรับ $i = 1, 2, \dots, N-1$

หากเราเลือก N มากตามความต้องการสามารถขยาย สมการผลต่างจำกัดได้ $N = 10$ หรือมากกว่าระบบสมการ จะอยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์แถบ (Banded Matrix) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} -2 + h^2 b_1 & 1 + \frac{1}{2}a_1 h & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 - \frac{1}{2}a_2 h & -2 + h^2 b_2 & 1 + \frac{1}{2}a_2 h & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 - \frac{1}{2}a_3 h & -2 + h^2 b_3 & 1 + \frac{1}{2}a_3 h & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 - \frac{1}{2}a_4 h & -2 + h^2 b_4 & 1 + \frac{1}{2}a_4 h & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 - \frac{1}{2}a_5 h & -2 + h^2 b_5 & 1 + \frac{1}{2}a_5 h & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 - \frac{1}{2}a_6 h & -2 + h^2 b_6 & 1 + \frac{1}{2}a_6 h & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 - \frac{1}{2}a_7 h & -2 + h^2 b_7 & 1 + \frac{1}{2}a_7 h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 - \frac{1}{2}a_8 h & -2 + h^2 b_8 & 1 + \frac{1}{2}a_8 h \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 - \frac{1}{2}a_9 h & -2 + h^2 b_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ y_7 \\ y_8 \\ y_9 \end{bmatrix}$$



$$= \begin{bmatrix} h^2 g_1 - (1 - \frac{1}{2} a_1 h) y_0 \\ h^2 g_2 \\ h^2 g_3 \\ h^2 g_4 \\ h^2 g_5 \\ h^2 g_6 \\ h^2 g_7 \\ h^2 g_8 \\ h^2 g_9 - (1 + \frac{1}{2} a_9 h) y_{10} \end{bmatrix}$$



3.4 การประมาณค่าความเค็มจากข้อมูลของสถานีแรกและสถานีสุดท้าย

การประมาณค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเค็มนี้ทำเพื่อแสดงถึงแนวโน้มปริมาณความเค็มจากข้อมูลภาคสนาม

พิจารณา ส่วนของแม่น้ำเจ้าพระยาความยาว 84 km จากโรงไฟฟ้าพระนครใต้ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดความเค็มสถานีแรกถึงสถานีสำแลเป็นสถานีตรวจวัดสถานีสุดท้าย กำหนดให้การพาของน้ำเค็มเป็น 0.4 km/hr และการไหลของกระแสน้ำจืดเป็น 0.3 km/hr โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็มเป็น 58.8 m²/s กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้เป็น 17.3743 g/l และสถานีสำแลเป็น 0.2171 g/l สามารถกำหนดตัวแบบได้เป็น

$$(u - u_w) \frac{dc}{dx} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad \text{สำหรับทุก } x \in [0, 84]$$

เงื่อนไขขอบ $c(0) = 17.3743 \text{ g/l}$ (สถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้)

และ $c(84) = 0.2171 \text{ g/l}$ (สถานีสำแล)

โดยที่ $u = 0.4 \text{ km/hr}$, $u_w = 0.3 \text{ km/hr}$ และ $D = 58.8 \text{ m}^2/\text{s}$

กำหนดตัวแบบไร้มิติ

$$V \frac{dC}{dX} = \frac{D}{L} \frac{d^2C}{dX^2} \quad \text{สำหรับทุก } X \in [0, 1]$$

เมื่อ $V = u - u_w$ และ $X = \frac{x}{L}$

$$(u - u_w) \frac{dC}{dX} = \frac{D}{L} \frac{d^2C}{dX^2} \quad \text{สำหรับทุก } X \in [0, 1]$$

เงื่อนไขขอบ $C(0) = 1$

และ $C(1) = 0.0125$

โดยที่ $u = 0.4$, $u_w = 0.3$ และ $D = 58.8$

ใช้วิธีผลต่างจำกัดโดยวิธีผลต่างจากกลาง

เลือก $N = 20$

$$\text{จะได้ } h = \frac{X_n - X_0}{N} = \frac{1 - 0}{20} = 0.05$$

แทนค่า u , u_w และ D ลงในสมการ (3.22) จะได้



$$(0.4 - 0.3) \frac{dC}{dX} = \left(\frac{58.8}{84} \right) \frac{d^2C}{dX^2}$$

$$(0.1) \frac{dC}{dX} = (0.7) \frac{d^2C}{dX^2}$$

$$(0.7) \frac{d^2C}{dX^2} - (0.1) \frac{dC}{dX} = 0$$

ดังนั้น

$$(1) \frac{d^2C}{dX^2} - (0.1429) \frac{dC}{dX} = 0$$

จะเห็นว่า $a(X) = -0.1429$, $b(X) = 0$, $g(X) = 0$

แทน $a(X)$, $b(X)$ และ $g(X)$ ลงในสมการที่ (3.36) จะได้

$$\left(1 - \frac{1}{2}(-0.1429)(0.05) \right) C_{i-1} + \left(-2 + (0.05)^2(0) \right) C_i + \left(1 + \frac{1}{2}(-0.1429)(0.05) \right) C_{i+1} = (0.05)^2(0)$$

$$1.0036C_{i-1} - 2C_i + 0.9964C_{i+1} = 0$$

พิจารณาสำหรับ $i = 1, 2, 3, \dots, 19$

$$i = 1; \quad 1.0036C_0 - 2C_1 + 0.9964C_2 = 0$$

$$1.0036(1) - 2C_1 + 0.9964C_2 = 0$$

$$-2C_1 + 0.9964C_2 = -1.0036$$

$$i = 2; \quad 1.0036C_1 - 2C_2 + 0.9964C_3 = 0$$

$$i = 3; \quad 1.0036C_2 - 2C_3 + 0.9964C_4 = 0$$

$$i = 4; \quad 1.0036C_3 - 2C_4 + 0.9964C_5 = 0$$

$$i = 5; \quad 1.0036C_4 - 2C_5 + 0.9964C_6 = 0$$

$$i = 6; \quad 1.0036C_5 - 2C_6 + 0.9964C_7 = 0$$

$$i = 7; \quad 1.0036C_6 - 2C_7 + 0.9964C_8 = 0$$

$$i = 8; \quad 1.0036C_7 - 2C_8 + 0.9964C_9 = 0$$

$$i = 9; \quad 1.0036C_8 - 2C_9 + 0.9964C_{10} = 0$$

$$i = 10; \quad 1.0036C_9 - 2C_{10} + 0.9964C_{11} = 0$$

$$i = 11; \quad 1.0036C_{10} - 2C_{11} + 0.9964C_{12} = 0$$

$$i = 12; \quad 1.0036C_{11} - 2C_{12} + 0.9964C_{13} = 0$$

$$i = 13; \quad 1.0036C_{12} - 2C_{13} + 0.9964C_{14} = 0$$

(4.15)



$$i = 14; \quad 1.0036C_{13} - 2C_{14} + 0.9964C_{15} = 0$$

$$i = 15; \quad 1.0036C_{14} - 2C_{15} + 0.9964C_{16} = 0$$

$$i = 16; \quad 1.0036C_{15} - 2C_{16} + 0.9964C_{17} = 0$$

(

$$i = 17; \quad 1.0036C_{16} - 2C_{17} + 0.9964C_{18} = 0$$

$$i = 18; \quad 1.0036C_{17} - 2C_{18} + 0.9964C_{19} = 0$$

$$i = 19; \quad 1.0036C_{18} - 2C_{19} + 0.9964C_{20} = 0$$

$$1.0036C_{18} - 2C_{19} + 0.9964(0.025) = 0$$

$$1.0036C_{18} - 2C_{19} = -0.0125$$

จัดสมการให้อยู่ในรูป $Ax=b$

$$\begin{bmatrix} -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 & 0.9964 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0036 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \\ c_7 \\ c_8 \\ c_9 \\ c_{10} \\ c_{11} \\ c_{12} \\ c_{13} \\ c_{14} \\ c_{15} \\ c_{16} \\ c_{17} \\ c_{18} \\ c_{19} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.0036 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$



ตารางที่ 3.4.1 ผลเฉลยเชิงตัวเลขในรูปไร้มิติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9539	0.9075	0.8608	0.8137	0.7663	0.7185	0.6704	0.6220	0.5732

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.5240	0.4745	0.4247	0.3744	0.3238	0.2729	0.2216	0.1699	0.1178	0.0654	0.0125

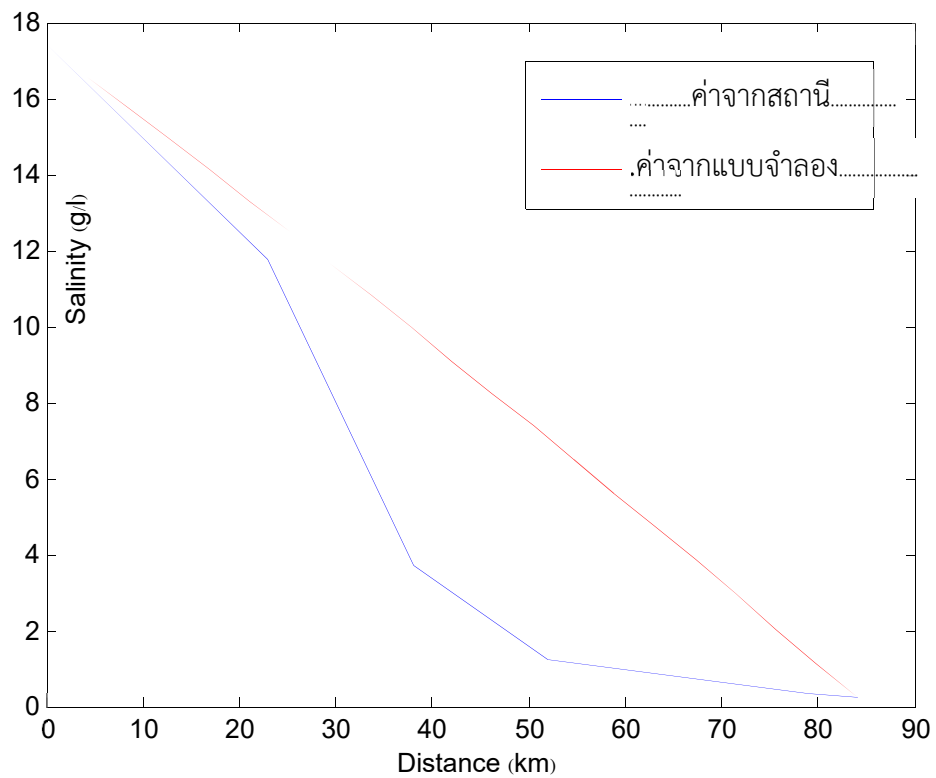
ตารางที่ 3.4.2 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (km)	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	17.3743	16.5733	15.7672	14.9558	14.1375	13.3139	12.4834	11.6477	10.8068	9.9589

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i (km)	42	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	9.1041	8.2441	7.3789	6.5049	5.6258	4.7414	3.8501	2.9519	2.0467	1.1363	0.2171

ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร้มิติ ดังตารางที่ 3.4.1 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.4.2 โดยผู้วิจัยได้เปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้กับค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ดังรูปที่ 3.5





รูปที่ 3.5 การประมาณค่าความเค็มจากข้อมูลของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ถึงสถานีสำแล



3.5 การประมาณค่าความเค็มจากข้อมูลสถานีแรกและสถานีสุดท้าย ผนวกด้วยข้อมูลจาก 2 สถานีภายใน

การประมาณค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเค็มนี้ เพื่อแสดงถึงเทคนิคการตรวจวัดปริมาณความเค็มให้มีความใกล้เคียงกับข้อมูลภาคสนาม ดังนี้

พิจารณา ในส่วนของแม่น้ำเจ้าพระยาความยาว 84 km จากโรงไฟฟ้าพระนครใต้ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดความเค็มสถานีแรกถึงสถานีสำแลเป็นสถานีตรวจวัดสถานีสุดท้าย กำหนดให้การพาของน้ำเค็มเป็น 0.4 km/hr และการไหลของกระแสน้ำจืดเป็น 0.3 km/hr โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็มเป็น 58.8 m²/s กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้เป็น 17.3743 g/l โดยเลือกใช้ข้อมูลจากสถานีภายในลำน้ำ 2 สถานี ได้แก่ สถานีสะพานพระพุทธยอดฟ้า 3.6943 g/l สถานีสะพานพระนั่งเกล้า 1.2614 g/l โดยสถานีสำแลเป็นสถานีสุดท้ายเช่นเดิม มีค่าความเค็มเป็น 0.2171 g/l สามารถกำหนดตัวแบบได้เป็น

$$(u - u_w) \frac{dc}{dx} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad \text{สำหรับทุก } x \in [0, 84]$$

เงื่อนไขขอบ $c(0) = 17.3743 \text{ g/l}$ (สถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้)
 $c(38) = 3.6943 \text{ g/l}$ (สถานีสะพานพระพุทธยอดฟ้า)
 $c(52) = 1.2614 \text{ g/l}$ (สถานีสะพานพระนั่งเกล้า)
 $c(84) = 0.2171 \text{ g/l}$ (สถานีสำแล)

โดยที่ $u = 0.4 \text{ km/hr}$, $u_w = 0.3 \text{ km/hr}$ และ $D = 58.8 \text{ m}^2/\text{s}$
กำหนดตัวแบบไร้มิติ

$$V \frac{dC}{dX} = \frac{D}{L} \frac{d^2C}{dX^2} \quad \text{สำหรับทุก } X \in [0, 1]$$

เมื่อ $V = u - u_w$ และ $X = \frac{x}{L}$

$$(u - u_w) \frac{dC}{dX} = \frac{D}{L} \frac{d^2C}{dX^2} \quad \text{สำหรับทุก } X \in [0, 1]$$

เงื่อนไขขอบ $C(0) = 1$ และ $C(1) = 0.0125$

โดยกำหนด $C(0.4524) = 0.2126$

และ $C(0.6190) = 0.0726$

โดยที่ $u = 0.4$, $u_w = 0.3$ และ $D = 58.8$



ใช้วิธีผลต่างจำกัดโดยวิธีผลต่างจากกลาง

เลือก $N = 20$

$$\text{จะได้ } h = \frac{X_n - X_0}{N} = \frac{1-0}{20} = 0.05$$

แทนค่า u , u_w และ D ลงในสมการ จะได้

$$(0.4 - 0.3) \frac{dC}{dX} = \left(\frac{58.8}{84} \right) \frac{d^2C}{dX^2}$$

$$(0.1) \frac{dC}{dX} = (0.7) \frac{d^2C}{dX^2}$$

$$(0.7) \frac{d^2C}{dX^2} - (0.1) \frac{dC}{dX} = 0$$

ดังนั้น

$$(1) \frac{d^2C}{dX^2} - (0.1429) \frac{dC}{dX} = 0$$

จะเห็นว่า $a(X) = -0.1429$, $b(X) = 0$, $g(X) = 0$

แทน $a(X)$, $b(X)$ และ $g(X)$ ลงในสมการ จะได้

$$\left(1 - \frac{1}{2}(-0.1429)(0.05) \right) C_{i-1} + \left(-2 + (0.05)^2(0) \right) C_i + \left(1 + \frac{1}{2}(-0.1429)(0.05) \right) C_{i+1} = (0.05)^2(0)$$

$$1.0036C_{i-1} - 2C_i + 0.9964C_{i+1} = 0$$

พิจารณาสำหรับ $i = 1, 2, 3, \dots, 19$



ตารางที่ 3.5.1 ผลเฉลยเชิงตัวเลขในรูปไร้มิติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9150	0.8294	0.7432	0.6564	0.5689	0.4808	0.3921	0.3027	0.2126

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.1663	0.1196	0.0726	0.0653	0.0579	0.0505	0.0430	0.0355	0.0279	0.0202	0.0125

