

การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการสัมผัสกรดฮาโลอะซิติก ในน้ำประปาชุมชน ตำบลบ้านยางจังหวัดบุรีรัมย์

HEALTH RISK ASSESSMENT FROM EXPOSURE TO HALOACETIC ACIDS IN COMMUNITY WATER SUPPLY AT BAN YANG BURIRAM PROVINCE

พงศ์ธร แสงชูต^{1*} ศิริกัญญา ฤทธิไพล¹ วิชาน บุญคำ¹

Phongthon Saengchut^{1*} Sirikanya Ridthplake¹ Wichan Boonkham¹

¹อาจารย์คณะสาธารณสุขศาสตร์ วิทยาเขตบุรีรัมย์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น 31000

* Corresponding author E-mail : Saengchuti@hotmail.com

* Corresponding author E-mail : panya.su@bsru.ac.th

Received : 15 Jun 2020

Revised : 22 Jun 2020

Accepted : 28 Jun 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติก (HAA₅) ในน้ำประปาชุมชนเพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของการได้รับสัมผัสกรดฮาโลอะซิติกจากการอุปโภค-บริโภคน้ำประปาชุมชน โดยใช้สมการการทำนายจาก 3 ปัจจัย คือ ค่า pH ค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) และค่าคลอรีนอิสระคงค้าง พบว่า ระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ บ้านมะค่าเหนือ บ้านเนินสมบุรณ์ และบ้านลำตวน มีคุณลักษณะของน้ำเบื้องต้นมีค่า pH เป็นกลาง มีค่า DOC อยู่ในช่วง 7.81-12.33 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าคลอรีนอิสระคงค้างอยู่ในช่วงเฉลี่ยเท่ากับ 0.06-0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับกรดฮาโลอะซิติก (HAA₅) ในน้ำประปาชุมชนทั้ง 3 เส้นทางกระจายน้ำประปา พบ ปริมาณความเข้มข้นของ HAA₅ ในปริมาณที่สูงที่สุดในทุกจุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 433.41 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการอุปโภค-บริโภค ผ่านทางการดื่ม-กิน และผ่านทางผิวหนัง ไม่พบความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชน (มีค่า HI > 1) และความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (มีค่า CR น้อยกว่า 10⁻⁶ แต่ไม่เกิน 10⁻⁴)

คำสำคัญ: การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ, กรดฮาโลอะซิติก, ระบบผลิตน้ำประปา

Abstract

The aims to study concentration and health risk assessment of HAA₅ from consumption in water tap community and the result found that all of water supply system include Maka village, Nernsombun village and Lamduan village have neutral of pH, in the range was 7.81-12.33 mg/L of DOC and in the average range was 0.06-0.28 mg/L of residual chlorine. The HAA₅ in water tap to all of 3 villages and water distribution found that maximum concentration average equal to 433.41 µg/L. The health risk assessment of water tap consumption through ingestion and through dermal absorption found not health risk non potential of carcinogenic in water supply (HI >1) and accept of health risk potential of carcinogenic (CR = >10⁻⁶ - 10⁻⁴).

Keywords: Health Risk Assessment, Haloacetic acids, Water supply system

1. บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เนื่องจากที่สภาวะสมดุลในร่างกายประกอบด้วยน้ำร้อยละ 70 ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพน้ำสำหรับใช้ในการอุปโภคบริโภคจึงเป็นสิ่งสำคัญ และน้ำสะอาดย่อมส่งผลต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตที่ดีของผู้บริโภคด้วย ปัจจุบันในเขตชุมชนของประเทศไทยส่วนใหญ่ได้รับการสนับสนุนสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่ออยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สะอาดและปลอดภัย ปราศจากการปนเปื้อนของสารพิษและเชื้อโรคด้วยระบบผลิตน้ำประปาโดยใช้กระบวนการสร้างตะกอน-รวมตะกอน และลดการปนเปื้อนของเชื้อโรคในน้ำด้วยการเติมสารคลอรีน (Coagulation-flocculation process) [1]

สารคลอรีนที่มากเกินไปจากจะฆ่าเชื้อโรคในน้ำยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำที่หลงเหลือจากการปรับปรุงน้ำ (Natural Organic Matters, NOMs) จนเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรค (Disinfecting By-Products, DBPs) เช่น สารไตรฮาโลมีเทน (THMs) กรดฮาโลอะซิติก (HAAs) เป็นต้น โดยความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติกที่พบจะมีค่ามากกว่าสารไตรฮาโลมีเทนถึงร้อยละ 50 [2] ทั้งนี้สารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกมีศักยภาพก่อมะเร็งในอุปโภคบริโภคได้จากการศึกษาที่ผ่านมาระบบผลิตน้ำประปาชุมชนที่ใช้คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อโรคส่วนใหญ่มีค่าคลอรีนอิสระคงค้างเกินกว่าที่กำหนดโดยกำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร [3] พบว่า น้ำประปาชุมชนจังหวัดนครราชสีมา มีค่าคลอรีนอิสระคงค้างระหว่างช่วง 1.22-1.81 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้เกิดกรดฮาโลอะซิติกมากกว่า 300 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน US. EPA. (2012) ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 60 ไมโครกรัมต่อลิตร [4] นอกจากนี้จากรายงานการศึกษาพบการปนเปื้อนของสารไตรฮาโลมีเทนสูงในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา (60.09 ไมโครกรัมต่อลิตร) รองลงมาในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ (33.89 ไมโครกรัมต่อลิตร) [5]

การปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาสำหรับการอุปโภคบริโภคในชุมชนของจังหวัดบุรีรัมย์ยังขาดการตรวจคุณภาพโดยเฉพาะกรดฮาโลอะซิติกเนื่องจากการตรวจสอบมีค่าใช้จ่ายสูง งานวิจัยนี้จึงให้สนใจในการตรวจสอบระดับความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติกด้วยสมการทำนายทางคณิตศาสตร์ด้วยปัจจัยของการเกิด คือ pH คลอรีนอิสระคงค้าง และสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนต่ำ ทั้งนี้ความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติกที่ศึกษาได้สามารถนำไปประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภคต่อไป

