

การศึกษาความเข้มข้นของสารหนู โครเมียม และสังกะสี เพื่อปกป้องชีวิต ของสัตว์น้ำในระยะยาว

Investigation of Arsenic Chromium and Zinc Concentration for Protection of Aquatic Life in Long Term

พันศักดิ์ บุญส่ง (Pansak Boonsong)* คณิตา ตั้งคณานุรักษ์ (Kanita Tungkananuruk)**

ดร.ชาลิสา วิสมหมาย (Dr.Chalisa Veessommai)^{1***}

(Received: March 30, 2020; Revised: May 4, 2020; Accepted: May 5, 2020)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารหนู เฮกซะวาเลนต์โครเมียม และสังกะสี ที่ส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของสัตว์น้ำและพืชในแม่น้ำเจ้าพระยา โดยใช้สมการ river Heavy Metal Evaluation Index (rHMEI) และโปรแกรมระบบการจัดการฐานข้อมูล PostgreSQL ในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลคุณภาพน้ำ เทียบกับค่ามาตรฐานของแนวทางคุณภาพน้ำสำหรับการคุ้มครองชีวิตสัตว์น้ำ (Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life) ของ Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQGs) ศึกษาผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา 13 สถานี ตั้งแต่ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ถึง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ.2551 จนถึง เดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ.2561 ในช่วงน้ำน้อยและช่วงน้ำมาก ซึ่งผลการประมวลผลพบว่า แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ค่า rHMEI ของผลกลุ่มแรกมีค่าน้อยกว่า 0.866 ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นกลุ่มที่สัตว์น้ำและพืชไม่ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต (rHMEI < 0.866) และค่า rHMEI ของผลกลุ่มที่สองมีค่ามากกว่า 0.866 ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นกลุ่มที่สัตว์น้ำและพืชถูกยับยั้งการเจริญเติบโต (rHMEI > 0.866) โดยสรุปในช่วงน้ำน้อยและช่วงน้ำมากมีร้อยละ 3.93 ของผลคุณภาพน้ำเป็นสัตว์น้ำและพืชไม่ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต และร้อยละ 96.07 เป็นสัตว์น้ำและพืชถูกยับยั้งการเจริญเติบโต

ABSTRACT

The purpose of this research aims to study the concentration of Arsenic (As), Hexavalent Chromium (Cr^{6+}) and Zinc that affected the growth of aquatic life and plant in Chao Phraya river. Using river Heavy Metal Evaluation Index (rHMEI) equation and PostgreSQL program for analyzing and evaluating water quality data compare to Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life of Canadian Environmental Quality Guidelines. The water quality monitoring results from 13 stations of Chao Phraya river from Muang Nakhon Sawan, Nakhon Sawan province to Muang Samut prakarn, Samut Prakan province during February 2008 to November 2018 were investigated in dry season and wet season. The calculation results were divided to two groups. The rHMEI value of 1st group result was less than 0.866 that indicated uninhibited growth aquatic life and plant. The rHMEI value of 2nd group was greater than 0.866 that indicated inhibited growth aquatic life and plant. In summary, in dry season and wet season 3.93% of water quality results was uninhibited growth aquatic life and plant and 96.07% was inhibited growth aquatic life and plant.

คำสำคัญ: สารหนู โครเมียม และสังกะสี

Keywords: Arsenic, Chromium, Zinc

¹Corresponding author: chali-h@hotmail.com

*นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

***อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทนำ

สารหนู โครเมียม และสังกะสี เป็นโลหะหนักที่ถูกตรวจพบว่าการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ซึ่งโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด นี้ เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตน้ำ เมื่อมีปริมาณมากเกินไปเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่กำหนด โดยความเป็นพิษส่วนใหญ่ของสารหนูเกิดจากสารประกอบอนินทรีย์ของสารหนู ที่ความเข้มข้น 28,300 ไมโครกรัม/ลิตร ส่งผลให้ระยะลูกปลาเล็กของปลาช่อน (*Labeo rohita*) ตายร้อยละ 50 ภายใน 96 ชั่วโมง (Median lethal concentration, LC_{50}) [1] ที่ความเข้มข้นที่ 520 ไมโครกรัม/ลิตร ส่งผลให้จำนวนลูกไรแดงชนิด *Daphnia magna* ลดลง ไปน้อยกว่าร้อยละ 16 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (16% reproductive impairment) ภายใน 21 วัน และที่ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัม/ลิตร ส่งผลให้พืชน้ำชนิด *Scenedesmus obliquus* มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต (Half maximal Effective Concentration, EC_{50}) ภายใน 14 วัน [2] ส่วนโครเมียม ชนิดเฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Hexavalent chromium) ที่ความเข้มข้นของ 39,400 ไมโครกรัม/ลิตร ส่งผลให้ปลาช่อน ตายร้อยละ 50 ภายใน 96 ชั่วโมง (LC_{50}) [3] ที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัม/ลิตร เป็นปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดที่สังเกตเห็นผลกระทบ (Lowest Observed Effect Concentration, LOEC) ต่อไรแดงชนิด *Ceriodaphnia dubia* ภายใน 14 วัน และที่ความเข้มข้น 600 ไมโครกรัม/ลิตร พืชน้ำชนิด *Selenastrum capricornutum* ถูกยับยั้งการเจริญเติบโตภายใน 96 ชั่วโมง [4] และสังกะสี เป็นโลหะหนักเป็นสารที่มีความจำเป็นสำหรับกระบวนการทางชีวภาพพื้นฐาน รวมทั้งกระบวนการเมตาบอลิซึม ระบบภูมิคุ้มกัน และสารสื่อประสาท ซึ่งสังกะสีมีความเป็นพิษต่ำต่อสัตว์มีกระดูกสันหลังรวมทั้งปลา [5] โดยความเข้มข้นของสังกะสีที่ 72,431 ไมโครกรัม/ลิตร ส่งผลให้ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ตาย 50 เปอร์เซ็นต์ภายใน 96 ชั่วโมง (LC_{50}) [6] ที่ความเข้มข้น 70 ไมโครกรัม/ลิตร ส่งผลให้ไรแดงชนิด *Daphnia magna* ลดลงน้อยกว่าร้อยละ 16 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ภายใน 21 วัน และที่ความเข้มข้น 30 ไมโครกรัม/ลิตร เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชน้ำชนิด *Selenastrum capricornutum* [7] นอกจากนี้การสัมผัสสารหนู โครเมียม และสังกะสีที่มีน้ำเป็นสื่อกลาง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านพฤติกรรม สรีระวิทยา เซลล์วิทยา พยาธิวิทยาและสัณฐานวิทยา [5-8] และยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ

ในปัจจุบันการรายงานเกณฑ์คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินใช้วิธีการประเมินคุณภาพน้ำด้วยดัชนีที่มีการรวมคะแนนค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ 5 พารามิเตอร์ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen, DO) ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand, BOD) การปนเปื้อนแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria, TCB) การปนเปื้อนแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria, FCB) และแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งมีเพียงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสัตว์น้ำเพียง 2 ชนิด คือ ปริมาณออกซิเจนละลาย และแอมโมเนีย โดยที่ยังไม่มีการนำความเข้มข้นของพารามิเตอร์โลหะหนักของสารหนู โครเมียม และสังกะสี มาใช้ในการวิเคราะห์ถึงคุณภาพน้ำต่อชีวิตสัตว์น้ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาโดยการรวบรวมข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักในแม่น้ำเจ้าพระยาและโดยใช้สมการ river Heavy Metal Evaluation Index (rHMEI) [9] และโปรแกรมระบบการจัดการฐานข้อมูล PostgreSQL เพื่อประมวลผลจากข้อมูลความเข้มข้นของสารหนู โครเมียม และสังกะสี ในแม่น้ำเจ้าพระยาที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานเทียบกับค่ามาตรฐานของแนวทางคุณภาพน้ำสำหรับการคุ้มครองชีวิตสัตว์น้ำ (Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life) โดย Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQGs) [2,4,7] แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงคุณภาพน้ำในเชิงความเข้มข้นของสารหนู โครเมียม และสังกะสี ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ปี

พ.ศ.2551 จนถึง เดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ.2561 ที่มีผลกระทบต่อชีวิตสัตว์น้ำ เพื่อใช้ในการบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของ คุณภาพน้ำในอดีตจนถึงปัจจุบันและนอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดพื้นที่ในการเฝ้าระวัง หรือ ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการอนุรักษ์แหล่งน้ำ เพื่อให้มีทรัพยากรสัตว์น้ำไว้ใช้ประโยชน์ทางการประมงได้อย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำในเชิงความเข้มข้นของสารหนู โครเมียม และสังกะสี ต่อความปลอดภัยของชีวิต สัตว์น้ำในระยะยาว
2. เพื่อใช้สมการ river Heavy Metal Evaluation Index (rHMEI) และ โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล PostgreSQL ประมวลผลจากข้อมูลความเข้มข้นของสารหนู โครเมียม และสังกะสี ในแม่น้ำเจ้าพระยาที่ได้จากการ วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน

วิธีการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาดังคุณภาพน้ำในเชิงความเข้มข้นของสารหนู โครเมียม และสังกะสี ของจุด ตรวจวัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา ตั้งแต่บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ถึง อำเภอเมือง จังหวัด สมุทรปราการ รวมทั้งสิ้น 18 จุด โดยการรวบรวมข้อมูลหัตถภูมิคุณภาพน้ำประเภทโลหะหนักจากส่วนแหล่งน้ำจัด สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่ เดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ.2551 จนถึง เดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ.2561 จากนั้นทำการจัดรูปแบบ สร้างสถาปัตยกรรมฐานข้อมูลให้เหมาะสมกับ ฐานข้อมูลและระบบจัดการฐานข้อมูล PostgreSQL วิเคราะห์และประมวลผลความเข้มข้นของโลหะหนักในแม่น้ำ เจ้าพระยาด้วยสมการ rHMEI เทียบกับค่ามาตรฐานตามมาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับการคุ้มครองชีวิตสัตว์น้ำ (Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life) โดย Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQGs)

1. การรวบรวมข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลหัตถภูมิคุณภาพน้ำประเภทโลหะหนักที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี มาตรฐาน ได้แก่ เหล็ก (Fe) แคดเมียม (Cd) โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โปรททั้งหมด (Total Hg) และสารหนู (As) จากส่วนแหล่งน้ำจัด สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่ เดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ.2551 จนถึง เดือน พฤศจิกายน ปี พ.ศ.2561 โดยทำการรวบรวมข้อมูลคุณภาพน้ำของจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา ตั้งแต่ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ถึง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ (ละติจูด 15.688069 ลองจิจูด 100.123265 ถึง ละติจูด 13.596968 ลองจิจูด 100.594388) จำนวนทั้งหมด 18 จุด มีการตรวจคุณภาพน้ำปีละ 4 ครั้ง แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงละ 2 ครั้ง คือ ช่วงน้ำน้อย 2 ครั้ง (ระหว่างเดือนมกราคมถึงมิถุนายน) และช่วงน้ำมาก 2 ครั้ง (ระหว่างเดือน กรกฎาคมถึงธันวาคม)

2. การจัดรูปแบบข้อมูลและสร้างสถาปัตยกรรมฐานข้อมูล

การจัดรูปแบบและสร้างสถาปัตยกรรมฐานข้อมูลของงานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบและสร้างฐานข้อมูล ประกอบด้วย ลำดับ (Id) จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ (Station) วันเดือนปี (Date) พิกัดจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ ทางภูมิศาสตร์ (Latitude และ Longitude) พารามิเตอร์โลหะหนักของคุณภาพน้ำทั้งหมด ได้แก่ เหล็ก แคดเมียม โครเมียมชนิด

เสกชาวเลนส์ แมงกานีส นิกเกิล ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง โปรททั้งหมด และสารหนู เพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับฐานข้อมูลและโปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล PostgreSQL แสดงดังภาพที่ 1

3. การวิเคราะห์และประมวลผลความเข้มข้นของโลหะหนักในแม่น้ำเจ้าพระยา

3.1 วิเคราะห์ข้อมูลของความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 10 ชนิด ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน เพื่อคัดเลือกชนิดของโลหะหนักที่เหมาะสม และสามารถนำมาพิจารณาเป็นพารามิเตอร์ในการประมวลคุณภาพน้ำในเชิงความเข้มข้นของโลหะหนักได้

3.2 ศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักโดยใช้ข้อมูลโลหะหนักที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 3.1 และใช้สมการ rHMEI [9] ซึ่งเป็นเครื่องมือคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำผิวดิน ดังสมการ (1) และ (2)

$$\text{Subindex}(l_i) = \sum_{i=1}^n \frac{X_{obs}}{X_{std}} \quad (1)$$

$$rHMEI = 0.5(\sum_{i=1}^n l_i)^{1/2} \quad (2)$$

กำหนดให้ X_{obs} เป็นค่าของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์

กำหนดให้ X_{std} เป็นค่ามาตรฐานพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ

กำหนดให้ n เป็นชนิดของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ

นำข้อมูลเข้าสู่ระบบจัดการฐานข้อมูล PostgreSQL เพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล โดยมีแบบจำลองในการประมวลผลข้อมูล แสดงดังภาพที่ 2