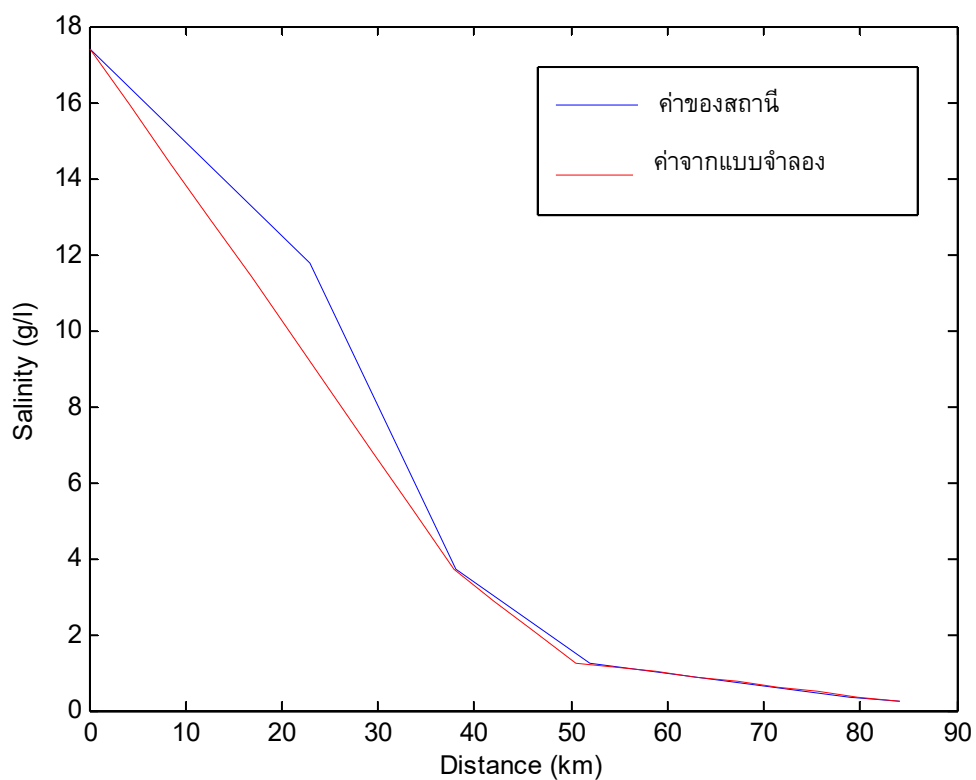
ตารางที่ 3.5.2 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (km)	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	17.3743	15.8975	14.4102	12.9126	11.4045	9.8842	8.3536	6.8125	5.2592	3.6938

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i (km)	42	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	2.8893	2.0780	1.2614	1.1345	1.0060	0.8774	0.7471	0.6168	0.4847	0.3510	0.2171

ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร้มิติ ดังตารางที่ 3.5.1 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.5.2 โดยผู้วิจัยได้เปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้กับค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ดังรูปที่ 3.6





รูปที่ 3.6 การประมาณค่าความเค็มจากข้อมูลสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้ สถานีสำแล
ผนวกด้วยข้อมูลจากสถานีสะพานพระพุทธยอดฟ้า และสะพานพระนั่งเกล้า



3.6 การประมาณค่าความเค็มโดยใช้ข้อมูลจากสถานีแรกเท่านั้น

การประมาณค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเค็ม ณ บริเวณปลายลำน้ำ เพื่อแสดงถึงเทคนิคการวิเคราะห์ความเค็มจากข้อมูลภาคสนาม โดยอาศัยเพียงข้อมูลความเค็มจากสถานีแรกเพียงแห่งเดียว และไม่ใช้ข้อมูลจากสถานีสุดท้าย ได้ดังนี้

พิจารณา ในส่วนของแม่น้ำเจ้าพระยาความยาว 84 km จากโรงไฟฟ้าพระนครใต้ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดความเค็มสถานีแรกถึงสถานีสำแลเป็นสถานีตรวจวัดสถานีสุดท้าย กำหนดให้การพาของน้ำเค็มเป็น 0.4 km/hr และการไหลของกระแสน้ำจืดเป็น 0.3 km/hr โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็มเป็น 58.8 m²/s กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้เป็น 17.3743 g/l โดยไม่ใช้ข้อมูลจากสถานีสุดท้ายคือ สถานีสำแล และสถานีอื่นๆ ตลอดทั้งลำน้ำสามารถกำหนดตัวแบบได้เป็น

$$(u - u_w) \frac{dc}{dx} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad \text{สำหรับทุก } x \in [0, 84]$$

เงื่อนไขขอบ $c(0) = 17.3743$ (สถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้) และ $\left. \frac{dc}{dx} \right|_{x=84} = \beta$

โดยที่ $u = 0.4$ km/hr, $u_w = 0.3$ km/hr และ $D = 58.8$ m²/s

กำหนดตัวแบบไร้มิติ (Non-Dimensional Model)

$$V \frac{dC}{dX} = \frac{D}{L} \frac{d^2C}{dX^2} \quad \text{สำหรับทุก } X \in [0, 1]$$

เมื่อ $V = u - u_w$ และ $X = \frac{x}{L}$

$$(u - u_w) \frac{dC}{dX} = \frac{D}{L} \frac{d^2C}{dX^2} \quad \text{สำหรับทุก } X \in [0, 1]$$

เงื่อนไขขอบ $c(0) = 1$

และ $c(1) = \frac{dC}{dX} \Big|_{X=1} = \beta$

เนื่องจาก β คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเค็มที่ $X = \frac{x}{L}$

โดยที่ $u = 0.4$, $u_w = 0.3$ และ $D = 58.8$

ใช้วิธีผลต่างจำกัดโดยวิธีผลต่างจากกลาง



เลือก $N = 20$

จะได้
$$h = \frac{X_n - X_0}{N} = \frac{1 - 0}{20} = 0.05$$

แทนค่า u , u_w และ D ลงในสมการ จะได้

$$(0.4 - 0.3) \frac{dC}{dX} = \left(\frac{58.8}{84} \right) \frac{d^2C}{dX^2}$$

$$(0.1) \frac{dC}{dX} = (0.7) \frac{d^2C}{dX^2}$$

$$(0.7) \frac{d^2C}{dX^2} - (0.1) \frac{dC}{dX} = 0$$

ดังนั้น
$$(1) \frac{d^2C}{dX^2} - (0.1429) \frac{dC}{dX} = 0$$

จะเห็นว่า $a(X) = -0.1429$, $b(X) = 0$, $g(X) = 0$

แทน $a(X)$, $b(X)$ และ $g(X)$ ลงในสมการ จะได้

$$\left(1 - \frac{1}{2}(-0.1429)(0.05) \right) C_{i-1} + \left(-2 + (0.05)^2(0) \right) C_i + \left(1 + \frac{1}{2}(-0.1429)(0.05) \right) C_{i+1} = (0.05)^2(0)$$

$$1.0036C_{i-1} - 2C_i + 0.9964C_{i+1} = 0$$

พิจารณาสำหรับ $i = 1, 2, 3, \dots, 19$



ตารางที่ 3.6.1 ผลเฉลยเชิงตัวเลขในรูปไร้มิติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9540	0.9076	0.8609	0.8138	0.7664	0.7187	0.6706	0.6222	0.5734

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.5242	0.4748	0.4249	0.3747	0.3241	0.2732	0.2219	0.1702	0.1182	0.0658	0.0130

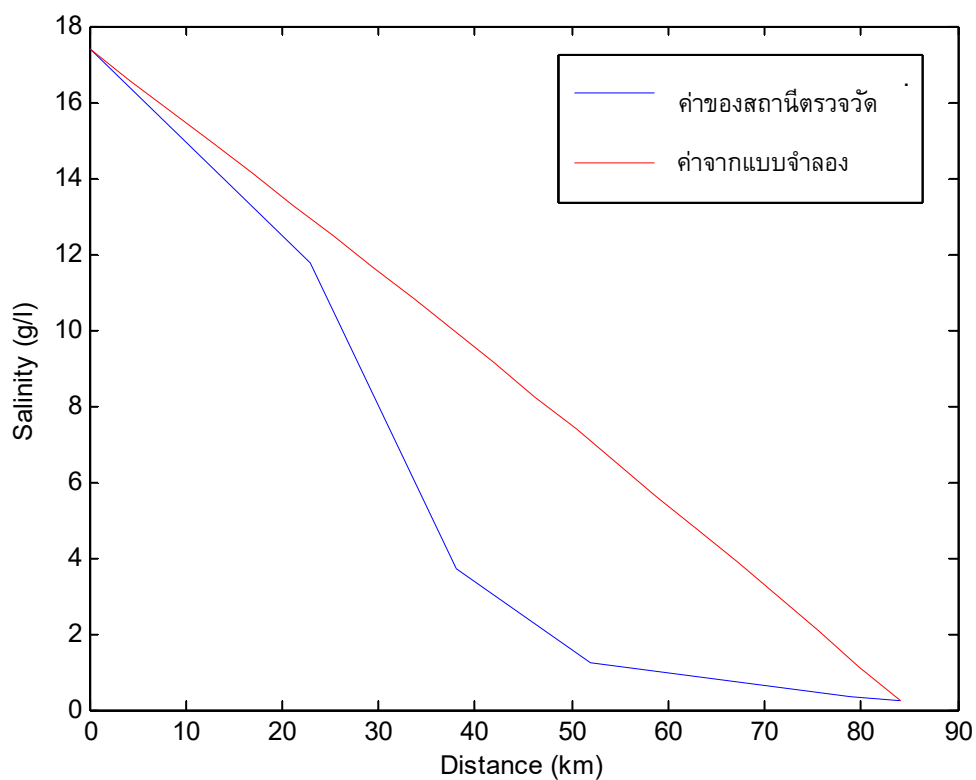
ตารางที่ 3.6.2 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (km)	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	17.3743	16.5751	15.7689	14.9575	14.1392	13.3157	12.4869	11.6512	10.8103	9.9624

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i (km)	42	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	9.1076	8.2493	7.3823	6.5102	5.6310	4.7467	3.8554	2.9571	2.0536	1.1432	0.2259

ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร้มิติ ดังตารางที่ 3.6.1 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.6.2 โดยผู้วิจัยได้เปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้กับค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ดังรูปที่ 3.7





รูปที่ 3.7 การประมาณค่าความเค็มโดยใช้ข้อมูลจากสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้เท่านั้น



3.7 การประมาณค่าความเค็มโดยใช้ข้อมูลจากสถานีแรกและใช้ข้อมูลจาก 2 สถานีก่อนถึงพื้นที่ฝักระวัง

การประมาณค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเค็มนี้ทำเพื่อแสดงถึงแนวโน้มปริมาณความเค็มที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกับข้อมูลภาคสนาม

พิจารณา ส่วนของแม่น้ำเจ้าพระยาความยาว 84 km จากโรงไฟฟ้าพระนครใต้ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดความเค็มสถานีแรกถึงสถานีสำแลเป็นสถานีตรวจวัดสถานีสุดท้าย กำหนดให้การพาของน้ำเค็มเป็น 0.4 km/hr และการไหลของกระแสน้ำจืดเป็น 0.3 km/hr โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็มเป็น 58.8 m²/s กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้เป็น 17.3743 g/l สถานีสะพานพระพุทธยอดฟ้า 3.6943 g/l สถานีสะพานพระนั่งเกล้า 1.2614 g/l โดยไม่ใช้ข้อมูลจากสถานีสุดท้าย คือ สถานีสำแล สามารถกำหนดตัวแบบได้เป็น

$$(u - u_w) \frac{dc}{dx} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad \text{สำหรับทุก } x \in [0, 84]$$

เงื่อนไขขอบ $c(0) = 17.3743$ (สถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้)

$c(38) = 3.6943$ (สถานีสะพานพระพุทธยอดฟ้า)

$c(52) = 1.2614$ (สถานีสะพานพระนั่งเกล้า)

และ $c(84) = \frac{dc}{dx} \Big|_{x=84} = \beta$ (สถานีสำแล)

เนื่องจาก β คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเค็มที่ $X = \frac{x}{L}$

โดยที่ $u = 0.4$ km/hr , $u_w = 0.3$ km/hr และ $D = 58.8$ m²/s

กำหนดตัวแบบไร้มิติ (Non-Dimensional Model)

$$V \frac{dC}{dX} = \frac{D}{L} \frac{d^2C}{dX^2} \quad \text{สำหรับทุก } X \in [0, 1]$$

เมื่อ $V = u - u_w$ และ $X = \frac{x}{L}$

$$(u - u_w) \frac{dC}{dX} = \frac{D}{L} \frac{d^2C}{dX^2} \quad \text{สำหรับทุก } X \in [0, 1]$$

เงื่อนไขขอบ $C(0) = 1$ และ $C(1) = \frac{dC}{dX} \Big|_{x=1} = \beta$

โดยกำหนด $C(0.4524) = 0.2126$

และ $C(0.6190) = 0.0726$



โดยที่ $u = 0.4$, $u_w = 0.3$ และ $D = 58.8$

ใช้วิธีผลต่างจำกัดโดยวิธีผลต่างจากกลาง

เลือก $N = 20$

$$\text{จะได้ } h = \frac{X_n - X_0}{N} = \frac{1 - 0}{20} = 0.05$$

แทนค่า u , u_w และ D ลงในสมการ จะได้

$$(0.4 - 0.3) \frac{dC}{dX} = \left(\frac{58.8}{84} \right) \frac{d^2C}{dX^2}$$

$$(0.1) \frac{dC}{dX} = (0.7) \frac{d^2C}{dX^2}$$

$$(0.7) \frac{d^2C}{dX^2} - (0.1) \frac{dC}{dX} = 0$$

ดังนั้น

$$(1) \frac{d^2C}{dX^2} - (0.1429) \frac{dC}{dX} = 0$$

(4.69)

จะเห็นว่า $a(X) = -0.1429$, $b(X) = 0$, $g(X) = 0$

แทน $a(X)$, $b(X)$ และ $g(X)$ ลงในสมการ จะได้

$$\left(1 - \frac{1}{2}(-0.1429)(0.05) \right) C_{i-1} + \left(-2 + (0.05)^2(0) \right) C_i + \left(1 + \frac{1}{2}(-0.1429)(0.05) \right) C_{i+1} = (0.05)^2(0)$$

$$1.0036C_{i-1} - 2C_i + 0.9964C_{i+1} = 0$$

(4.70)

พิจารณาสำหรับ $i = 1, 2, 3, \dots, 19$



ตารางที่ 3.4.1 ผลเฉลยเชิงตัวเลขในรูปไร้มิติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9150	0.8294	0.7432	0.6564	0.5689	0.4808	0.3921	0.3027	0.2126

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.1663	0.1196	0.0726	0.0653	0.0579	0.0505	0.0430	0.0355	0.0279	0.0203	0.0126

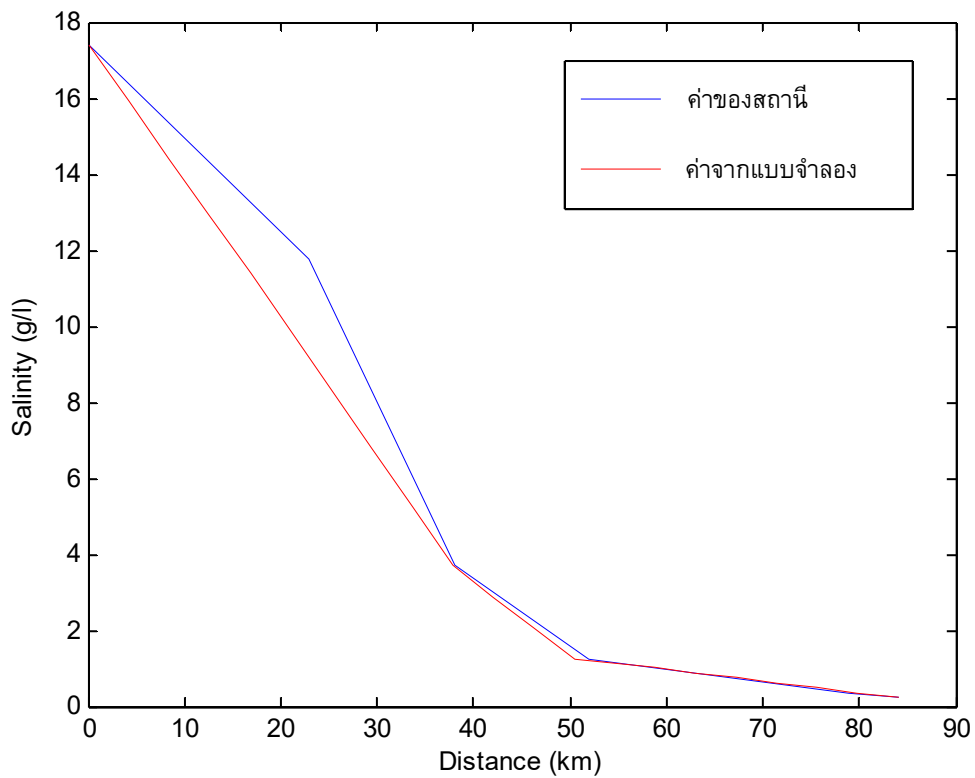
ตารางที่ 3.7.2 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (km)	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	17.3743	15.8975	14.4102	12.9126	11.4045	9.8842	8.3536	6.8125	5.2592	3.6938