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ขอบเขตประชากรตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ พื้นที่ที่ทำการศึกษาด้านบ้านยาง จังหวัดบุรีรัมย์ ประกอบด้วย น้ำดิบ-น้ำประปาจากระบบผลิตน้ำประปาชุมชนจำนวน 3 แห่ง และน้ำประปาจากบ้านผู้ใช้ น้ำประปาจำนวน 45 หลังคาเรือน คือระบบผลิตน้ำประปาบ้านมะค่า ระบบผลิตน้ำประปาเนินสมบุรณ์ และระบบผลิตน้ำประปาบ้านลำดวน สำหรับใช้วิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติกเป็นข้อมูลเบื้องต้น

กลุ่มตัวอย่างเป็นน้ำดิบแห่งละ 1 ตัวอย่าง และน้ำประปาจากระบบผลิตน้ำประปาชุมชนแห่งละ 15 ตัวอย่าง โดยการทำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างเป็นแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) ประกอบด้วยจุดต้นท่อจ่ายน้ำ จุดกลางท่อจ่ายน้ำ และจุดปลายท่อจ่ายน้ำ รวมจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 48 ตัวอย่าง

2.2 ขอบเขตการวิจัย

1) การสำรวจเพื่อวิเคราะห์ทางเคมีโดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำดิบเพื่อวิเคราะห์สารอินทรีย์ละลายน้ำ 3 ตัวอย่าง และน้ำประปาเพื่อวิเคราะห์ pH คลอรีนอิสระคงค้าง และสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ สำหรับทำนายค่ากรดฮาโลอะซิติก 45 ตัวอย่าง ตัวอย่างน้ำจะทำการรักษาสภาพตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส และนำส่งตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ [6, 7]

2) การวิเคราะห์ค่าสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำในน้ำดิบ และน้ำประปา จากการกรองน้ำตัวอย่างผ่านแผ่นกรอง GF/F ขนาด 0.45 ไมโครเมตร และวิเคราะห์โดยเครื่อง TOC analyzer ตามวิธีจาก Standard method ในส่วน 5310 B. Persulfate-ultraviolet oxidation method. สำหรับการวิเคราะห์ค่าคลอรีนอิสระคงค้างในน้ำประปาด้วยชุดทดสอบปริมาณคลอรีน [N,N-diethyl-p-phenylenediamine (DPD) colorimetric kit] ซึ่งอาศัยการเกิดสีของคลอรีนอิสระคงเหลือตามวิธีมาตรฐานของ Standard Methods for the Examination of Wastewater, 12th ed. [8]

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติของห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ วิสาหกิจชุมชนโสมจันทร์ และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิภายในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ตามตำแหน่งการอบจริง ทั้งก่อน และหลังติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิเพื่อเป็นการวัดประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

2.3) ขอบเขตการวิเคราะห์ผล

การประเมินการใช้น้ำประปา ได้แก่ ความเข้มข้นของค่าคลอรีนอิสระคงค้างโดยไม่ต่ำกว่า 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ปริมาณสูงสุดไม่ควรเกิน 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร [3] และความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติกตามค่ามาตรฐานขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US. EPA.) กำหนดมาตรฐานในน้ำดื่มไม่เกิน 60 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสกรดฮาโลอะซิติกเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล IRIS (2003) ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกาที่ยอมรับได้ต้องอยู่ในช่วง $<10^{-6}$ - 10^{-4} (น้อยกว่า 10^{-6} แต่ไม่เกิน 10^{-4}) (ประชากร 1 คน ใน 10,000 คน ที่มีโอกาสเป็นโรคมะเร็ง) โดยสมการและค่าที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังนี้

1) สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก [4, 9]

$$\text{HAA}_5 = 142.560\text{DOC} - 20.902\text{pH} + 99.232\text{Free Cl}_2 - 246.488 \quad (R^2 = 0.789) \quad (1)$$

$$\text{DCAA} = -1.7558 + 12.4681\text{DOC} \quad (R^2 = 0.996) \quad (2)$$

$$\text{TCAA} = 68.244 + 13.996\ln(\text{DOC}) \quad (R^2 = 0.982) \quad (3)$$

2) สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพต่อการได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ของการได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก [10]

ค่าคงที่	เพศชาย	เพศหญิง	หน่วย
อัตราการดื่มน้ำ (IR)	2	2	ลิตร/คน/วัน
ความถี่ในการสัมผัส (EF)	365	365	วัน/ปี
ระยะเวลาในการสัมผัส (ET)	1	1	ชั่วโมง/วัน
ช่วงระยะเวลาในการสัมผัส (ED)	66	74	ปี
น้ำหนักร่างกาย (BW)	68.83	57.40	กิโลกรัม
ช่วงระยะเวลาเฉลี่ยในการสัมผัส (AT, ED x 365 วัน/ปี)	24,090	27,010	วัน

$$\text{ADI} = \frac{\text{C} \times \text{IR} \times \text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}} \quad (4)$$

เมื่อ ADI = ปริมาณการได้รับสัมผัสสารมลพิษ (ไมโครกรัม/กิโลกรัม/วัน)
C = ความเข้มข้นของสารมลพิษ (ไมโครกรัม/ลิตร)

$$HQ = ADI / RfD \quad (5)$$

เมื่อ HQ = ค่าความเสี่ยงทางสุขภาพต่อการได้รับสัมผัสพิษ
 RfD = ค่าความเข้มข้นอ้างอิงของ DCAA เท่ากับ 4×10^{-3} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และ
 TCAA เท่ากับ 2×10^{-2} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน

$$HI = \sum HQ \quad (6)$$

เมื่อ HI = ค่าดัชนีความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

$$CR = ADI \times SF \quad (7)$$

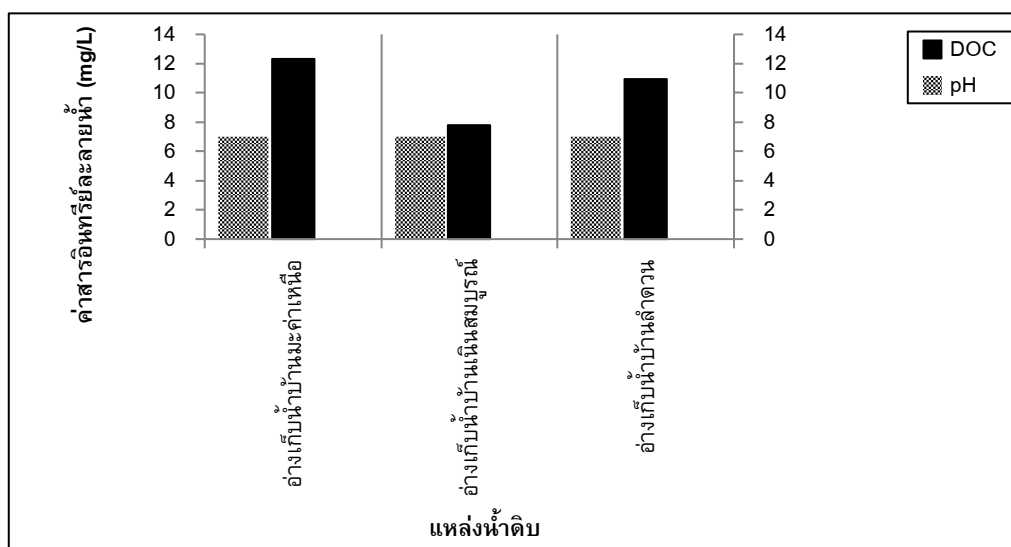
เมื่อ CR = ค่าความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็ง
 SF = ค่า Slope factor ของ DCAA เท่ากับ 5×10^{-2} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และ
 TCAA เท่ากับ 7×10^{-2} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำเบื้องต้น

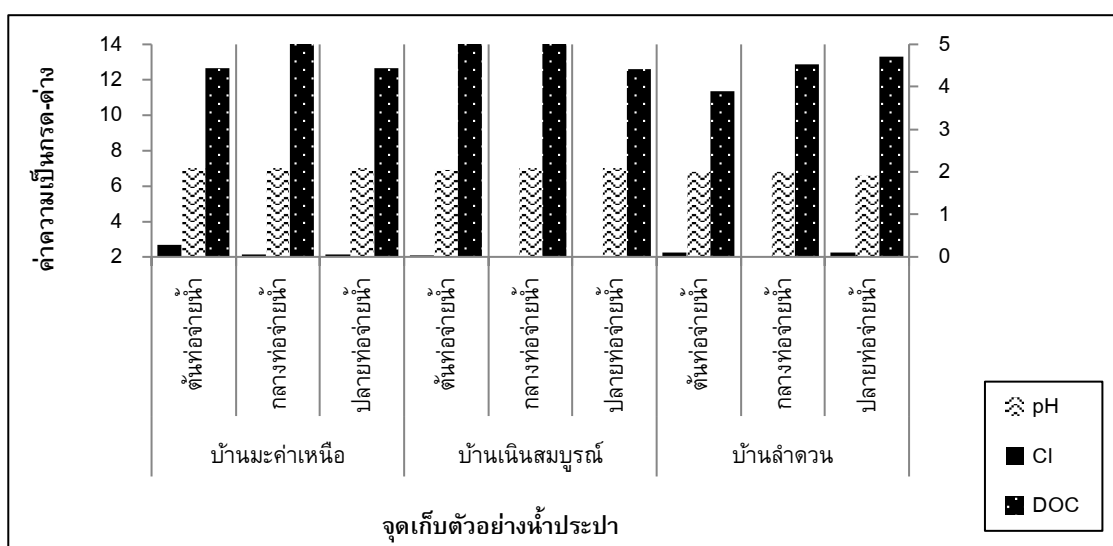
ในการศึกษาคุณภาพน้ำเบื้องต้นของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ บ้านมะค่าเหนือ บ้านเนินสมบุรณ์ และบ้านลำดวน โดยตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ น้ำดิบ และน้ำประปา ในช่วงเดือนมกราคม-เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 เพื่อศึกษาคูณลักษณะน้ำเบื้องต้นในน้ำผิวดินที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาชุมชน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) รวมทั้งศึกษาคูณลักษณะน้ำเบื้องต้นในน้ำประปา ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) และค่าคลอรีนอิสระคงค้าง

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำเบื้องต้นในน้ำดิบประเภทน้ำผิวดิน พบว่า อ่างเก็บน้ำบ้านมะค่าเหนืออ่างเก็บน้ำ บ้านเนินสมบุรณ์ และอ่างเก็บน้ำบ้านลำดวน มีค่า pH เท่ากัน เท่ากับ 7 โดยมีค่าเป็นกลาง รวมทั้งมีค่า DOC อยู่ในช่วงเดียวกับค่าทั่วไปที่พบในแหล่งน้ำของประเทศไทยซึ่งอยู่ในช่วง 4.30-13.24 มิลลิกรัมต่อลิตร [11, 12] โดยพบว่า อ่างเก็บน้ำบ้านมะค่าเหนือพบปริมาณความเข้มข้นของ DOC สูงที่สุด เท่ากับ 12.33 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ อ่างเก็บน้ำบ้านลำดวน และอ่างเก็บน้ำบ้านเนินสมบุรณ์ พบปริมาณความเข้มข้นของ DOC เท่ากับ 10.94 และ 7.81 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 คุณลักษณะของน้ำเบื้องต้นในน้ำดิบ

ผลการศึกษาคุณลักษณะของน้ำเบื้องต้นในน้ำประปา พบว่า ทั้ง 3 แห่งของระบบผลิตน้ำประปามีค่า pH เป็นกลางในค่าเฉลี่ยช่วง 6.60-7 และพบค่าคลอรีนอิสระคงค้างสูงสุดที่ต้นท่อยจ่ายน้ำของทั้ง 3 แห่ง โดยต้นท่อยจ่ายน้ำพบค่าคลอรีนอิสระคงค้างระบบผลิตประปา บ้านมะค่าเหนือสูงสุดปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ ระบบผลิตน้ำประปาบ้านลำดวน และระบบผลิตน้ำประปาบ้านเนินสมบุรณ์ พบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.10 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และกลางท่อยจ่ายน้ำพบค่าคลอรีนอิสระคงค้างของระบบผลิตประปา บ้านมะค่าเหนือปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ไม่พบค่าคลอรีนอิสระคงค้างของระบบผลิตน้ำประปาบ้านลำดวน และระบบผลิตน้ำประปาบ้านเนินสมบุรณ์ ซึ่งปลายท่อยจ่ายน้ำพบค่าคลอรีนอิสระคงค้างของระบบผลิตประปาบ้านลำดวนสูงสุดปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ ระบบผลิตน้ำประปา บ้านมะค่าเหนือพบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ไม่พบค่าคลอรีนอิสระคงค้างของระบบผลิตน้ำประปาบ้านเนินสมบุรณ์ ทั้งนี้ น้ำประปาทั้ง 3 แห่ง พบค่า DOC ที่มีความเข้มข้นใกล้เคียงกันทั้ง 3 เส้นทางท่อยจ่ายน้ำ ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.90-5.76 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 คุณลักษณะของน้ำเบื้องต้นในน้ำประปา