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นพบว่า พารามิเตอร์คุณภาพน้ำประเภทโลหะหนัก จำนวน 10 พารามิเตอร์ ได้แก่ เหล็ก แคดเมียม โครเมียมชนิดเสกชาวเลนส์ แมงกานีส นิกเกิล ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง โปรททั้งหมด และสารหนู มีพารามิเตอร์จำนวน 5 พารามิเตอร์ ได้แก่ แคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว แมงกานีส และทองแดง พารามิเตอร์ดังกล่าวตามค่ามาตรฐานของแนวทางคุณภาพน้ำสำหรับการคุ้มครองชีวิตสัตว์น้ำ จะต้องอาศัยปัจจัยในเรื่องของความกระด้าง (Hardness) ที่ส่งผลต่อปริมาณและความเข้มข้นของโลหะหนัก ทำให้ค่ามาตรฐานของแนวทางคุณภาพน้ำมีค่าไม่คงที่ ส่วนของพารามิเตอร์โลหะหนักประเภทโปรทเป็นค่าของโปรททั้งหมด (Total Hg) แต่ในส่วน of ค่ามาตรฐานของแนวทางคุณภาพน้ำสำหรับการคุ้มครองชีวิตสัตว์น้ำได้แบ่งค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำตามชนิดของโปรท แบ่งออกเป็น Inorganic Mercury และ Methylmercury ไม่มีค่ามาตรฐานสำหรับโปรททั้งหมด และพารามิเตอร์โลหะหนักประเภทเหล็ก (Fe) อยู่ในกลุ่ม Nontoxic ในสภาพทางอุทกวิทยา [10] ดังนั้นพารามิเตอร์คุณภาพน้ำประเภทโลหะหนักที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้จึงมีเพียงจำนวน 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ สารหนู โครเมียมชนิดเสกชาวเลนส์ และสังกะสี ซึ่งไม่มีการนำปัจจัยในเรื่องของความกระด้าง มารวมใช้ในการวิเคราะห์ค่ามาตรฐานตามแนวทางคุณภาพน้ำสำหรับการคุ้มครองชีวิตสัตว์น้ำ (Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life) โดย Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQGs) แสดงในตารางที่ 1 ในส่วนของจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาตั้งแต่ อำเภอเมือง จังหวัด

นครสวรรค์ ถึง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ มีจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำทั้งหมด 18 จุด ซึ่งมีจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำจำนวน 5 จุดที่ไม่ปรากฏข้อมูลที่จะสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผล ได้แก่ CH03 CH06 CH12 CH25 และ CH27 ดังนั้นจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลได้ มีจำนวน 13 จุด แสดงในภาพที่ 3 แบ่งจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาออกเป็น เจ้าพระยาตอนบน มีจำนวน 5 จุดตรวจวัด ได้แก่ จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ CH21 CH24 CH28 CH30 และ CH32 เจ้าพระยาตอนกลาง มีจำนวน 5 จุดตรวจวัด ได้แก่ จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ CH15 CH16.1 CH17 CH18 และ CH20 และเจ้าพระยาตอนล่าง จำนวน 3 จุดตรวจวัด ได้แก่ จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ CH01 CH08 และ CH10 โดยมีจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ CH08 CH17 และ CH20 ตั้งแต่ในครั้งที่ 4 ของปี พ.ศ.2556 จนถึงปี พ.ศ.2561 ไม่ปรากฏข้อมูลที่จะสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผล

2. ผลการสร้างสถาปัตยกรรมฐานข้อมูล

การสร้างฐานข้อมูลในระบบการจัดการฐานข้อมูล PostgreSQL ประกอบไปด้วยข้อมูล ลำดับ (Id) จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ (Station) วันเดือนปี (Date) พิกัดจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ ทางภูมิศาสตร์ (Latitude และ Longitude) พารามิเตอร์ โลหะหนักของคุณภาพน้ำจำนวน 10 พารามิเตอร์ ได้แก่ เหล็ก แคลเซียม โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ แมงกานีส นิกเกิล ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง โปรททั้งหมด และสารหนู แสดงดังภาพที่ 1

3. ผลการวิเคราะห์และประมวลผลความเข้มข้นของโลหะหนักในแม่น้ำเจ้าพระยา

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์และประมวลผลจากระบบการจัดการฐานข้อมูล PostgreSQL และสมการ rHMEI พบว่า แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มพร้อมกับลักษณะของความหมายในแต่ละกลุ่ม แสดงดังภาพที่ 4 คือ กลุ่มแรก เป็นกลุ่มที่มีค่าน้อยกว่า 0.866 เป็นกลุ่มที่สัตว์น้ำและพืชไม่ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต (uninhibited growth aquatic life and plant) และกลุ่มที่สอง เป็นกลุ่มที่มีค่ามากกว่า 0.866 เป็นกลุ่มที่สัตว์น้ำและพืชถูกยับยั้งการเจริญเติบโต (inhibited growth aquatic life and plant) ซึ่งค่า 0.866 เป็นค่าที่ได้จากการประมวลผลของค่าพารามิเตอร์ความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดสารหนู เฮกซะวาเลนต์โครเมียม และสังกะสี ที่มีค่าเท่ากับ 5 และ 30 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยใช้ค่ามาตรฐานพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเป็นค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับการคุ้มครองชีวิตสัตว์น้ำที่แสดงดังตารางที่ 1 ในสมการ rHMEI แล้วจึงได้ค่าดังกล่าว เพื่อใช้แบ่งกลุ่มคุณภาพน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม โดยที่ค่ามาตรฐานดังกล่าวมาจากข้อมูลทางพิษวิทยาของ สารหนูที่มีความเข้มข้น 50 ไมโครกรัม/ลิตร ส่งผลให้พืชน้ำ ชนิด *Scenedesmus obliquus* มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต (EC_{50}) [2] ส่วนเฮกซะวาเลนต์โครเมียม ที่มีความเข้มข้น 10 ไมโครกรัม/ลิตร เป็นปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดที่สังเกตเห็นผลกระทบ (LOEC) ต่อไรแดงชนิด *Ceriodaphnia dubia* [4] และสังกะสี ที่มีความเข้มข้น 30 ไมโครกรัม/ลิตร เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชน้ำชนิด *Selenastrum capricornutum* [7] ซึ่งเป็นค่าที่เกิดจากความเข้มข้นต่ำที่สุดที่ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ จากลักษณะอาการร่วมของข้อมูลทางพิษวิทยาที่เป็นข้อมูลที่มาของค่ามาตรฐานดังกล่าว ดังนั้นทำให้เกิดความหมายจากการประมวลผลของค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในสมการ rHMEI ที่เกินค่า 0.866 เป็นสัตว์น้ำและพืชถูกยับยั้งการเจริญเติบโต โดยทำการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลตั้งแต่ เดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ.2551 จนถึง เดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ.2561 พบว่า ในปี พ.ศ.2551 ในช่วงน้ำน้อยจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำอยู่ในทั้ง 2 กลุ่ม และมีจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ CH32 ในครั้งที่ 1 และจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ CH08 ในครั้งที่ 2 มีค่าจากสมการ rHMEI มากที่สุดเท่ากับ 3.10 และ 17.2 ตามลำดับ ในช่วงน้ำมากจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำทั้งหมดอยู่ในกลุ่มสัตว์น้ำและ

