

บทความวิชาการ (Review Article)

การควบคุมการเกิดกรดฮาโลอะซีติกจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยสารคลอรีนของระบบผลิตน้ำประปา  
The controlling of haloacetic acid formation during disinfection using chlorine in  
water supply system

พงศ์ธร แสงชูติ\*

สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Phongthon Saengchut\*

Occupational Health and Safety Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

\*Corresponding author, E-mail: Phongthon.s@ubu.ac.th

Received: January 10, 2024 / Revised: February 17, 2024/ Accepted: February 23, 2024

บทคัดย่อ

การศึกษาโดยการรวบรวมข้อมูลจากบทความทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกรดฮาโลอะซีติกเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการปรับปรุงและการพัฒนาระบบผลิตน้ำประปาให้ดีขึ้น กรดฮาโลอะซีติกเป็นสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมี ระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบกับสารคลอรีนที่ใช้ฆ่าเชื้อโรค ซึ่งความเข้มข้นของการเกิดกรดฮาโลอะซีติกอาศัย 5 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ ความเข้มข้นของสารคลอรีน อุณหภูมิ พีเอช และระยะเวลาสัมผัส โดยกรดฮาโลอะซีติกมีศักยภาพสามารถก่อมะเร็งในมนุษย์ สามารถเข้าสู่ร่างกายจากการดื่ม-กิน การซึมผ่านผิวหนัง และการหายใจ นอกจากนี้กรดฮาโลอะซีติกสามารถคงค้างในสิ่งแวดล้อมได้นานกว่า 63 วัน ซึ่งทำให้เกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหารได้ ดังนั้นต้องมีการควบคุม 5 ปัจจัยหลักให้เหมาะสม หรือใช้เทคโนโลยีในการกำจัดกรดฮาโลอะซีติกโดยตรง เช่น การใช้เมมเบรนที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงถึงร้อยละ 90-100

**คำสำคัญ:** กรดฮาโลอะซีติก การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน น้ำประปา

Abstract

The study was collected data from academic articles and research about haloacetic acids (HAAs) for the improvement and development of water supply systems. The haloacetic acids were disinfection by-product formation from chemical reaction between natural organic matter with chlorine. Haloacetic acids concentration depends on 5 factors such as concentration of natural organic matter, concentration of chlorine, temperature, pH, and contact times. Haloacetic acids have potentially cause cancer in human, ingestion exposure dermal exposure and inhalation exposure. Additionally, haloacetic acid can remain in the environment for more than 63 days, causing them to accumulate in the food chain. As a result, five parameters must be under control in order to remove haloacetic acids appropriately, or technology can be used to direct removal with an efficiency of 90%–100% using the membrane.

**Keywords:** Haloacetic acids (HAAs), Chlorine disinfection, Water supply

## บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด มนุษย์ใช้น้ำในหลายด้าน เช่น ด้านครัวเรือน ด้านการเกษตร และด้านอุตสาหกรรม โดยน้ำที่สะอาดต้องปราศจากสิ่งปนเปื้อนทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ซึ่งการทำน้ำให้สะอาดในปัจจุบันนิยมใช้กระบวนการสร้างและรวมตะกอน รวมทั้งใช้สารคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค เรียกว่า ระบบผลิตน้ำประปา แต่การใช้สารเคมีในการฆ่าเชื้อโรคทำให้เกิดสารไม่พึงประสงค์หลายชนิด เรียกว่า สารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรค

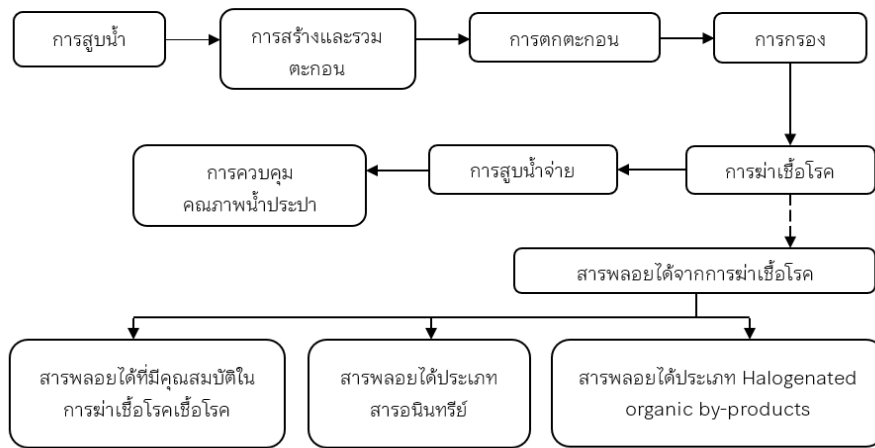
สารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคในน้ำมากกว่า 600 กลุ่ม (Tsitsifli et al., 2018) เกิดขึ้นด้วยปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ และสารอินทรีย์ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Cheema et al., 2017) กับสารคลอรีน โดยกลุ่มของสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคที่เกิดมีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ ความเข้มข้นของสารคลอรีน อุณหภูมิ พีเอช และระยะเวลาสัมผัส ทั้งนี้สารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคจัดเป็น 1 ใน 10 ของสารอันตรายที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงทางสุขภาพ ซึ่งมีศักยภาพสามารถก่อมะเร็งในมนุษย์ เช่น ดับ ไต ระบบน้ำเหลือง (Nikolaou et al., 2004) และกลุ่มที่พบบ่อยมากที่สุดคือ สารไตรฮาโลมีเทน แต่ความเข้มข้นที่พบน้อยกว่าร้อยละ 50 ของกรดฮาโลอะซีติก ทั้งที่กรดฮาโลอะซีติกพบรองลงมา จากการศึกษาของ Saengchut et al. (2018) จังหวัดนครราชสีมาพบความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซีติกในน้ำประปามากกว่า 100 ไมโครกรัมต่อลิตร และการศึกษาของ Palumbo et al. (2018) ประเทศบราซิลพบความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซีติกในน้ำประปาช่วงระหว่าง 94-170 ไมโครกรัมต่อลิตร

ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกัน และควบคุมคุณภาพน้ำประปาให้ปราศจากสิ่งเจือปนที่สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ผู้เขียนได้รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกรดฮาโลอะซีติกโดยจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

## ระบบผลิตน้ำประปา

น้ำประปาจากแหล่งน้ำดิบผิวดินมีขั้นตอนกระบวนการผลิต (ประพัฒน์ เป็นตามวา, 2555) ดังแสดงในภาพที่ 1 และมีรายละเอียดดังนี้

- การสูบน้ำ การสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต
- การสร้างและรวมตะกอน การทำให้อนุภาคแขวนลอยรวมทั้งสารอินทรีย์ธรรมชาติสูญเสียเสถียรภาพและจับตัวกับสารสร้างตะกอน เช่น สารส้ม เป็นเม็ดตะกอนและรวมตัวจนเป็นตะกอนที่โตพอจะถูกกำจัดออกจากน้ำได้ง่าย
- การตกตะกอน น้ำที่ผ่านกระบวนการสร้างและรวมตะกอนแล้วเข้าสู่ถังตกตะกอนทำให้ตะกอนตกลงสู่ก้นถังและถูกดูดทิ้ง
- การกรอง กรองตะกอนที่ยังเหลืออยู่ในน้ำ โดยถังกรองใช้ตัวกลางต่าง ๆ เช่น ทราย ถ่านแอนทราไซต์
- การฆ่าเชื้อโรค สร้างความมั่นใจต่อผู้ใช้น้ำว่าไม่มีเชื้อโรคหลงเหลืออยู่ด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อโรค ซึ่งการใช้กระบวนการฆ่าเชื้อโรคขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานสามารถพิจารณาได้ดังแสดงในตารางที่ 1 (Tsitsifli et al., 2018; WHO, 2006)
- การควบคุมคุณภาพน้ำประปา การตรวจสอบคุณภาพเพื่อให้ได้น้ำประปาที่ปลอดภัยสำหรับการอุปโภคบริโภค โดยต้องอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด
- การสูบน้ำจ่าย เก็บในถังน้ำใส และหอถังสูง เพื่อทำให้เกิดแรงดันน้ำในการจ่ายน้ำให้บริการไปตามเส้นท่อถึงบ้านผู้อุปโภคและผู้บริโภค