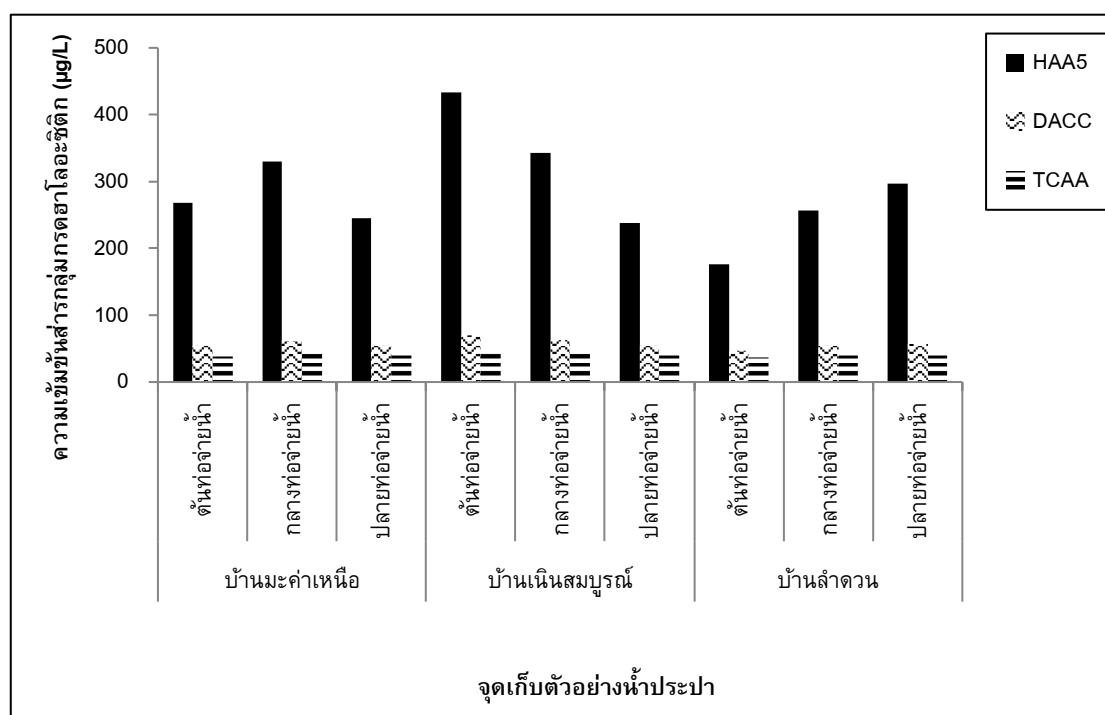
3.2 ผลการศึกษาปริมาณกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชน

การศึกษาปริมาณกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง ทั้ง 3 เส้นทางท่อยจ่ายน้ำ คือ ต้นท่อยจ่ายน้ำ กลางท่อยจ่ายน้ำ และปลายท่อยจ่ายน้ำ ผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นจากสมการการทำนาย โดยแบ่งเป็นการศึกษาความเข้มข้นของกรดฮาโลอะซิติกรวม 5 ชนิด (HAA_5) ประกอบด้วย กรดไดคลอโรอะซิติก (DCAA) กรดไตรคลอโรอะซิติก (TCAA) กรดโมโนคลอโรอะซิติก (MCAA) กรดโมโนโบรโมอะซิติก (MBAA) กรดไดโบรโมอะซิติก (DBAA) และศึกษาความเข้มข้นของกรดไดคลอโรอะซิติก (DCAA) กับกรดไตรคลอโรอะซิติก (TCAA) เป็นตัวแทนในการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพเนื่องจากเป็นชนิดที่พบปริมาณความเข้มข้นมากกว่าชนิดอื่น ๆ ผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก ณ จุดต้นท่อยจ่ายน้ำประปา พบว่า น้ำประปาของบ้านเนินสมบุรณ์พบปริมาณความเข้มข้นของ HAA_5 สูงที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 433.41 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ น้ำประปาของบ้านมะค่าเหนือ และน้ำประปาบ้านลำดวน ปริมาณความเข้มข้นของ HAA_5 เฉลี่ยเท่ากับ 268.52 และ 176.72 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้สาร DCAA และ TCAA พบความเข้มข้นสูงสุดน้ำประปาของบ้านเนินสมบุรณ์ รองลงมาคือ น้ำประปาของบ้านมะค่าเหนือ และน้ำประปาบ้านลำดวน ตามลำดับ เช่นเดียวกัน

ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก ณ จุดกลางท่อจ่ายน้ำประปา พบว่า น้ำประปาของบ้านเนินสมบุรณ์พบปริมาณความเข้มข้นของ HAA_5 สูงที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 343.38 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ น้ำประปาของบ้านมะค่าเหนือ และน้ำประปาบ้านลำดวน ปริมาณความเข้มข้นของ HAA_5 เฉลี่ยเท่ากับ 329.94 และ 256.89 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้สาร DCAA และ TCAA พบความเข้มข้นสูงสุดน้ำประปาของบ้านเนินสมบุรณ์ รองลงมาคือ น้ำประปาของบ้านมะค่าเหนือ และน้ำประปาบ้านลำดวน ตามลำดับ เช่นเดียวกัน

ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก ณ จุดปลายท่อจ่ายน้ำประปา พบว่า น้ำประปาของบ้านลำดวนพบปริมาณความเข้มข้นของ HAA_5 สูงที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 297 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ น้ำประปาของบ้านมะค่าเหนือ และน้ำประปาบ้านเนินสมบุรณ์ ปริมาณความเข้มข้นของ HAA_5 เฉลี่ยเท่ากับ 245.13 และ 237.31 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้สาร DCAA และ TCAA พบความเข้มข้นสูงสุดน้ำประปาของบ้านบ้านลำดวน รองลงมาคือ น้ำประปาของบ้านมะค่าเหนือ และน้ำประปาบ้านเนินสมบุรณ์ ตามลำดับ เช่นเดียวกัน

จากเกณฑ์กำหนดมาตรฐานน้ำดื่มของ US.EPA. (2012) ที่นำมาใช้ในการศึกษาเนื่องจากยังไม่พบเกณฑ์กำหนดมาตรฐานน้ำประปา ซึ่งกำหนดให้ HAA_5 DCAA และ TCAA มีความเข้มข้นไม่เกิน 60 ไมโครกรัม และ 20 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นค่าของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกที่ทำนายได้จากปัจจัยที่เป็นตัวส่งเสริมก่อให้เกิด ได้แก่ ค่า pH ค่า DOC และค่าคลอรีนอิสระคงค้าง ยังไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก

3.3 ผลการศึกษาการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพต่อการได้รับสัมผัสของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก

การศึกษาปริมาณกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง ทั้ง 3 เส้นทางจ่ายน้ำประปา คือ ต้นท่อจ่ายน้ำ กลางท่อจ่ายน้ำ และปลายท่อจ่ายน้ำ เพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการอุปโภค-บริโภค ผ่านทางการดื่ม-กิน และผ่านทางผิวหนัง แสดงปริมาณการได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกทั้ง 2 ชนิด จาก 5 ชนิด ได้แก่ DCAA และ TCAA เนื่องจากเป็นชนิดที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็ง

การได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกผ่านทาง การดื่ม-กิน แบ่งผู้รับสัมผัสเป็น 2 เพศ ได้แก่ เพศชาย และ เพศหญิง พบว่า การใช้น้ำประปาชุมชนบ้านมะค่าเหนือมีผลทำให้เพศหญิงได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกใน ปริมาณที่มากกว่าเพศชาย สำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสผ่านทาง การดื่ม-กิน ในปริมาณสูงสุดของชนิด DCAA คือ ดันท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศหญิง: เพศชาย เท่ากับ 7.79×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 6.50×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และสำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสในปริมาณสูงสุดของชนิด TCAA คือ กลางท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศหญิง: เพศชาย เท่ากับ 6.11×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 5.10×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน โดยระบบการผลิตน้ำประปาแห่งที่ 2 ผลของการใช้น้ำประปาชุมชนบ้านเนินสมบุรณ์มีผลทำให้เพศหญิงได้รับสัมผัส สารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในปริมาณที่มากกว่าเพศชาย สำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสผ่านทาง การดื่ม-กิน ใน ปริมาณสูงสุดของชนิด DCAA คือ ดันท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศหญิง: เพศชาย เท่ากับ 1.02×10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 8.48×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และสำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสในปริมาณสูงสุดของ ชนิด TCAA คือ ดันท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศหญิง: เพศชาย เท่ากับ 6.50×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 5.42×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ทั้งนี้ระบบการผลิตน้ำประปาแห่งที่ 3 ผลของการใช้น้ำประปาชุมชนบ้านลำดวนมีผล ทำให้เพศหญิงได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในปริมาณที่มากกว่าเพศชาย สำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัส ผ่านทาง การดื่ม-กิน ในปริมาณสูงสุดของชนิด DCAA คือ ปลายท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศหญิง: เพศชาย เท่ากับ 8.28×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 6.90×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และสำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัส ในปริมาณสูงสุดของชนิด TCAA คือ ปลายท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศหญิง: เพศชาย เท่ากับ 5.86×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 4.89×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณการได้รับสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกผ่านทาง การดื่ม-กิน

จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณสารกลุ่ม HAA ₅ (mg/Kg/day)			
	DCAA		TCAA	
	เพศชาย	เพศหญิง	เพศชาย	เพศหญิง
ประปาบ้านมะค่าเหนือ				
ดันท่อจ่ายน้ำ	6.50×10^{-5}	7.79×10^{-5}	4.69×10^{-5}	5.62×10^{-5}
กลางท่อจ่ายน้ำ	7.38×10^{-5}	8.85×10^{-5}	5.10×10^{-5}	6.11×10^{-5}
ปลายท่อจ่ายน้ำ	6.49×10^{-5}	7.78×10^{-5}	4.74×10^{-5}	5.68×10^{-5}
ประปาบ้านเนินสมบุรณ์				
ดันท่อจ่ายน้ำ	8.48×10^{-5}	1.02×10^{-4}	5.42×10^{-5}	6.50×10^{-5}
กลางท่อจ่ายน้ำ	7.58×10^{-5}	9.09×10^{-5}	5.12×10^{-5}	6.14×10^{-5}
ปลายท่อจ่ายน้ำ	6.46×10^{-5}	7.75×10^{-5}	4.77×10^{-5}	5.72×10^{-5}
ประปาบ้านลำดวน				
ดันท่อจ่ายน้ำ	5.67×10^{-5}	6.80×10^{-5}	4.42×10^{-5}	5.30×10^{-5}
กลางท่อจ่ายน้ำ	6.62×10^{-5}	7.94×10^{-5}	4.83×10^{-5}	5.79×10^{-5}
ปลายท่อจ่ายน้ำ	6.90×10^{-5}	8.28×10^{-5}	4.89×10^{-5}	5.86×10^{-5}