สมการ rHMEI มากที่สุด เท่ากับ 2.52 และ 2.89 ตามลำดับ ช่วงน้ำมากที่จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ CH01 ในครั้งที่ 3 และครั้งที่ 4 เป็นจุดที่มีค่าจากสมการ rHMEI มากที่สุด เท่ากับ 2.43 และ 2.54 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 13

ปี พ.ศ.2560 ทั้งช่วงน้ำน้อยและช่วงน้ำมากจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำอยู่ในกลุ่มสัตว์น้ำและพืชถูกยับยั้งการเจริญเติบโต โดยในช่วงน้ำน้อยที่จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ CH15 ของครั้งที่ 1 และ CH16.1 ในครั้งที่ 2 เป็นจุดที่มีค่าจากสมการ rHMEI มากที่สุด เท่ากับ 2.30 และ 2.48 ตามลำดับ ช่วงน้ำมากที่จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ CH01 ในครั้งที่ 3 และ CH10 ของครั้งที่ 4 เป็นจุดที่มีค่าจากสมการ rHMEI มากที่สุด เท่ากับ 3.66 และ 3.11 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 14

ปี พ.ศ.2561 ทั้งช่วงน้ำน้อยและช่วงน้ำมากจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำอยู่ในกลุ่มสัตว์น้ำและพืชถูกยับยั้งการเจริญเติบโต โดยในช่วงน้ำน้อยที่จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ CH18 ของครั้งที่ 1 และ CH01 ในครั้งที่ 2 เป็นจุดที่มีค่าจากสมการ rHMEI มากที่สุด เท่ากับ 2.60 และ 3.81 ตามลำดับ ช่วงน้ำมากที่จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ CH01 ในครั้งที่ 3 และครั้งที่ 4 เป็นจุดที่มีค่าจากสมการ rHMEI มากที่สุด เท่ากับ 4.45 และ 3.21 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 15

เมื่อพิจารณาในส่วนของการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ได้ค่าจากการวิเคราะห์และประมวลผลจากระบบการจัดการฐานข้อมูล PostgreSQL และสมการ rHMEI ที่มีค่ามากที่สุด ในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนบน ตอนกลาง และตอนล่าง ระหว่างช่วงน้ำน้อยและช่วงน้ำมากที่จัดอยู่ในกลุ่มที่สัตว์น้ำและพืชถูกยับยั้งการเจริญเติบโต (inhibited growth aquatic life and plant) แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 1.87 ถึง 17.2 ซึ่งมีลักษณะการเกาะกลุ่มของข้อมูลเนื่องจากค่าความเข้มข้นของสารหนู โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ และสังกะสี ของในแต่ละครั้งของจุดตรวจวัดมีค่าที่เกาะกลุ่มกัน และอยู่ในค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน เว้นแต่ในปี พ.ศ.2551 ที่จุด CH08 ที่มีค่า 17.2 เนื่องจากมีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดเฮกซะวาเลนต์โครเมียม ที่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร [11] (50 ไมโครกรัม/ลิตร) ในปี พ.ศ.2552 ที่จุด CH20 ที่มีค่า 6.50 และ 6.25 กับในปี พ.ศ. 2557 ที่จุด CH21 ที่มีค่า 4.27 เนื่องจากมีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดสังกะสี ที่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร [11] (1,000 ไมโครกรัม/ลิตร) ในปี พ.ศ.2560 ที่จุด CH16.1 CH01 และ CH10 ที่มีค่า 2.48 3.66 และ 3.11 ตามลำดับ และในปี พ.ศ.2561 ที่จุด CH18 ที่มีค่า 2.60 และที่จุด CH01 ที่มีค่า 3.81 และ 3.21 เนื่องจากมีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดสารหนู ที่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร [11] (10 ไมโครกรัม/ลิตร) และที่จุด CH01 ที่มีค่า 4.45 เนื่องจากมีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดสารหนู และสังกะสี ที่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน [11] จากข้อมูลทั้งหมด 509 ข้อมูล มีจำนวน 489 ข้อมูล หรือร้อยละ 96.07 อยู่ในกลุ่มสัตว์น้ำและพืชถูกยับยั้งการเจริญเติบโต ซึ่งจากการศึกษาความชุกชุมของประชากรปลาในแม่น้ำเจ้าพระยามีค่าเฉลี่ยค่อนข้างต่ำและมีแนวโน้มลดลง [12] ในขณะที่การศึกษาสถานภาพทรัพยากรประมงของ [13] พบว่า แม่น้ำเจ้าพระยามีทรัพยากรประมงอยู่ในสภาวะเสื่อมคุณภาพปานกลาง สัตว์น้ำขนาดเล็กและใหญ่มีปริมาณใกล้เคียงกัน ไม่มีสัตว์น้ำชนิดใดเด่น ถึงแม้ได้มีการปล่อยพันธุ์สัตว์น้ำชนิดต่างๆ ลงในแม่น้ำอย่างต่อเนื่อง และการปล่อยตัวอย่างสัตว์น้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาพบว่าถูกพันธุ์สัตว์น้ำมีจำนวนชนิดที่ลดลง

สรุปผลการวิจัย

จากการใช้ สมการ river Heavy Metal Evaluation Index และระบบการจัดการฐานข้อมูล PostgreSQL ในการวิเคราะห์และประมวลผลคุณภาพน้ำในเชิงความเข้มข้นของสารหนู โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ และสังกะสี ที่จุดตรวจวัด

คุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาทั้งหมด 13 จุด ตั้งแต่ เดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ.2551 จนถึง เดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ.2561 ในแต่ละปีจะแบ่งการตรวจวัดคุณภาพน้ำออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงน้ำน้อย และช่วงน้ำมาก ช่วงละ 2 ครั้งต่อปี พบว่า ผลการวิเคราะห์และประมวลผลแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก เป็นกลุ่มที่สัตว์น้ำและพืชไม่ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต ($rHMEI < 0.866$) และกลุ่มที่สอง เป็นกลุ่มที่สัตว์น้ำและพืชถูกยับยั้งการเจริญเติบโต ($rHMEI > 0.866$) ซึ่งมีจำนวนจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ 11 จุด ที่มีค่า $rHMEI$ มากสุด ประกอบด้วยค่าที่อยู่ในช่วง 1.87 ถึง 17.2 ซึ่งค่ามีลักษณะการเกาะกลุ่มเนื่องจากค่าในข้อมูลของความเข้มข้นโลหะหนักของสารหนู เฮกซะวาเลนต์โครเมียม และสังกะสี ของแต่ละครั้งที่จุดตรวจวัดมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าไม่เกินค่าสูงสุดของค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน นอกจากนี้ยังมีค่าในข้อมูลของความเข้มข้นโลหะหนักดังกล่าวที่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน แล้วทำให้มีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มดังกล่าวหรือค่าที่ได้มีลักษณะแตกต่างจากค่าอื่นๆ

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับการคุ้มครองชีวิตสัตว์น้ำที่ไม่อาศัยปัจจัยในเรื่องของความกระด้าง โดยมุ่งเน้นที่จะนำไปใช้ในการจัดกลุ่มแหล่งน้ำผิวดินทั่วประเทศ ที่มีความกระด้างที่แตกต่างกันตามแหล่งน้ำ จึงทำให้มีพารามิเตอร์โลหะหนักเพียง 3 ชนิดที่ไม่ขึ้นกับความกระด้างของน้ำมาใช้ จึงได้นำค่ามาตรฐานของสังกะสีที่ไม่เป็นปัจจุบันมาใช้ ในการศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาเพิ่มเติมของค่ามาตรฐานที่เป็นปัจจุบันและครอบคลุมถึงโลหะหนักที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ นอกจากนี้ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำกับการประมวลผลของสมการ $rHMEI$

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณส่วนแหล่งน้ำจืด สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่สนับสนุนในส่วนของการข้อมูลคุณภาพน้ำ มา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Vutukuru SS, Prabhath NA, Raghavender M, Yerramilli A. Effect of arsenic and chromium on the serum amino-transferases activity in Indian major carp, *Labeo rohita*. Journal of Environmental Research and Public Health. 2007; 4(3): 224–227.
2. Canadian Council of Ministers of the Environment. Arsenic [Internet]. 2014. [updated 2014; cited 2019 December 4]. Available from: http://st-ts.ccme.ca/en/index.html?lang=en&factsheet=9#aql_fresh_date
3. Bakshia A, Panigrahi AK. A comprehensive review on chromium induced alterations in fresh water fishes. Journal of Toxicology Reports. 2018; 5: 440–447.
4. Canadian Council of Ministers of the Environment. Chromium, hexavalent (Cr (VI)) [Internet]. 2014. [updated 2014; cited 2019 December 6]. Available from: http://st-ts.ccme.ca/en/index.html?lang=en&factsheet=63#aql_fresh_date



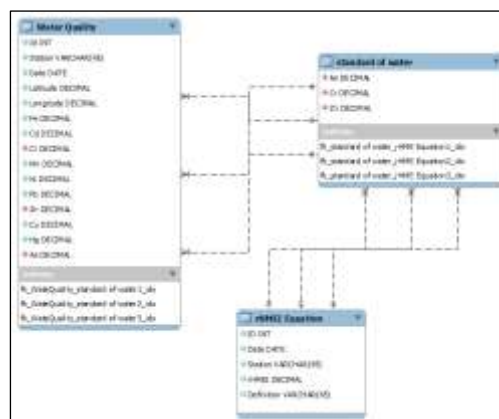
5. Hogstrand C. Homeostasis and Toxicology of Essential Metals. 1st ed. Wood CM, Farrell AP, Brauner CJ, editor. Elsevier; 2012.
6. Ezeonyejiaku CD, Obiakor MO. TOXICOLOGICAL STUDY OF SINGLE ACTION OF ZINC ON TILAPIA SPECIES (*Oreochromis niloticus*). Journal of Animal and Feed Research. 2011; 1(4):139-143.
7. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Water Quality Guidelines: 1987 – 1997 (2008) – for water quality guidelines developed prior to 1999 [Internet]. 2014. [updated 2008; cited 2019 December 5]. Available from: <https://www.ccme.ca/en/resources/>
8. Kumari B, Kumar V, Sinha AK, Ahsan J, Ghosh AK, Wang H, DeBoeck G. Toxicology of arsenic in fish and aquatic systems. Journal of Environmental Chemistry Letters. 2017; 15: 43-64.
9. Veesommai C, Kiyoki Y, Sillberg P, Soini J, Jaakkola H, Chawakitchareon P. The rSPA Process Realization: The Creation of River Heavy Metal Evaluation Index (rHMEI) by Using Dimensional Subspace of Heavy Metal. Journal of International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies. 2016; 7(3): 189-203.
10. Contaminants in the Mississippi River [Internet]. 1996. [updated 1996 October 1; cited 2019 December 5]. Available from: <https://pubs.usgs.gov/circ/circ1133/heavy-metals.html>
11. Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. Water quality standards in surface water [Internet]. 2019. [updated 2019 October 3; cited 2020 April 26]. Available from: <http://www.pcd.go.th>
12. Sritharoendham B, Boonthongchuay J, Poomikong P. Spatio-Temporal Variations in Fish Community of the Chao Phraya River between 2008 and 2014 [Internet]. 2015. [updated 2020; cited 2020 May 1]. Available from: https://www.fisheries.go.th/technical_group/องค์ความรู้.htm.
13. Tanasomwang V. Status of fishery resources in stagnant waters and some large river bodies [Internet]. 2012. [updated 2020; cited 2020 May 1]. Available from: https://www.fisheries.go.th/technical_group/องค์ความรู้.htm.

ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานของแนวทางคุณภาพน้ำสำหรับการคุ้มครองชีวิตสัตว์น้ำ (Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life) โดย Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQGs)

ค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ	ปริมาณความเข้มข้น (µg/L)
สารหนู (As)	5.00
โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Cr ⁶⁺)	1.00
สังกะสี (Zn)	30.0