ภาพที่ 1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตน้ำประปา

ตารางที่ 1 กระบวนการฆ่าเชื้อโรค

การฆ่าเชื้อโรค	ข้อดี	ข้อเสีย
สารคลอรีน	ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคสูง และคงค้างในน้ำได้ดี	เกิดสารพลอยได้ และคงค้างในน้ำได้ต่ำเมื่ออยู่ในน้ำเวลานาน
สารคลอรามีน	คงค้างในน้ำได้นาน เกิดกลิ่นและรสชาติน้อย	ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคต่ำ
ก๊าซคลอรีน	ประสิทธิภาพสูงกว่าสารคลอรีนที่พีเอชสูง และเกิดสารพลอยได้น้อยกว่า	เกิดสารพลอยได้โดยมีสารตั้งต้นเป็นสารอินทรีย์
โอโซน	ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคได้ดี	ไม่มีการคงค้างในน้ำ
รังสียูวี	ไม่เกิดสารพลอยได้	ประสิทธิภาพต่ำกว่าสารคลอรีน และไม่คงค้างในน้ำ

### กรดฮาโลอะซีติก

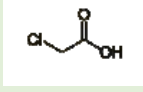
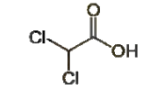
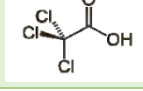
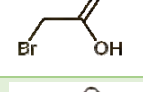
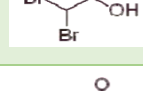
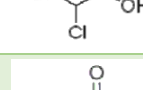
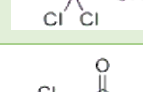
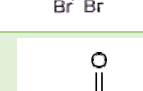
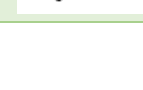
กรดฮาโลอะซีติก คือ สารพลอยได้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฆ่าเชื้อโรคในระบบผลิตน้ำประปา ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม Halogenated organic by-products โดยเป็นสารตกค้างที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำกับสารคลอรีน

**1. การเกิดกรดฮาโลอะซีติก** สารพลอยได้ที่มีศักยภาพก่อมะเร็งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีของสารฆ่าเชื้อโรคของกระบวนการผลิตน้ำประปาในปัจจุบันนิยมใช้สารคลอรีนเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการฆ่าเชื้อโรค และสามารถคงค้างในน้ำได้นาน โดยสารคลอรีนอิสระในรูป HOCl และ OCl<sup>-</sup> กับสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ เช่น กรดฮิวมิก และกรดฟลูวิก (Ghomsheh et al., 1790; Marhaba et al., 1998) กรดฮาโลอะซีติกเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีและกลายเป็นไอได้น้อย นอกจากนี้ยังสามารถละลายในน้ำได้ดีและค่อนข้างเสถียร การเกิดกรดฮาโลอะซีติกขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ เช่น ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ค่าพีเอช อุณหภูมิ แอมโมเนีย และสภาพอัลคาไลน์ีตีรวมทั้งสถานะในการเดินระบบปรับปรุงคุณภาพ เช่น ปริมาณสารฆ่าเชื้อโรค และเวลาสัมผัส ทั้งนี้ น้ำที่มีการปรับปรุงคุณภาพพบสารไตรฮาโลมีเทนมากกว่าสารพลอยได้อื่น ๆ รองลงมาคือ กรดฮาโลอะซีติก แต่ความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซีติกในน้ำหลังจากการปรับปรุงคุณภาพมีมากกว่าร้อยละ 50 ของความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทน

**2. กลไกการเกิดกรดฮาโลอะซิติก** เกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารคลอรีนอิสระ (ในรูป HOCl และ OCl<sup>-</sup>) กับสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำที่มีกลุ่มโพรพาโนนเป็นองค์ประกอบ (CH<sub>3</sub>COCCl<sub>3</sub>) เช่น กรดฮิวมิก และกรดฟุลวิก โดยโครงสร้างของกรดฮิวมิกมีโครงสร้างที่เป็นวงแหวนอะโรมาติกมากและมีหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิล หมู่ไฮดรอกซิล หมู่เอไมด์ และฟีนอลิกที่ยื่นออกมาจากโครงสร้างซึ่งเป็นส่วนที่คลอรีนสามารถเข้ามาทำปฏิกิริยาจนเกิดเป็นสารประกอบฮาโลเจนที่มีคาร์บอน 1 อะตอมเป็นองค์ประกอบ และอาจมีการแทนที่ด้วย ฟลูออรีน ไอโอดีน คลอรีน โบรมีน หรือธาตุเหล่านี้ทุกตัวรวมกัน (Ghomsheh et al., 1790; Marhaba et al., 1998) โดยจัดเป็นสารพลอยได้ประเภท Halogenated organic by-products นอกจากกลุ่มสารกรดฮาโลอะซิติก แล้วยังมีกลุ่มอื่นด้วย ได้แก่ สารประกอบกลุ่ม Trihalomethanes (THMs) กลุ่ม Haloacetonitriles กลุ่ม Haloketones กลุ่ม Chlorophenols เป็นต้น

**3. ชนิด โครงสร้าง และสมบัติทางกาย-เคมีของกรดฮาโลอะซิติก** โดยมีทั้งหมด 9 ชนิด ซึ่งลักษณะของสารประกอบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำและปริมาณของสารมาเชื้อโรคที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ (Dmitruk & Dojlido, 2007; Uansiri, 2009) ดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** สมบัติทางกายและเคมีของกรดฮาโลอะซิติกแต่ละชนิด

ชนิดของกรดฮาโลอะซิติก	สูตรโครงสร้าง	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	pK <sub>a</sub>	จุดเดือด (°C)	ครึ่งชีวิต (วัน)
กรดโมโนคลอโรอะซิติก		94.50	2.87	188	42
กรดไดคลอโรอะซิติก		128.90	1.25	194	10
กรดไตรคลอโรอะซิติก		163.40	0.77	196	6
กรดโมโนโบรโมอะซิติก		138.95	2.90	157	63
กรดไดโบรโมอะซิติก		217.85	1.47	128-130	14
กรดไตรโบรโมอะซิติก		173.36	1.39	210-212	18
กรดโบรโมไดคลอโรอะซิติก		252.26	1.09	-	-
กรดไดโบรโมคลอโรอะซิติก		207.81	1.09	-	-
กรดโบโมคลอโรอะซิติก		296.74	2.10	245	8

**4. ปัจจัยของการเกิดกรดฮาโลอะซีติก** นอกจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำกับสารคลอรีนแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบต่อการก่อเกิดกรดฮาโลอะซีติก ดังแสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ปัจจัยการเกิดกรดฮาโลอะซีติก

