

การศึกษาผลกระทบของค่าความเค็มในน้ำต่อการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน

ดวงฤดี แสงไกร, บุญญรัตน์ ดิษฐสอน, และเพชรพล อินทุเวศ*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000

* Corresponding author: induvesa_p@su.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของค่าความเค็มในน้ำต่อการเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อในระบบผลิตน้ำประปาได้แก่ ไดคลอโรไอโอโดมีเทน (DCIM) โบโรโมคลอโรไอโอโดมีเทน (BCIM) และไตรไอโอโดมีเทน (TIM) เป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพเนื่องจากมีความเป็นพิษเมื่อเทียบกับสารในกลุ่มไตรฮาโลมีเทนอื่น ๆ โดยในการวิเคราะห์นั้นจะใช้น้ำตัวอย่างจากโรงผลิตน้ำประปาในเขตกรุงเทพมหานคร โดยจะนำน้ำมาจากคลองประปา น้ำหลังตกตะกอน น้ำหลังกรอง และน้ำที่จ่ายจากท่อประปาพารามิเตอร์ทั่วไปที่วิเคราะห์คุณภาพน้ำมีดังนี้ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความกระด้าง การนำไฟฟ้า ความเป็นด่าง ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ ความเค็ม สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ปริมาณไอโอไดด์และคลอไรด์ รวมถึงปริมาณคลอรีนคงเหลือ และได้มีการทดสอบศักยภาพการเกิดสารพลอยได้ในน้ำผ่านการเติมโซเดียมคลอไรด์เพื่อศึกษาผลกระทบของความเค็มต่อการเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน โดยการใช้โซเดียมคลอไรด์ในความเข้มข้นที่แตกต่างกันเพื่อทดสอบ ผลการศึกษาพบว่าน้ำดิบจากคลองประปามีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6.6-7.5 ความกระด้างอยู่ในช่วง 60.78-114.9 mg/L การนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 207.50-363.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ความเค็มอยู่ในช่วง 0.10-0.18 ppt ความเป็นด่าง (Alkalinity) 91.18-101.60 mg/L ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 181.33-239.33 mg/L และคลอไรด์อยู่ในช่วง 8.61-29.80 mg/L ซึ่งทุกค่าไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่กำหนด เมื่อนำน้ำดิบผ่านกระบวนการของระบบผลิตน้ำประปา ค่าคุณภาพน้ำมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6.3-7.5 ความกระด้างอยู่ในช่วง 59.74-127.20 mg/L การนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 212.83-358.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ความเค็มอยู่ในช่วง 0.10-0.19 ppt ความเป็นด่าง 12.70-77.89 mg/L ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 102.00-314.67 mg/L และคลอไรด์ 14.50-34.91 mg/L ซึ่งโดยรวมพบว่าหลังผ่านกระบวนการผลิตพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ลดลง ยกเว้นปริมาณคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์สารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคพบว่า โบโรโมคลอโรไอโอโดมีเทน (BCIM) ไม่ถูกตรวจพบในทุกตัวอย่างน้ำ ขณะที่ไดคลอโรไอโอโดมีเทน (DCIM) นั้นพบเฉพาะในน้ำดิบและน้ำหลังตกตะกอนน้ำ นอกจากนี้เมื่อนำพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ไปหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน พบว่า ไอโอไดด์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับไดคลอโรไอโอโดมีเทนและไตรไอโอโดมีเทน โดยเฉพาะเมื่อน้ำมีความเค็มสูง ค่าความเค็มยังมีผลต่อความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่น ๆ เช่น สารอินทรีย์ในน้ำ คลอไรด์ คลอรีนตกค้าง ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการศึกษาจึงชี้ให้เห็นถึงบทบาทของไอโอไดด์และความเค็มที่มีผลต่อการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยควรมีการควบคุมระดับไอโอไดด์ สารอินทรีย์ในน้ำและความเค็มในกระบวนการผลิตให้เหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยงจากการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน

คำสำคัญ: ไอโอไดด์ / ไอโอโดไตรฮาโลมีเทน / ค่าความเค็ม / สารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรค / คุณภาพน้ำประปา

The Impact of Water Salinity on the Formation of Iodo-trihalomethanes in Water Treatment Plant

Duangrudee Saengkrai, Boonyarat Ditasorn, and Phacharapol Induvesa*

Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand.