Data Output		Explains		Messages													
ID	Station	Time	Latitude	Longitude	Altitude	Speed	Depth	Temp	Salinity	pH	DO	Transmittance	Chlorophyll	Secchi	Water	Time	
Integer	Character string	String	Double	Double	Double	Double	Double	Double	Double	Double	Double	Double	Double	Double	Double	Double	
1	1	2018-11-01	13.389944	100.586289	495.00	0.99	14.99	19990.00	3.89	13.89	890	23.11	1.3	89.89	89.89	89.89	
2	2	2018-11-01	13.39144	100.491467	509.00	0.42	3.82	199.00	3.78	4.45	200	3.38	0.9	49.00	49.00	49.00	
3	3	2018-11-01	13.393783	100.533040	588.00	0.18	3.14	300.00	1.79	3.89	200	3.38	0.89	89.89	89.89	89.89	
4	4	2018-11-01	14.041385	100.524887	538.00	0.30	3.82	50.00	3.80	1.40	200	5.21	0.49	49.00	49.00	49.00	
5	5	2018-11-01	14.188888	100.583787	1338.00	0.88	3.89	80.00	1.83	3.11	880	3.14	1.2	89.89	89.89	89.89	
6	6	2018-11-01	14.580888	100.452290	1995.00	0.52	3.38	60.00	2.85	0.9	200	2.9	0.49	49.00	49.00	49.00	
7	7	2018-11-01	14.888788	100.481780	2179.00	0.98	0.48	170.00	0.27	1.79	270	2.9	1	89.89	89.89	89.89	
8	8	2018-11-01	15.184383	100.522299	1778.00	0.30	3.29	70.00	3.12	1.07	310	2.88	1.1	49.00	49.00	49.00	
9	9	2018-11-13	15.426284	100.533022	0.00	0.47	0.89	90.00	2.40	6.89	325.6	99.99	0	7.6	7.6	7.6	
10	10	2018-11-13	15.580888	100.523285	0.00	0.47	2.89	80.00	0.80	6.89	331.2	99.99	0.49	2.9	2.9	2.9	
11	11	2018-02-10	13.588888	100.584388	0.00	0.55	86.73	1230.00	18.80	18.89	378	33.08	0.9	49.00	49.00	49.00	
12	12	2018-02-10	13.79144	100.491467	0.00	0.19	3.72	60.00	6.57	8.12	210	5.05	0.89	89.89	89.89	89.89	
13	13	2018-02-17	13.941383	100.533080	0.00	0.16	3.80	40.00	4.84	0.7	330	3.52	0.49	49.00	49.00	49.00	
14	14	2018-02-17	14.041385	100.524887	0.00	0.41	3.38	40.00	5.44	0	340	3.08	0.89	89.89	89.89	89.89	
15	15	2018-02-17	14.188888	100.583787	0.00	0.54	3.08	60.00	4.22	1.84	330	5.07	0.49	49.00	49.00	49.00	
16	16	2018-02-19	14.580888	100.452290	0.00	0.78	4.37	90.00	3.43	0	340	4.03	0.9	89.89	89.89	89.89	
17	17	2018-02-19	14.888788	100.481780	0.00	0.72	4.28	140.00	3.00	1.71	270	4.24	0.49	49.00	49.00	49.00	
18	18	2018-02-19	15.184383	100.522299	0.00	0.44	0.79	70.00	3.18	0	310	3.87	0.89	89.89	89.89	89.89	
19	19	2018-05-13	15.426284	100.533022	0.00	0.57	3.89	140.00	1.90	6.89	262.4	99.99	0	1.5	1.5	1.5	
20	20	2018-05-13	15.580888	100.523285	0.00	0.47	3.89	130.00	0.30	6.89	333.8	99.99	0.89	0	0	0	
21	21	2018-05-21	15.580888	100.584388	0.00	0.40	38.30	1280.00	12.87	18.22	380	19.12	0.49	49.00	49.00	49.00	

ภาพที่ 1 ผลการสร้างสถาปัตยกรรมฐานข้อมูล



ภาพที่ 2 แบบจำลองโครงสร้างสถาปัตยกรรมฐานข้อมูล เพื่อการวิเคราะห์และประมวลผล (System Architecture)

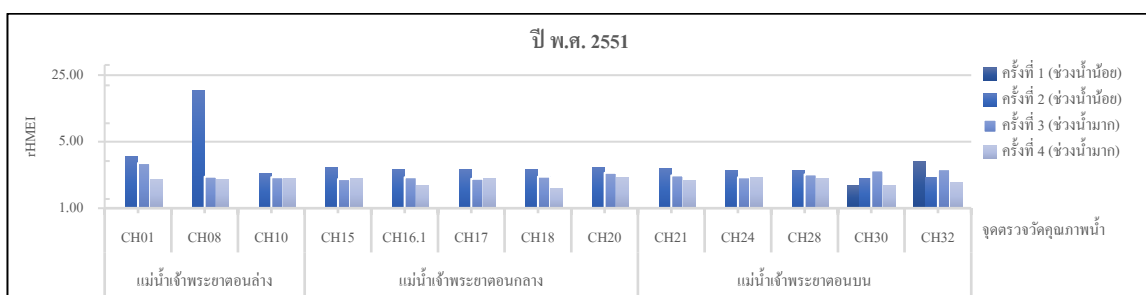


ภาพที่ 3 จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำทั้งหมดในแม่น้ำเจ้าพระยา

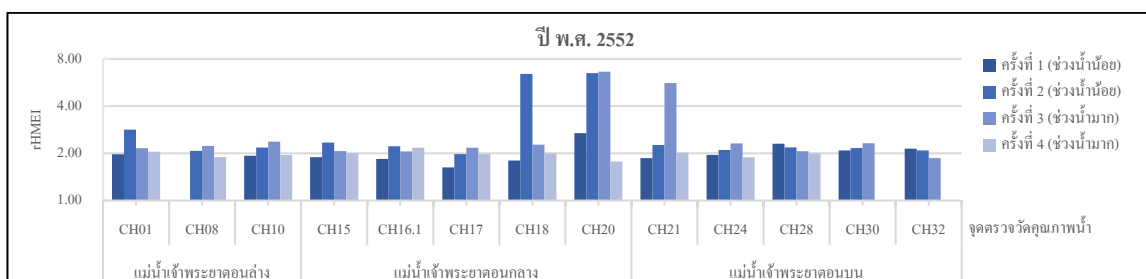
ที่มาของภาพ: โปรแกรม Google Earth

Data Output Explain Messages						
id	station	date	latitude	longitude	definition	
integer	character varying	date	numeric	numeric	character varying	
1	CH01	2018-11-06	13.536568	100.554388	inhibited growth aquatic life and plant	
2	CH18	2018-11-06	13.738144	100.497407	inhibited growth aquatic life and plant	
3	CH15	2018-11-06	13.947362	100.555065	inhibited growth aquatic life and plant	
4	CH16.1	2018-11-06	14.041380	100.554897	inhibited growth aquatic life and plant	
5	CH18	2018-11-06	14.193600	100.553387	inhibited growth aquatic life and plant	
...	...	...	...	...	...	...
402	CH34	2010-02-24	14.898798	100.401780	uninhibited growth aquatic life and plant	
403	CH28	2010-02-25	15.184502	100.122299	uninhibited growth aquatic life and plant	
404	CH30	2010-02-17	15.426384	100.135522	inhibited growth aquatic life and plant	
...	...	...	...	...	...	...
507	CH28	2008-02-28	15.164302	100.122299	uninhibited growth aquatic life and plant	
508	CH30	2008-02-11	15.426384	100.135522	inhibited growth aquatic life and plant	
509	CH32	2008-02-11	15.868069	100.123265	inhibited growth aquatic life and plant	

