

การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของโลหะหนักผ่านการบริโภคและอาบน้ำประปา ในอำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก

Health Risk Assessment of Heavy Metals through Tap Water Drinking and Bathing in Mueang Phitsanulok District, Phitsanulok Province

กรรณิการ์ จงจิตร์¹, ปิยะดา วชิระวงศกร^{1*}

Kannika Jongjit¹, Piyada Wachirawongsakorn^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักและประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพและมะเร็งจากการสัมผัสโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำประปาจากการดื่มและอาบน้ำในพื้นที่อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำประปาทุกตำบล แต่ละตำบลจะสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำประปาจากแหล่งผลิต 1 จุด และบ้านเรือน 3 จุด รวมจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 80 จุด วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่าน้ำประปาจากแหล่งผลิตและบ้านเรือนมีการปนเปื้อนของเหล็กมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแคดเมียม ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง ND-0.249, ND-0.049, 0.003-0.151, ND-0.077 และ ND-3.584 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีเพียงปริมาณสังกะสีและทองแดงเท่านั้นที่มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของประปาครหลวง ซึ่งหากประชาชนมีการใช้น้ำประปาในการดื่มจะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพในระดับต่ำหากบริโภคต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 ปี ($THQ = 0.73484$) และมีความเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลางเมื่อมีการดื่มน้ำประปาต่อเนื่องเป็นระยะ 10 ปี ขึ้นไป ($THQ = \geq 1.46968$) ในขณะที่หากดื่มน้ำประปาตลอดชีวิตจะมีค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพในระดับสูง ($THQ = 7.93090$) นอกจากนี้การดื่มน้ำประปายังก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งจากแคดเมียมได้ ($CR = 0.0003-0.00144$) ในขณะที่การใช้น้ำประปาสำหรับอาบไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ($HQ = 2.66 \times 10^{-10}$ ถึง 1.72×10^{-5})

คำสำคัญ: น้ำประปา, โลหะหนัก, การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ, โรคมะเร็ง, การสัมผัส

Citation:

Jongjit K, Wachirawongsakorn P. Health risk assessment of heavy metals through tap water drinking and bathing in Mueang Phitsanulok District, Phitsanulok Province. Health Sci J Thai 2024; 6(3): 95-105. (in Thai); <https://doi.org/10.55164/hsjt.v6i3.266261>

*Corresponding author: Email: piyada333@hotmail.com, Tel: 094-5366515
Received: Nov 9, 2023; Revised: Apr 3, 2024; Accepted: Jun 12, 2024
<https://doi.org/10.55164/hsjt.v6i3>.

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก
65000

¹ Faculty of Science and Technology,
Phitsanulok Rajabhat University,
Phitsanulok, 65000

Abstract

This research involved the analysis of heavy metal contamination levels and the assessment of health and cancer risks due to exposure to heavy metals present in tap water through consumption and bathing in the Mueang Phitsanulok District, Phitsanulok Province. Tap water samples were collected randomly from every sub-district. In each sub-district, tap water samples were randomly obtained from one water supply source and three households, making a total of 80 sampling points. The quantification of heavy metal levels was analyzed using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The study's findings revealed that tap water from both sources exhibited the highest contamination levels of Fe, followed by lead, zinc, copper, and cadmium, with average concentrations of ND-0.249, ND-0.049, 0.003-0.151, ND-0.077, and ND-3.584 mg/L, respectively. Only Cu and Cd concentrations exceeded the Metropolitan Waterworks Authority standards. In the event that the public utilizes tap water for drinking, it resulted in a low health risk over a 5-year continuous consumption period (THQ = 0.73484), a moderate risk over a 10-year continuous consumption period (THQ = ≥ 1.46968), while lifetime consumption leads to a high health risk (THQ = 7.93090). Additionally, tap water consumption also poses a risk of developing cadmium-induced cancer (CR = 0.0003-0.00144). Using tap water for bathing does not have a substantial impact on health (HQ = 2.66×10^{-10} to 1.72×10^{-5}).

Keywords: Tap water, Heavy metals, Health risk assessment, Cancer, Exposure

บทนำ

น้ำประปาเป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการทำให้สะอาดปราศจากเชื้อโรค แล้วจ่ายไปให้ประชาชนได้บริโภคบริโภคในชีวิตประจำวัน ได้แก่ การอาบน้ำ การล้างถ้วยชามภาชนะ การล้างอาหาร ผัก ผลไม้ การซักผ้า การเช็ดถู การล้างรถ ห้องสุขา การโกนหนวด และการแปรงฟัน เป็นต้น⁽¹⁾ และบางส่วนอาจมีการใช้น้ำประปามาดื่มกินโดยผ่านการกรองหรือต้มก่อน ซึ่งการนำน้ำมาใช้ในการบริโภคและสัมผัสทางผิวหนังนั้น คุณภาพของน้ำต้องอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สะอาดและปลอดภัย ทั้งนี้ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา การผลิตน้ำประปาได้ถูกร้องเรียนเกี่ยวกับคุณภาพน้ำจำนวนมาก โดยเมื่อพิจารณาข้อร้องเรียนจากประปาส่วนภูมิภาคจะพบว่า ในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2565 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2566 มีการร้องเรียนในเรื่องดังกล่าวถึง 260,163 เรื่อง⁽²⁾ โดยเฉพาะปัญหาด้านคุณภาพน้ำที่พบว่ามีการร้องเรียนหลายเรื่อง ได้แก่ น้ำไม่สะอาด น้ำขุ่น น้ำมีกลิ่น น้ำมีสี และน้ำมีสิ่งเจือปน⁽³⁾ นอกจากนี้ ยังพบว่า มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพด้านการปนเปื้อนโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน เช่น พบการปนเปื้อนแมงกานีสและสังกะสีในน้ำประปาที่อยู่ใกล้บริเวณหลุมฝังกลบของเสียที่ไม่อันตรายในพื้นที่ อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี โดยมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.011-0.038 และ ND-0.043 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และไม่พบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับโลหะหนักในน้ำประปาในพื้นที่นี้⁽⁴⁾ นอกจากนี้ พบการปนเปื้อนโลหะหนักจากน้ำดิบที่นำมาผลิตน้ำประปาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ โดยพบว่าปริมาณ

ความเข้มข้นของโครเมียม แมงกานีส เหล็ก นิกเกิล ทองแดง สังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว ในแหล่งน้ำดิบมีค่าเฉลี่ยมากกว่าจุดบ้านผู้ใช้ ซึ่งคุณภาพน้ำส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นของสังกะสี โครเมียม และแมงกานีส ในแหล่งน้ำดิบถูกดูแลบางจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งจากการประเมินค่าความเสี่ยง (Hazard Quotient, HQ) ของสารกลุ่มโลหะหนักแต่ละชนิดทั้งน้ำในแหล่งน้ำดิบและในน้ำก๊อกในเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้⁽⁵⁾ เป็นต้น

ปัจจุบันปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญเกิดจากโรคที่เกิดจากน้ำเป็นสื่อ (Water-borne disease) ได้แก่ โรคอุจจาระร่วงเฉียบพลัน (Acute diarrhea) โรคบิด (Dysentery) โรคไทฟอยด์ และพยาธิต่าง ๆ ที่มีสาเหตุจากการดื่มน้ำที่ไม่สะอาด นอกจากนี้ ยังมีการเจ็บป่วยที่เกิดจากผลกระทบของสารเคมีในน้ำโดยรวมทั้งสารมลพิษที่ถูกปล่อยสู่แหล่งน้ำและสารเคมีที่มีอยู่ตามธรรมชาติในแหล่งน้ำใต้ดิน เช่น ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และเหล็ก เป็นต้น ดังนั้นการหาน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภค และการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำทั้งทางกายภาพเคมีและแบคทีเรียจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง⁽⁶⁾ สำหรับจังหวัดพิษณุโลกในปัจจุบันได้มีการให้บริการน้ำประปาแก่ชุมชนทั้งการให้บริการจากประปาส่วนภูมิภาคและการผลิตประปาหมู่บ้าน ถึงแม้ว่าน้ำประปาจะมีการตั้งเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำไว้แต่ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ยังมีข้อร้องเรียนถึงคุณภาพน้ำประปาทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ และประชาชนได้มีการร้องเรียนปัญหาต่าง ๆ ของน้ำประปา ได้แก่ ปัญหาน้ำประปาขุ่นเกินมาตรฐานเนื่องจากน้ำในแม่น้ำน่านมีความขุ่นสูงมาก จึงทำให้ไม่สามารถนำน้ำมาผลิตได้อย่างเต็มที่ และพื้นที่ใกล้เคียงน้ำประปาจะไหลอ่อนถึงไม่ไหลเลย⁽⁷⁾ แต่ไม่พบว่า

การตรวจสอบหรือการรายงานถึงการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำประปา ทั้งนี้หากร่างกายเราได้รับโลหะหนักเป็นประจำทุกวันจากการใช้น้ำประปาอาจจะสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ เช่น ตะกั่ว ทำให้เกิดโรคพิษตะกั่ว⁽⁸⁾ แคดเมียมสามารถทำให้เกิด โรคไต-อัสไต⁽⁹⁾ สังกะสีสามารถทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ ท้องร่วง⁽¹⁰⁾ ทองแดงสามารถทำให้เกิดโรควิลสัน⁽¹¹⁾ เหล็กสามารถทำให้เกิดอาการการระคายเคืองต่อเยื่อต่างๆ โดยเฉพาะเยื่อทางเดินอาหาร เป็นสาเหตุให้มีเลือดออกในทางเดินอาหารได้⁽¹²⁾ เป็นต้น ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำประปาส่วนใหญ่ มักจะคำนึงถึงในส่วนของคุณภาพของน้ำ แต่คุณภาพน้ำประปา ในด้านการปนเปื้อนกลุ่มโลหะหนักที่เป็นอันตรายยังคงมีน้อย ทั้งที่หากได้รับสัมผัสสารเหล่านี้เป็นระยะเวลานานจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยตรง หรือนำไปสู่การก่อให้เกิดโรคมะเร็งในระยะยาว

ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้จึงได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำประปาในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รวมถึงการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพและความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสโลหะหนักผ่านการรับสัมผัสน้ำประปาทางการบริโภคและการรับสัมผัสทางผิวหนัง เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการป้องกันการเกิดปัญหาคุณภาพน้ำประปาที่ไม่ได้เกณฑ์มาตรฐานและวางแนวทางในการเลือกใช้ประโยชน์และวางแนวทางในการแก้ไขปัญหาทางสุขภาพที่อาจเกิดกับผู้ใช้บริการน้ำประปาเป็นประจำผ่านการรับสัมผัสต่าง ๆ ในอนาคตต่อไป

วิธีการวิจัย

การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำประปา

1) พื้นที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่างน้ำประปา

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำประปาในพื้นที่อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำประปาทุกตำบล แต่ละตำบลเก็บตัวอย่างน้ำประปาจากแหล่งผลิต 1 ตัวอย่าง และน้ำประปาจากบ้านเรือนรอบแหล่งผลิต 3 หลังคาเรือน ดังนั้นจำนวนตัวอย่างน้ำประปาที่เก็บทั้งหมดมีจำนวน 80 ตัวอย่าง ซึ่งก่อนการเก็บตัวอย่างน้ำประปาจะเปิดก๊อกน้ำให้น้ำไหลเต็มที่ประมาณ 1 นาทีก่อน และเติมกรดไนตริกให้มีความ pH < 2 นำตัวอย่างน้ำไปเก็บในถังน้ำแข็งที่อุณหภูมิประมาณ 4-10 องศาเซลเซียส แล้วส่งห้องปฏิบัติการทดสอบ⁽¹³⁾

2) การวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำประปา

ความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่างน้ำประปาที่ตรวจสอบได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง สังกะสี และเหล็ก จะวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยการย่อยตัวอย่างประเภทน้ำด้วยเครื่อง High Performance Microwave Digestion ยี่ห้อ Milestone Connect รุ่น Ethos™ M UP ตามวิธีมาตรฐาน U.S. EPA Method 3015a (ตัวอย่างน้ำ 45 mL + 5 mL HNO₃ ที่อุณหภูมิ T1 และ T2 180 °C

และ Power 1800 W) จากนั้นกรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer: AAS) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AA- 6200 ประเทศญี่ปุ่น โดยมีค่า LOD (limit of detection) ของแคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และเหล็ก มีค่าเท่ากับ 0.0003, 0.001, 0.006, 0.0005 และ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และร้อยละการคืนกลับ (% recovery) มีค่าเท่ากับ 89-98%

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการใช้น้ำประปา

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจะนำความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำประปามาทำการประเมินตามวิธีการของ US-EPA ปี ค.ศ.1989 โดยทำการประเมินความเสี่ยงจากเส้นทางการได้รับสัมผัสโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำประปาเข้าสู่ร่างกาย 2 เส้นทาง คือ การดื่ม และทางผิวหนังจากการอาบน้ำ และแบ่งกลุ่มการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพโดยเป็นกลุ่มเพศหญิงและเพศชาย ตามลักษณะสัดส่วนน้ำหนักและส่วนสูงของมาตรฐาน Size Thailand⁽¹⁴⁾ นอกจากนี้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจะทำการประเมินผ่านการรับสัมผัสโลหะหนักในระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 ปี รวมถึงการรับสัมผัสตลอดช่วงชีวิต

2) การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนัก

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำประปาจากการดื่มและทางผิวหนัง สามารถคำนวณได้⁽¹⁵⁾ ดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2

$$CDI_{\text{ingestion water}} = \frac{CW \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

$$CDI_{\text{dermal contact water}} = \frac{CW \times SA \times PC \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \quad (2)$$

3) การอธิบายลักษณะความเสี่ยงต่อสุขภาพของกลุ่มสารที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ซึ่งได้รับสัมผัสจากตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และเหล็ก ที่ปนเปื้อนในน้ำประปา⁽¹⁶⁾ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$HQ = CDI/Rfd \quad (3)$$

ทั้งนี้ การประเมินความเสี่ยงของการเกิดผลกระทบจะนำค่า HQ ของแต่ละโลหะหนักที่ได้รับสัมผัสมารวมกันเพื่อประเมินความเสี่ยงรวม (Total Hazard Quotient: THQ)⁽¹⁷⁾ ดังสมการที่ 4

$$THQ = HQ_{Pb} + HQ_{Cd} + HQ_{Zn} + HQ_{Cu} + HQ_{Fe} \quad (4)$$

การอธิบายลักษณะความเสี่ยงพิจารณาจากค่าสัดส่วนความเสี่ยงต่อสุขภาพ โดยสามารถแบ่งเป็น 4 ระดับ⁽¹⁸⁾ คือ ไม่มีอันตราย (HQ <0.1) อันตรายต่ำ (HQ = 0.1-1.0) อันตรายปานกลาง (HQ = 1.0-4.0) และอันตรายสูง (HQ >4)

4) การอธิบายลักษณะความเสี่ยงต่อสุขภาพของกลุ่มสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของกลุ่มสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในงานวิจัยนี้สามารถประเมินได้จากการได้รับสารตะกั่วและแคดเมียมผ่านการบริโภคน้ำประปาโดยสมการของการคำนวณความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งเป็นการคำนวณความเสี่ยงตลอดชีวิตผ่านการดื่มน้ำประปาในชีวิตประจำวัน⁽¹⁹⁾ ดังสมการที่ 5

$$\text{Cancer Risk (CR)} = \text{CSF} \times \text{CDI}_{\text{Dermal contact}} \quad (5)$$

ทั้งนี้หากมีการสัมผัสสารก่อมะเร็งจากสัมผัสสารหลายชนิดที่มีผลต่อการเกิดมะเร็งต่ออวัยวะเดียวกันจะมีการประเมินความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งรวมด้วย⁽¹⁷⁾ ดังสมการที่ 6

$$\text{Total Cancer Risk (TCR)} = \text{CR}_{\text{Pb}} + \text{CR}_{\text{Cd}} \quad (6)$$

ทั้งนี้ US.EPA ได้เสนอแนะว่าค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งที่ยอมรับได้มีค่าตั้งแต่ 10^{-4} ถึง 10^{-6} ⁽¹⁷⁾ ซึ่งการกำหนดค่าคงที่ต่างๆของการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพและมะเร็ง ดังแสดงในตารางที่ (Table) 1

Table 1 Constant values for calculation in health and cancer risk assessment equations

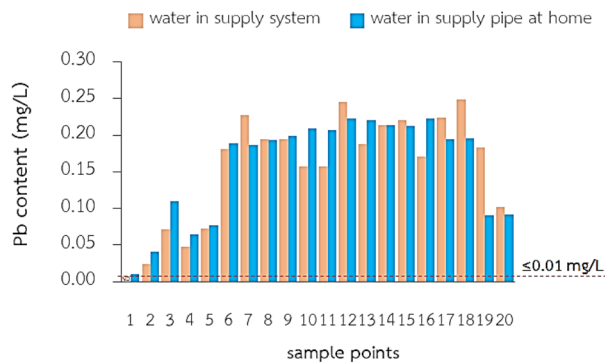
Variable symbols: Meaning of symbols	Constant values
CDI _{ingestion water} : Chronic daily intake via water ingestion (mg/kg/d)	-
CDI _{Dermal contact water} : Chronic daily intake via dermal contact water (mg/kg/d)	-
HQ: Hazard quotient, THQ: Total hazard quotient	-
CR: Cancer risk, TCR: Total cancer risk	-
CW: Average heavy metal content in water (mg/L)	-
IR: Incidental ingestion rate of water (L/day) ⁽²⁰⁾	2
EF: Annual exposure frequency for water drinking /bathing (days/year)	365
ET: Exposure time for bathing (hours/day) ⁽²¹⁾	0.4
ED: Lifetime exposure duration (years) ⁽²²⁾	70
AT: Averaging time (days) : carcinogenic substance (70 years) ⁽²²⁾	25,550
BW: Body weight (kg): Female, Male ⁽¹⁴⁾	57.4, 68.9
SA: Skin surface area exposed (cm ²) : Female, Male	1, 582, 1, 801
PC: Skin permeability constant (cm/hour) ⁽²³⁾	Pb = 0.001, Cd = 0.00084, Zn = 0.0006, Cu = 0.001, Fe = 0.001
CF: Conversion factor (L/cm ³)	10^{-3}
Rfd: Reference dose (mg/kg/d) ⁽²³⁾	Pb = 0.0035, Cd = 0.0005, Zn = 0.3, Cu = 0.04, Fe = 0.007
CSF: Cancer slope factor (mg/kg/day) ⁽²⁴⁾	Pb = 1.5, Cd = 0.38

ผลการศึกษา

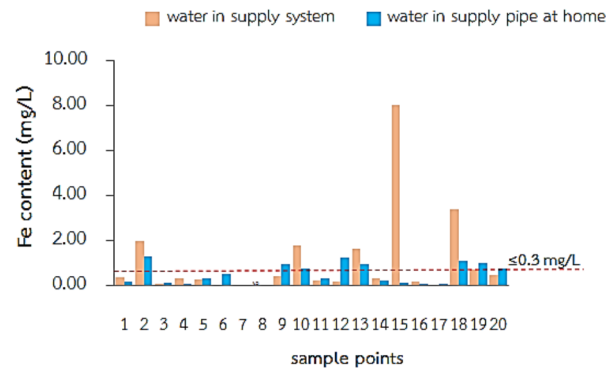
การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำประปา

การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำประปาที่ใช้ในการอุปโภคและบริโภคในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งแบ่งการตรวจสอบน้ำประปาออกเป็น 2 ส่วน คือ แหล่งผลิตน้ำประปา และบ้านเรือน ซึ่งจากการตรวจสอบการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำประปาจากแหล่งผลิต พบว่าน้ำประปามีการปนเปื้อนเหล็กมากที่สุด รองลงมาคือ ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแคดเมียม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.022 ± 1.867 , 0.152 ± 0.078 , 0.041 ± 0.035 , 0.025 ± 0.027 และ 0.023 ± 0.019 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำประปาจากบ้านเรือนพบว่า มีแนวโน้มการปนเปื้อนของโลหะหนักเช่นเดียวกับที่ตรวจพบจาก

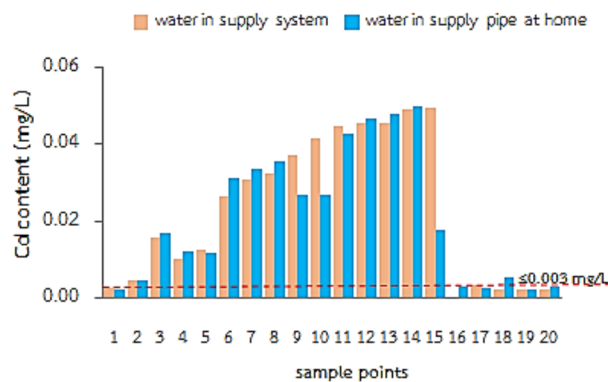
แหล่งผลิตน้ำประปา ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.517 ± 0.755 , 0.158 ± 0.071 , 0.040 ± 0.054 , 0.028 ± 0.030 และ 0.022 ± 0.019 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยปริมาณค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีและทองแดงจัดว่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของประปานครหลวงสำหรับการใช้อุปโภคบริโภค ในขณะที่ปริมาณการปนเปื้อนของตะกั่ว แคดเมียม และเหล็กในน้ำประปามีค่าเกินค่ามาตรฐานของประปานครหลวงกำหนดไว้ (0.01, 0.003 และ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) โดยน้ำประปาจากแหล่งผลิตมีค่าเกินมาตรฐานคิดเป็นร้อยละ 95, 75 และ 55 ตามลำดับ ส่วนน้ำประปาจากบ้านเรือนมีค่าเกินมาตรฐานคิดเป็นร้อยละ 98.33, 66.67 และ 80 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ (Figure) 1



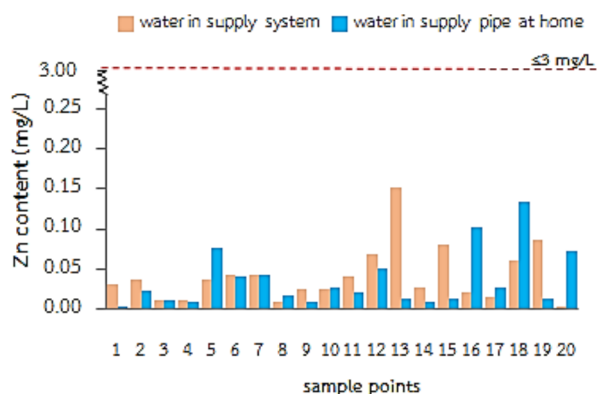
(a) Pb contamination of water supply



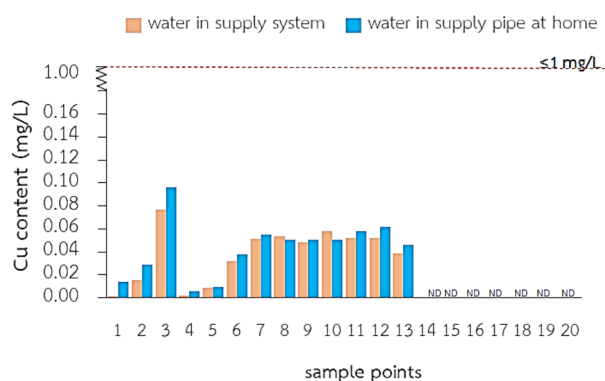
(e) Fe contamination of water supply



(b) Cd contamination of water supply



(c) Zn contamination of water supply



(d) Cu contamination of water supply

Figure 1 Contamination of heavy metal in water supply at Mueang Pitsanulok district, Pitsanulok province

การรับสัมผัสโลหะหนักและความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคน้ำประปา

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการดื่มน้ำประปาพบว่าเพศหญิงมีการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคน้ำประปามากกว่าเพศชาย โดยมีค่าเฉลี่ยการรับสัมผัสสารตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และเหล็ก ตั้งแต่การรับสัมผัสเป็นระยะ 5 ปี ถึง ตลอดช่วงชีวิต มีค่าอยู่ในช่วงเท่ากับ 0.000333 - 0.00549, 0.00004 - 0.00074, 0.00007 - 0.00124, 0.00006 - 0.00100 และ 0.00106 - 0.01780 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสน้ำประปาที่ปนเปื้อนโลหะหนักผ่านการดื่ม พบค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพรวมจากการดื่มน้ำประปาที่มีการปนเปื้อนตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง สังกะสี และเหล็กทุกวันต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลา 5 ปีนั้นมีความเสี่ยงต่อสุขภาพอยู่ในระดับต่ำ และเมื่อมีดื่มน้ำประปานี้ต่อเนื่องตั้งแต่เป็นระยะเวลา 10 ปี ถึง 20 ปี จะมีระดับความเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลาง ในขณะที่หากดื่มน้ำนี้ตลอดชีวิตจะทำให้มีระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพอยู่ในระดับสูงดังแสดงในตารางที่ (Table) 2

การรับสัมผัสโลหะหนักและความเสี่ยงผ่านการสัมผัสทางผิวหนังจากการอาบน้ำ

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการอาบน้ำของประชาชนพบว่าเพศหญิงมีการรับสัมผัสโลหะหนักจากการอาบน้ำประปามากกว่าเพศชาย โดยมีค่าเฉลี่ยการรับสัมผัสสารตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และเหล็ก ตั้งแต่การรับสัมผัสเป็นระยะ 5 ปี ถึงตลอดช่วงชีวิต มีค่าอยู่ในช่วงเท่ากับ 1.18×10^{-10} - 9.57×10^{-10} , 1.32×10^{-11} - 1.13×10^{-9} , 1.59×10^{-11} - 1.42×10^{-9} , 2.14×10^{-11} - 1.80×10^{-9} และ 3.81×10^{-10} - 2.89×10^{-10} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสน้ำประปาที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากการอาบน้ำผ่านค่าสัดส่วนความเสี่ยงของตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และเหล็กนั้น