*Corresponding author: induvesa_p@su.ac.th

Abstract

This study aimed to analyze the impact of water salinity on the formation of iodo-trihalomethanes (I-THMs), a group of disinfection by-products (DBPs) generated during the chlorination process in a public water production system. The target compounds included dichloriodomethane (DCIM), bromochloriodomethane (BCIM), and triiodomethane (TIM), which pose potential health risks due to their higher toxicity compared to other trihalomethanes (THMs). Water samples were collected from a water treatment plant in Bangkok at four stages: raw water from the canal, post-coagulation, post-filtration, and treated water from the distribution system. The water quality parameters analyzed included pH, hardness, electrical conductivity, alkalinity, total dissolved solids (TDS), salinity, organic matter, iodide and chloride concentrations, and residual chlorine. Additionally, experiments were conducted by adding sodium chloride at different concentrations to examine the influence of salinity on I-THM formation. The results indicated that the raw water met surface water quality standards, with pH ranging from 6.6 to 7.5, hardness between 60.78 and 114.9 mg/L, electrical conductivity from 207.50 to 363.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$, salinity between 0.10 and 0.18 ppt, alkalinity ranging from 91.18 to 101.60 mg/L, TDS between 181.33 and 239.33 mg/L, and chloride concentrations from 8.61 to 29.80 mg/L. After treatment, most water quality parameters decreased except for chloride levels, which increased. Specifically, pH ranged from 6.3 to 7.5, hardness from 59.74 to 127.20 mg/L, electrical conductivity between 212.83 and 358.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$, salinity from 0.10 to 0.19 ppt, alkalinity between 12.70 and 77.89 mg/L, TDS ranging from 102.00 to 314.67 mg/L, and chloride levels from 14.50 to 34.91 mg/L. DBP analysis revealed that BCIM was not detected in any water samples, while DCIM was found only in raw and post-coagulation water. Pearson correlation analysis demonstrated a positive correlation between iodide and both DCIM and TIM, particularly at higher salinity levels. Furthermore, salinity influenced I-THM formation through its interaction with organic matter, chloride, and residual chlorine at a significance level of 0.05. These findings highlight the role of iodide and salinity in I-THM formation and emphasize the importance of controlling iodide levels, organic matter, and salinity in water treatment processes to minimize the risks associated with these disinfection by-products.

Keywords: Iodide / Iodo-Trihalomethanes / Salinity / Disinfection Byproducts / Tap water quality

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้ทรัพยากรน้ำบาดาลเกินขีดจำกัดและการรุกรานของน้ำทะเล ส่งผลให้ค่าความเค็มในแหล่งน้ำจืดเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา ค่าความเค็มที่เพิ่มขึ้นมักมาพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของไอออนฮาไลด์ โดยเฉพาะไอโอดีน (I-) และโบรมีน (Br-) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสารฆ่าเชื้อ เช่น คลอรีนและคลอรีนامين นำไปสู่การก่อเกิดสารพลอยได้จากกระบวนการฆ่าเชื้อ (Disinfection By-Products; DBPs) โดยเฉพาะสารกลุ่มไอโอดีนไตรฮาโลมีเทน (Iodinated Trihalomethanes; I-THMs) ได้แก่ ไดคลอโรไอโอดีนไตรฮาโลมีเทน (DCIM) โบรมีนคลอโรไอโอดีนไตรฮาโลมีเทน (BCIM) และไตรไอโอดีนไตรฮาโลมีเทน (TIM) ซึ่งมีความเป็นพิษสูงกว่าไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes; THMs) อื่น ๆ สารในกลุ่ม I-THMs มีความเป็นพิษสูงเนื่องจากมีศักยภาพในการก่อกลายพันธุ์ (mutagenicity) และก่อมะเร็ง (carcinogenicity) สูงกว่า THMs ทั่วไป นอกจากนี้ ยังสามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบประสาท (neurotoxicity) และมีผลกระทบต่อระบบต่อมไร้ท่อ (endocrine disruption) ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของค่าความเค็มในน้ำดิบจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องได้รับการพิจารณาในการบริหารจัดการคุณภาพน้ำประปา การเลือกใช้สารฆ่าเชื้อที่เหมาะสม เพื่อลดการเกิดสารพิษกลุ่ม I-THMs และป้องกันผลกระทบด้านสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นกับประชากร จึงได้เริ่มดำเนินงานวิจัยนี้ขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบการเกิดสารพลอยได้จากกลุ่ม I-THMs ในระบบผลิตน้ำประปาและหาแนวทางการป้องกันค่าความเค็มในน้ำที่จะเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำประปา เพื่อการผลิตน้ำประปาที่มีคุณภาพสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนด้านที่ 6 เพื่อให้มีน้ำเพื่อใช้ประโยชน์และมีการจัดการน้ำและสุขภาพอย่างยั่งยืนสำหรับทุกคน

2. วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์ผลกระทบของค่าความเค็มในน้ำต่อการเกิดสารพลอยได้จากกลุ่มไอโอดีนไตรฮาโลมีเทน ซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อในระบบผลิตน้ำประปา โดยมุ่งเน้นไปที่สาร ไดคลอโรไอโอดีนไตรฮาโลมีเทน (DCIM), โบรมีนคลอโรไอโอดีนไตรฮาโลมีเทน (BCIM) และไตรไอโอดีนไตรฮาโลมีเทน (TIM)

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาการเกิดสารพลอยได้จากกระบวนการฆ่าเชื้อโรคในน้ำตัวอย่างจาก 1) น้ำดิบ (Raw water) 2) น้ำตัวอย่างหลังตกตะกอน (Coagulation-Flocculation Sedimentation) 3) น้ำหลังกรองผ่านถังกรองทราย (Sand filtration) 4) น้ำที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Tap water)

2. ศึกษาสารพลอยได้ในกลุ่มไอโอดีนไตรฮาโลมีเทน (Iodo-trihalomethanes; I-THMs) จากการฆ่าเชื้อโรคในแต่ละขั้นตอน และศึกษาผลกระทบในการเกิดสารพลอยได้ที่เกิดขึ้นจากการฆ่าเชื้อโรค (Formation potential)

4. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของค่าความเค็มในน้ำต่อการเกิดสารพลอยได้จากกลุ่มไอโอดีนไตรฮาโลมีเทน โดยมีรายละเอียด

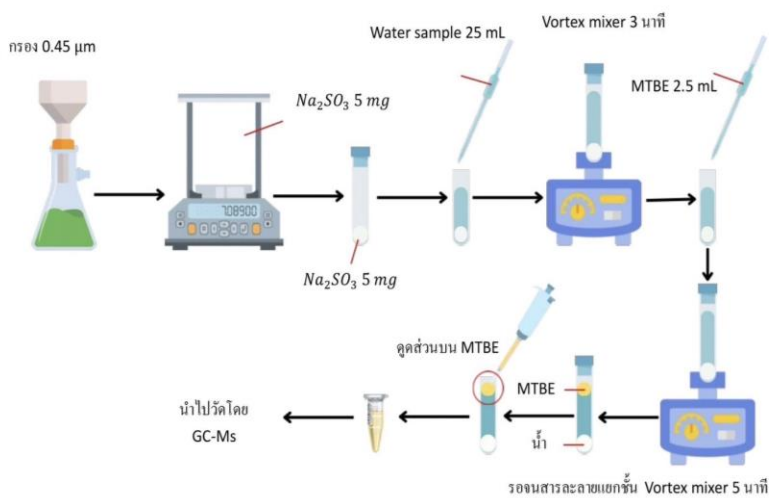
4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำทั่วไป ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำทั่วไป