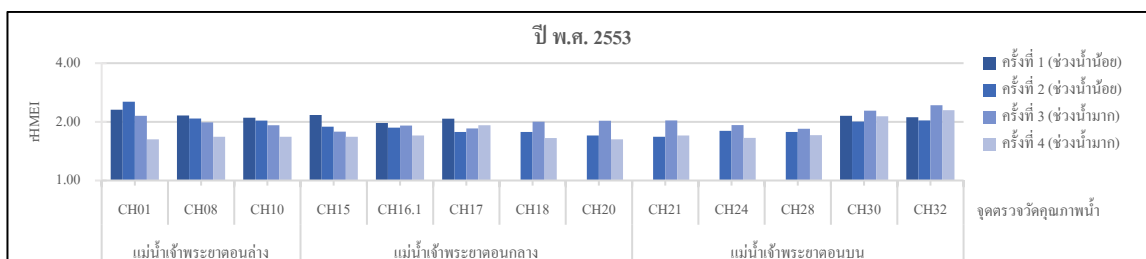
ภาพที่ 4 จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำที่อยู่ในกลุ่มที่สัตว์น้ำและพืชไม่ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต (uninhibited growth aquatic life and plant) และ จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำที่อยู่ในกลุ่มที่สัตว์น้ำและพืชถูกยับยั้งการเจริญเติบโต (inhibited growth aquatic life and plant)



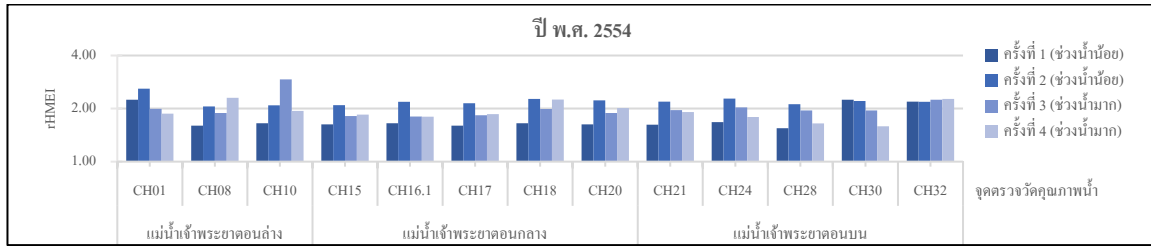
ภาพที่ 5 ผลจากการวิเคราะห์และประมวลผลในปี พ.ศ.2551



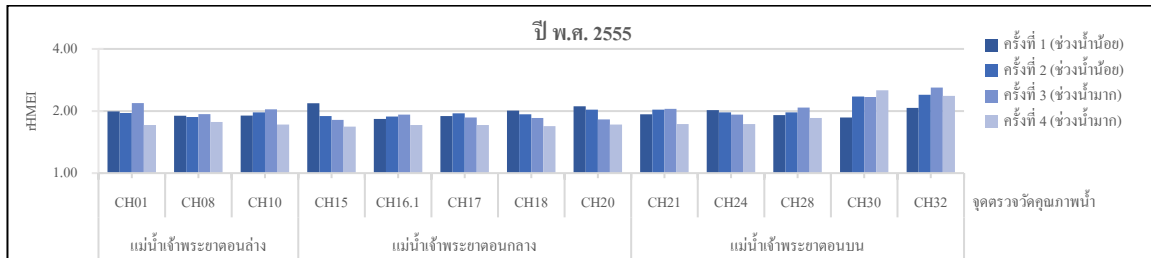
ภาพที่ 6 ผลจากการวิเคราะห์และประมวลผลในปี พ.ศ.2552



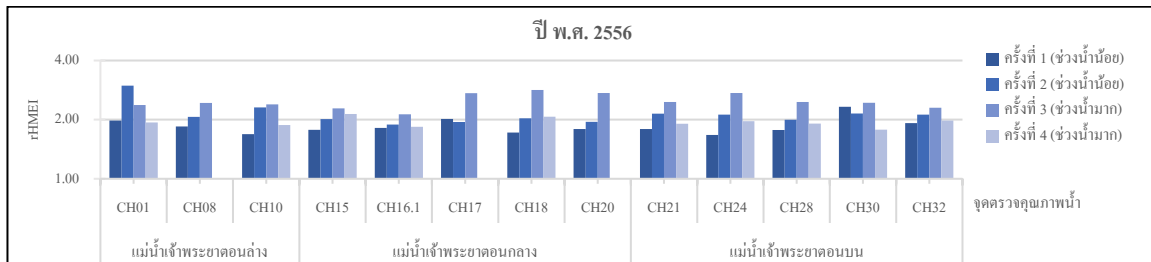
ภาพที่ 7 ผลจากการวิเคราะห์และประมวลผลในปี พ.ศ.2553



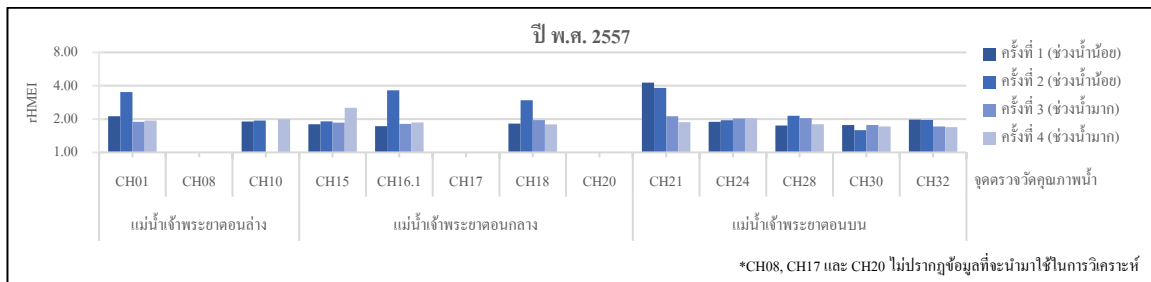
ภาพที่ 8 ผลจากการวิเคราะห์และประมวลผลในปี พ.ศ.2554