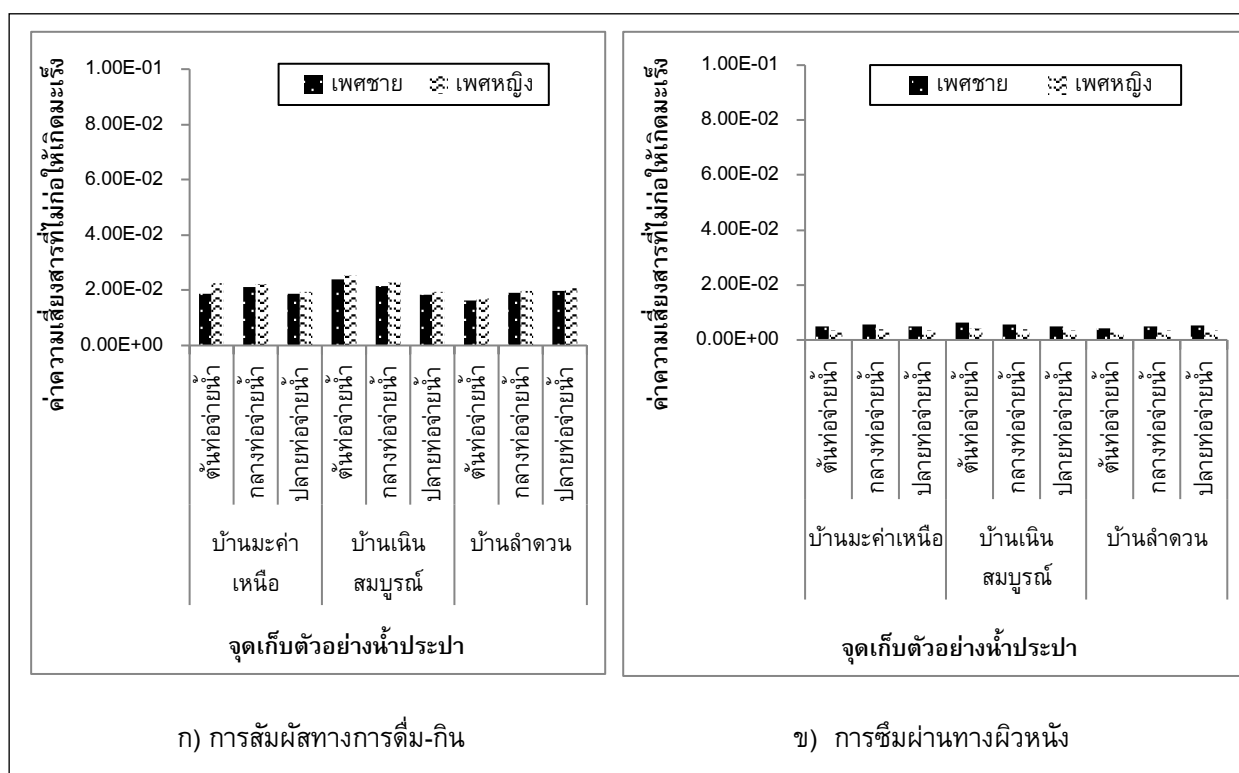
การได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกผ่านทางผิวหนัง พบว่า การใช้น้ำประปาชุมชนบ้านมะค่าเหนือมีผลทำให้เพศชายได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในปริมาณที่มากกว่าเพศหญิง สำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสผ่านทางผิวหนังในปริมาณสูงสุดของชนิด DCAA คือ กลางท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศชาย: เพศหญิง เท่ากับ 1.93×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 1.36×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และสำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสในปริมาณสูงสุดของชนิด TCAA คือ กลางท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศชาย: เพศหญิง เท่ากับ 1.34×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 9.37×10^{-6} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน โดยระบบการผลิตน้ำประปาแห่งที่ 2 ผลของการใช้น้ำประปาชุมชนบ้านเนินสมบุรณ์มีผลทำให้เพศชายได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในปริมาณที่มากกว่าเพศหญิง สำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสผ่านทางผิวหนัง ในปริมาณสูงสุดของชนิด DCAA คือ ต้นท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศชาย: เพศหญิง เท่ากับ 2.22×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 1.56×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และสำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสในปริมาณสูงสุดของชนิด TCAA คือ ต้นท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศชาย: เพศหญิง เท่ากับ 1.42×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 9.96×10^{-6} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ทั้งนี้ระบบการผลิตน้ำประปาแห่งที่ 3 ผลของการใช้น้ำประปาชุมชนบ้านลำดวนมีผลทำให้เพศชายได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในปริมาณที่มากกว่าเพศหญิง สำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสผ่านทางผิวหนัง ในปริมาณสูงสุดของชนิด DCAA คือ ปลายท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศชาย: เพศหญิง เท่ากับ 1.81×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 1.27×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และสำหรับจุดที่มีโอกาสในการได้รับสัมผัสในปริมาณสูงสุดของชนิด TCAA คือ ปลายท่อจ่ายน้ำ พบปริมาณการสัมผัสของเพศชาย: เพศหญิง เท่ากับ 1.28×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน : 8.98×10^{-6} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณการได้รับสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกผ่านทางผิวหนัง

จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณสารกลุ่ม HAA ₅ (mg/Kg/day)			
	DCAA		TCAA	
	เพศชาย	เพศหญิง	เพศชาย	เพศหญิง
ประปาบ้านมะค่าเหนือ				
ต้นท่อจ่ายน้ำ	1.70×10^{-5}	1.19×10^{-5}	1.23×10^{-5}	8.62×10^{-6}
กลางท่อจ่ายน้ำ	1.93×10^{-5}	1.36×10^{-5}	1.34×10^{-5}	9.37×10^{-6}
ปลายท่อจ่ายน้ำ	1.70×10^{-5}	1.19×10^{-5}	1.24×10^{-5}	8.71×10^{-6}
ประปาบ้านเนินสมบุรณ์				
ต้นท่อจ่ายน้ำ	2.22×10^{-5}	1.56×10^{-5}	1.42×10^{-5}	9.96×10^{-6}
กลางท่อจ่ายน้ำ	1.99×10^{-5}	1.39×10^{-5}	1.34×10^{-5}	9.41×10^{-6}
ปลายท่อจ่ายน้ำ	1.69×10^{-5}	1.19×10^{-5}	1.25×10^{-5}	8.76×10^{-6}
ประปาบ้านลำดวน				
ต้นท่อจ่ายน้ำ	1.49×10^{-5}	1.04×10^{-5}	1.16×10^{-5}	8.12×10^{-6}
กลางท่อจ่ายน้ำ	1.74×10^{-5}	1.22×10^{-5}	1.26×10^{-5}	8.87×10^{-6}
ปลายท่อจ่ายน้ำ	1.81×10^{-5}	1.27×10^{-5}	1.28×10^{-5}	8.98×10^{-6}