พบว่าไม่มีอันตรายต่อสุขภาพทั้งเพศหญิงและเพศชายตั้งแต่มี การอาบน้ำประปาเป็นระยะเวลา 5 ปี จนถึงตลอดช่วงชีวิต โดยมีค่า สัดส่วนความเสี่ยงอยู่ในช่วง 2.24×10^{-7} - 1.72×10^{-5} , 1.32×10^{-8} - 1.025×10^{-6} , 2.66×10^{-10} - 2.04×10^{-8} , 1.78×10^{-9} - 1.37×10^{-7} และ 5.45×10^{-10} - 4.19×10^{-8} ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความ เสี่ยงต่อ สุขภาพรวมจากการอาบน้ำจะพบว่าแม้มีการใช้น้ำประปา น้ำอาบน้ำตลอดช่วงชีวิตก็ไม่มีอันตรายต่อสุขภาพ ดังแสดง ในตารางที่ (Table) 2

Table 2 Health risk of heavy metal through tap water consumption and bathing

Health risk assessment	Tap water consumption					Bathing tap water				
	5 years	10 years	15 years	20 years	Lifetime	5 years	10 years	15 years	20 years	Lifetime
Pb										
DE										
female	0.00039	0.00078	0.00118	0.00157	0.00549	1.24×10^{-10}	2.48×10^{-10}	3.72×10^{-10}	4.96×10^{-10}	9.57×10^{-9}
male	0.00033	0.00065	0.00098	0.00131	0.00457	1.18×10^{-10}	2.35×10^{-10}	3.53×10^{-10}	4.70×10^{-10}	9.08×10^{-9}
HQ										
female	0.11199	0.22399	0.33598	0.44797	1.56791	2.36×10^{-7}	4.72×10^{-7}	7.09×10^{-7}	9.45×10^{-7}	1.72×10^{-5}
male	0.0933	0.1866	0.2799	0.3732	1.30621	2.24×10^{-7}	4.48×10^{-7}	6.72×10^{-7}	8.96×10^{-7}	1.64×10^{-5}
LHR										
female	Low	Low	Low	Low	Medium	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
male	Negligible	Low	Low	Low	Medium	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
Cd										
DE										
female	0.00005	0.00011	0.00027	0.00021	0.00074	1.40×10^{-11}	2.79×10^{-11}	4.19×10^{-11}	5.59×10^{-11}	1.13×10^{-9}
male	0.00004	0.00009	0.00013	0.00018	0.00061	1.32×10^{-11}	2.65×10^{-11}	3.97×10^{-11}	5.30×10^{-11}	1.07×10^{-9}
HQ										
female	0.10515	0.2103	0.31545	0.4206	1.4721	1.40×10^{-8}	2.79×10^{-8}	4.19×10^{-8}	5.59×10^{-8}	1.025×10^{-6}
male	0.0876	0.1752	0.2628	0.3504	1.2264	1.32×10^{-8}	2.65×10^{-8}	3.97×10^{-8}	5.30×10^{-8}	9.67×10^{-7}
LHR										
female	Low	Low	Low	Low	Medium	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
male	Negligible	Low	Low	Low	Medium	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
Zn										
DE										
female	0.00009	0.00018	0.00027	0.00035	0.00124	1.68×10^{-11}	3.36×10^{-11}	5.04×10^{-11}	6.72×10^{-11}	1.42×10^{-9}
male	0.00007	0.00015	0.00022	0.0003	0.00103	1.59×10^{-11}	3.19×10^{-11}	4.78×10^{-11}	6.38×10^{-11}	1.35×10^{-9}
HQ										
female	0.0003	0.00059	0.00089	0.00118	0.00413	2.80×10^{-10}	5.60×10^{-10}	8.40×10^{-10}	1.12×10^{-9}	2.04×10^{-8}
male	0.00025	0.00049	0.00074	0.00098	0.00344	2.66×10^{-10}	5.31×10^{-10}	7.97×10^{-10}	1.06×10^{-9}	1.94×10^{-8}
LHR										
female	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
male	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
Cu										
DE										
female	0.00007	0.00014	0.00021	0.00028	0.001	2.25×10^{-11}	4.50×10^{-11}	6.76×10^{-11}	8.54×10^{-11}	1.80×10^{-9}
male	0.00006	0.00012	0.00018	0.00024	0.00083	2.14×10^{-11}	4.27×10^{-11}	6.41×10^{-11}	8.54×10^{-11}	1.70×10^{-9}
HQ										
female	0.00178	0.00356	0.00534	0.00712	0.02492	1.88×10^{-9}	3.75×10^{-9}	5.63×10^{-9}	7.51×10^{-9}	1.37×10^{-7}
male	0.00148	0.00297	0.00545	0.00593	0.02544	1.78×10^{-9}	3.56×10^{-9}	5.34×10^{-9}	7.12×10^{-9}	1.20×10^{-7}

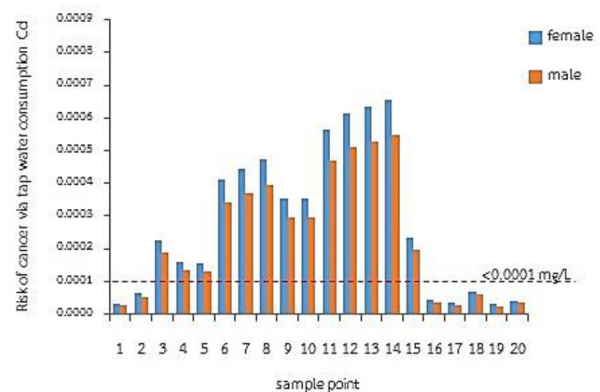
Table 2 Health risk of heavy metal through tap water consumption and bathing (Continued)

Health risk assessment	Tap water consumption					Bathing tap water				
	5 years	10 years	15 years	20 years	Lifetime	5 years	10 years	15 years	20 years	Lifetime
LHR										
female	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
male	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
Fe										
DE										
female	0.00127	0.00254	0.00381	0.00509	0.0178	4.02×10^{-10}	8.05×10^{-10}	1.21×10^{-9}	1.61×10^{-9}	2.89×10^{-8}
male	0.00106	0.00212	0.00318	0.00424	0.01483	3.81×10^{-10}	7.63×10^{-10}	1.14×10^{-9}	1.53×10^{-9}	2.74×10^{-8}
HQ										
female	0.18165	0.36331	0.54496	0.72662	0.18165	5.75×10^{-10}	1.15×10^{-9}	1.72×10^{-9}	2.30×10^{-9}	4.19×10^{-8}
male	0.15133	0.30267	0.454	0.60534	2.11869	5.45×10^{-10}	1.09×10^{-9}	1.63×10^{-9}	2.18×10^{-9}	3.98×10^{-8}
LHR										
female	Low	Low	Low	Low	Low	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
male	Low	Low	Low	Low	Medium	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
Total HQ	0.73484	1.46968	2.20552	2.93935	7.93090	4.93×10^{-7}	9.85×10^{-7}	1.48×10^{-6}	1.97×10^{-6}	3.60×10^{-5}
Level of health Risk	Low	Medium	Medium	Medium	High	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible

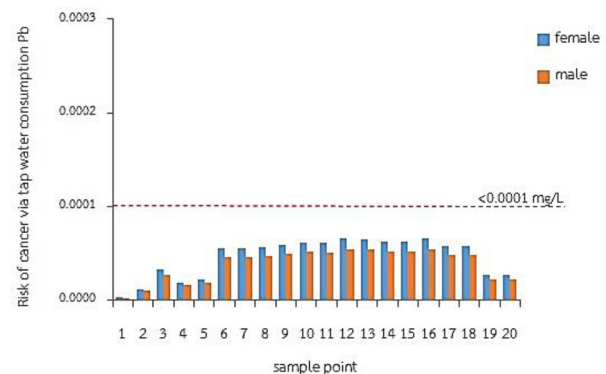
Note: DE: Daily exposure (mg/kg/day), HQ: Hazard Quotient, LHR: Level of health Risk, HQ<0.1 (Negligible), HQ≥0.1<1 (Low), HQ≥1<4 (Medium), HQ≥4 High

ความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งจากการบริโภค

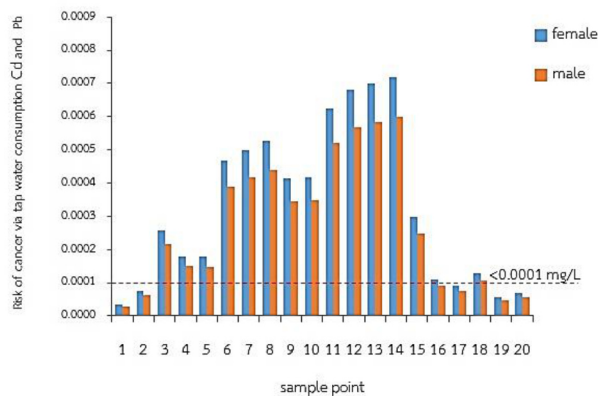
การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการเกิดโรคมะเร็งจากการได้รับแคดเมียมและตะกั่วในน้ำประปาจากการบริโภคสำหรับเพศหญิงมีค่าความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งอยู่ในช่วง 0.00003 - 0.00066 และ ND - 0.00007 ตามลำดับ และเพศชายมีค่าความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งอยู่ในช่วง 0.00002 - 0.00055 และ ND - 0.00005 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าความเสี่ยงของตะกั่วอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ แต่ค่าความเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็งของแคดเมียมมีค่าเกิน 0.0001 ซึ่งถือว่ามีความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้โดยน้ำประปาที่เก็บตัวอย่างสามารถก่อให้เกิดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งในเพศหญิงร้อยละ 93 และเพศชายร้อยละ 95 ของจำนวนจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งหากมีการนำน้ำประปาจากแหล่งบริการดังกล่าวมาบริโภคอาจทำให้เกิดโรคมะเร็งได้เมื่อพิจารณาความเสี่ยงของโรคมะเร็งรวมจากการใช้น้ำประปานี้ก็พบว่ามีเพียงจุดเดียวเท่านั้นที่เมื่อนำไปบริโภคแล้วไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งโดยค่าความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งรวมอยู่ในระหว่าง 0.00004 - 0.00072 ดังแสดงในภาพที่ (Figure) 2



(a) Cancer risk of Cd via tap water consumption



(b) Cancer risk of Pb via tap water consumption



(c) Total cancer risk of Cd and Pb via tap water consumption

Figure 2 Cancer risk of tap water consumption in Phitsanulok province

อภิปรายผล

น้ำประปาในเขตพื้นที่อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก ทั้งจากแหล่งผลิตน้ำประปาและน้ำประปาที่ปล่อยออกจากก๊อกน้ำตามบ้านเรือนนั้นมีการปนเปื้อนของเหล็กมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแคดเมียม ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง ND-0.249, ND-0.049, 0.003-0.151, ND-0.077 และ ND-3.584 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีเพียงปริมาณสังกะสีและทองแดงเท่านั้นที่มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของประปานครหลวงที่กำหนดไว้ โดยตะกั่ว แคดเมียม และเหล็ก มีค่าเกินมาตรฐานร้อยละ 95, 75 และ 55 ของจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งรายงานของ Optimum Water Solutions⁽²⁵⁾ ระบุว่าแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว จัดเป็นโลหะหนักที่ปนเปื้อนน้ำก๊อกมากที่สุดติด 5 อันดับแรก โดยแคดเมียมมักจะลงไปในน้มน้ำผ่านทางการนำสังกะสีที่ไม่บริสุทธิ์มาใช้ในการชุบท่อและบัดกรีในข้อต่อของก๊อกน้ำ ซึ่งการได้รับเพียงในระยสั้นอาจทำให้เกิดอาการคลื่นไส้อาเจียน แต่การสัมผัสมากเกินไปอาจทำให้เกิดโรคมะเร็งได้รวมถึงก่อให้เกิดความเสียหายต่อตับ กระดูก และกล้ามเนื้อ สำหรับทองแดงเป็นโลหะหนักที่พบมากที่สุดที่พบในน้ำประปา

เนื่องจากทองแดงสามารถชะลงไปในน้ำประปาได้หากท่อ ก๊อกน้ำ และอุปกรณ์ประปาอื่น ๆ เริ่มสึกกร่อน ถึงทองแดงจะมีความจำเป็นต่อสุขภาพ แต่หากได้รับมากเกินไปอาจทำให้เกิดโรคมะเร็ง ท้องเสีย ปวดท้อง หรือแม้แต่โรคไตและตับได้ สำหรับการปนเปื้อนของตะกั่วในน้ำประปาอาจจะมาจากการกัดกร่อนของท่อหรืออุปกรณ์ประปาแบบเก่าที่ติดตั้งระบบประปาทองแดงที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อนซึ่งปัจจุบันได้ยกเลิกการใช้ไปแล้ว นอกจากนี้ ตะกั่วยังสามารถเข้าปนเปื้อนในน้ำจากการปนเปื้อนตามธรรมชาติที่หินแร่มีการกร่อน หรือเมื่อกิจกรรมทางอุตสาหกรรมรั่วไหลลงสู่ลำน้ำโดยตรง ซึ่งสารตะกั่วในน้ำมีการปนเปื้อนแม้เพียงปริมาณเล็กน้อยก็อาจเป็นอันตรายได้ เนื่องจากสารตะกั่วจะสะสม

