วารสารวิชาการสาธารณสุข
ปีที่ 29 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม - สิงหาคม 2563

Journal of Health Science
Vol. 29 No. 4, July - August 2020

นิพนธ์ต้นฉบับ *Original article*

สถานการณ์ความเสี่ยงจากการได้รับโบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวดและน้ำแร่ธรรมชาติที่จำหน่ายทั่วประเทศไทย

กรรณิกา จิตติยศรา วท.บ. (เคมี) *
สาคร สิงศาลาแสง วท.บ. (เคมี) *
ประภาพรรณ พรหมหิรัญกุล วท.ม. (พิษวิทยาทางอาหารและโภชนาการ) **
นิรันดร แร่กาสินธุ์ วท.ม. (เคมีวิเคราะห์) ***
สุจิตร สาขะจร วท.บ. (เคมี) ****
พรรคพล ชะพลพรรค วท.บ. (เคมี) *****
สุวิมล เอี่ยมบู่ วท.บ. (เคมี) ******
*สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ จังหวัดนนทบุรี
** ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 4 สระบุรี จังหวัดสระบุรี
*** ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 11 สุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี
**** ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 11/1 ภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต
***** ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 1/1 เชียงราย จังหวัดเชียงราย
****** ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 2 พิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก

วันรับ: 31 ต.ค. 2562
วันแก้ไข: 27 ธ.ค. 2562
วันตอบรับ: 3 ม.ค. 2563

บทคัดย่อ โบรเมตเป็นสารก่อกลายพันธุ์และถูกจัดในกลุ่มที่อาจก่อมะเร็งได้ในคน ในน้ำดื่มเกิดจากการใช้โอโซนเพื่อฆ่าเชื้อโรค ประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานของโบรเมตในน้ำดื่ม การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานการณ์ความเสี่ยงจากการได้รับโบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำแร่ธรรมชาติที่จำหน่ายทั่วประเทศไทย 60 จังหวัด ในปี พ.ศ. 2557 และ 12 จังหวัดในปี พ.ศ. 2562 โดยน้ำดื่มในปี 2557 รวม 566 ตัวอย่าง เป็นน้ำดื่มบรรจุขวด 511 ตัวอย่าง น้ำแร่ธรรมชาติ 55 ตัวอย่าง เป็นน้ำแร่ที่ผลิตในประเทศ 24 ตัวอย่าง น้ำแร่นำเข้าจากต่างประเทศ 31 ตัวอย่าง ส่วนในปี 2562 มี 67 ตัวอย่าง ซึ่งรวมน้ำแร่ที่นำเข้า 4 ตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ใช้วิธี ion chromatography ซึ่งมี limit of detection (LOD) และ limit of quantitation (LOQ) เท่ากับ 1 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 3 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ประสิทธิภาพของวิธี (recovery) คิดเป็นร้อยละ 99.0-112.0 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (RSD) คิดเป็นร้อยละ 2.4-8.4 ผลการศึกษาพบว่าร้อยละ 10.0 ของน้ำดื่มบรรจุขวด พบโบรเมตในช่วง <3-177 ไมโครกรัมต่อลิตร และร้อยละ 18.2 ของน้ำแร่ธรรมชาติพบโบรเมตในช่วง <3-134 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนการศึกษาในปี 2562 พบโบรเมตคิดเป็นร้อยละ 9.8 ของน้ำดื่มบรรจุขวด พบในช่วง 5.7-41.0 ไมโครกรัมต่อลิตร และร้อยละ 60.0 ของน้ำแร่ธรรมชาติพบในช่วง <3-68.5 ไมโครกรัมต่อลิตร การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับโบรเมตในน้ำดื่มพบว่ามีค่า Hazard Quotient: HQ <1 แต่การประเมินความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งมีค่าสูงทั้งในน้ำดื่มบรรจุขวดและน้ำแร่ธรรมชาติ โดยสูงกว่า $2x10^{-5}$ ซึ่งเป็นค่าที่องค์การอนามัยโลกยอมรับ ดังนั้นหน่วยงานที่รับผิดชอบจึงควรกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับโบรเมตในน้ำดื่ม เพื่อคุ้มครองผู้บริโภคให้มีความปลอดภัย