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i (km)	42	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	2.8893	2.0780	1.2614	1.1345	1.0060	0.8774	0.7471	0.6168	0.4847	0.3527	0.2189

ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร้มิติ ดังตารางที่ 3.7.1 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.7.2 โดยผู้วิจัยได้เปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้กับค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ดังรูปที่ 3.8





รูปที่ 3.8 การประมาณค่าความเค็มโดยใช้ข้อมูลจาก สถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้
สถานีสะพานพระพุทธยอดฟ้า และสถานีสะพานพระนั่งเกล้า

พบว่าวิธีนี้สามารถประมาณค่าความเค็ม ณ สถานีสำแล ซึ่งเป็นสถานีสุดท้าย และเป็นพื้นที่ที่
ต้องการคาดการณ์ความเค็มล่วงหน้าได้ คือ ความเค็มเป็น 0.2189 g/l



3.8 การประมาณค่าความเค็มในช่วงเวลาอื่นๆ

3.8.1 การประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 4 มีนาคม 2560

พิจารณา ในส่วนของแม่น้ำเจ้าพระยาความยาว 84 km จากโรงไฟฟ้าพระนครใต้ ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดความเค็มสถานีแรกถึงสถานีสำแลเป็นสถานีสุดท้าย กำหนดให้การพาของน้ำเค็มเป็น 0.4 km/hr และการไหลของกระแสน้ำจืดเป็น 0.3 km/hr โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็มเป็น $58.8 \text{ m}^2/\text{s}$ กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้เป็น 20.5629 g/l สถานีสะพานพระพุทธยอดฟ้า 4.6014 g/l และสถานีสะพานพระนั่งเกล้า 2.2357 g/l โดยกำหนดให้ $\beta = -0.24$ จะได้ผลเฉลยดังตารางที่ 3.8.1 และตารางที่ 3.8.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.8.1 ผลเฉลยเชิงตัวเลขในรูปไร้มิติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9162	0.8318	0.7468	0.6612	0.5750	0.4881	0.4007	0.3126	0.2238

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.1857	0.1473	0.1087	0.0973	0.0859	0.0744	0.0628	0.0511	0.0393	0.0274	0.0155

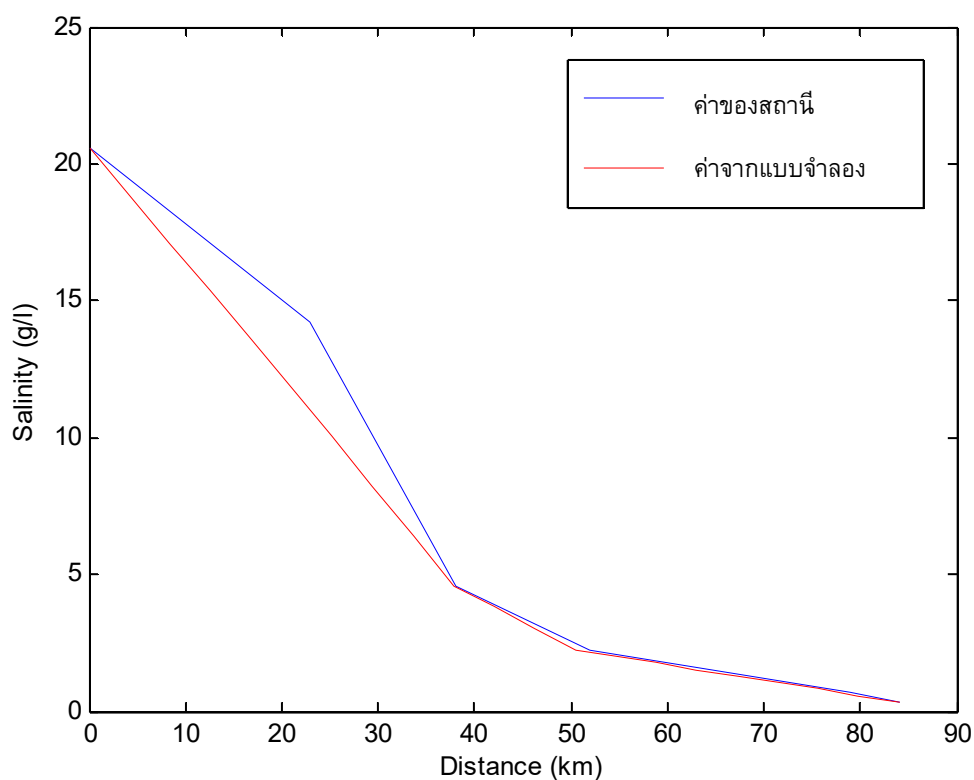
ตารางที่ 3.8.2 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (km)	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	20.562 9	18.839 7	17.104 2	15.356 4	13.596 2	11.823 7	10.036 8	8.239 6	6.428 0	4.602 0

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i (km)	42	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	3.8185	3.0289	2.2352	2.0008	1.7664	1.5299	1.2914	1.0508	0.8081	0.5634	0.3187



ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร้มิติ ดังตารางที่ 3.8.1 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.8.2 โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้กับค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 4 มีนาคม 2560 ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 4 มีนาคม 2560



3.8.2 การประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560

พิจารณา ในส่วนของแม่น้ำเจ้าพระยาความยาว 84 km จากโรงไฟฟ้าพระนครใต้ ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดความเค็มสถานีแรกถึงสถานีสำแลเป็นสถานีสุดท้าย กำหนดให้การพาของน้ำเค็มเป็น 0.4 km/hr และการไหลของกระแสน้ำจืดเป็น 0.3 km/hr โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็มเป็น $58.8 \text{ m}^2/\text{s}$ กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้เป็น 19.9171 g/l สถานีสะพานพระพุทธยอดฟ้า 5.2000 g/l และสถานีสะพานพระนั่งเกล้า 3.2929 g/l โดยกำหนดให้ $\beta = -0.393$ จะได้ผลเฉลยดังตารางที่ 3.8.3 และตารางที่ 3.8.4 ดังนี้

ตารางที่ 3.8.3 ผลเฉลยเชิงตัวเลขในรูปไร้มิติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9202	0.8399	0.7590	0.6775	0.5954	0.5127	0.4294	0.3455	0.2611

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.2294	0.1974	0.1653	0.1467	0.1279	0.1090	0.0899	0.0708	0.0514	0.0320	0.0124

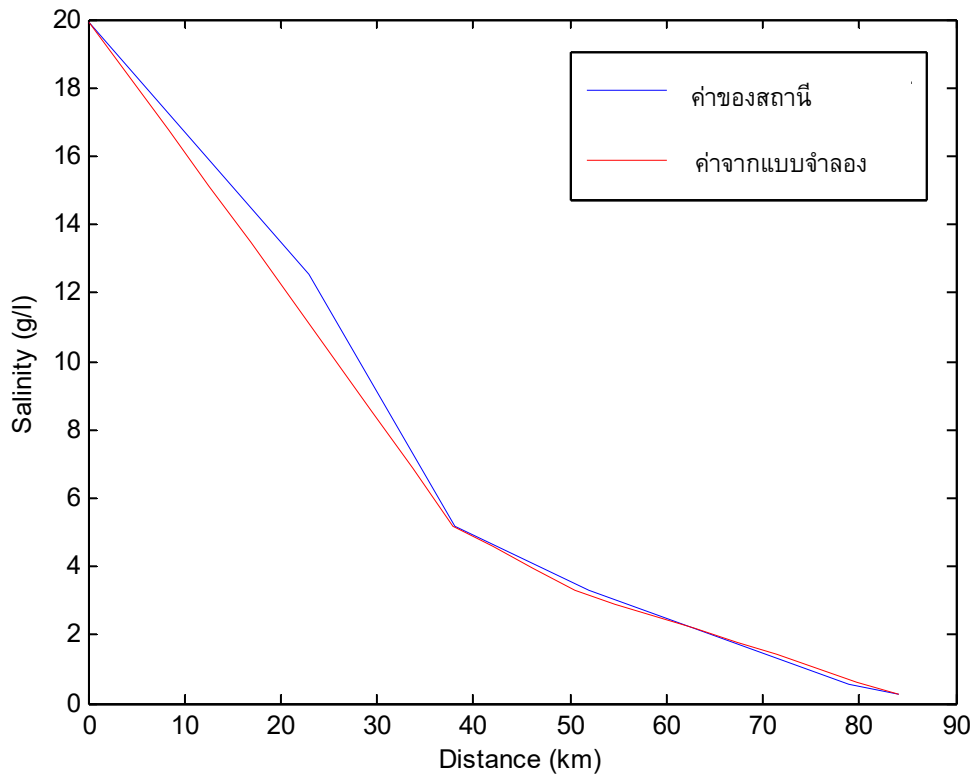
ตารางที่ 3.8.4 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (km)	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	19.917 1	18.327 7	16.728 4	15.117 1	13.493 8	11.858 6	10.211 5	8.552 4	6.881 4	5.200 4

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i (km)	42	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	4.5690	3.9316	3.2923	2.9218	2.5474	2.1710	1.7905	1.4101	1.0237	0.6373	0.2470



ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร้มิติ ดังตารางที่ 3.8.3 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.8.4 โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้กับค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560 ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560



3.8.3 การประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560

พิจารณา ในส่วนของแม่น้ำเจ้าพระยาความยาว 84 km จากโรงไฟฟ้าพระนครใต้ ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดความเค็มสถานีแรกถึงสถานีสำแลเป็นสถานีสุดท้าย กำหนดให้การพาของน้ำเค็มเป็น 0.4 km/hr และการไหลของกระแสน้ำจืดเป็น 0.3 km/hr โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็มเป็น $58.8 \text{ m}^2/\text{s}$ กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้เป็น 16.8014 g/l สถานีสะพานพระพุทธยอดฟ้า 4.7671 g/l และสถานีสะพานพระนั่งเกล้า 2.7829 g/l โดยกำหนดให้ $\beta = -0.394$ จะได้ผลเฉลยดังตารางที่ 3.8.5 และตารางที่ 3.8.6 ดังนี้

ตารางที่ 3.8.5 ผลเฉลยเชิงตัวเลขในรูปไร้มิติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9227	0.8448	0.7664	0.6874	0.6078	0.5277	0.4469	0.3656	0.2837

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.2446	0.2052	0.1656	0.1469	0.1281	0.1091	0.0901	0.0708	0.0515	0.0319	0.0123

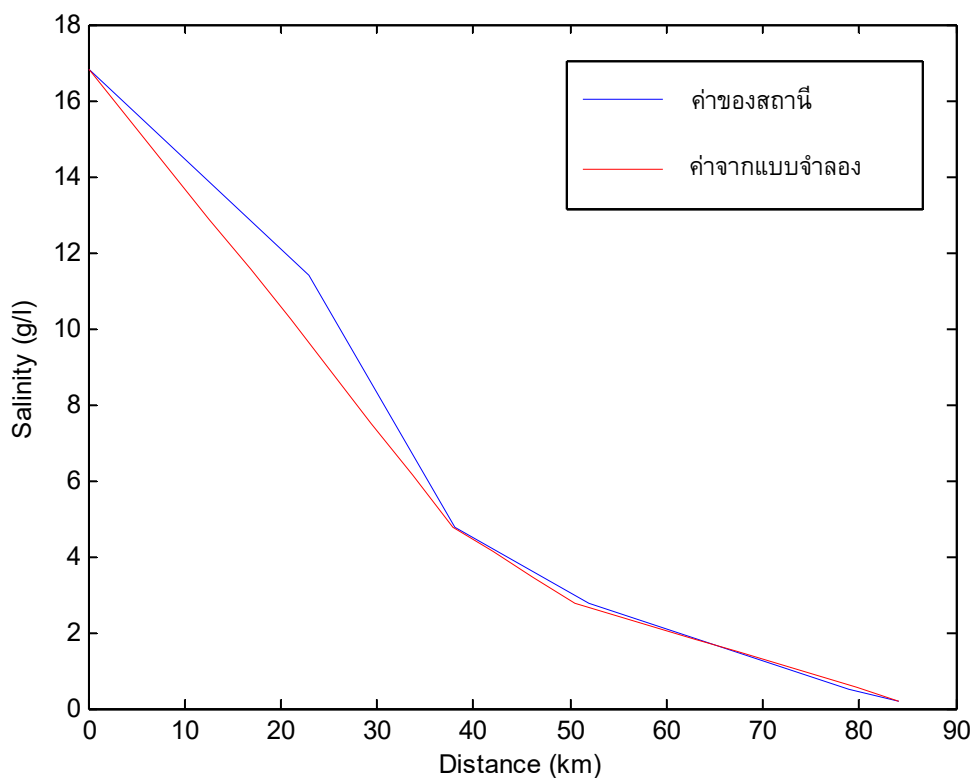
ตารางที่ 3.8.6 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (km)	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	16.801 4	15.502 7	14.193 8	12.876 6	11.549 3	10.211 9	8.866 1	7.508 5	6.142 6	4.766 6

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i (km)	42	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	4.1096	3.4476	2.7823	2.4681	2.1523	1.8330	1.5138	1.1895	0.8653	0.5360	0.2067



ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไรมิตี ดังตารางที่ 3.8.5 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.8.6 โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้กับค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560 ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560



3.8.4 การประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 19 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 25 มีนาคม 2560

พิจารณา ในส่วนของแม่น้ำเจ้าพระยาความยาว 84 km จากโรงไฟฟ้าพระนครใต้ ซึ่งเป็น สถานีตรวจวัดความเค็มสถานีแรกถึงสถานีสำแลเป็นสถานีสุดท้าย กำหนดให้การพาของน้ำเค็มเป็น 0.4 km/hr และการไหลของกระแสน้ำจืดเป็น 0.3 km/hr โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของ น้ำเค็มเป็น $58.8 \text{ m}^2/\text{s}$ กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้เป็น 13.5900 g/l สถานีสะพานพระพุทธยอดฟ้า 4.2900 g/l และสถานีสะพานพระนั่งเกล้า 2.4683 g/l โดยกำหนดให้ $\beta = -0.43$ จะได้ผลเฉลยดังตารางที่ 3.8.7 และตารางที่ 3.8.8 ดังนี้

ตารางที่ 3.8.7 ผลเฉลยเชิงตัวเลขในรูปไร้มิติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9261	0.8517	0.7768	0.7013	0.6253	0.5487	0.4716	0.3939	0.3157

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.2713	0.2266	0.1816	0.1613	0.1408	0.1202	0.0994	0.0784	0.0573	0.0361	0.0147

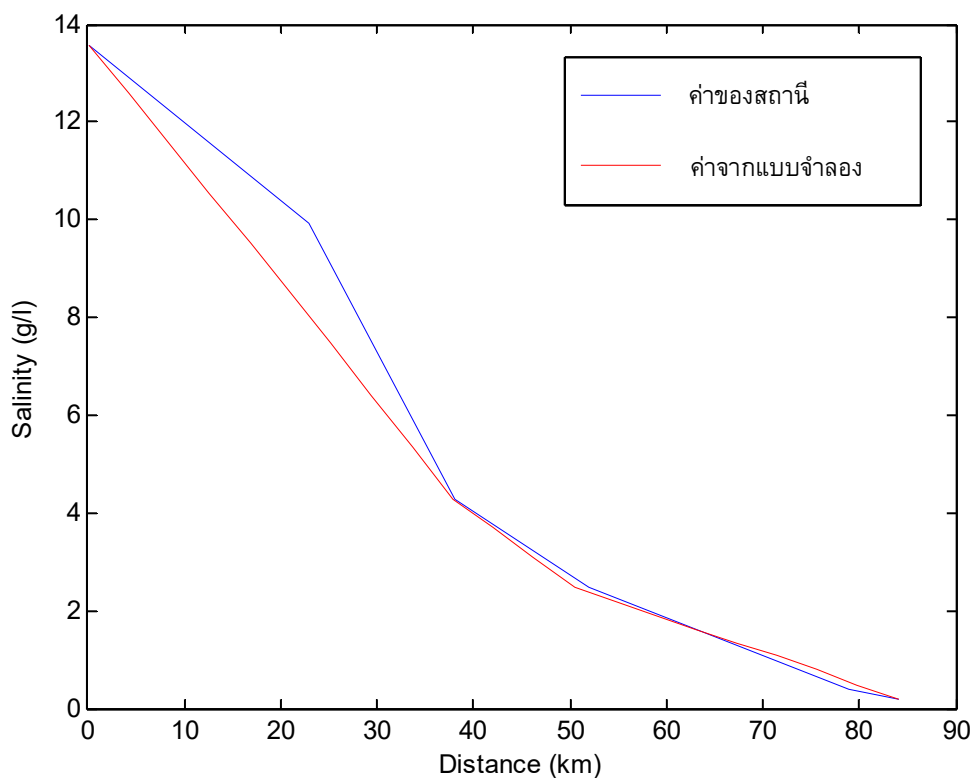
ตารางที่ 3.8.8 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_i \text{ (km)}$	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	13.590 0	12.585 7	11.574 6	10.556 7	9.5307	8.4978	7.4568	6.4090	5.3531	4.2904