3.3.1 ผลการศึกษาการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

การศึกษาค่าความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซีติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง ทั้ง 3 เส้นทางน้ำประปา ด้วยการอุปโภค-บริโภค ผ่านทางการดื่ม-กิน และการซึมผ่านทางผิวหนัง จากสารกลุ่มกรดฮาโลอะซีติกทั้ง 2 ชนิด จาก 5 ชนิด ได้แก่ DCAA และ TCAA โดยใช้ค่า HI (Hazard index) ในการแสดงความเสี่ยงทางสุขภาพหาก $HI > 1$ สำหรับในการคำนวณค่าความเข้มข้นอ้างอิง (Reference dose, RfD) ที่ใช้ของ DCAA เท่ากับ 4×10^{-3} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และ TCAA เท่ากับ 2×10^{-2} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน พบว่า ความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซีติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง ผ่านทางการดื่ม-กิน และการซึมผ่านทางผิวหนัง มีค่า HI > 1 แสดงว่าไม่มีความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซีติกในน้ำประปาชุมชน ดังแสดงในรูปที่ 4

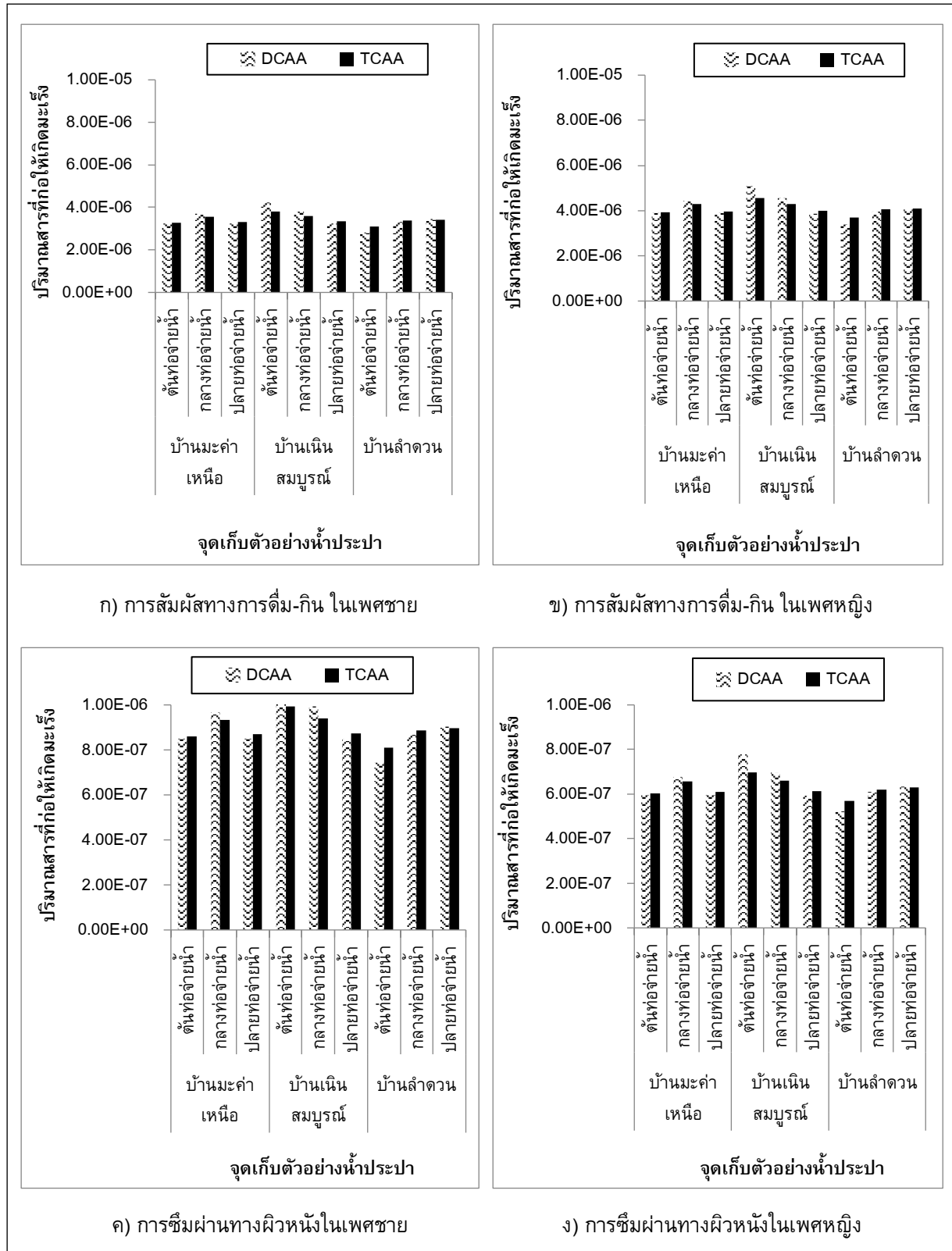


รูปที่ 4 ความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

3.3.2 ผลการศึกษาการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็ง

การศึกษาค่าความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซีติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง ทั้ง 3 เส้นทางน้ำประปา ด้วยการอุปโภค-บริโภค ผ่านทางการดื่ม-กิน และการซึมผ่านทางผิวหนัง จากสารกลุ่มกรดฮาโลอะซีติกทั้ง 2 ชนิด จาก 5 ชนิด ได้แก่ DCAA และ TCAA โดยใช้ค่า CR (Cancer Risk) ในการแสดงความเสี่ยงทางสุขภาพต่อการมีศักยภาพในการก่อให้เกิดมะเร็ง ซึ่งค่า CR ที่ยอมรับได้ต้องอยู่ในช่วง $<10^{-6} - 10^{-4}$ (น้อยกว่า 10^{-6} แต่ไม่เกิน 10^{-4}) ตามคำแนะนำของ US.EPA. สำหรับในการคำนวณค่า Slope factor หากมีค่าสูงแสดงถึงศักยภาพในการก่อให้เกิดมะเร็งได้สูงเช่นกัน ค่า Slope factor ของ DCAA เท่ากับ 5×10^{-2} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน และ TCAA เท่ากับ 7×10^{-2} มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน พบว่า ความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซีติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง ผ่าน