คำสำคัญ: **โบรเมต; โอโซน; ความเสี่ยง; น้ำดื่มบรรจุขวด; น้ำแร่ธรรมชาติ**

บทนำ

น้ำดื่มบรรจุขวดเป็นที่นิยมอย่างมากและขยายตัวอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีความต้องการในภาคธุรกิจโรงแรม ภัตตาคาร ร้านอาหารซึ่งมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อีกทั้งผู้บริโภคใช้ดื่มแทนน้ำประปา โดยเฉพาะในพื้นที่ที่น้ำประปาไม่สามารถบริโภคได้ อาจเนื่องมาจากความขุ่นหรือมีกลิ่นคลอรีน น้ำดื่มบรรจุขวดอาจผลิตมาจากแหล่งน้ำต่าง ๆ เช่น น้ำประปา น้ำผิวดิน หรือน้ำบาดาล เป็นต้น ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ และการฆ่าเชื้อโรค เช่น การใช้คลอรีน โอโซน หรือแสงอัลตราไวโอเลต การผลิตน้ำประปาโดยส่วนใหญ่จะใช้คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อ เนื่องจากค่าใช้จ่ายไม่สูง และที่สำคัญมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้เกือบทุกชนิด แต่ต้องใช้ปริมาณที่มากพอ ทำให้มีกลิ่นคลอรีนหลงเหลืออยู่ในน้ำ ปัจจุบันจึงนิยมใช้โอโซนในการฆ่าเชื้อเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง ไม่มีกลิ่น อย่างไรก็ตามพบว่าโอโซนทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ในน้ำโดยเฉพาะสารประกอบโบรไมด์ซึ่งมักมีอยู่ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ[1] ทำให้เกิดสารโบรเมตซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และอาจก่อมะเร็งได้ในคน[2,3] สำหรับน้ำแร่ธรรมชาตินั้นจะมีแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอยู่บ้างตามธรรมชาติของแหล่งน้ำแร่นั้น ๆ ปัจจุบันกระแสความนิยมดื่มน้ำแร่ธรรมชาติเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้มีผู้ประกอบการหลายรายสนใจหันมาผลิตน้ำแร่เพื่อจำหน่ายมากขึ้น รวมทั้งมีการนำเข้าจากต่างประเทศเพิ่มขึ้นทั้งปริมาณและเครื่องหมายการค้า คุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของน้ำแร่ธรรมชาติคือมีความบริสุทธิ์ตามแหล่งกำเนิดและมีเชื้อจุลินทรีย์ตามสภาพธรรมชาติของแหล่งน้ำ กล่าวได้ว่าน้ำแร่ธรรมชาติสามารถบริโภคได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการใด ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 199) พ.ศ. 2543 เรื่องน้ำแร่ธรรมชาติ[4] แต่ข้อมูลจากการขอผลิตน้ำแร่ธรรมชาติพบว่ามีกระบวนการคล้ายคลึงกับการผลิตน้ำบริโภคเช่น การกรอง การตกตะกอน การฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV หรือผ่านการฆ่าเชื้อด้วยโอโซน เป็นต้น[5] ดังนั้นจึงอาจมีโบรเมตเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตได้

โดยทั่วไปในน้ำดื่มจะไม่พบโบรเมต[6,7] แต่โบรเมตเกิดจากการใช้โอโซนในการฆ่าเชื้อ โอโซนจะทำปฏิกิริยากับโบรไมด์ไอออน (Br^-) ซึ่งมีอยู่ในน้ำตามธรรมชาติ เกิด hypobromous acid (HOBr) และออกซิไดซ์ต่อไปเกิด hypobromite (OBr^-) ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์กลาง (intermediate product) ในสภาวะที่เป็นกรด (pH ต่ำ) OBr^- สามารถทำปฏิกิริยากับโอโซนที่มากเกินพอเกิดเป็นโบรเมตได้ดี แต่ (HOBr) จะไม่ทำปฏิกิริยากับโอโซนที่มากเกินพอและไม่เกิดโบรเมต[8]