ในร่างกายเมื่อเวลาผ่านไป ทำให้เกิดความเสียหายต่อสมอง ตับ ไต หัวใจ หรือกระดูก การได้รับสารตะกั่วอาจทำให้ระบบภูมิคุ้มกันบกพร่องนำไปสู่โรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ ระบบประสาททำงานผิดปกติ หรือโรคไต และหากเด็กได้รับจะทำให้เกิดความเสียหายต่อการพัฒนาการ ไอคิวต่ำ อาการชัก และแม้กระทั่งการเสียชีวิต

นอกจากนี้ ที่ผ่านมายังพบมีการรายงานถึงการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำประปาในประเทศไทยอยู่บ้าง ซึ่งส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนโลหะหนักยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ เช่น น้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำประปาหมู่บ้านในเขตอำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น มีการปนเปื้อนของเหล็ก ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง โครเมียม แมงกานีส และอลูมิเนียม ซึ่งมีค่าการปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.140-1.460, ND-0.051, 0.001-0.005, 0.025-0.071, 0.010-0.016, 0.003-0.006, 0.212-1.195 และ 0.019-1.160 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีเพียงปริมาณแมงกานีสนั้นสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด⁽²⁶⁾ สำหรับน้ำประปาหมู่บ้านถ้ำลา ตำบลลานข่อย อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง มีการปนเปื้อนโลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี แต่ไม่พบการปนเปื้อนแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว โปรท และสารหนูทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง มีเพียงปริมาณเหล็กเท่านั้นที่เกินค่ามาตรฐาน คิดเป็นร้อยละ 8.33⁽²⁷⁾ ในขณะที่บริเวณพื้นที่อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี พบน้ำประปามีการปนเปื้อนเฉพาะแมงกานีสและสังกะสีที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.011-0.038 และ ND-0.043 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด⁽⁴⁾ เป็นต้น

อีกทั้งยังมีรายงานในต่างประเทศเกี่ยวกับการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำประปา เช่น ประเทศปากีสถานถึงการปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำดื่มจากระบบน้ำประปาโดยเฉพาะโครเมียม อาร์เซนิก เหล็ก แคดเมียม นิเกิล และตะกั่ว สูงกว่าค่าที่ยอมรับได้⁽²⁸⁾ สำหรับน้ำประปาในประเทศโปแลนด์มีรายงานการปนเปื้อนของสังกะสี ทองแดง และตะกั่ว เฉลี่ยเท่ากับ 0.5, 0.0567 และ 0.00134 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ⁽²⁹⁾ เมื่อพิจารณาถึงการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่สามารถสัมผัสน้ำประปาได้ทั้งจากการดื่มและการอาบน้ำ จะเห็นได้ว่าการดื่มน้ำประปาก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพได้มากกว่าการอาบน้ำ และเพศหญิงมีความเสี่ยงต่อสุขภาพและการเกิดมะเร็งมากกว่าเพศชาย โดยการใช้ น้ำประปาในการดื่มจะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพตั้งแต่มารับบริโภคต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 ปี โดยมีความเสี่ยงต่อสุขภาพในระดับต่ำ และมีความเสี่ยงอยู่ในระดับกลางเมื่อมีการดื่มน้ำประปาต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 10 ปี ขึ้นไป ในขณะที่หากดื่มน้ำประปาตลอดชีวิตจะมีความเสี่ยงต่อสุขภาพในระดับสูง นอกจากนี้ การดื่มน้ำประปายังก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งจากแคดเมียมและตะกั่วได้ ในขณะที่การใช้น้ำ

ประปาสำหรับอาบไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพแม้มีการใช้ตลอดช่วงชีวิต ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sudjit et al.⁽⁵⁾ ที่ได้ประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของโลหะหนักจากการอุปโภคบริโภคน้ำประปาโดยความเสี่ยงต่อสุขภาพและความเสี่ยงของการเกิดโรคมาเรียมามากที่สุดผ่านเส้นทางการได้รับสัมผัสผ่านการดื่มกิน รองลงมา ได้แก่ ผิวหนัง และการหายใจ ตามลำดับ และยังพบว่าความเสี่ยงดังกล่าวเกิดขึ้นในเพศหญิงมากกว่าเพศชายเช่นเดียวกัน ในขณะที่ Chomchan et al.⁽³⁰⁾ ที่ประเมินความเสี่ยงของคุณภาพน้ำอ่างเก็บน้ำหนองเล็งทรายซึ่งเป็นแหล่งน้ำจืดที่มีความสำคัญของจังหวัดพะเยา พบว่ามีเหล็กที่ปนเปื้อนในน้ำค่าเกินมาตรฐาน และมีความเสี่ยงต่อสุขภาพอยู่ในระดับปานกลาง โดยน้ำดังกล่าวนี้สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพต่อผู้ใช้ประโยชน์ คือ การรับธาตุเหล็กสูงเข้าสู่ร่างกายอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะเหล็กเกิน หรือ ฮีโมโครมาโตซิส (Iron overload หรือ Hemochromatosis) เป็นต้น

ทั้งนี้ จากผลการศึกษาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า น้ำประปาในเขตพื้นที่อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก ควรนำไปใช้ประโยชน์เฉพาะการอุปโภคเท่านั้นเนื่องจากหากมีการรับสัมผัสทางผิวหนังตลอดช่วงชีวิตก็ยังมีค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ไม่ควรใช้น้ำประปาเพื่อการบริโภคเนื่องจากสามารถก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพได้เมื่อมีการดื่มกินน้ำประปาเฉลี่ย 2 ลิตรต่อวันต่อเนื่องเป็นระยะเวลาตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไป และอาจนำไปสู่ความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมาเรียมได้ในอนาคต ซึ่งหากต้องการพัฒนาให้เป็นน้ำประปาดื่มได้ในอนาคตต้องมีการวางแผนในการกำจัดโลหะหนักออกไปเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ใช้น้ำประปาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ได้สนับสนุนสถานที่ปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการดำเนินการวิจัย รวมถึงขอขอบคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและประชาชนที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างน้ำประปาในพื้นที่เขตอำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Provincial Waterworks Authority. Produce tap water for the provincial waterworks authority [Internet]. 2020 [cited 2023 Oct 9]. Available from: <https://www.pwa.co.th/contents/service/treatment>
2. Provincial Waterworks Authority. Procedure Handling Complaints Provincial Waterworks Authority: Citizens'

complaints about the use of provincial tap water throughout the country [Internet]. 2023 [cited 2023 Oct 9]. Available from: <https://www.pwa.co.th/contents/infographic>