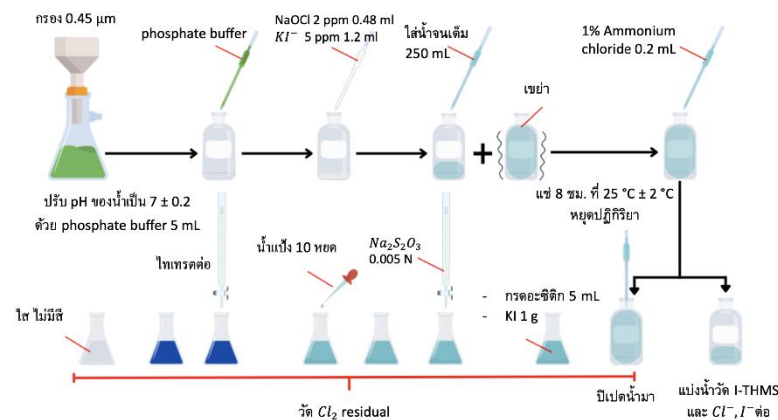
พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH meter
ความกระด้าง (Hardness)	EDTA titrimetric
การนำไฟฟ้า (Conductivity)	EC meter
ความเค็ม (Salinity)	Salinity Meter
ความเป็นด่าง (Alkalinity)	Indicator titration
ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (Total Dissolved Solid; TDS)	การทำให้แห้งที่ 180 °C
สารอินทรีย์ละลายน้ำ - สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ - การตรวจวัดการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 254 nm	- เครื่อง TOC Analyzer - เครื่อง UV-Spectrophotometer
ไอโอไดด์ (Iodide)	Ion Chromatography
คลอไรด์ (Chloride)	Ion Chromatography
คลอรีนคงเหลือ (Chlorine residual)	Iodometric Titration

2. วิธีการวิเคราะห์การเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน (Iodotrihalomethanes; I-THMs) จะทำการวิเคราะห์สาร 3 ชนิด ได้แก่ ไดคลอโรไอโอโดมีเทน (DCIM) โบโรโมคลอโรไอโอโดมีเทน (BCIM) และไตรไอโอโดมีเทน (TIM) โดยใช้วิธีการสกัดด้วยสารละลาย (Liquid-Liquid Extraction; GC) คือ การนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C และนำมากรองต่อด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 μm จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการกรอง 25 ml มาใส่ในขวดฝาเกลียวที่มี Na_2SO_3 5 mg ผสมให้เข้ากัน แล้วจึงเติม MTBE 2.5 ml ก่อนจะนำไปผสมที่ Vortex Mixer เป็นเวลา 5 นาที และปิเปตสาร MTBE ที่อยู่ด้านบนสารละลายใส่ขวด Viral ตรวจวัดด้วยเครื่อง Gas-chromatography Mass ดังรูปที่ 1



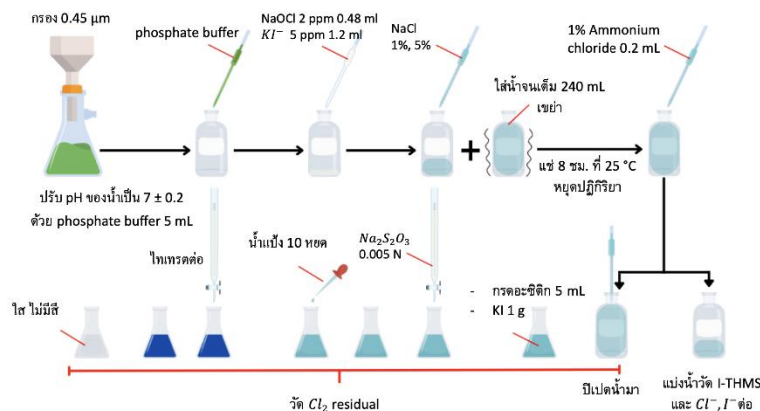
รูปที่ 1 ขั้นตอนการสกัดไอโอโดไตรฮาโลมีเทน (Iodotrihalomethanes; I-THMs)

3. วิธีการศึกษาศักยภาพการเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคกลุ่มไอโอดोटราฮาโลมีเทน (Formation potential of I-THMs with Iodide) ทำโดยการนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C และกระดาษกรองขนาด $0.45\ \mu\text{m}$ นำ Phosphate buffer 5 ml ใส่ในขวดปริมาตร 250 ml เติมสารละลายไฮโปคลอไรท์ 0.48 ml และสารละลายโพตัสเซียมไอโอดด์ 1.2 ml จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการกรองแล้วใส่ในขวดปริมาตร 250 ml ให้เต็มขวดแล้วจึงนำไปบ่มที่อุณหภูมิ $25 \pm 2\ ^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วนำน้ำมาเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 2 ml ก่อนนำไปสกัดด้วยสารละลาย (Liquid-Liquid Extraction; GC) และแบ่งน้ำที่บ่มแล้วไปวิเคราะห์ปริมาณคลอรีนคงเหลือ ค่าไอโอดด์ และค่าคลอไรด์ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำ Formation potential of I-THMs with iodide