การฆ่าเชื้อโรคในน้ำจะเกิดสารผลิตภัณฑ์ (disinfection by products: DBPs) ที่ไม่เหมือนกัน การใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อจะเกิดสารไตรโฮโลมีเทน (THMs) ค่า THMs ในน้ำประปามีค่าเฉลี่ย 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานองค์การอนามัยโลก (ไม่เกิน 1)[9] และไม่เกินเกณฑ์กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาในประเทศไทยซึ่งสอดคล้องกับการสำรวจไตรฮาโลมีเทนในพื้นที่น้ำประปาดื่มได้ เขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในปีพ.ศ.2561[10] ซึ่งพบว่าน้ำประปามีปริมาณ THMs อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย แต่การใช้โอโซนในการฆ่าเชื้อจะเกิด DBPs คือโบรเมต การเกิดโบรเมตและ THMs มีปัจจัยหลายอย่างที่เหมือนกัน เช่น ปริมาณสารอินทรีย์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิ ค่า pH ปริมาณโบรไมด์ไอออน (Br^-)[11] แต่ Br^- ในน้ำสามารถถูกออกซิไดซ์และเกิดปฏิกิริยาแทนที่ได้ดีกว่าคลอรีนอิสระ จึงทำให้เกิดสารประกอบรูปแบบที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบได้ในปริมาณที่มากกว่า[12] ความเป็นพิษและกลายเป็นสารก่อมะเร็งได้นั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติสารผสมของ DBPs ที่เกิดขึ้นแต่ DBPs ที่เกิดจากการใช้โอโซนจะอันตรายมากกว่า DBPs ที่เกิดจากการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อ[12-14]

โบรเมตสามารถเข้าสู่ร่างกายได้จากการบริโภคอาหารและน้ำ[9,15] และถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร เมื่อเข้าสู่ร่างกายทำให้อาเจียน ท้องร่วง ปวดท้อง ไตวายเฉียบพลัน หูหนวกหรือความสามารถในการได้ยินลดลง ความดันโลหิตต่ำ มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ภาวะ

เกล็ดเลือดต่ำ และไตวาย[16] International Agency for Research on Cancer (IARC) ได้จัดความเป็นพิษของโบรเมตไว้ในระดับ 2B นั่นคือเป็นกลุ่มสารที่มีความเป็นไปได้ที่อาจก่อมะเร็งในมนุษย์โดยการได้รับทางการสัมผัส มีรายงานการวิจัยในสัตว์ทดลองเกี่ยวกับความเป็นพิษต่อยีนส์ (genetic toxicity) และทำให้เกิดเนื้องอกต่าง ๆ โดยเฉพาะที่ไต[17] และอาจก่อให้เกิดมะเร็ง เมื่อได้รับติดต่อกันเป็นเวลานานแม้ในปริมาณต่ำ ๆ[18] องค์การอนามัยโลก และ Environment Protection Agency: U.S. EPA กำหนดให้มีโบรเมตในน้ำดื่มได้ไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร[7,19] สำหรับน้ำแร่ธรรมชาติ EU กำหนดให้มีโบรเมตได้ไม่เกิน 3 ไมโครกรัมต่อลิตร[20] แต่ประเทศไทยไม่มีการกำหนดค่าเกณฑ์มาตรฐานใด ๆ เกี่ยวกับโบรเมต

สำหรับในประเทศไทย มีรายงานการวิจัยที่ศึกษาการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากโบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวดและน้ำแร่ธรรมชาติ ปีพ.ศ. 2556 [21] พบว่าโบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำแร่ธรรมชาติร้อยละ 20.0 และ 39.0 ตามลำดับ ปริมาณที่พบอยู่ในช่วง <3-178 และ <3-133 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าค่าที่องค์การอนามัยโลกกำหนด