3. Provincial Waterworks Authority. Fact sheets: Public complaints about water quality. [Internet]. 2016 [cited 2023 Oct 9]. Available from: <https://www.pwa.co.th/contents/files/info/meeting11-2559-1.pdf>.
4. Sudangam S, Panyakapo M. Health risk assessment of heavy metals in ground water and tap water of the people in non-hazardous waste landfill area, Chombueng district, Ratchaburi province. Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University 2018;5(5):32-47. (In Thai)
5. Krujit S, Pentamwa P, Bothiwichayanon S. Health risk assessment of urban water supply system users in North-Eastern Region. Nakhon Ratchasima: Suranaree University; 2018. (In Thai)
6. Pentamwa P, Chaemchuklin S, Pentamwa S. Health risk assessment for community water supply exposure. Nakhon Ratchasima: Suranaree University; 2014. (In Thai)
7. Provincial Waterworks Authority. Provincial Waterworks Authority, Phitsanulok announcement of turbid tap water exceeding standards [Internet]. 2020 [cited 2023 Oct 9]. Available from: <https://www.pwa.co.th/news/call1662/2020080800000014>. (In Thai)
8. Environment and Pollution Control Office 13 (Chonburi). Interesting Environment: mercury, lead, arsenic, dangers from heavy metals nearby [Internet]. 2018 [cited 2023 Jan 16]. Available from: <https://www.mnre.go.th/reo13/th/news/detail/9498>. (In Thai)
9. Tapaniyakul N, Kongsuk W. Water quality on toxic heavy metals [Internet]. 2009 [cited 2023 Jan 16]. Available from: <https://rldc.anamai.moph.go.th/th/km02/download/?did=191937&id=38359&reload=>. (In Thai)
10. BPK Hospital Group. Imminent danger from heavy metal [Internet]. 2022 [cited 2023 Jan 16]. Available from: https://www.bangpakokhospitalgroup.com/care_blog/view/45. (In Thai)

11. Metropolitan Waterworks Authority. Copper [Internet]. 2022 [cited 2023 Jan 16]. Available from: <https://www.mwa.co.th/wp-content/uploads/2022/12/%E0%B8%97%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%94%E0%B8%87-Copper.pdf>. (In Thai)
12. Food Network Solution. Iron [Internet]. [cited 2023 Jan 16]. Available from: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2206/iron-%E0%B8%98%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%B8%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B9%87%E0%B8%81>. (In Thai)
13. Kongsuk W. Guide to sampling water samples, packaging and preserving drinking water quality before delivery to the laboratory [Internet]. 2017 [cited 2023 Jan 16]. Available from: <http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER17/DRAWER002/GENERAL/DATA0000/00000178.PDF>. (In Thai)
14. Knowledge Derivatives Research Operations Unit. SizeThailand [Internet]. 2012 [cited 2023 Jan 16]. Available from: http://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2012/20120417-SizeThailand.pdf?fbclid=IwAR2_7evACM76Mu6xmPxWnDP2yDU8vUcUlTFy7sDK01XiRhjWEzaN_lmaY. (In Thai)
15. US-EPA. IRIS database for risk assessment [Internet]. 1992 [cited 2023 Jan 16]. Available from: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=15263>.
16. Kiatsayombhu S, Chai Kliang S. Health risk assessment on the consumption of lead-contaminated aquatic animals from fishery resource in the overflow marsh. *KKU Res J (GS)* 2012;17(4):671-86. (In Thai)
17. Wachirawongsakorn P. Environmental risk assessment. Phitsanulok: Pibulsongkram Rajabhat University; 2019. (In Thai)
18. Bortey-Sam N, Nakayama SMM, Ikenaka Y, Akoto O, Yohannes YB, Baidoo E, Mizukawa H, Ishizuka M. Human health risks from metals and metalloid via consumption of food animals near gold mines in Tarkwa, Ghana: Estimation of the daily intakes and Target Hazard Quotients (THQs). *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 2015;111:160-67.
19. Thestkatkalek T. Health risk assessment. 2nd ed. Bangkok: Chulalongkorn University Press; 2010 (In Thai)
20. World Health Organization. Health systems in Africa: Community perceptions and perspectives [Internet]. 2008 [cited 2023 Jan 16]. Available from: <https://www.afro.who.int/publications/health-systems-africa-community-perceptions-and-perspectives>.
21. United States Environmental Protection Agency. Report on the 2016 U.S. Environmental Protection Agency (EPA) International Decontamination Research and Development Conference [Internet]. 2016 [cited 2023 Jan 16]. Available from: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NHSRC&dirEntryId=337451&fed_org_id=1253&subject=Homeland%20Security%20Research&view=desc&sortBy=pubDateYear&showCriteria=1&count=25&searchall=%27CANARY%27.
22. US-EPA. Risk assessment guidance for superfund volume I: Human health evaluation manual [Internet]. 1989 [cited 2023 Jan 16]. Available from: <https://semspub.epa.gov/work/HQ/191.pdf>.
23. United States Environmental Protection Agency. Exposure factors handbook 2011 edition (Final Report) [Internet]. 2011 [cited 2023 Jan 16]. Available from: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>.
24. Onuoha S, Anelo P, Nkpaa K. Human health risk assessment of heavy metals in snail (*Archachatina marginata*) from four contaminated regions in Rivers State, Nigeria. *Am. Chem. Sci. J.* 2016;11(2):1-8.
25. Optimum Clearly Pure Water. Top 5 heavy metals found in tap water [Internet]. 2022 [cited 2023 Oct 9]. Available from: <https://drinkoptimum.com/top-5-heavy-metals-found-in-tap-water/>.
26. Sunsithisawad W, Pachanid S, Sripanidkulchai B, Janposri W, Pitaksanural S, Yuthachaiyungul C, Tancharean, C. Water pollutants and mutagenicity from raw water sources for village water supply by *Salmonella Typhimurium* TA 98. *KKU Res J (GS)* 2003;8(1):71-81. (In Thai)
27. Rakkamon T, Chaimay P, Woradej S, Rattanaphan C. Health risk assessment of consuming tap water contaminated with heavy metals: A case study of

- the Tham Village tap water production system. La, Lan Khoi sub-district, Pa Phayom district, Phatthalung Province. *J Pub Health Dev.* 2010;8(2):159-71.
28. Ahmed J, Wong LP, Chua YP, Channa N, Memon UUR, Garn JV, Yasmin A, VanDerslice JA. Heavy metals drinking water contamination and health risk assessment among primary school children of Pakistan. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.* 2021; 56(6): 667-79.
 29. Michalski R, Pecyna-Utylska P, Kernert J, Grygoyć K, Klyta J. Health risk assessment of selected metals through tap water consumption in upper Silesia, Poland. *J Environ Health Sci Engineer* 2020;18(2):1607-14.
 30. Nateewattana J, Kim KW, Suttajit D, Thianhaworn W, Kim D.D. Concentration of major elements, trace elements, and heavy metals and risk assessment of water quality for consumption and agriculture at Nong Leng Sai reservoir, Mae Jai district, Phayao province. *KKU Sci. J.* 2022; 43:749-60. (In Thai)