4. วิธีการศึกษาผลกระทบของความเค็มต่อการเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคกลุ่มไอโอดोटราฮาโลมีเทน (Formation potential of I-THMs with Iodide and Salinity) ทำโดยการนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C และกระดาษกรองขนาด $0.45\ \mu\text{m}$ นำ Phosphate buffer 5 ml ใส่ในขวดปริมาตร 250 ml เติมสารละลายไฮโปคลอไรท์ 0.48 ml และสารละลายโพตัสเซียมไอโอดด์ 1.2 ml จากนั้นเติมโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1% และ 5% แล้วจึงนำน้ำที่ผ่านการกรองแล้วใส่ในขวดปริมาตร 250 ml ให้เต็มขวดแล้วจึงนำไปบ่มที่อุณหภูมิ $25 \pm 2\ ^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วนำน้ำมาเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 2 ml ก่อนนำไปสกัดด้วยสารละลาย (Liquid-Liquid Extraction; GC) และแบ่งน้ำที่บ่มแล้วไปวิเคราะห์ปริมาณคลอรีนคงเหลือ ค่าไอโอดด์ และค่าคลอไรด์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำ Formation potential of I-THMs with Iodide and Salinity

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

1. วิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำทั่วไปด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย
2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค็มกับการเกิดสารฟลอยด์กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน รวมถึง ความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสารกลุ่มนี้ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทั่วไปของน้ำก่อนและหลังเข้ากระบวนการผลิตน้ำประปา

จากการศึกษาการเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 4 จุด โดยจะเก็บตัวอย่างจำนวน 1 ตัวอย่างในแต่ละจุดและเก็บจุดละ 6-7 L การเก็บตัวอย่างน้ำดำเนินการตั้งแต่ช่วงเดือนมิถุนายน 2567 ถึงเดือนธันวาคม 2567 รวมทั้งหมด 4 ครั้ง ทั้งนี้ ตัวอย่างน้ำ แต่ละจุดจะถูกวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแต่ละพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ โดยการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำดิบจากคลองประปามีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6.6-7.5 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่กำหนดไว้ที่ 5.0-9.0 [1] เช่นเดียวกับน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตน้ำประปาที่มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.3-7.5 แสดงให้เห็นว่าน้ำยังคงมีสภาพเป็นกลางทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการผลิต ค่าความกระด้างของน้ำดิบอยู่ระหว่าง 60.78-114.9 mg/L และหลังจากผ่านกระบวนการผลิตพบว่ามีความกระด้างอยู่ระหว่าง 59.74-127.20 mg/L ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันมากนัก สำหรับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำดิบอยู่ในช่วง 207.50-363.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และหลังผ่านกระบวนการผลิตอยู่ในช่วง 212.83-358.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ แสดงให้เห็นว่าค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการตกตะกอนและการกรองที่สามารถลดปริมาณไอออนบางชนิดในน้ำได้ อย่างไรก็ตาม ค่าความเค็มของน้ำดิบอยู่ในช่วง 0.10-0.18 ppt และหลังผ่านกระบวนการผลิตอยู่ในช่วง 0.10-0.19 ppt ซึ่งมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน สะท้อนให้เห็นว่ากระบวนการผลิตน้ำประปาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มของน้ำมากนัก ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ของน้ำดิบอยู่ในช่วง 91.18-101.60 mg/L และหลังผ่านกระบวนการผลิตอยู่ในช่วง 12.70-77.89 mg/L ซึ่งค่าความเป็นด่างนี้มีบทบาทสำคัญต่อการรักษาค่า pH ในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยช่วยควบคุมสมดุลกรด-ด่างและป้องกันการกัดกร่อนของท่อส่งน้ำ ค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS) ในตัวอย่างน้ำดิบอยู่ระหว่าง 181.33-239.33 mg/L และในน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตอยู่ในช่วง 102.00-314.67 mg/L สะท้อนให้เห็นว่ากระบวนการผลิตน้ำสามารถลดค่าของแข็งที่ละลายน้ำบางส่วนได้ แต่ในช่วงเวลาอาจมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับคุณภาพของน้ำดิบและประสิทธิภาพของระบบกรอง สำหรับค่าคลอไรด์ในน้ำดิบอยู่ระหว่าง 8.61-29.80 mg/L และในน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 14.50-34.91 mg/L ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าคลอไรด์นี้อาจมีสาเหตุมาจากการเติมสารฆ่าเชื้อโรค เช่น คลอรีน ในกระบวนการผลิตน้ำประปา อย่างไรก็ตาม ค่าคลอไรด์ที่พบยังอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยและไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ ทั้งนี้ จากการตรวจวิเคราะห์พบว่าไม่มีการตรวจพบไอโอไดด์ในน้ำทั้งก่อนและหลังกระบวนการผลิต โดยทุกพารามิเตอร์ที่กล่าวมาทั้งการตรวจวิเคราะห์น้ำดิบจากคลองประปาและน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตน้ำประปาแล้วนั้นไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน [1] และมาตรฐานคุณภาพน้ำประปา [2]