ทางการดื่ม-กิน และการซึมผ่านทางผิวหนัง มีค่า CR น้อยกว่า 10^{-6} แต่ไม่เกิน 10^{-4} แสดงว่าความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็ง

4. สรุปและอภิปรายผล

กรดฮาโลอะซิติก (HAAs) เป็นสารที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดมะเร็งได้ต่อผู้ใช้ น้ำซึ่งเกิดโดยการฆ่าเชื้อโรคในน้ำด้วยสารคลอรีนที่มากเกินไปจนทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์พบได้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ดังนั้นการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดจึงเป็นสิ่งสำคัญและจากการสำรวจคุณภาพน้ำประปาในพื้นที่ตำบลบ้านยาง 3 แห่ง ได้แก่ บ้านมะค่าเหนือ บ้านเนินสมบุรณ์ และบ้านลำดวน พบคุณลักษณะของน้ำเบื้องต้นที่มีค่า pH เป็นกลาง มีค่า DOC อยู่ในช่วง 7.81-12.33 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าคลอรีนอิสระคงค้างอยู่ในช่วงเฉลี่ยเท่ากับ 0.06-0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับปริมาณกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนทั้ง 3 เส้นทางกระจายน้ำประปา พบ ปริมาณความเข้มข้นของ HAA₅ สูงที่สุด ในจุดต้นท่อจ่ายน้ำ จุดกลางท่อจ่ายน้ำ และปลายท่อจ่ายน้ำ เฉลี่ยเท่ากับ 433.41 343.38 และ 297 ไมโครกรัมต่อลิตร ของประปาของบ้านเนินสมบุรณ์ (ทั้ง 2 จุดจ่ายแรก) น้ำประปาของบ้านลำดวน ตามลำดับ ทำให้สารชนิด DCAA และชนิด TCAA สูงตามไปด้วย โดยการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการอุปโภค-บริโภค ผ่านทางการดื่ม-กิน พบเพศหญิงได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในปริมาณที่มากกว่าเพศชายเนื่องจากมีระยะเวลา (อายุ) ของการสัมผัสที่นานกว่า และผ่านทางผิวหนังพบเพศชายได้รับสัมผัสสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในปริมาณที่มากกว่าเพศหญิงเนื่องจากพื้นที่ผิวหนังต่อการได้รับสัมผัสที่มากกว่า ซึ่งไม่มีความเสี่ยงทางสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง ผ่านทางการดื่ม-กิน และการซึมผ่านทางผิวหนัง (มีค่า HI > 1) และความเสี่ยงทางสุขภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็งของสารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติกในน้ำประปาชุมชนของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชนของ 3 แห่ง อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (มีค่า CR น้อยกว่า 10^{-6} แต่ไม่เกิน 10^{-4}) ดังนั้นในการจัดการน้ำสะอาดส่วนท้องถิ่นตำบลบ้านยางควรได้รับการอบรมให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้สารเคมีในระบบผลิตน้ำประปาเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้น้ำในพื้นที่

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยเวสเทิร์น และได้รับความอนุเคราะห์จากองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านยางสำหรับอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลในพื้นที่ รวมทั้งได้รับความร่วมมือจากประชาชนทั้ง 3 หมู่บ้านของตำบลบ้านยางเป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Pentamwa, P., Sukton, B., Wongklom, T., and Pentamwa, S. Cancer Risk Assessment from Trihalomethanes in Community Water Supply at Northeastern Thailand. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2013, p. 538-544
- [2] Nissinen, T. K., Miettinen, I. T., Martikainen, P. J., and Vartiainen, T. Disinfection by-products in Finnish drinking waters. *Chemosphere*, 2002. 48(1): 9-20
- [3] การประปานครหลวง. (2553). รอบรู้เรื่องประปา [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.mwa.co.th/>
- [4] Saengchut, P., Karuchit, S., and Pentamwa, P. Investigation of Haloacetic acids (HAAs) levels in water supply and its correlated HAAs formation. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.*, 2018, 164(1), p. 012023.
- [5] สุตจิต คุรุจิต ประพัฒน์ เป็นตามวา และสิราภรณ์ โพธิ์วิชยานนท์. การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของผู้ใช้น้ำประปาในเขตเมืองภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2560.
- [6] APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22nd Ed. American Public Health Association. Washington, DC, 2012.

- [7] กรมอนามัย กองสุขาภิบาลอาหารและน้ำ. ข้อกำหนดการรับรอง การตรวจสอบคุณภาพน้ำประปาดื่มได้ และเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภค. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก:กรุงเทพฯ ฯ, 2552.
- [8] APHA, AWWA, and WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed. Washington DC: USA, 2005.
- [9] Hong, H. C., Huang, F. Q., Wang, F. Y., Ding, L. X., Lin, H. J., and Liang, Y. Properties of sediment NOM collected from a drinking water reservoir in South China, and its association with THMs and HAAs formation. *Journal of Hydrology*. 476: 274-279, 2013
- [10] Ounsaneha W., Kraisin P., Tachapattaworakul Suksaroj T., Suksaroj C. and Rattanapan C. Health Risk Assessment from Haloacetic Acids Exposure in Indoor and Outdoor Swimming Pool Water. *Environment Asia Journal*. 10(2), 2017.
- [11] สุกุลยา ทับอุไร. การประยุกต์ใช้กระบวนการอัลตราฟิเตรชันสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2554.
- [12] ทศณา เกื้อแสง. การลดปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปาจากอ่างเก็บน้ำศรีตรังด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการโอโซนเนชัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา, 2553.
- [13] US.EPA. *EPA Drinking Water Guidance on Disinfection By-Products In nd (Ed.), Disinfection By-Products in Drinking Water*. 2 nd ed. United Kingdom, 2012
- [14] IRIS (Integrated risk information system). (2003). Integrated risk information system (Online). Available: <http://www.epa.gov/iris/subst/>