ลำดับ	ปัจจัย	ผลกระทบที่ส่งผล	ที่มา
1	สารคลอรีน	สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำทำปฏิกิริยากับสารคลอรีนเกิดกรดฮาโลอะซีติก เมื่อใช้คลอรีนเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร	Lu et al. (2009)
2	สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ	สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำในรูปอะโรมาติกที่มีขนาดใหญ่ผลต่อการเกิดกรดฮาโลอะซีติกมากกว่ารูปกรดฮิวมิก และฟลูวิค	มัลลิกา ปัญญาคะโป และ ผ่องศรี เผ่าภูรี (2550)
3	เวลาสัมผัส	กรดฮาโลอะซีติกเกิดอย่างรวดเร็วใน 5 ชั่วโมงแรก และก่อตัวสมบูรณ์ภายใน 24 ชั่วโมง ซึ่งจะหยุดปฏิกิริยาหลังจาก 150 ชั่วโมงเป็นต้นไป	Guay et al. (2005)
4	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าสูงสุดที่มีผลต่อการเกิดกรดฮาโลอะซีติกไม่เกิน 9 ซึ่งจะเกิดได้ดีที่ค่า 7-7.5	Bond et al. (2012)
5	อุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลต่อการเกิดกรดฮาโลอะซีติกในปริมาณสูง ซึ่งอุณหภูมิ 10-30 องศาเซลเซียส เกิดถึงร้อยละ 20-30	Rodriguez et al. (2007)

หมายเหตุ: ปรับปรุงมาจาก WHO (2006)

**5. ผลกระทบทางสุขภาพจากการได้รับกรดฮาโลอะซีติก** มี 2 ชนิดที่ถูกกำหนดระดับความเป็นพิษ คือ กรดไดคลอโรอะซีติกมีศักยภาพสามารถก่อมะเร็งในมนุษย์ได้ และกรดไตรคลอโรอะซีติกมีศักยภาพอาจจะก่อมะเร็งในมนุษย์ได้ระดับความเป็นพิษดังกล่าวส่งผลต่อความสามารถในการสืบพันธุ์ การคลอด ระบบไหลเวียนโลหิต และอวัยวะภายใน (Nikolaou et al., 2004) นอกจากความเป็นพิษในมนุษย์แล้วจากการรายงาน WHO (2006) กรดโมโนคลอโรอะซีติกส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมในหนู และการได้รับสัมผัสจากกรดไดคลอโรอะซีติกส่งผลต่อการเกิดมะเร็งในตับของหนู

การกำหนดค่าระดับความปนเปื้อนกรดฮาโลอะซีติกสูงสุดที่ยอมรับได้โดย 2 มาตรฐาน ได้แก่ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ไม่เกิน 60 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับน้ำดื่ม-น้ำประปา (จุดแรกของการจ่ายน้ำ) และคณะกรรมการแถบยุโรป กำหนดไว้ไม่เกิน 80 ไมโครกรัมต่อลิตร (US.EPA., 2012) สำหรับน้ำประปา (จุดใช้น้ำ) เนื่องจากในปัจจุบันคำนึงถึงความปลอดภัยต่อผู้บริโภคจึงใช้มาตรฐานขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกาเป็นส่วนใหญ่

**6. กระบวนการกำจัดกรดฮาโลอะซีติก** การกำจัดเพื่อลดความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสกรดฮาโลอะซีติกในน้ำที่ใช้บริโภคบริโภคแสดงดังตารางที่ 4 โดยประสิทธิภาพสูงสุดด้วยวิธีการใช้เมมเบรนเนื่องด้วยคุณสมบัติของกรดฮาโลอะซีติกมีองค์ประกอบของอะตอมของคลอรีนที่จับอยู่บนโครงสร้างของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (หมู่คาร์บอกซิล) โดยอะตอมของคลอรีนมีขนาด 4.217 อังสตรอม หรือ 0.4217 นาโนเมตร ทั้งนี้คลอรีนที่อยู่บนโครงสร้างของหมู่คาร์บอกซิลสูงสุด 3 อะตอม ทำให้ขนาดอนุภาคของกรดฮาโลอะซีติกจึงไม่เกิน 1 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเมมเบรนที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (ชัยยศ ตั้งสฤติย์กุลชัย, 2554)