5.2 ผลการศึกษามลกระทบของความเค็มต่อการเกิดสารฟลอยด์จากการฆ่าเชื้อกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน

ผลการศึกษาพบว่าสารฟลอยด์เกิดจากการฆ่าเชื้อโรคของกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนก่อนทำปฏิกิริยานั้นไม่พบไตรโคลโรไอโอโดมีเทน (DCIM) โบโรโมคลอโรไอโอโดมีเทน (BCIM) และไตรไอโอโดมีเทน (TIM) ในทุกจุดเก็บตัวอย่างน้ำ แต่หลังการทำปฏิกิริยา พบว่ามีสารไตรโคลโรไอโอโดมีเทน (DCIM) และไตรไอโอโดมีเทน (TIM) เกิดขึ้นในทุกจุดเก็บตัวอย่างน้ำ โดยไม่พบโบโรโมคลอโรไอโอโดมีเทน (BCIM) อีกทั้งค่าไอโอไดด์และคลอไรด์ในน้ำหลังทำปฏิกิริยานั้นมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกจุดเก็บตัวอย่างน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าไอโอไดด์ และคลอไรด์ของน้ำทุกจุดเก็บตัวอย่างน้ำก่อนทำปฏิกิริยา และเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของความเค็มต่อการเกิดสารฟลอยด์จากการฆ่าเชื้อโรคกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนได้มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 1% และ 5% โดยใช้การวิเคราะห์สถิติค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient) โดยกำหนดสมมติฐานทางสถิติ คือ H_0 : ค่าพารามิเตอร์ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน และ H_1 : ค่าพารามิเตอร์มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation

Coefficient) ระหว่างค่าไอโอดีน ค่าคลอไรด์ และค่าไอโอดิโดไตรฮาโลมีเทน (I-THMs) มีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันไปตามระดับความเค็ม ดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์สหพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าไอโอดีน และ ค่าไอโอดิโดไตรฮาโลมีเทน (I-THMs) ในความเค็มที่ต่างกัน

Formation potential of I-THMs with Iodide and NaCl 1%			
parameter	จุดเก็บตัวอย่าง	P-value	Pearson Correlation Coefficient
Iodide - DCIM	1	.380	0.3795
	2	.369	0.6306
	3	.726	0.2744
	4	ND	ND
Iodide - TIM	1	.903	0.0974
	2	.694	0.3062
	3	.602	0.3982
	4	.561	0.4390
Formation potential of I-THMs with Iodide and NaCl 5%			
parameter	จุดเก็บตัวอย่าง	P-value	Pearson Correlation Coefficient
Iodide - DCIM	1	.352	0.6480
	2	.353	0.6469
	3	.728	-0.2717
	4	ND	ND
Iodide - TIM	1	.238	0.7625
	2	.020*	0.9804
	3	.042*	0.9581
	4	.065	0.9346

หมายเหตุ : * มีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ND = Not detected (ตรวจไม่พบสารกลุ่มไอโอดิโดไตรฮาโลมีเทน จึงไม่สามารถวิเคราะห์ทางสถิติได้)