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$x_i \text{ (km)}$	4.2	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	3.6870	3.0795	2.4679	2.1921	1.9135	1.6335	1.3508	1.0655	0.7787	0.4906	0.1998



ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร้มิติ ดังตารางที่ 3.8.7 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.8.8 โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้กับ ค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 19 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 25 มีนาคม 2560 ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 19 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 25 มีนาคม 2560



3.9 การประมาณค่าขอบขวา (β)

จากการศึกษาพบว่าค่า β ไม่คงที่ในแต่ละสัปดาห์เราจึงทำการสุ่มค่า β มาเพื่อประมาณค่าความเค็มในสัปดาห์ถัดไป จนทำให้ค่าความเค็มมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลภาคสนาม

3.9.1 ช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วง วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 4 มีนาคม 2560

จากการทดลองพบว่าค่าความเค็มในช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 4 มีนาคม 2560 พบค่าขอบขวาที่ $\beta = -0.1390$ ทำให้ได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร้มิติ ดังตารางที่ 3.9.1 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.9.2

ตารางที่ 3.9.1 ผลเฉลยเชิงตัวเลขในรูปไร้มิติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9150	0.8294	0.7432	0.6564	0.5689	0.4808	0.3921	0.3027	0.2126

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.1663	0.1196	0.0726	0.0660	0.0594	0.0527	0.0459	0.0391	0.0323	0.0254	0.0184



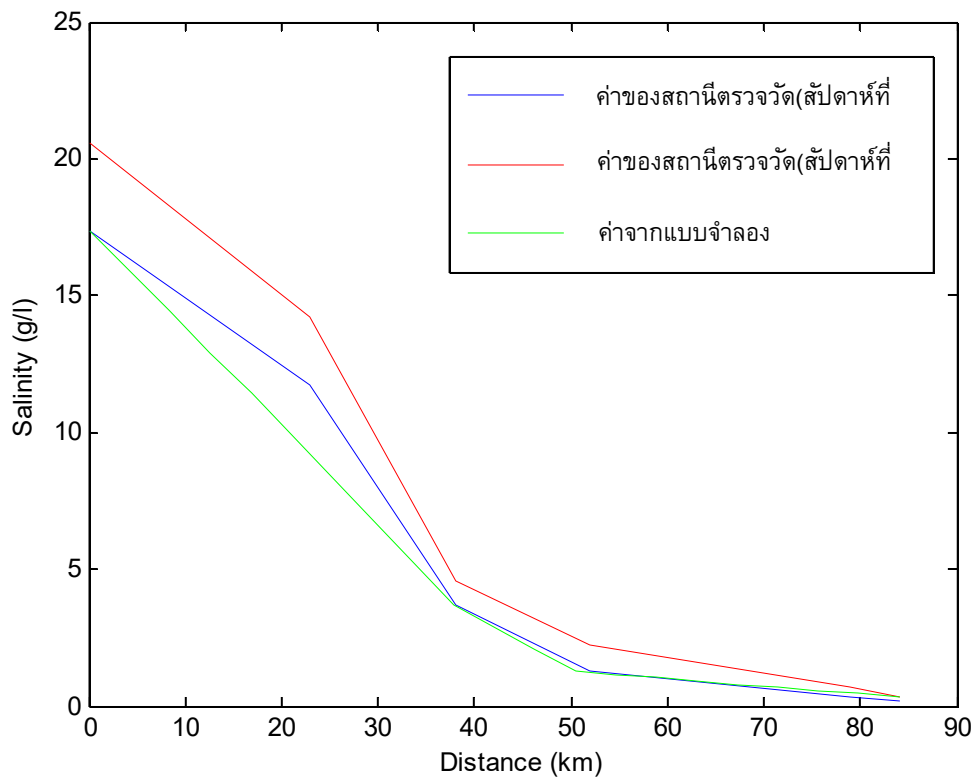
ตารางที่ 3.9.2 ผลเฉลี่ยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (km)	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	17.3743	15.8975	14.4102	12.9126	11.4045	9.8842	8.3536	6.8125	5.2592	3.6938

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i (km)	42	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	2.8893	2.0780	1.2614	1.1467	1.0320	0.9156	0.7975	0.6793	0.5612	0.4413	0.3197

ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร่มิติ ดังตารางที่ 3.9.1 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.9.2 โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้กับค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 กับช่วงเวลาวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 4 มีนาคม 2560 ดังรูปที่ 3.13





รูปที่ 3.13 ช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 4 มีนาคม 2560

จากรูปที่ 3.13 จะสังเกตได้ว่า เส้นกราฟของช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 เมื่อให้ $\beta = -0.1390$ จะได้ค่าขอบขวา(สถานีสำแล)เท่ากับ 0.3197 ซึ่งใกล้เคียงกับวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 4 มีนาคม 2560 เท่ากับ 0.3171 จากข้อมูลภาคสนาม



3.9.2 ช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วง วันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560

จากการทดลองพบว่าค่าความเค็มในช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560 พบค่าขอบข่ายที่ $\beta = -0.1510$ ทำให้ได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร้มิติ ดังตารางที่ 3.9.3 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.9.4

ตารางที่ 3.9.3 ผลเฉลยเชิงตัวเลขในรูปไร้มิติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9150	0.8294	0.7432	0.6564	0.5689	0.4808	0.3921	0.3027	0.2126

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.1663	0.1196	0.0726	0.0665	0.0583	0.0511	0.0438	0.0365	0.0291	0.0216	0.0141

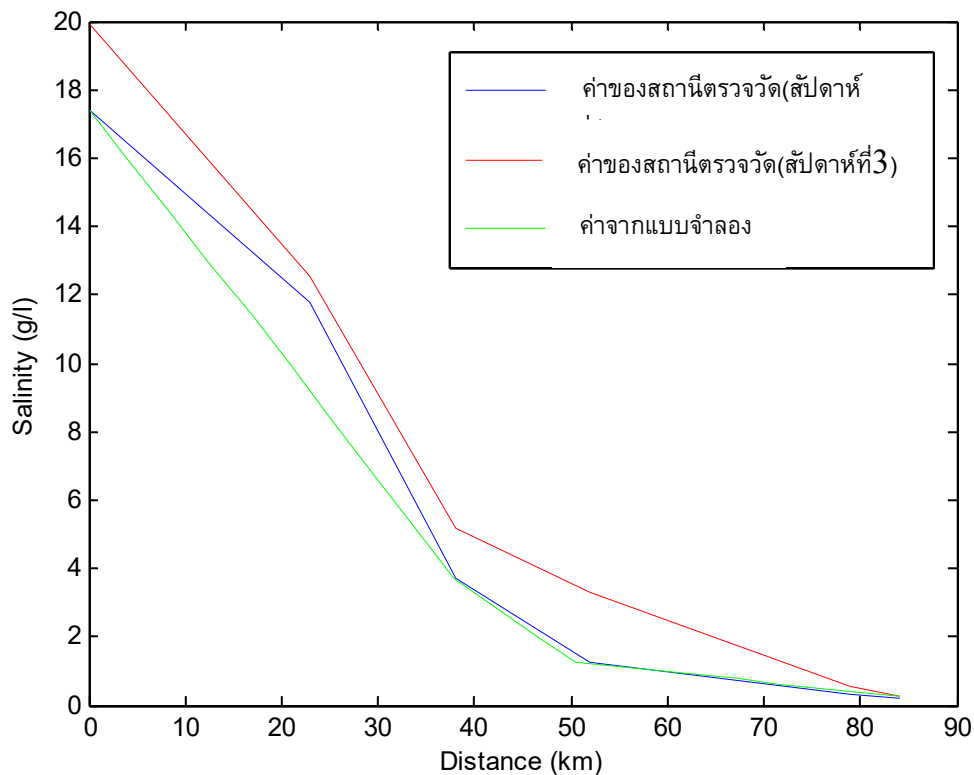
ตารางที่ 3.9.4 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (km)	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	17.3743	15.8975	14.4102	12.9126	11.4045	9.8842	8.3536	6.8125	5.2592	3.6938

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i (km)	42	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	2.8893	2.0780	1.2614	1.1380	1.0129	0.8878	0.7610	0.6342	0.5056	0.3753	0.2450



ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร่มิติ ดังตารางที่ 3.9.3 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.9.4 โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้กับค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 กับช่วงเวลาวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560 ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560

จากรูปที่ 3.14 จะสังเกตได้ว่า เส้นกราฟของช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 เมื่อให้ $\beta = -0.1510$ จะได้ค่าขอบขวา(สถานีสำแล)เท่ากับ 0.2450 ซึ่งใกล้เคียงกับวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560 เท่ากับ 0.2457 จากข้อมูลภาคสนาม



3.9.3 ช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วง วันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560

จากการทดลองพบว่าค่าความเค็มในช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560 พบค่าขอบขวาที่ $\beta = -0.1570$ ทำให้ได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร้มิติ ดังตารางที่ 3.9.5 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.9.6

ตารางที่ 3.9.5 ผลเฉลยเชิงตัวเลขในรูปไร้มิติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9150	0.8294	0.7432	0.6564	0.5689	0.4808	0.3921	0.3027	0.2126

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.1663	0.1196	0.0726	0.0652	0.0578	0.0502	0.0426	0.0350	0.0273	0.0196	0.0118

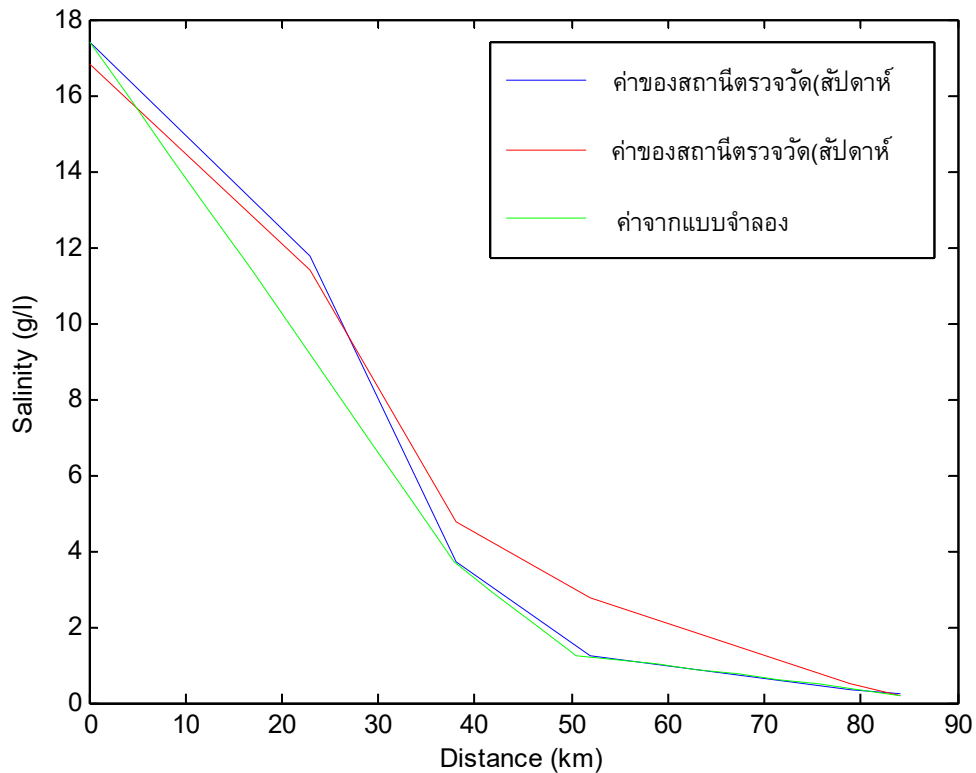
ตารางที่ 3.9.6 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (km)	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	17.3743	15.8975	14.4102	12.9126	11.4045	9.8842	8.3536	6.8125	5.2592	3.6938

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i (km)	42	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	2.889 3	2.078 0	1.261 4	1.132 8	1.004 2	0.872 2	0.740 1	0.608 1	0.474 3	0.340 5	0.205 0



ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไรมิตี ดังตารางที่ 3.9.5 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.9.6 โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้กับค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 กับช่วงเวลาวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560 ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วง วันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560

จากข้อมูลจากรูปที่ 3.15 จะสังเกตได้ว่า เส้นกราฟของช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 เมื่อให้ $\beta = -0.1570$ จะได้ค่าขอบขวา(สถานีสำแล)เท่ากับ 0.2050 ซึ่งใกล้เคียงกับวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560 เท่ากับ 0.2029 จากข้อมูลภาคสนาม



3.9.4 ช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วง วันที่ 19 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 25 มีนาคม 2560

จากการทดลองพบว่าค่าความเค็มในช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วง 19 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 25 มีนาคม 2560 พบค่าขอบขวาที่ $\beta = -0.1580$ ทำให้ได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร้มิติ ดังตารางที่ 3.9.7 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.9.8

ตารางที่ 3.9.7 ผลเฉลี่ยเชิงตัวเลขในรูปไร้มิติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9150	0.8294	0.7432	0.6564	0.5689	0.4808	0.3921	0.3027	0.2126

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.1663	0.1196	0.0726	0.0652	0.0577	0.0501	0.0425	0.0348	0.0270	0.0192	0.0114

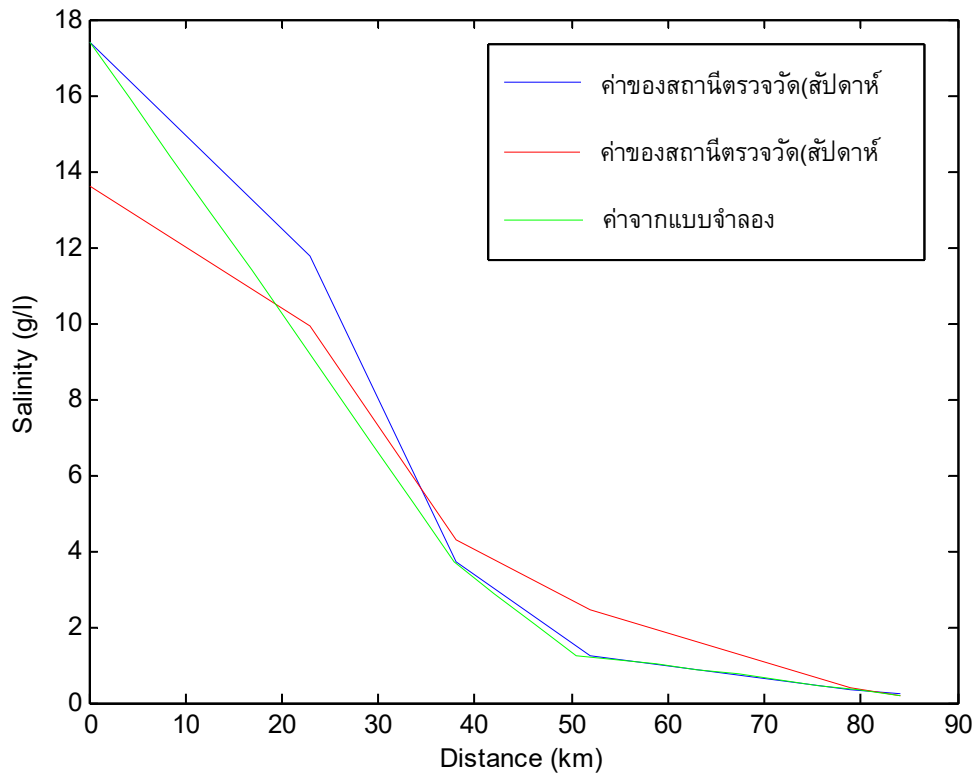
ตารางที่ 3.9.8 ผลเฉลี่ยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (km)	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	17.3743	15.8975	14.4102	12.9126	11.4045	9.8842	8.3536	6.8125	5.2592	3.6938