ในปี พ.ศ. 2557 สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ร่วมกับศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ 14 แห่ง ภายใต้โครงการบูรณาการได้ทำโครงการประเมินความเสี่ยงของคนไทยจากโบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวดที่ผ่านโอโซน และน้ำแร่ธรรมชาติที่จำหน่ายทั่วประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานการณ์ความเสี่ยงจากการได้รับโบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวดและน้ำแร่ธรรมชาติ และใช้เป็นข้อมูลประกอบในการกำหนดค่ามาตรฐานของโบรเมตในน้ำดื่มของประเทศ ผลการตรวจวิเคราะห์และการประเมินความเสี่ยงของโบรเมตในปี พ.ศ. 2556 และ 2557 มีความสอดคล้องกัน และเป็นไปได้ว่าโบรเมตอาจเป็นปัญหาเฉพาะในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นในปีพ.ศ. 2562 จึงได้ทำการสำรวจซ้ำโดยเก็บตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดที่ผ่านโอโซนและน้ำแร่ธรรมชาติที่จำหน่ายในกรุงเทพมหานครและเขตปริมณฑล ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้จะเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาในการบริโภค การผลิต การติดตามเฝ้าระวัง รวมทั้งเป็นข้อมูลสนับสนุนการกำหนดมาตรฐานปริมาณโบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำแร่ธรรมชาติของประเทศต่อไป

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้ศึกษา ในปีงบประมาณ 2557 และ 2562

ตัวอย่างน้ำ

ปี พ.ศ. 2557 สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ร่วมกับศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ 14 แห่ง เก็บตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดที่ผ่านโอโซนและน้ำแร่ธรรมชาติจากห้างสรรพสินค้า ร้านค้าทั่วไปหรือตามแหล่งผลิตทั่วประเทศ 60 จังหวัด และทุกตัวอย่างมีเครื่องหมายการค้า รวม 566 ตัวอย่าง เป็นน้ำดื่มบรรจุขวด 511 ตัวอย่าง น้ำแร่ธรรมชาติ 55 ตัวอย่าง เป็นน้ำแร่ธรรมชาติที่ผลิตในประเทศ 24 ตัวอย่าง จากแหล่งกำเนิด 12 จังหวัด ได้แก่ ลำปาง เชียงใหม่ เชียงราย นครราชสีมา สุราษฎร์ธานี ชุมพร พัทลุง กาญจนบุรี ราชบุรี ปทุมธานี อยุธยา และสิงห์บุรี นำเข้าจากต่างประเทศ 31 ตัวอย่าง จาก 14 ประเทศ ได้แก่ เกาหลีใต้ ญี่ปุ่น นอร์เวย์ อังกฤษ ฝรั่งเศส อิตาลี เยอรมันนี สเปน ออสเตรเลีย ออสเตรีย สาธารณรัฐเชค ไอซ์แลนด์ สโลเวเนีย และหมู่เกาะฟิจิ ปี พ.ศ. 2562 เก็บตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดทุกยี่ห้อที่ผ่านโอโซนและน้ำแร่ธรรมชาติที่จำหน่ายในห้างสรรพสินค้า ร้านค้าทั่วไป รวมทั้งที่แจกจ่ายตามปั๊มน้ำมัน ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวม 67 ตัวอย่าง เป็นน้ำดื่มบรรจุขวด ในจังหวัดต่าง ๆ 9 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี อยุธยา ปทุมธานี สมุทรสาคร นครปฐม ระยอง สระแก้ว และสุรินทร์ รวม 52 ตัวอย่าง และน้ำแร่ธรรมชาติที่ผลิตในประเทศ 11 ตัวอย่าง จากแหล่งกำเนิดในจังหวัด กรุงเทพมหานคร อยุธยา ปทุมธานี สิงห์บุรี สุรินทร์ สุราษฎร์ธานี ตาก และนำเข้าจากประเทศ 4 ตัวอย่าง จาก 3 ประเทศ ได้แก่ สเปน อิตาลี และออสเตรเลีย รวม 15 ตัวอย่าง

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่อง Ion chromatography (IC: Dionex ICS-3000) ประกอบด้วย suppressor (ASRS 300), conductivity detector (112 mA), autosampler with injection volume of 500 ไมโครลิตร, IonPAc AS19 Analytical column (4x250 mm) with guard column AG 19 (4x50 mm), centrifuge, plastic tubes, cartridge and membrane filter (0.45 µm) และ ultrasonic bath

สารเคมี

สารมาตรฐานโบรเมตความเข้มข้น 1,000±4 มิลลิกรัมต่อลิตร (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) (AccuIon Reference Standard) น้ำปราศจากไอออนกลั่น (18 megaohm-cm)

mobile phase: 10 mM KOH gradually increasing to 45 mM in 30 minutes.