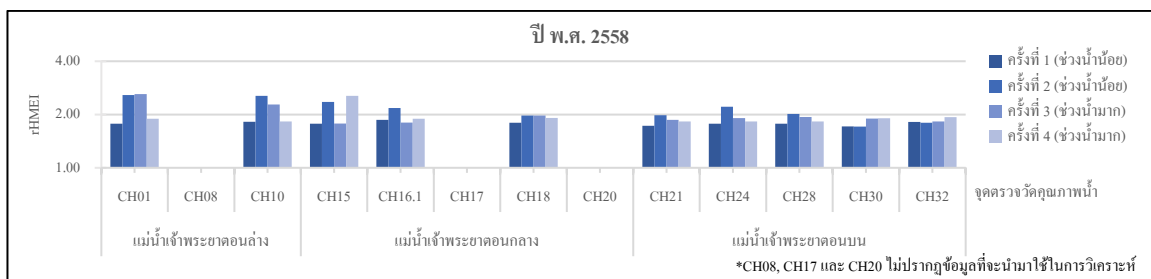
ภาพที่ 9 ผลจากการวิเคราะห์และประมวลผลในปี พ.ศ.2555



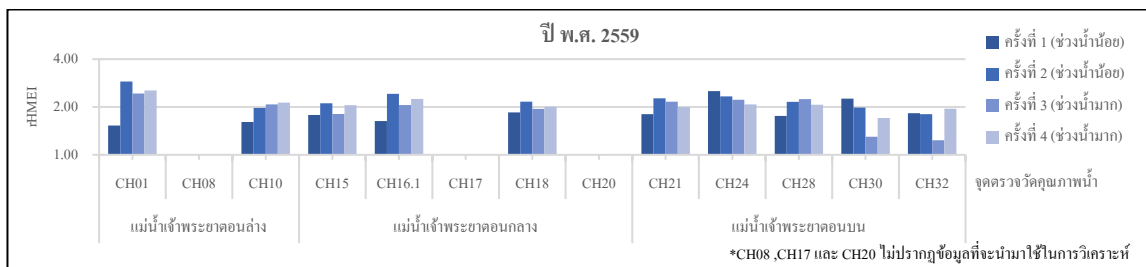
ภาพที่ 10 ผลจากการวิเคราะห์และประมวลผลในปี พ.ศ.2556



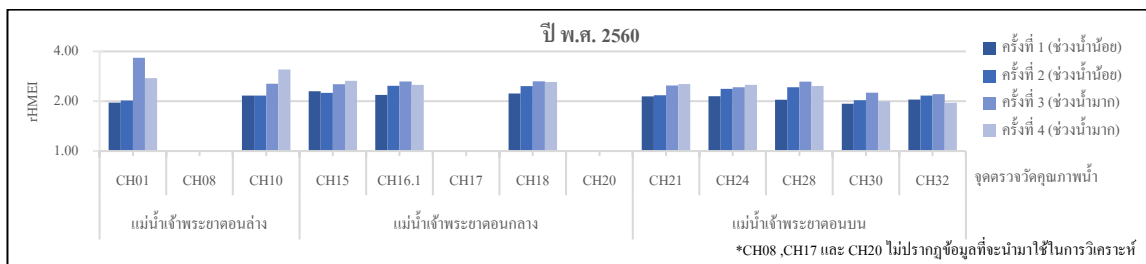
ภาพที่ 11 ผลจากการวิเคราะห์และประมวลผลในปี พ.ศ.2557



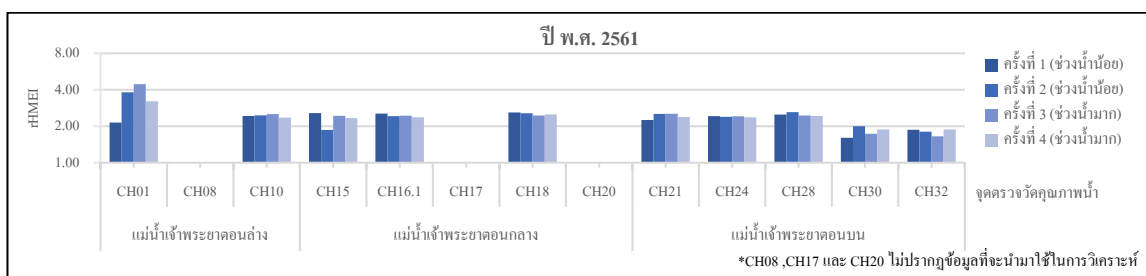
ภาพที่ 12 ผลจากการวิเคราะห์และประมวลผลในปี พ.ศ.2558



ภาพที่ 13 ผลจากการวิเคราะห์และประมวลผลในปี พ.ศ.2559



ภาพที่ 14 ผลจากการวิเคราะห์และประมวลผลในปี พ.ศ.2560



ภาพที่ 15 ผลจากการวิเคราะห์และประมวลผลในปี พ.ศ. 2561



ตารางที่ 2 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์และประมวลที่มากที่สุดที่จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำในช่วงน้ำน้อยและน้ำมากในแต่ละครั้งของแต่ละปี

		ผลจากการวิเคราะห์และประมวลผล										
	ปี จุดตรวจวัดคุณภาพน้ำ	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561
แม่เปิน อำเภอ	ตอนบน	CH32	3.10 ¹		2.43 ³ , 2.30 ⁴		2.40 ² , 2.60 ³					
		CH30				2.52 ⁴	2.32 ¹					
		CH24	2.10 ⁴							2.52 ¹		
		CH21						4.27 ¹ , 3.83 ² , 2.12 ³				
	ตอนกลาง	CH20		2.69 ¹ , 6.50 ² , 6.62 ³								
		CH18					2.83 ³					2.60 ¹
		CH16.1		2.17 ⁴					1.87 ¹		2.48 ²	
		CH15				2.18 ¹	2.14 ⁴	2.53 ⁴	2.55 ⁴		2.30 ¹	
	ตอนล่าง	CH10			2.93 ³						3.11 ⁴	
		CH08	17.2 ²		2.30 ⁴							
		CH01	2.98 ³		2.31 ¹ , 2.54 ²	2.25 ¹ , 2.60 ²	2.98 ²		2.58 ² , 2.61 ³	2.89 ² , 2.43 ³ , 2.54 ⁴	3.66 ³	3.81 ² , 4.45 ³ , 3.21 ⁴
กลุ่ม	1. สัตว์น้ำและพืชถูกยับยั้งการเจริญเติบโต (rHMEI>0.866)	B	-	B	C	C	C	A	C	C	C	C
	2. สัตว์น้ำและพืชไม่ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต (rHMEI<0.866)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3. จัดอยู่ในทั้งกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2	A	C	A	-	-	-	B	-	-	-	-

หมายเหตุ: A = ช่วงน้ำน้อย, ¹ = ช่วงน้ำน้อยครั้งที่ 1, ² = ช่วงน้ำน้อยครั้งที่ 2, B = ช่วงน้ำมาก, ³ = ช่วงน้ำมากครั้งที่ 1, ⁴ = ช่วงน้ำมากครั้งที่ 2, C = ช่วงน้ำมากและช่วงน้ำน้อย