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i (km)	42	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	2.8893	2.0780	1.2614	1.1328	1.0025	0.8705	0.7384	0.6046	0.4691	0.3336	0.1981



ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร้มิติ ดังตารางที่ 3.9.7 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.9.8 โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้กับค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 กับ ช่วงเวลาวันที่ 19 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 25 มีนาคม 2560 ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 ประมาณค่าความเค็ม ในช่วงวันที่ 19 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 25 มีนาคม 2560

จากรูปที่ 3.16 จะสังเกตได้ว่า เส้นกราฟของช่วงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2560 ถึง วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560 เมื่อให้ $\beta = -0.1580$ จะได้ค่าขอบขวา(สถานีสำแล) เท่ากับ 0.1981 ซึ่งใกล้เคียงกับวันที่ 19 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 25 มีนาคม 2560 เท่ากับ 0.1914 จากข้อมูลภาคสนาม



3.9.5 ช่วงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 4 มีนาคม 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560

จากการทดลองพบว่าค่าความเค็มในช่วงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 4 มีนาคม 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560 พบค่าขอบขวา $\beta = -0.25$ ทำให้ได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร่มิติ ดังตารางที่ 4.25 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.9.9

ตารางที่ 3.9.9 ผลเฉลี่ยเชิงตัวเลขในรูปไร่มิติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9162	0.8318	0.7468	0.6612	0.5750	0.4881	0.4007	0.3126	0.2238

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.1857	0.1473	0.1087	0.0969	0.0849	0.0729	0.0608	0.0487	0.0364	0.0240	0.0116

ตารางที่ 3.9.10 ผลเฉลี่ยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

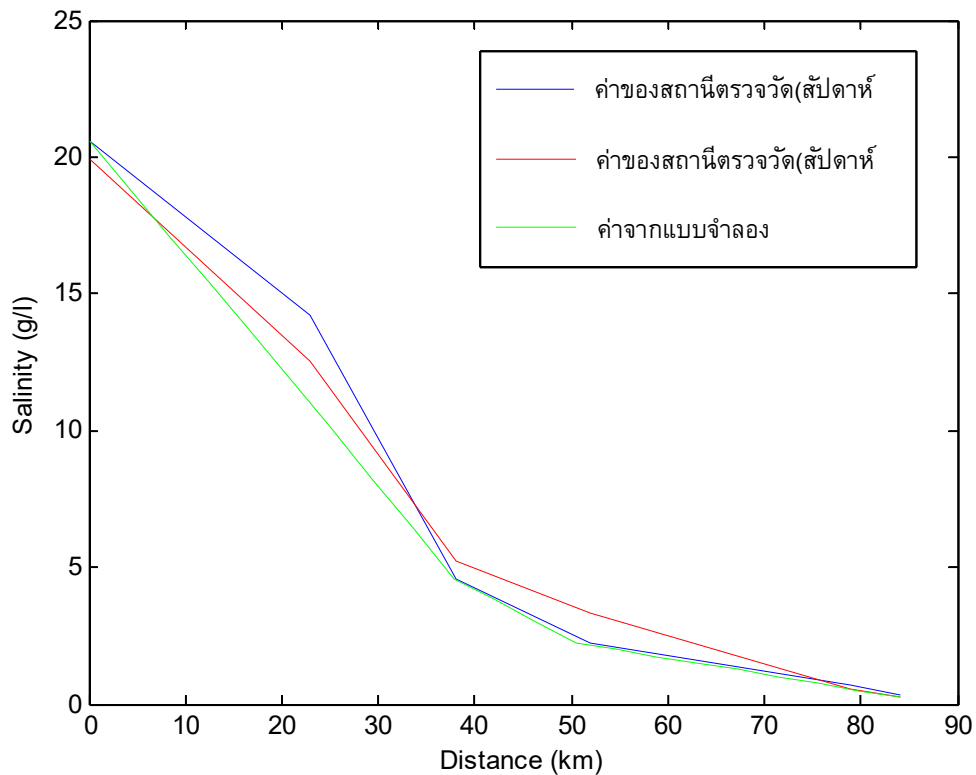
i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (km)	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	20.562 9	18.839 7	17.104 2	15.356 4	13.596 2	11.823 7	10.036 8	8.239 6	6.428 0	4.602 0

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i (km)	42	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	3.8185	3.0289	2.2352	1.9925	1.7458	1.4990	1.2502	1.0014	0.7485	0.4935	0.2385

ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร่มิติ ดังตารางที่ 3.9.9 และค่าประมาณความเค็ม



เฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.9.10 โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้กับค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 4 มีนาคม 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560 ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ช่วงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 4 มีนาคม 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560

จากรูปที่ 3.17 จะสังเกตได้ว่า เส้นกราฟของช่วงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 4 มีนาคม 2560 เมื่อให้ $\beta = -0.25$ จะได้ค่าขอบขวา(สถานีสำแล) เท่ากับ 0.2385 ซึ่งใกล้เคียงกับวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560 เท่ากับ 0.2457 จากข้อมูลภาคสนาม



3.9.6 ช่วงวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560

จากการทดลองพบว่าค่าความเค็มในช่วงวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560 พบค่าขอบขวาที่ $\beta = -0.4$ ทำให้ได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร่มิติ ดังตารางที่ 3.9.11 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.9.12

ตารางที่ 3.9.11 ผลเฉลยเชิงตัวเลขในรูปไร่มิติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9202	0.8399	0.7590	0.6775	0.5954	0.5127	0.4294	0.3455	0.2611

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.2294	0.1974	0.1653	0.1463	0.1272	0.1080	0.0886	0.0691	0.0494	0.0296	0.0097

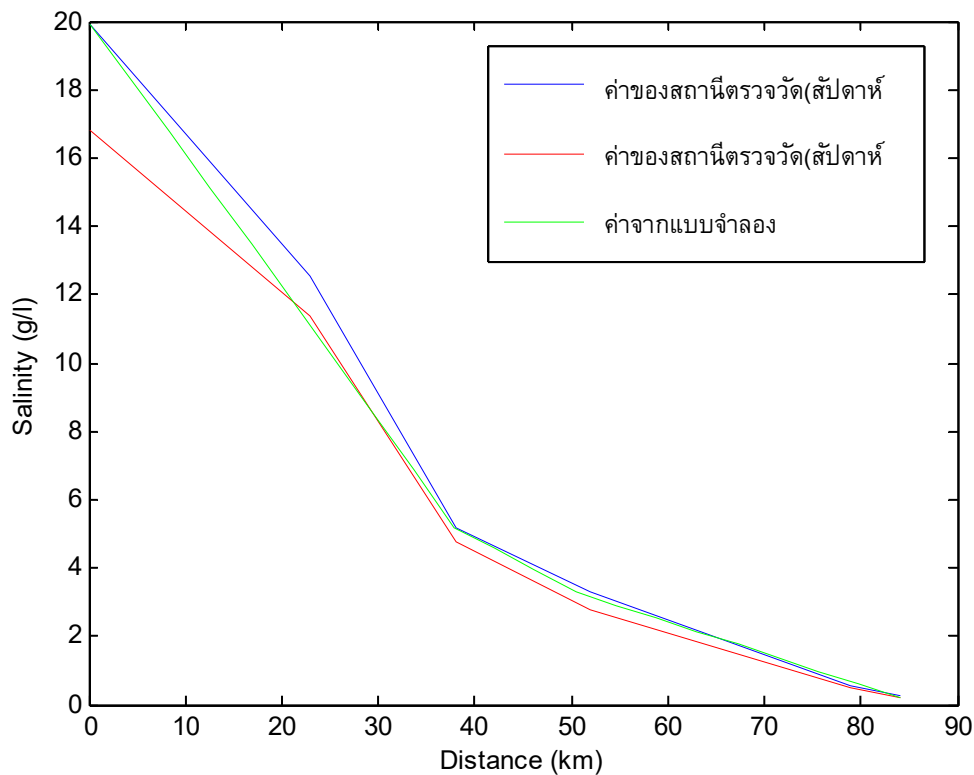
ตารางที่ 3.9.12 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (km)	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	19.917 1	18.327 7	16.728 4	15.117 1	13.493 8	11.858 6	10.211 5	8.552 4	6.881 4	5.200 4

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i (km)	42	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	4.5690	3.9316	3.2923	2.9139	2.5335	2.1510	1.7647	1.3763	0.9839	0.5895	0.1932



ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร้มิติ ดังตารางที่ 3.9.11 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.9.12 โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้กับค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560 ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ช่วงวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560

จากรูปที่ 3.18 จะสังเกตได้ว่า เส้นกราฟของช่วงวันที่ 5 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 11 มีนาคม 2560 เมื่อให้ $\beta = -0.4$ จะได้ค่าขอบขวา(สถานีสำแล)เท่ากับ 0.1932 ซึ่งใกล้เคียงกับวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560 เท่ากับ 0.2029 จากข้อมูลภาคสนาม



3.9.7 ช่วงวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 19 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 25 มีนาคม 2560

จากการทดลองพบว่าค่าความเค็มในช่วงวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 19 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 25 มีนาคม 2560 พบค่าขอบขวาที่ $\beta = -0.395$ ทำให้ได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร่มีติ ดังตารางที่ 3.9.13 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.9.14

ตารางที่ 3.9.13 ผลเฉลยเชิงตัวเลขในรูปไร่มีติ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$C(X_i)$	1.0000	0.9202	0.8399	0.7590	0.6775	0.5954	0.5127	0.4294	0.3455	0.2611

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X_i	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
$C(X_i)$	0.2294	0.1974	0.1653	0.1463	0.1272	0.1080	0.0886	0.0691	0.0494	0.0296	0.0097

ตารางที่ 3.9.14 ผลเฉลยเชิงตัวเลขของความเค็มตลอดลำน้ำ (g/l) โดยเฉลี่ย 7 วัน

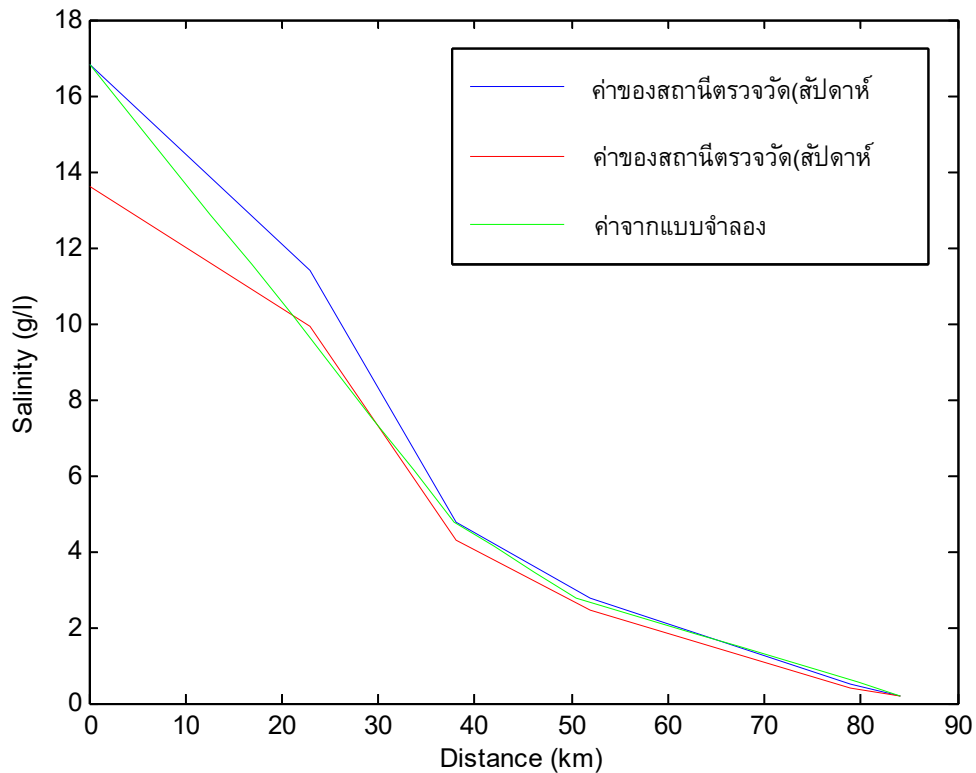
i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (km)	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4	33.6	37.8
$c(x_i)$ (g/l)	19.917 1	18.327 7	16.728 4	15.117 1	13.493 8	11.858 6	10.211 5	8.552 4	6.881 4	5.200 4

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_i (km)	42	46.2	50.4	54.6	58.8	63	67.2	71.4	75.6	79.8	84
$c(x_i)$ (g/l)	4.5690	3.9316	3.2923	2.9139	2.5335	2.1510	1.7647	1.3763	0.9839	0.5895	0.1932

ดังนั้น จะได้ค่าประมาณความเค็มในรูปไร่มีติ ดังตารางที่ 3.9.13 และค่าประมาณความเค็มเฉลี่ยตลอด 7 วัน ดังตารางที่ 3.9.14 โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณได้



กับค่าความเค็มจากการเก็บข้อมูลจริง ในช่วงเวลาวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 19 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 25 มีนาคม 2560 ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ช่วงวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560 ประมาณค่าความเค็มในช่วงวันที่ 19 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 25 มีนาคม 2560

จากรูปที่ 3.19 จะสังเกตได้ว่า เส้นกราฟของช่วงวันที่ 12 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 18 มีนาคม 2560 เมื่อให้ $\beta = -0.395$ จะได้ค่าขอบขวา(สำหรับ)เท่ากับ 0.1999 ซึ่งใกล้เคียงกับวันที่ 19 มีนาคม 2560 ถึงวันที่ 25 มีนาคม 2560 เท่ากับ 0.1914 จากข้อมูลภาคสนาม



3.10 อภิปรายผลการวิจัย

ผู้วิจัยเลือกใช้สมการการพา-การแพร่โดยวิธีผลต่างจำกัดในการหาผลเฉลยทั้งหมด 4 กรณี

กรณีที่ 3.4 การประมาณค่าความเค็มจากสถานีแรกและสถานีสุดท้าย โดยกำหนดให้การพาของน้ำเค็มเป็น 0.4 km/hr และการไหลของกระแสน้ำจืดเป็น 0.3 km/hr โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็มเป็น $58.8 \text{ m}^2/\text{s}$ กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้(สถานีแรก)เป็น 17.3743 g/l และสถานีสำแล(สถานีสุดท้าย)เป็น 0.2171 g/l ใช้เทคนิคการหาค่าผลเฉลยทำได้โดยการกำหนดผลเฉลยทดลอง กำหนดให้ c เป็นค่าความเค็มที่ไม่ทราบค่า จึงทำการแทนค่าผลเฉลยในสมการที่กำหนด ซึ่งแทนในสมการการพา-การแพร่โดยวิธีผลต่างจำกัด จะได้สมการออกมา จากนั้นจะหาค่า c โดยนำมาเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ ซึ่งเราจะหาค่า c แล้วจะได้ค่า c ที่ได้จากสมการผลเฉลยที่สามารถหาค่าความเค็มในแต่ละจุดและนำมาเขียนเป็นกราฟได้ จากกราฟพบว่าค่าความเค็มที่คำนวณได้ ยังไม่แม่นยำนัก หากเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง

กรณีที่ 3.5 การประมาณค่าความเค็มจากข้อมูลสถานีแรกและสถานีสุดท้ายผนวกด้วยข้อมูลจาก 2 สถานีภายใน กำหนดให้การพาของน้ำเค็มเป็น 0.4 km/hr และการไหลของกระแสน้ำจืดเป็น 0.3 km/hr โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็มเป็น $58.8 \text{ m}^2/\text{s}$ กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้เป็น 17.3743 g/l โดยเลือกใช้ข้อมูลจากสถานีภายในลำน้ำ 2 สถานี ได้แก่ สถานีสะพานพระพุทธยอดฟ้า(สถานีที่3)เป็น 3.6943 g/l สถานีสะพานพระนั่งเกล้า(สถานีที่4) เป็น 1.2614 g/l โดยสถานีสำแลเป็นสถานีสุดท้ายเช่นเดิม ซึ่งมีค่าความเค็มเป็น 0.2171 g/l ใช้เทคนิคการหาค่าผลเฉลยทำได้โดยการกำหนดผลเฉลยทดลอง เนื่องจากมีผลเฉลยที่ไม่ทราบค่าคือ c ซึ่งเราแทนผลเฉลยในสมการที่กำหนด แทนในสมการการพา-การแพร่โดยวิธีผลต่างจำกัด จะได้สมการออกมา จากนั้นจะหาค่า c โดยนำมาเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ ซึ่งเราจะหาค่า c โดยใช้โปรแกรม matlab แล้วจะได้ ค่า c ที่ได้จากสมการผลเฉลยที่สามารถหาค่าความเค็มในแต่ละจุดและนำมาเขียนเป็นกราฟได้ จากกราฟ พบว่าค่าความเค็มที่คำนวณได้ มีความแม่นยำมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง และเป็นที่น่าพอใจในการยอมรับ