#### ตารางที่ 4 กระบวนการกำจัดกรดฮาโลอะซิติก

กระบวนการ	ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	ค่าใช้จ่าย	ที่มา
การสร้างและรวมตะกอน	27-58	ต่ำ-ปานกลาง	Chuang et al. (2011)
การดูดซับ	70.42-94	ปานกลาง	Babi et al. (2007) Ghomshe et al. (2011)
โอโซน	20-37	ปานกลาง-สูง	Guay et al. (2005) Ratasuk et al. (2008)
เมมเบรน	90-100	สูง	Ratasuk et al. (2009)

หมายเหตุ: ปรับปรุงมาจากพงค์ธร แสงชูติ (2560)

#### สรุป

น้ำประปาที่ใช้สำหรับการอุปโภคบริโภคในปัจจุบันส่วนมากมาจากกระบวนการผลิตน้ำที่มีการสร้างและรวมตะกอนเพื่อลดสารแขวนลอย รวมทั้งใช้สารคลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อโรคเป็นส่วนใหญ่ซึ่งการใช้สารคลอรีนส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคสูง ทั้งยังคงค้างในน้ำได้นาน สร้างความมั่นใจต่ออุปโภคบริโภคน้ำ แต่สารคลอรีนที่มากเกินไปจากการฆ่าเชื้อโรคสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบที่หลงเหลือจนเกิดเป็นสารพลอยได้ โดยสารพลอยได้ประเภท Halogenated organic by-products กลุ่มกรดฮาโลอะซิติกพบได้รองลงมาจากกลุ่มสารไตรฮาโลมีเทน แต่กลุ่มกรดฮาโลอะซิติกที่มีความเข้มข้นสูงกลุ่มไตรฮาโลมีเทนมากกว่าร้อยละ 50 ซึ่งกรดฮาโลอะซิติกโดยเฉพาะชนิดกรดไดคลอโรอะซิติกมีศักยภาพสามารถก่อมะเร็งในมนุษย์ได้ และกรดไตรคลอโรอะซิติกมีศักยภาพอาจจะก่อมะเร็งในมนุษย์ได้ ด้วยความเป็นพิษทำให้องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกากำหนดความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติกไว้ให้ไม่เกิน 60 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับน้ำดื่มและปัจจุบันหลายประเทศมีการใช้เกณฑ์นี้มาควบคุมความเข้มข้นกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาเนื่องจากกรดฮาโลอะซิติกสามารถเข้าสู่ร่างกายนอกจากการดื่ม-กิน แล้วยังสามารถซึมผ่านผิวหนัง รวมทั้งการหายใจได้ ดังนั้นจึงมีการศึกษาเทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดกรดฮาโลอะซิติกอย่างกว้างขวางและพบว่าการใช้เยื่อเลือกผ่านเมมเบรนสามารถกำจัดกรดฮาโลอะซิติกได้ดีที่สุด

#### เอกสารอ้างอิง

- ชัยยศ ตั้งสถิตย์กุลชัย. (2554). *กระบวนการดูดซับสาร*. นครราชสีมา. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ประพัฒน์ เป็นตามวา. (2555). *การประปาชุมชนเมืองและชนบท*. นครราชสีมา. ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- พงค์ธร แสงชูติ. (2560). *การกำจัดกรดฮาโลอะซิติก (HAAs) ในน้ำประปาด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- มัลลิกา ปัญญาโคปะ และ ผ่องศรี เผ่าภูรี. (2550). *รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปาที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน กรณีตัวอย่างระบบประปาของเทศบาลนครนครปฐม*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