จุดเก็บตัวอย่าง 1 หมายถึง น้ำดิบ

จุดเก็บตัวอย่าง 2 หมายถึง น้ำหลังตกตะกอน

จุดเก็บตัวอย่าง 3 หมายถึง น้ำหลังทรายกรอง

จุดเก็บตัวอย่าง 4 หมายถึง น้ำประปา

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าคลอไรด์ และ ค่าไอโอโดไตรฮาโลมีเทน (I-THMs) ในความเค็มที่แตกต่างกัน

Formation potential of I-THMs with Iodide and NaCl 1%			
parameter	จุดเก็บตัวอย่าง	P-value	Pearson Correlation Coefficient
Chloride - DCIM	1	.291	0.7087
	2	.310	0.6904
	3	ND	ND
	4	ND	ND
Chloride - TIM	1	.556	0.4440
	2	.289	0.7110
	3	.269	0.7307
	4	.195	0.8053
Formation potential of I-THMs with Iodide and NaCl 5%			
parameter	จุดเก็บตัวอย่าง	P-value	Pearson Correlation Coefficient
Chloride - DCIM	1	.033*	0.9672
	2	.019*	0.9807
	3	ND	ND
	4	ND	ND
Chloride - TIM	1	.902	-0.0985
	2	.488	0.5120
	3	.662	0.3378
	4	.938	0.0619

หมายเหตุ : * มีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ND = Not detected (ตรวจไม่พบสารกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน จึงไม่สามารถวิเคราะห์ทางสถิติได้)

จุดเก็บตัวอย่าง 1 หมายถึง น้ำดิบ

จุดเก็บตัวอย่าง 2 หมายถึง น้ำหลังตกตะกอน

จุดเก็บตัวอย่าง 3 หมายถึง น้ำหลังทรายกรอง

จุดเก็บตัวอย่าง 4 หมายถึง น้ำประปา

จากตารางที่ 5.1 พบว่าในจุดที่ 2 ที่มีการเติม NaCl ที่ความเข้มข้น 5% นั้นค่าไอโอไดต์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าไตรไอโอโดมีเทนที่เป็นสารในกลุ่มสารไอโอโดไตรฮาโลมีเทนอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ เมื่อค่าไอโอไดต์เพิ่มขึ้น ค่าไตรไอโอโดมีเทนก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน [3] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความเค็มสูงขึ้นจะส่งผลต่อการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนในลักษณะเดียวกันกับจุดที่ 3 ที่เติม NaCl ที่ความเข้มข้น 5% ก็แสดงผลพลอยในทิศทางเดียวกันกับในจุดที่ 2 สำหรับในตารางที่ 5.2 เมื่อนำค่าคลอไรด์กับค่าไอโอโดไตรฮาโลมีเทนในความเค็มที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันนั้นจะเห็นว่าในจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ที่มีการเติม NaCl ที่ความเข้มข้น 5% นั้นมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางบวกอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่าคลอไรด์นั้นมีความสัมพันธ์กับค่าไตรไอโอโดมีเทนที่เป็นสารในกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน นอกจากนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น

ค่าคลอรีนคงเหลือและค่าคลอไรด์นั้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าคลอไรด์ กล่าวคือ เมื่อค่าคลอไรด์เพิ่มขึ้น ค่าคลอรีนคงเหลือหลังทำปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากคลอรีนละลายน้ำเกิดเป็นคลอไรต์ไอออน [4] อย่างไรก็ตาม ค่าคลอรีนคงเหลือมีความสัมพันธ์เชิงลบกับไอโอดีน หมายความว่า หากไอโอดีนเพิ่มขึ้น ค่าคลอรีนคงเหลือจะลดลง เนื่องจากคลอรีนทำปฏิกิริยากับไอโอดีนจนเกิดกรดไฮโปไอโอดัส (HOI) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาสารอินทรีย์ในน้ำและก่อให้เกิดสารพลอยไดในกลุ่มไอโอดีน (I-DBPs) โดยหนึ่งในนั้นคือสารกลุ่มไอโอดีนไตรฮาโลมีเทน [5] และจากผลการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าบทบาทของไอโอดีนและความเค็มนั้นมีผลต่อการเกิดสารพลอยไดกลุ่มไอโอดีนไตรฮาโลมีเทนในกระบวนการผลิตน้ำประปา ความเค็มยังส่งผลต่อพารามิเตอร์อื่น ๆ ทำให้เกิดสารพลอยไดกลุ่มไอโอดีนไตรฮาโลมีเทนได้อีกด้วย โดยควรมีการควบคุมระดับไอโอดีน สารอินทรีย์ในน้ำและความเค็มในกระบวนการผลิตให้เหมาะสม อีกทั้งการใช้สารฆ่าเชื้อควรมีการใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยงจากการเกิดสารพลอยไดกลุ่มไอโอดีนไตรฮาโลมีเทน