กรณีที่ 3.6 การประมาณค่าความเค็มโดยใช้ข้อมูลจากสถานีแรกเท่านั้น กำหนดให้การพาของน้ำเค็มเป็น 0.4 km/hr และการไหลของกระแสน้ำจืดเป็น 0.3 km/hr โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็มเป็น $58.8 \text{ m}^2/\text{s}$ กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้



เป็น 17.3743 g/l โดยไม่ใช้ข้อมูลจากสถานีอื่นๆ ตลอดทั้งลำน้ำ รวมทั้งสถานีสำแลซึ่งเป็นสถานีสุดท้าย เพื่อแสดงถึงเทคนิคการวิเคราะห์ความเค็มจากข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริง ทำได้โดยการกำหนดผลเฉลยทดลอง โดยเราจะหาค่า c โดยแทนผลเฉลยในสมการที่กำหนดแทนในสมการการพา-การแพร่โดยวิธีผลต่างจำกัด จะได้สมการออกมา จากนั้นจะหาค่า c โดยนำมาเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ ซึ่งเราจะหาค่า c โดยใช้โปรแกรม matlab แล้วจะได้ค่า c ที่ได้จากสมการผลเฉลยที่สามารถหาค่าความเค็มในแต่ละจุดและนำมาเขียนเป็นกราฟได้ จากกราฟ พบว่าค่าความเค็มที่คำนวณได้ ยังไม่แม่นยำนักในช่วงก่อนถึงสถานีสำแล หากเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง แต่มีความแม่นยำที่ตำแหน่งสถานีสำแล เมื่อ $\beta = -1.06$

กรณีที่ 3.8-3.9 การประมาณค่าความเค็มโดยใช้ข้อมูลจากสถานีแรก และใช้ข้อมูลจาก 2 สถานีก่อนถึงพื้นที่เฝ้าระวัง กำหนดให้การพาของน้ำเค็มเป็น 0.4 km/hr และการไหลของกระแสน้ำจืดเป็น 0.3 km/hr โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำเค็มเป็น 58.8 m²/s กำหนดค่าเฉลี่ยความเค็ม 7 วัน ของสถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้เป็น 17.3743 g/l สถานีสะพานพระพุทธรยอดฟ้าเป็น 3.6943 g/l สถานีสะพานพระนั่งเกล้าเป็น 1.2614 g/l โดยไม่ใช้ข้อมูลจากสถานีสุดท้ายคือ สถานีสำแล ใช้เทคนิคการหาค่าผลเฉลย ทำได้โดยการกำหนดผลเฉลยทดลอง เนื่องจากมีผลเฉลยที่ไม่ทราบค่าคือ c โดยแทนผลเฉลยในสมการที่กำหนดแทนในสมการการพา-การแพร่โดยวิธีผลต่างจำกัด จะได้สมการออกมา จากนั้นจะหาค่า c โดยนำมาเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ ซึ่งเราจะหาค่า c โดยใช้โปรแกรม matlab แล้วจะได้ค่า c ที่ได้จากสมการผลเฉลยที่สามารถหาค่าความเค็มในแต่ละจุดและนำมาเขียนเป็นกราฟได้ จากกราฟ พบว่าค่าความเค็มที่คำนวณได้ มีความแม่นยำมากขึ้นที่ $\beta = -0.155$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง และเป็นที่น่าพอใจในการยอมรับได้

3.11 สรุปงานวิจัย

การวัดปริมาณความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยาโดยวิธีเก็บข้อมูลภาคสนามมีความแม่นยำ แต่ไม่สามารถวัดค่าความเค็มที่อยู่ในน้ำได้ทุกจุดแต่ถ้าวัดได้ก็เสียค่าใช้จ่ายสูง และมีอุปสรรคในการวัดบางพื้นที่ จึงต้องใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าความเค็มที่อยู่ในแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งข้อดีของการนำคณิตศาสตร์มาใช้ในการคำนวณนั้น คือสามารถหาค่าความเค็มที่อยู่ในแม่น้ำได้ทุกจุดตลอดทั้งลำน้ำ โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์สามารถประหยัดเวลา ประหยัดค่าใช้จ่าย ส่วนความแม่นยำในการคำนวณทางคณิตศาสตร์นั้น ค่าที่ได้เป็นค่าที่เรายอมรับได้ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้



สมการการพา-การแพร่ โดยวิธีผลต่างจำกัด เพื่อหาค่าความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นค่าที่ยอมรับได้



บทที่ 4

ตัวแบบสถานะเสถียรของการตรวจวัดความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยาสำหรับ ระบบผลิตน้ำประปาโดยใช้วิธีคอลโลเคชัน

A Steady-state Salinity Measurement Model in Chao Phraya River for Water Supply
System Using a Collocation Method

ปัญหาการรุกรานของน้ำเค็มเข้าสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตน้ำประปานครหลวงบริเวณสถานีสูบน้ำดิบสำแล บทนี้จะนำเสนอตัวแบบสถานะเสถียรของการตรวจวัดน้ำเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยาสำหรับระบบผลิตน้ำประปาโดยใช้วิธีคอลโลเคชัน เพื่อประมาณระดับความเค็มของน้ำตั้งแต่สถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้จนถึงสถานีวัดไผ่ล้อม ผลการแบบจำลองพบว่า วิธีคอลโลเคชันมีความเหมาะสม ผลการคำนวณเป็นที่น่าพอใจ สามารถใช้ประมาณระดับความเค็มบริเวณสถานีสูบน้ำดิบสำแลได้

4.1 วิธีคอลโลเคชัน (Collocation Method)

วิธีคอลโลเคชันเป็นวิธีการในการคำนวณหาค่าของผลเฉลยโดยประมาณ มีขั้นตอนในการคำนวณของรูปแบบทั่วไป ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

ปัญหาค่าขอบ (BVP) : $y'' + a(x)y' + b(x)y = g(x)$; $a \leq x \leq b$

เงื่อนไขค่าขอบ (BC_s) : $y(a) = y_a$, $y(b) = y_b$

ขั้นตอนที่ 2

กำหนดฟังก์ชันเพื่อการประมาณค่า

$$\text{ผลเฉลย Linear Combination} : y(x) \approx u(x) = \sum_{j=1}^n c_j u_j(x)$$

โดยที่ $u_j(x)$ เป็นฟังก์ชันมูลฐาน (Bases Function)

และ $u_j(x)$ เป็นอิสระเชิงเส้น (Linear Independent)



และ c_j เป็นสัมประสิทธิ์ที่ยังไม่ทราบค่า (ซึ่งต้องหาค่า)

ขั้นตอนที่ 3

- 1) แทน $u(x)$ ลงใน $y(x)$
- 2) แทน $u(x)$ ลงใน BVP

ขั้นตอนที่ 4

กำหนดจุดคอลโลเคชัน เพื่อหาตัว c_j เหล่านี้

หมายเหตุ ฟังก์ชันมูลฐาน (Based Function) ได้แก่

- ฟังก์ชันพหุนามเลอจองด์ (Legende Polynomial)

$$\{1, x, x^2 - \frac{1}{3}, x^3 - \frac{3}{5}x, \dots\}$$

- ฟังก์ชันพหุนามเชฟบิเชฟ (Chebichev Polynomial)

$$\{1, x, 2x^2 - 1, 4x^3 - 3x, 8x^4 - 8x^2 + 1, \dots\}$$

4.1.1 การคำนวณด้วยวิธีคอลโลเคชัน

ขั้นตอนที่ 1

ปัญหาค่าขอบ (BVP) : $y'' + 2y' + 3y = 0$; $0 \leq x \leq 1$

เงื่อนไขค่าขอบ (BC_5) : $y(0) = 1$, $y(1) = 0.4238$

ขั้นตอนที่ 2

กำหนดฟังก์ชันเพื่อการประมาณค่า (พหุนามเลอจองด์ดีกรี 3)

$$u(x) = c_1(1) + c_2x + c_3(x^2 - \frac{1}{3}) + c_4(x^3 - \frac{3}{5}x) \quad (*)$$

ขั้นตอนที่ 3

- 1) แทน $u(x)$ ลงใน $y(x)$

- แทน u ลงในเงื่อนไขขอบซ้าย

$$y(0) = u(0) = c_1 + c_2(0) + c_3(0^2 - \frac{1}{3}) + c_4[0^3 - \frac{3}{5}(0)]$$

$$\text{จะได้ } c_1 - \frac{1}{3}c_3 = 1 \quad (4.1)$$

- แทน u ลงในเงื่อนไขขอบขวา



$$y(1) = u(1) = c_1 + c_2(1) + c_3(1^2 - \frac{1}{3}) + c_4[1^3 - \frac{3}{5}(1)]$$

$$\text{จะได้ } c_1 + c_2 + \frac{2}{3}c_3 + \frac{2}{5}c_4 = 0.4238 \quad (4.2)$$

$$2) \text{ แทน } u(x) \text{ ลงใน BVP : } y'' - 2y' + 3y = 0$$

$$u'' - 2u' + 3u = L(x) = \begin{cases} \text{หรือ } x \text{ ที่จุดอื่นๆ} \\ 0 \text{ เมื่อ } x \text{ เป็นจุดคอลโลเคชัน} \end{cases} \quad (\text{สมการเศษเหลือ})$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } u' &= \frac{du}{dx} = \frac{d}{dx}(c_1 + c_2x + c_3(x^2 - \frac{1}{3}) + c_4(x^3 - \frac{3}{5}x)) \\ u' &= c_2 + 2c_3x + (3x^2 - \frac{3}{5})c_4 \end{aligned} \quad (**)$$

$$\text{และ } u'' = \frac{d^2u}{dx^2} = \frac{d}{dx}(u')$$

$$\text{จะได้ } u'' = 2c_3 + 6xc_4 \quad (***)$$

นำ (**) และ (***) แทนลงในสมการเศษเหลือ จะได้

$$L(x) = (2c_3 + 6xc_4) - 2(c_2 + 2xc_3 + c_4(3x^2 - \frac{3}{5})) + 3(c_1 + c_2x + c_3(x^2 - \frac{1}{3}) + c_4(x^3 - \frac{3}{5}x))$$

$$L(x) = 3c_1 + c_2(3x - 2) + c_3(3x^2 - 4x + 1) + c_4(3x^3 - 6x^2 + \frac{21}{5}x + \frac{6}{5})$$

จะได้ฟังก์ชันเศษเหลือ เนื่องจากเรามีตัวไม่ทราบค่า 4 ตัว คือ c_1, c_2, c_3, c_4 ดังนั้น

ต้องการสมการอีก 2 สมการ

ขั้นตอนที่ 4

กำหนดจุดคอลโลเคชัน

เลือก $0 \leq x \leq 1$

เลือกจุดตัดที่ $x = \frac{1}{3}$ และ $x = \frac{2}{3}$

จะได้ว่า $L(\frac{1}{3}) = 0$ และ $L(\frac{2}{3}) = 0$

จาก $L(\frac{1}{3}) = 0$

$$= 3c_1 + c_2[3(\frac{1}{3}) - 2] + c_3[3(\frac{1}{3})^2 - 4(\frac{1}{3}) + 1] + c_4[3(\frac{1}{3})^3 - 6(\frac{1}{3})^2 + \frac{21}{5}(\frac{1}{3}) + \frac{6}{5}] = 0$$

$$\text{จะได้ } 3c_1 - c_2 + \frac{92}{45}c_4 = 0 \quad (4.3)$$



จาก $L\left(\frac{2}{3}\right) = 0$

$$= 3c_1 + c_2\left[3\left(\frac{2}{3}\right) - 2\right] + c_3\left[3\left(\frac{2}{3}\right)^2 - 4\left(\frac{2}{3}\right) + 1\right] + c_4\left[3\left(\frac{2}{3}\right)^3 - 6\left(\frac{2}{3}\right)^2 + \frac{21}{5}\left(\frac{2}{3}\right) + \frac{6}{5}\right] = 0$$

จะได้ $3c_1 - \frac{1}{3}c_3 + \frac{20}{9}c_4 = 0$ (4.4)

สมการ (4.1) – (4.4) สามารถเขียนรูปเมทริกซ์เป็น

จะได้

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -0.3333 & 0 \\ 1 & 1 & 0.6667 & 0.4 \\ 3 & -1 & 0 & 2.0444 \\ 3 & 0 & -0.3333 & 2.2222 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0.4238 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.9273 \\ 0.1557 \\ -0.2179 \\ -1.2846 \end{Bmatrix}$$

จะได้ผลเฉลยโดยประมาณ

$$y(x) \approx u(x) = 0.9273 + (0.1557)x - 0.2179\left(x^2 - \frac{1}{3}\right) - 1.2846\left(x^3 - \frac{3}{5}x\right)$$

4.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากสมการการแพร่-การพา เมื่อพิจารณาการไหลของน้ำจืด จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับการพาของน้ำเค็ม สมมติความเค็มไม่ทำปฏิกิริยาเคมีในลำน้ำ $R = 0$ และมีแหล่งดูดซับความเค็มเพิ่มเติมตลอดลำน้ำ $Q = Q_0$ ได้สมการเป็นดังนี้

$$(u - u_w) \frac{dC}{dx} = D_x \frac{d^2C}{dx^2} - Q \quad (4.5)$$

โดยกำหนดเงื่อนไขขอบคือ $u(0) = 1$

$$u(1) = 0.01$$

เมื่อกำหนดให้ $u = 0.30$, $u_w = 0.03$, $D = 1.00$ และ $Q = 0.01$

แทนค่าที่กำหนดให้ลงในสมการที่ (4.5) จะได้



$$(0.30 - 0.03)C' = C'' - 0.01 \quad ; \quad 0 \leq x \leq 1$$

$$0.27C' = C'' - 0.01 \quad ; \quad 0 \leq x \leq 1$$

$$C'' - 0.27C' = 0.01 \quad ; \quad 0 \leq x \leq 1$$

คำนวณโดยใช้วิธีคอลโลเคชันได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

ปัญหาค่าขอบ : $C'' - 0.27C' = 0.01 \quad ; \quad 0 \leq x \leq 1$

เงื่อนไขขอบ : $C(a) = C_a \quad , \quad C(b) = C_b$

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดฟังก์ชันเพื่อประมาณผลเฉลย (เลือกจอตีกร์ 3)

$$u(x) = c_1 + c_2x + c_3\left(x^2 - \frac{1}{3}\right) + c_4\left(x^3 - \frac{3}{5}x\right) \quad (*)$$

ขั้นตอนที่ 3

1) แทนฟังก์ชันการประมาณค่า $u(x)$ ลงในเงื่อนไขขอบ $c(x)$

- แทนลงในเงื่อนไขขอบซ้าย $c(0)$ จะได้

$$\begin{aligned} c(0) &= u(0) = 1 \\ &= c_1 + c_2(0) + c_3\left(0^2 - \frac{1}{3}\right) + c_4\left[0^3 - \frac{3}{5}(0)\right] \\ &= c_1 - \frac{1}{3}c_3 = 1 \end{aligned} \quad (4.6)$$

- แทนลงในเงื่อนไขขอบขวา $c(1)$ จะได้

$$\begin{aligned} c(1) &= u(1) = 0.01 \\ &= c_1 + c_2(1) + c_3\left(1^2 - \frac{1}{3}\right) + c_4\left[1^3 - \frac{3}{5}(1)\right] \\ &= c_1 + c_2 + c_3\left(1 - \frac{1}{3}\right) + c_4\left(1 - \frac{3}{5}\right) = 0.01 \end{aligned} \quad (4.7)$$