- Babi, K. G., Koumenides, K. M., Nikolaou, A. D., Makri, C. A., Tzoumerkas, F. K., & Lekkas, T. D. (2007). Pilot study of the removal of THMs, HAAs and DOC from drinking water by GAC adsorption. *Desalination*, 210(1-3), 215-224.
- Bond, T., Goslan, E. H., Parsons, S. A., & Jefferson, B. (2012). A critical review of trihalomethane and haloacetic acid formation from natural organic matter surrogates. *Environmental Technology Reviews*, 1(1), 93-113.
- Cheema, W. A., Kaarsholm, K. M., & Andersen, H. R. (2017). Combined UV treatment and ozonation for the removal of by-product precursors in swimming pool water. *Water Research*, 110, 141-149.
- Chuang, Y.-H., Wang, G.-S., & Tung, H.-H. (2011). Chlorine residuals and haloacetic acid reduction in rapid sand filtration. *Chemosphere*, 85(7), 1146-1153.
- Dmitruk, U. & Dojlido, J. (2007). Haloacetic acids (HAAs) in the central waterworks in Warsaw, Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(1), 51-56.
- Ghomshe, S. T., Mousavi, S., Soltanieh, M., & Kordi, A. S. (2011). Batch and column study of haloacetic acids adsorption onto granular activated carbon. *Scientific Research and Essays*, 6(16), 3553-3560.
- Ghomsheh, S. M., Soltanieh, M. O. H. A. M. M. A. D., and Mosavi, M. A. H. M. O. D. (1790). Overview of the separation and removal of haloacetic acids in drinking water. *Advances in waste management*. 1146-1153.
- Guay, C., Rodriguez, M., & Sérodes, J. (2005). Using ozonation and chloramination to reduce the formation of trihalomethanes and haloacetic acids in drinking water. *Desalination*, 176(1-3), 229-240.
- Lu, J., Zhang, T., Ma, J., & Chen, Z. (2009). Evaluation of disinfection by-products formation during chlorination and chloramination of dissolved natural organic matter fractions isolated from a filtered river water. *Journal of Hazardous Materials*, 162(1), 140-145.
- Marhaba, T., & Washington, M. (1998). Drinking water disinfection and by-products: history and current practice. *Advances in Environmental Research*, 2(1), 103-115.
- Nikolaou, A., Lekkas, T., & Golfinopoulos, S. (2004). Kinetics of the formation and decomposition of chlorination by-products in surface waters. *Chemical Engineering Journal*, 100(1-3), 139-148.
- Palumbo, D. J., Andreola, R., Utida, M. A., Teixeira, T. M., Schmidt Filho, E., de Oliveira, J. R., & Fernandes, V. T. (2018). Analysis of haloacetic acids (HAA5) in waters of public schools and residencies in Maringá-Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, 10(11), 1083-1089.
- Ratasuk, C. H. A. L. A. T. I. P., Ratanatamskul, C. H. A. W. A. L. I. T., & Ratasuk, N. O. P. A. W. A. N. (2009). Removal of haloacetic acids by nanofiltration. *Journal of Environmental Sciences*, 21(1), 96-100.

- Ratasuk, C., Kositanont, C., & Ratanatamskul, C. (2008). Removal of haloacetic acids by ozone and biologically active carbon. *ScienceAsia*, 34(3), 293-298.
- Rodriguez, M. J., Serodes, J., & Roy, D. (2007). Formation and fate of haloacetic acids (HAAs) within the water treatment plant. *Water Research*, 41(18), 4222-4232.
- Saengchut, P., Karuchit, S., & Pentamwa, P. (2018). Investigation of haloacetic acids (HAAs) levels in water supply and its correlated HAAs formation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 164, 012023.
- Tsitsifli, S., & Kanakoudis, V. (2018). Disinfection impacts to drinking water safety—a review. *Proceedings*, 2(11), 603.
- Uansiri, S. (2009). *Determination of Haloacetic Acids in Water Samples Using Ion Chromatography*. Master of Science Chemistry, Mahasarakham University.
- US.EPA. (2012). EPA Drinking Water Guidance on Disinfection By-Products In nd (Ed.), *Disinfection By-Products in Drinking Water* (2nd ed.). United Kingdom.
- WHO. (2006). *Guidelines for drinking-water quality*. 3<sup>rd</sup> ed. Vol. 1 Recommendations: Switzerland.