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ผลกระทบของค่าความเค็มในน้ำต่อการเกิดสารพลอยไดกลุ่มไอโอดีนไตรฮาโลมีเทน (I-THMs) ซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการฆ่าเชื้อในระบบผลิตน้ำประปา โดยเฉพาะไดคลอโรไอโอดีน (DCIM), โบโรโมคลอโรไอโอดีน (BCIM) และไตรไอโอดีน (TIM) ซึ่งมีความเป็นพิษสูง ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำทั่วไปพบว่า ค่าน้ำดิบจากคลองประปามีค่า pH อยู่ในช่วง 6.6-7.5 ความกระด้าง 60.78-114.9 mg/l การนำไฟฟ้า 207.50-363.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และความเค็ม 0.10-0.18 ppt ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน เมื่อผ่านกระบวนการผลิตน้ำประปา ค่าคุณภาพน้ำส่วนใหญ่จะลดลง ยกเว้นปริมาณคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ผลกระทบของความเค็มต่อการเกิดสารพลอยไดในกลุ่ม I-THMs โดยใช้ Pearson Correlation Coefficient พบว่า ค่าความเค็มในน้ำมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการเกิดสารพลอยไดกลุ่มนี้ โดยเมื่อเพิ่มความเค็มด้วยโซเดียมคลอไรด์ในความเข้มข้น 1% และ 5% พบว่าปริมาณของ DCIM และ TIM ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม I-THMs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเค็มที่สูงขึ้น โดยเฉพาะที่ความเค็มสูงสุดที่ทดสอบ (NaCl 5%) พบความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญระหว่างไอโอดีนกับ TIM และระหว่างคลอไรด์กับ DCIM จากการศึกษาจึงสรุปได้ว่า ค่าความเค็มและระดับไอโอดีนในน้ำมีอิทธิพลต่อการเกิดสารพลอยไดกลุ่มไอโอดีนไตรฮาโลมีเทนในกระบวนการผลิตน้ำประปา หากค่าความเค็มในน้ำสูงเกินไป อาจส่งผลให้เกิดสารพิษที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ ดังนั้น ควรมีการควบคุมความเค็มในน้ำ ลดระดับไอโอดีน และควบคุมการใช้สารฆ่าเชื้อให้เหมาะสมเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดสารกลุ่ม I-THMs ที่เป็นอันตราย และในการบริหารจัดการคุณภาพน้ำในอนาคตควรคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะการรุกคืบของน้ำทะเลที่อาจทำให้ค่าความเค็มในแหล่งน้ำจืดเพิ่มขึ้น หากไม่มีการควบคุมที่ดี อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อคุณภาพน้ำประปาและสุขภาพของผู้ใช้น้ำได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. (2537). ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (2537) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. <https://www.pcd.go.th/laws/4168/>
- [2] การประปานครหลวง. (2565). ประกาศการประปานครหลวง เรื่อง เกณฑ์กำหนดคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง <https://www.mwa.co.th/wp-content/uploads/2022/12เกณฑ์กำหนดน้ำประปาการประปานครหลวง-พ.ศ.2565.pdf>
- [3] Liang, L., Singer, P. C., Zhai, H., Zhang, X., Zhu, X., Liu, J., & Ji, M. (2022). Effect of seawater intrusion on the formation of disinfection by-products in drinking water. *Science of The Total Environment*, 827, 154398. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154398>
- [4] อธิวิทย์ ภูผา และคณะ. (2548). ปัญหาคลอรีน คลอไรด์ ในน้ำประปาที่ใช้ในอุตสาหกรรมและแนวทางการแก้ไข <https://www.welkinchemi.com/content/19565/chlorine-effect-solution>
- [5] Huiyu Dong et al. (2019). Formation of Iodinated Disinfection Byproducts (I-DBPs) in Drinking Water: Emerging Concerns and Current Issues. (pp. 896-905) <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.accounts.8b00641>