2) แทนฟังก์ชันการประมาณค่า $u(x)$ ลงในสมการปัญหาค่าขอบ จะได้

$$u'' - 0.27u' - 0.01 = L(x) = \begin{cases} \text{หรือ } x \text{ ที่จุดอื่นๆ} \\ 0 \text{ เมื่อ } x \text{ เป็นจุดคอลโลเคชัน} \end{cases} \quad (\text{สมการเศษเหลือ})$$

$$\text{เมื่อ } u' = \frac{du}{dx} = \frac{d(c_1 + c_2x + c_3(x^2 - \frac{1}{3}) + c_4(x^3 - \frac{3}{5}x))}{dx}$$



$$= c_2 + 2xc_3 + 3x^2c_4 - \frac{3}{5}c_4 \quad (**)$$

$$u'' = \frac{d^2u}{dx^2} = \frac{d(c_2 + 2xc_3 + 3x^2c_4 - \frac{3}{5}c_4)}{dx}$$

$$= 2c_3 + 6xc_4$$

(***)

นำสมการ (**), (***) แทนลงในสมการเศษเหลือ จะได้

$$L(x) = (2c_3 + 6xc_4) - 0.27(c_2 + 2xc_3 + 3x^2c_4 - \frac{3}{5}c_4) - 0.01$$

$$= -0.27c_2 + (2 - 0.54x)c_3 + (0.162 + 6x - 0.81x^2)c_4 - 0.01$$

ขั้นตอนที่ 4

กำหนดจุดคอลโลเคชัน

เลือก $0 \leq x \leq 1$ เลือกจุดที่ $x = 0.25$ และ $x = 0.75$ จะได้ว่า $L(0.25) = 0$ และ $L(0.75) = 0$ นั่นคือ $L(0.25) = 0$

$$= -0.27c_2 + [2 - 0.54(0.25)] + [0.162 + 6(0.25) - 0.81(0.25)^2] - 0.01$$

$$= -0.27c_2 + 1.865c_3 + 1.6114c_4 = 0.01 \quad (4.8)$$

และ $L(0.75) = 0$

$$= -0.27c_2 + [2 - 0.54(0.75)] + [0.162 + 6(0.75) - 0.81(0.75)^2] - 0.01$$

$$= -0.27c_2 + 1.595c_3 + 4.2064c_4 = 0.01 \quad (4.9)$$

นำสมการ (4.8) – (4.9) มาเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ จะได้

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -0.3333 & 0 \\ 1 & 1 & 0.67 & 0.4 \\ 0 & -0.27 & 1.865 & 1.6144 \\ 0 & -0.27 & 1.595 & 4.2064 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \end{bmatrix}$$

ดังนั้น จะได้



$$\begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.9629 \\ -0.8742 \\ -0.1112 \\ -0.0116 \end{Bmatrix}$$

นำค่าสัมประสิทธิ์ (c) ที่ได้แทนลงในฟังก์ชันประมาณค่าผลเฉลยโดยประมาณ

$$C(x) \approx u(x) = 0.9629 - 0.8742x - 0.1112(x^2 - \frac{1}{3}) - 0.0116(x^3 - \frac{3}{5}x)$$

จากสมการตัวแบบที่พิจารณานำมาใช้ประมาณกับค่าความเค็มที่เกิดขึ้นจริง พิจารณา 3 สถานี คือ สถานีพระนครใต้ สถานีสำแล และสถานีวัดไผ่ล้อม โดยให้สถานีต้นทางคือ สถานีพระนครใต้ และสถานีปลายทางคือ สถานีวัดไผ่ล้อม ศึกษาข้อมูลของช่วงเวลาที่มีความเค็มเกินมาตรฐานเฉลี่ยเป็นรายสัปดาห์จากการประปานครหลวง ดังตารางที่ 4.2.1

ซึ่งระยะทางจากปากแม่น้ำถึงสถานีพระนครใต้ห่างกัน 12 กิโลเมตร สถานีสำแลห่างจากปากแม่น้ำ 96 กิโลเมตร และสถานีวัดไผ่ล้อมห่างจากปากแม่น้ำ 102 กิโลเมตรตามลำดับ โดยกำหนดให้ L คือระยะทางจากสถานีพระนครใต้ถึงสถานีวัดไผ่ล้อมมีค่าเท่ากับ 90 กิโลเมตร และเราต้องการประมาณค่าความเค็มที่สถานีสำแล ซึ่งสถานีสำแลห่างจากสถานีพระนครใต้อยู่ 84 กิโลเมตร แสดงว่าต้องการหาค่าความเค็มที่จุด $x = 0.94$



ตารางที่ 4.2.1 แสดงค่าความเค็มเฉลี่ยตั้งแต่วันที่ 1-7 มีนาคม 2560

วันที่	พระนครใต้	วัดไผ่ล้อม	สำแล
1/3/60	21.43	0.15	0.20
2/3/60	21.49	0.15	0.17
3/3/60	22.06	0.16	0.18
4/3/60	20.87	0.15	0.18
5/3/60	20.27	0.15	0.17
6/3/60	19.51	0.14	0.17
7/3/60	20.09	0.15	0.24
เฉลี่ย	20.817	0.15	0.187

จากตารางที่ 4.2.1 สถานีต้นทางคือ สถานีพระนครใต้มีค่าความเค็มเฉลี่ยอยู่ที่ 20.817 และสถานีปลายทางคือ สถานีวัดไผ่ล้อมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.15 เราสามารถประมาณค่าความเค็มที่สถานีสำแล ได้ดังนี้

4.3 การคำนวณโดยไม่พิจารณาเงื่อนไขขอบขวอนุพันธ์

สมการตัวแบบ $(u - u_w) \frac{dC}{dX} = D \frac{d^2C}{dX^2} - Q$ สำหรับ $X \in [0, L]$

เมื่อ $u = 0.3$, $u_w = 0.03$, $D = 1$, $Q = 0.01$ และ $L = 90$ กิโลเมตร

จะได้ $0.27c' = c'' - 0.01$

ดังนั้น $c'' - 0.27c' = 0.01$

ขั้นตอนที่ 1

ปัญหาค่าขอบ : $C'' - 0.27C' = 0.01$; $0 \leq x \leq 1$

เงื่อนไขขอบ : $C(0) = 1$, $C(1) = \frac{C(L)}{C_{\max}}$ เมื่อ $C(x) = \frac{C(X)}{C_{\max}}$; $C_{\max} = 20.817$ g/l

ขั้นตอนที่ 2

กำหนดฟังก์ชันเพื่อการประมาณผลเฉลย (เลือกจอร์จดีกรี 2)

$$u(x) = c_1 + c_2x + c_3(x^2 - \frac{1}{3}) \quad (*)$$



ขั้นตอนที่ 3

1) แทนฟังก์ชันการประมาณค่า $u(x)$ ลงในเงื่อนไขขอบ $c(x)$

- แทนลงในเงื่อนไขขอบซ้าย $c(0)$ จะได้

$$\begin{aligned} c(0) &= u(0) = 1 \\ &= c_1 - \frac{1}{3}c_3 = 1 \end{aligned} \quad (4.10)$$

- แทนลงในเงื่อนไขขอบขวา $c(1)$ จะได้

$$\begin{aligned} c(1) &= u(1) = 0.0072 \\ &= c_1 + c_2 + \frac{2}{3}c_3 = 0.0072 \end{aligned} \quad (4.11)$$

2) แทนฟังก์ชันการประมาณค่า $u(x)$ ลงในสมการปัญหาค่าขอบ จะได้

$$u'' - 0.27u' - 0.01 = L(x) \neq 0$$

เมื่อ $u' = c_2 + 2c_3x$

$$(**) u'' = 2c_3$$

(***)

นำสมการ (**), (***) แทนลงในสมการเศษเหลือ จะได้

$$L(x) = 2c_3 - 0.27(c_2 + 2xc_3) - 0.01$$

ขั้นตอนที่ 4

กำหนดจุดคอลโลเคชัน

เลือก $0 \leq x \leq 1$

เลือกจุดที่ $x = 0.5$

จะได้ว่า $L(0.5) = 0$

$$= 0.27c_2 + 1.73c_3 = 0.01 \quad (4.12)$$

นำสมการ (4.10) – (4.12) มาเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ จะได้

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -0.3333 \\ 1 & 1 & 0.6667 \\ 0 & -0.27 & 1.73 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.0072 \\ 0.01 \end{bmatrix}$$



ดังนั้น จะได้

$$\begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.9570 \\ -0.8638 \\ -0.1290 \end{Bmatrix}$$

นำค่าสัมประสิทธิ์ (c) ที่ได้แทนลงในฟังก์ชันประมาณค่าผลเฉลยโดยประมาณ

$$C(x) \approx u(x) = 0.9570 - 0.8638x - 0.1290(x^2 - \frac{1}{3})$$

ดังนั้น ผลเฉลยโดยประมาณที่จุด $x = 0.94$ คือ $u(0.94) = 0.0740$

แสดงว่าสถานีสำแลมีค่าความเค็มที่วัดได้โดยประมาณคือ 1.5404 หากเราต้องการพิจารณาจุด x หรือระยะทางที่จุดอื่น ๆ สามารถแสดงให้เห็นพอสังเขป ดังตารางที่ 4.3.1

ตารางที่ 4.3.1 แสดงค่าผลเฉลยที่ได้ของตัวแบบที่ไม่พิจารณาเงื่อนไขขอบขวอนุพันธ์และแสดงระดับ

ความเค็มที่ระยะทาง ณ จุดต่าง ๆ

x_i	$C(x_i)$	X_i	$C(X_i)$ g/l	ค่าจริง g/l
0	1	0	20.817	20.87
0.1	0.9123	9	18.9913	17.56
0.2	0.8221	18	17.1137	12.44
0.3	0.7293	27	15.1818	11.30
0.4	0.6338	36	13.1938	5.30
0.5	0.5359	45	11.1558	4.10
0.6	0.4353	54	9.0616	3.70
0.7	0.3321	63	6.9133	1.60
0.8	0.2264	72	4.7130	0.70
0.9	0.1181	81	2.4585	0.30
1.0	0.0072	90	0.1499	0.15



4..4 การคำนวณโดยพิจารณาเงื่อนไขขอบขวอนุพันธ์

$$\text{สมการตัวแบบ } DC'' + (u_s - ku_w)C' = Q$$

กรณี 4.4.1 เมื่อเรากำหนดให้ $u_s = 0.24$, $u_w = 0.35$, $D = 0.1$, $Q = 0.1$ และ $k = 0.50$

$$\text{จะได้ } 0.1C'' + (0.24 - 0.5(0.35))C' = 0.1 \quad ; \quad 0 \leq x \leq 1$$

$$0.1C'' + 0.065C' = 0.1 \quad ; \quad 0 \leq x \leq 1$$

ขั้นตอนที่ 1

$$\text{ปัญหาค่าขอบ : } 0.1C'' + 0.065C' = 0.1 \quad ; \quad 0 \leq x \leq 1$$

$$\text{เงื่อนไขขอบ : } C(a) = C_a, \quad C(b) = C_b \quad \text{เมื่อ} \quad C(x) = \frac{C(X)}{C_{\max}} \quad ; \quad C_{\max} = 20.94 \text{ g/l}$$

ขั้นตอนที่ 2

กำหนดฟังก์ชันเพื่อประมาณผลเฉลย (เลือกจอตีกร์3)

$$u(x) = c_1 + c_2x + c_3\left(x^2 - \frac{1}{3}\right) + c_4\left(x^3 - \frac{3}{5}x\right)$$

$$u'(x) = c_2 + 2xc_3 + 3x^2c_4 - \frac{3}{5}c_4$$

ขั้นตอนที่ 3

1) แทนฟังก์ชันการประมาณค่า $u(x)$ ลงในเงื่อนไขขอบ $c(x)$

- แทนลงในเงื่อนไขขอบซ้าย $c(0)$ จะได้

$$c(0) = u(0) = 1$$

$$= c_1 - \frac{1}{3}c_3 = 1 \quad (4.12)$$

- แทนลงในเงื่อนไขขอบขวา $c(1)$ จะได้

$$c(1) = u'(1) = 0$$

$$= c_2 + 2c_3 + 3c_4 - \frac{3}{5}c_4 = 0 \quad (4.13)$$

2) แทนฟังก์ชันการประมาณค่า $u(x)$ ลงในสมการปัญหาค่าขอบ จะได้

$$0.1C'' + 0.065C' - 0.1 = L(x) \neq 0$$



$$\text{เมื่อ } u' = c_2 + 2c_3x + 3x^2c_4 - \frac{3}{5}c_4$$

$$(**) u'' = 2c_3 + 6xc_4$$

(***)

นำสมการ (**), (***) แทนลงในสมการเศษเหลือ จะได้

$$L(x) = 0.065c_2 + (0.2 + 0.13x)c_3 - (0.0394 - 0.6x - 0.195x^2)c_4 = 0.1$$

ขั้นตอนที่ 4

กำหนดจุดคอลโลเคชัน

เลือก $0 \leq x \leq 1$

เลือกจุดที่ $x = \frac{1}{3}$ และ $x = \frac{2}{3}$

จะได้ว่า $L\left(\frac{1}{3}\right) = 0$ และ $L\left(\frac{2}{3}\right) = 0$

$$L\left(\frac{1}{3}\right) = 0.065c_2 + 0.243c_3 + 0.1827c_4 = 0.1 \quad (4.14)$$

$$L\left(\frac{2}{3}\right) = 0.065c_2 + 0.287c_3 + 0.4477c_4 = 0.1 \quad (4.15)$$

นำสมการ (4.14) – (4.15) มาเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ จะได้

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -0.3333 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 2.4 \\ 0 & 0.065 & 0.243 & 0.1827 \\ 0 & 0.065 & 0.287 & 0.4477 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{Bmatrix}$$

ดังนั้น จะได้

$$\begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1.3070 \\ -1.4751 \\ 0.9211 \\ -0.1529 \end{Bmatrix}$$

นำค่าสัมประสิทธิ์ (c) ที่ได้แทนลงในฟังก์ชันประมาณค่าผลเฉลยโดยประมาณ

$$C(x) \approx u(x) = 1.3070 - 1.4751x + 0.9211\left(x^2 - \frac{1}{3}\right) - 0.1529\left(x^3 - \frac{1}{3}x\right)$$



ตารางที่ 4.4.1 แสดงค่าผลเฉลยที่ได้ของตัวแบบที่พิจารณาเงื่อนไขขอบขวอนพันธุ์และแสดงระดับความเค็มที่ระยะทาง ณ จุดต่าง ๆ

x_i	$C(x_i)$	x_i	$C(x_i)$ g/l	ค่าจริง g/l
0	1	0	20.94	20.94
0.1	0.8707	9	18.2325	15.75
0.2	0.7590	18	15.8935	9.37
0.3	0.6638	27	13.9000	4.20
0.4	0.5842	36	12.2331	2.32
0.5	0.5195	45	10.8783	1.90
0.6	0.4685	54	9.8104	0.21
0.7	0.4305	63	9.0147	0.20
0.8	0.4045	72	8.4702	0.18
0.9	0.3896	81	8.1582	0.16
1.0	0.3848	90	8.0577	0.14

จะเห็นว่าจากตารางที่ 4.4.1 ถ้าสถานีพระนครได้มีค่าความเค็มสูงสุดอยู่ที่ 20.94 มีความเร็วการไหลของกระแสน้ำเค็ม (u_s) เท่ากับ 0.24 ความเร็วของกระแสน้ำจืด (u_w) เท่ากับ 0.35 และค่าสัมประสิทธิ์ในการแพร่ (D) เท่ากับ 0.1 จะสามารถคำนวณค่าความเค็มที่สถานีวัดได้โดยไม่ต้องเท่ากับ 8.0577 แสดงว่าเราจะประมาณระดับความเค็มที่สถานีสำแล($x=0.94$)จะได้ $C(0.94)=0.3865$ ดังนั้นระดับความเค็มที่สถานีสำแลที่ประมาณได้ คือ 8.0933



กรณี 4.4.2 หากเรากำหนดให้ค่า $u_s = 0.12$, $u_w = 0.3408$, $D = 0.03$, $Q = 0.1$ และ $k = 0.50$

จะได้ $0.03C'' + (0.12 - 0.5(0.3408))C' = 0.1$; $0 \leq x \leq 1$

$$0.03C'' - 0.0504C' = 0.1 ; 0 \leq x \leq 1$$

ขั้นตอนที่ 1

ปัญหาค่าขอบ : $0.03C'' - 0.0504C' = 0.1$; $0 \leq x \leq 1$

เงื่อนไขขอบ : $C(a) = C_a$, $C(b) = C_b$ เมื่อ $C(x) = \frac{C(X)}{C_{\max}}$; $C_{\max} = 26.77 \text{ g/l}$

ขั้นตอนที่ 2

กำหนดฟังก์ชันเพื่อการประมาณผลเฉลย (เลือกจอร์จดีกรี 3)

$$u(x) = c_1 + c_2x + c_3(x^2 - \frac{1}{3}) + c_4(x^3 - \frac{3}{5}x)$$

$$u'(x) = c_2 + 2xc_3 + 3x^2c_4 - \frac{3}{5}c_4$$

ขั้นตอนที่ 3

1) แทนฟังก์ชันการประมาณค่า $u(x)$ ลงในเงื่อนไขขอบ $c(x)$

- แทนลงในเงื่อนไขขอบซ้าย $c(0)$ จะได้

$$c(0) = u(0) = 1$$

$$= c_1 - \frac{1}{3}c_3 = 1 \quad (4.16)$$

- แทนลงในเงื่อนไขขอบขวา $c(1)$ จะได้

$$c(1) = u'(1) = 0$$

$$= c_2 + 2c_3 + 3c_4 - \frac{3}{5}c_4 = 0 \quad (4.17)$$

2) แทนฟังก์ชันการประมาณค่า $u(x)$ ลงในสมการปัญหาค่าขอบ จะได้

$$0.03C'' - 0.0504C' - 0.1 = L(x) \neq 0$$

$$\text{เมื่อ } u' = c_2 + 2c_3x + 3x^2c_4 - \frac{3}{5}c_4 \quad (**)$$

$$u'' = 2c_3 + 6xc_4 \quad (***)$$

นำสมการ (**), (***) แทนลงในสมการเศษเหลือ จะได้



$$L(x) = -0.0504c_2 + (0.06 - 0.1008x)c_3 + (0.03024 + 0.18x - 0.1512x^2)c_4 = 0.1$$

ขั้นตอนที่ 4

กำหนดจุดคอลโลเคชัน

เลือก $0 \leq x \leq 1$

เลือกจุดที่ $x = \frac{1}{3}$ และ $x = \frac{2}{3}$

จะได้ว่า $L\left(\frac{1}{3}\right) = 0$ และ $L\left(\frac{2}{3}\right) = 0$

$$L\left(\frac{1}{3}\right) = -0.0504c_2 + 0.0264c_3 + 0.07344c_4 = 0.1 \quad (4.18)$$

$$L\left(\frac{2}{3}\right) = -0.0504c_2 - 0.0072c_3 + 0.08304c_4 = 0.1 \quad (4.19)$$

นำสมการ (4.18) – (4.19) มาเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ จะได้

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -0.3333 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 2.4 \\ 0 & -0.0504 & 0.0264 & 0.07344 \\ 0 & -0.0504 & -0.0072 & 0.08304 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{Bmatrix}$$

ดังนั้น จะได้

$$\begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1.0413 \\ -1.2878 \\ 0.1238 \\ 0.4334 \end{Bmatrix}$$

นำค่าสัมประสิทธิ์ (c) ที่ได้แทนลงในฟังก์ชันประมาณค่าผลเฉลยโดยประมาณ

$$C(x) \approx u(x) = 1.0413 - 1.2878x + 0.1238\left(x^2 - \frac{1}{3}\right) + 0.4334\left(x^3 - \frac{1}{3}x\right)$$



ตารางที่ 4.2.2 แสดงค่าผลเฉลยที่ได้ของตัวแบบที่พิจารณาเงื่อนไขขอบขวอนุพันธ์และแสดงระดับความเค็มที่ระยะทาง ณ จุดต่าง ๆ

x_i	$C(x_i)$	X_i	$C(X_i)$ g/l	ค่าจริง g/l
0	1	0	26.77	26.55
0.1	0.8469	9	22.6715	25.57
0.2	0.6989	18	18.7096	24.09
0.3	0.5585	27	14.9510	15.47
0.4	0.4284	36	11.4683	14.84
0.5	0.3112	45	8.3308	2.67
0.6	0.2095	54	5.6083	2.32
0.7	0.1259	63	3.3703	1.68
0.8	0.0629	72	1.6838	0.87
0.9	0.0232	81	0.6211	0.26
1	0.0094	90	0.2516	0.22

จะเห็นว่าจากตารางที่ 4.4.2 ถ้าสถานีพระนครได้มีค่าความเค็มสูงสุดอยู่ที่ 26.77 มีความเร็วการไหลของกระแสน้ำเค็ม (u_s) เท่ากับ 0.14 ความเร็วของกระแสน้ำจืด (u_w) เท่ากับ 0.3408 และค่าสัมประสิทธิ์ในการแพร่ (D) เท่ากับ 0.03 จะสามารถคำนวณค่าความเค็มที่สถานีวัดไผ่ล้อมได้เท่ากับ 0.2516 แสดงว่าเราจะประมาณระดับความเค็มที่สถานีสำแล($x=0.94$)จะได้ $C(0.94)=0.0144$

ดังนั้นระดับความเค็มที่สถานีสำแลที่ประมาณได้ คือ 0.3855 จากตารางที่ 4.4.2 แสดงค่าผลเฉลยที่ได้ของตัวแบบที่ไม่พิจารณาเงื่อนไขขอบขวอนุพันธ์และแสดงระดับความเค็มที่ระยะทาง ณ จุดต่าง ๆ เมื่อกำหนดค่าความเค็มสูงสุดและค่าความเค็มเฉลี่ยของสถานีต้นทางและความเค็มเฉลี่ยของสถานีปลายทางจากค่าความเค็มที่เกิดขึ้นจริง จะเห็นว่าระดับความเค็มที่จุดต่าง ๆ จะลดลงตาม x ที่เพิ่มขึ้น หากความเค็มที่สถานีต้นทางมีความเค็มสูงสุด สถานีปลายทางความเค็มจะลดลงเช่นเดียวตามระยะทางจริงที่เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.4.1 แสดงค่าผลเฉลยที่ได้ของตัวแบบที่พิจารณาเงื่อนไขขอบขวอนุพันธ์เพื่อแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำเค็มและแสดงระดับความเค็มที่ระยะทาง ณ



จุดต่าง ๆ เมื่อกำหนดความเค็มที่สถานีต้นทางมีค่าความเค็มสูงสุดและสถานีปลายทางมีการพิจารณา เงื่อนไขขอบขวอนุพันธ์เพื่อแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำเค็ม จะเห็นว่าความเค็มที่จุดต่าง ๆ ลดลงตาม x ที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันหากที่สถานีต้นทางมีความเค็มสูงสุดแล้ว สถานีปลายทางจะมีความเค็มลดลงตามระยะทางจริงที่เพิ่มขึ้น ถ้าความเร็วการไหลของกระแส น้ำเค็มน้อยกว่าความเร็วการไหลของกระแสน้ำจืด

จากตารางที่ 4.4.2 แสดงค่าผลเฉลยที่ได้ของตัวแบบที่พิจารณาเงื่อนไขขอบขวอนุพันธ์ เพื่อแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำเค็ม และแสดงระดับความเค็มที่ระยะทาง ณ จุดต่าง ๆ เช่นเดียวกับตารางที่ 4.4.1 จะเห็นว่าหากความเค็มที่สถานีต้นทางมีค่าความเค็มสูงสุดแล้ว ค่าความเค็มที่สถานีปลายทางจะลดลงตามระยะทางจริงที่เพิ่มขึ้น ถ้าความเร็วการไหลของ กระแสน้ำเค็มมีค่าน้อยกว่าความเร็วการไหลของกระแสน้ำจืด

จากผลการศึกษาแบบจำลองประมาณระดับความเค็มโดยวิธีคอลโลเคชัน พบว่าการ คำนวณโดยไม่พิจารณาเงื่อนไขขอบขวอนุพันธ์ หากเรากำหนดสถานีต้นทางให้มีค่าความเค็มสูง ที่สุด และสถานีปลายทางมีค่าความเค็มปกติ การประมาณระดับความเค็มระหว่างสถานีต้นทางถึง สถานีปลายทางระดับความเค็มที่ประมาณได้จะลดลงตามระยะทางจริงที่เพิ่มขึ้น และการคำนวณ โดยพิจารณาเงื่อนไขขอบขวอนุพันธ์เพื่อแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำเค็ม หากเรากำหนดสถานีต้นทางมีความเค็มสูงสุด และไม่ได้ควบคุมที่สถานีปลายทาง การประมาณ ระดับความเค็มระหว่างสถานีต้นทางถึงสถานีปลายทางจะลดลงตามระยะทางจริงที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน (ถ้าความเร็วการไหลของกระแสน้ำเค็มมีค่าน้อยกว่าความเร็วการไหลของกระแสน้ำจืด) แสดงว่าผลการคำนวณทั้งแบบไม่พิจารณาเงื่อนไขขอบขวอนุพันธ์และแบบพิจารณาเงื่อนไขขอบ ขวอนุพันธ์เพื่อแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำเค็ม ให้ผลคำนวณเป็นที่พอใจ ดังนั้นหากเราทราบระดับความเค็ม ณ จุดเริ่มต้น เราจะสามารถคำนวณหาระดับความเค็มตั้งแต่ สถานีโรงไฟฟ้าพระนครใต้จนถึงสถานีวัดไผ่ล้อม เพื่อใช้ประมาณระดับความเค็มบริเวณสถานีสูบน้ำ ดิบสำแลได้



บรรณานุกรม

- [1] Bradie, B. "A Friendly Introduction to Numerical Analysis". Pearson Inc, New Jersey, 2006.
- [2] Pochai, N., Tangmanee, S., Crane, L. J. and Miller, J. J. H., "A Mathematical Model of Water Pollution Control Using the Finite Element Method", Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics PAMM, Vol 6(1): 755-756, 2006.
- [3] Pochai, N., Tangmanee, S., Crane, L. J. and Miller, J. J. H., "A Water Quality Computation in the Uniform Channel", Journal of Interdisciplinary Mathematics. Vol. 11(6): 803-814, 2008.
- [4] Pochai, N., "A Numerical Computation of Non-dimensional Form of a Nonlinear Hydrodynamic Model in a Uniform Reservoir", Journal of Nonlinear Analysis: Hybrid Systems 3 (2009), pp. 463-466, 2009.
- [5] Pochai, N., Tangmanee, S., Crane, L. J. and Miller, J. J. H., "A Water Quality Computation in the Uniform Reservoir", Journal of Interdisciplinary Mathematics. Vol 12(1): 19-28, 2009.
- [6] Pochai, N., Tangmanee, S., Crane, L. J. and Miller, J. J. H., "A Finite Element Simulation of Water Quality Measurement in the Open Reservoir", Thai Journal of Mathematics, Vol 7(2): 77-93, 2009.
- [7] Pochai, N., "A Numerical Computation of Non-dimensional Form of Stream Water Quality Model with Hydrodynamic Advection- Dispersion- Reaction Equations", Journal of Nonlinear Analysis: Hybrid Systems 3 (2009), pp. 666-673, 2009.



- [8] Pochai, N., "A Numerical Treatment of Non-dimensional Form of Water Quality Model in a Non-Uniform Flow Stream Using Saul'yev Scheme ", Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2011, Article ID 491317, 2011.
- [9] Mabood, F. and Pochai, N., "Asymtotic Solution for a Water Quality Model in a Uniform Stream", International Journal of Engineering Mathematics, Vol. 2013, Article ID 135140, 2013, 4 pages.
- [10] Klaychang, W. and Pochai, N., "A numerical treatment of a non-dimensional form of a water quality model in the Rama-nine reservoir", Journal of Interdisciplinary Mathematics, Volume 18, Issue 4, 2015, Pages 375-394 .
- [11] Klaychang, W. and Pochai, N., "Numerical Treatment to a Water-Quality Measurement Model in an Opened-Closed Reservoir ", Thai Journal of Mathematics, Vol. 2015, Vol 13, No 3, 2015, Pages 775-788.
- [12] Klaychang, W. and Pochai, N., "Implicit Finite Difference Simulation of Water Pollution Control in a Connected Reservoir System", IAENG International Journal of Applied Mathematics, 2016, Vol 46, Issue 1, Pages 47-57.
- [13] Pochai, N., "Unconditional stable numerical techniques for a water-quality model in a non-uniform flow stream", Advances in Difference Equations, 2017, Vol. 2017(1), pp. 286.
- [14] Pawarisa Samalerk and Pochai, N., " Numerical Simulation of a One-Dimensional Water-Quality Model in a Stream Using a Saul'yev Technique with Quadratic Interpolated Initial-Boundary Conditions ", Abstract and Applied Analysis, Vol. 2018, Article ID 1926519, 2018, 7 pages.
- [15] Othata, P., Pochai, N. A one-dimensional mathematical simulation to salinity control in a river with a barrage dam using an unconditionally stable explicit finite difference method. Adv Differ Equ 2019, 203 (2019).



- [16] Stven C. Chapra. "Surface Water-Quality Modeling". McGraw-Hill, Singapore, 1997.
- [17] นพดล อินนา. "ทฤษฎีและการคำนวณกลศาสตร์ของไหล". กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น. (2521).
- [18] เปี่ยมศักดิ์ เมณะเศวต. "แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ". พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2539).
- [19] อติสรณ์ ฉิมน้อย. "ปัญหาน้ำเค็มส่งผลกระทบต่อชาวสวนนนทบุรี". [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.duriannon.com>. 2561.
- [20] ฝ่ายทรัพยากรน้ำและสิ่งแวดล้อม. "โครงการระบบเฝ้าระวังคุณภาพน้ำแบบ Real time การประปานครหลวง". [Online]. เข้าถึงได้จาก : rwc.mwa.co.th/page/home. 2561.
- [21] กรมอุตุนิยมวิทยา. "ภูมิอากาศของไทย". [Online]. เข้าถึงได้จาก : www.tmd.go.th. 2561.
- [22] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. "มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำ". [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html. 2561.
- [23] เจาะข่าวเด่น. "ปัญหาน้ำประปาเค็มในพื้นที่หลายส่วนของกรุงเทพมหานคร". [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://highlight.kapook.com/view/98148>. 2557.
- [24] Thai PBS. "กปน.เตือนคนกรุงเทพสำรองน้ำดื่มหลังน้ำประปามีค่าความเค็มสูง". [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://news.thaipbs.or.th/content/2867>. 2558.
- [25] ข่าวภูมิภาค. "เตือน11จุดกทม. น้ำประปาเค็ม". [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.posttoday.com/social/local/376917>. 2558.
- [26] Thai PBS. "น้ำเค็มรุก"เฉียดจุดพีค 0.50 กรัมต่อลิตร กรมชลประทานระบายน้ำดันพื้นเจ้าพระยา". [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://news.thaipbs.or.th/content/>. 2560.
- [27] PPTV. "ชาวนาปทุมธานีหวั่นน้ำเค็มกระทบข้าวนาปรัง". [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.pptvhd36.com/news/ประเด็นร้อน/47863>. 2560.



- [28] กิรติ ลีวัจนกุล. “การแพร่ของน้ำเค็มเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2531
- [29] Chapra, Steven C. Surface water-quality modeling. New York : McGraw-Hill, c1997
- [30] Ippen, A. T. Estuary and Coastline Hydrodynamics. Cambridge, Massachusetts, Mc Graw-Hill Book Company, Inc, 1966, p.493-689.
- [31] Smith, G. D. Numerical solution of partial differential equations : finite difference methods / G.D. Smith. 3rd ed. Oxford: Clarendon, c1985.
- [32] กรมควบคุมมลพิษ. การจัดการคุณภาพน้ำ. [Online]. Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/water.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 1 ก.ย. 2561.
- [33] นิรวรรณ ยิ้มมงคล. มลพิษทางน้ำ. [Online]. Available : <https://sites.google.com/site/st554232010/mlphis-thang-na>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 1 ก.ย. 2561.
- [34] นิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม. ปัญหามลพิษทางน้ำ. [Online]. Available : https://il.mahidol.ac.th/emedial/ecology/chapter3/framechapter3_frame.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 1 ก.ย. 2561.5] ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. 2548. การวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียเบื้องต้น. [Online]. Available : <http://www2.diw.go.th/research/file.asp>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 ส.ค. 2561.
- [35] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2538. การประปา/น้ำประปาของประชาชนชาวกรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ. [Online]. Available : <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=39&chap=6&page=-6-infodetail09.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 ส.ค. 2561.
- [36] สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ. 2558. รายงานสรุปผลการดำเนินงานกิจกรรมถ่ายทอดแลกเปลี่ยนองค์ความรู้KM). [Online]. Available:



<http://infofile.pcd.go.th/water/KM.pdf?CFID=1543065&CFTOKEN=23608889>.

เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 ส.ค. 2561.