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

ฉีดสารละลายมาตรฐานโบรเมตความเข้มข้น 3-20 ไมโครกรัมต่อลิตร และสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐานกับสัญญาณจากเครื่อง IC

การเตรียมตัวอย่าง

กรองตัวอย่างน้ำผ่าน membrane filter ขนาด 0.45 ไมครอน และตรวจปริมาณโบรเมตเครื่อง IC

การวิเคราะห์

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร และศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ 5 แห่ง ได้แก่ ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์เชียงราย พิษณุโลก สุราษฎร์ธานี ภูเก็ต และนครราชสีมา ตรวจวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค ion chromatography ซึ่งได้มีการทดสอบความใช้ได้ของวิธีแล้ว มีคุณลักษณะเฉพาะของวิธีดังนี้ ขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) และการวัดปริมาณ (LOQ) ที่ 1 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 3 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ช่วงความเป็นเส้นตรง (calibration curve) ที่ความเข้มข้น 3, 5, 10 และ 20 ไมโครกรัมต่อลิตร (r=0.9994) ประสิทธิภาพของวิธีคิดเป็น recovery อยู่ในช่วงร้อยละ 99.0-112.0 (ที่ความเข้มข้น 5, 11 และ 17 ไมโครกรัมต่อลิตร n=10) และความเที่ยงจากการทำซ้ำ (repeatability) คิดเป็น relative standard deviation (RSD) คือ ร้อยละ 2.4-8.4[21] และเป็นวิธีที่ได้รับรองความสามารถห้อง-ปฏิบัติการตามระบบมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017

การควบคุมคุณภาพการตรวจวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์แต่ละครั้งมีการควบคุมคุณภาพเพื่อยืนยันความถูกต้องของผลวิเคราะห์โดยมีการวิเคราะห์ spiked sample, duplicate sample และ control sample ผลการเข้าร่วมในการทดสอบความสามารถห้องปฏิบัติการ (PT) ของสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหารกับหน่วยงานในต่างประเทศ เช่น FAPAS ในปี พ.ศ. 2557, 2559, 2562 ผลการประเมิน z-core = 0.5, -0.5 และ 0.2 ตามลำดับ และได้ประเมินความสามารถของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ทั้ง 5 แห่ง ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงในงานวิจัยนี้ทำการประเมิน 2 แบบ

1. Chronic Health Hazard Assessments for Non-carinogenic Effects เป็นการประเมินความเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ (สมการ 1) ค่า Reference Dose for Chronic Oral Exposure (RfD) คือความเข้มข้นอ้างอิงของโบรเมตที่เข้าสู่ร่างกายโดยไม่มีผลต่อสุขภาพ

Risk: Hazard Quotient (HQ)=exposure/RfD (1)

Exposure คือปริมาณการได้รับสัมผัสโบรเมตจากการบริโภคน้ำดื่ม (exposure; µg/kg. bw/day) คำนวณจากสมการที่ 2

$$\frac{\text{ปริมาณโบรเมต x ปริมาณการบริโภค}}{\text{น้ำหนักตัวเฉลี่ยของคนไทย}} \quad (2)$$

HQ>1 หมายถึง เกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพ หรือปริมาณสารโดยเฉลี่ยที่ร่างกายได้รับเกินค่าความปลอดภัย

HQ<1 หมายถึง ค่าที่ยอมรับได้ต่อการได้รับสัมผัสหรือปริมาณโดยเฉลี่ยที่ได้รับไม่ก่อผลกระทบต่อร่างกาย

2. Carcinogenicity Assessment for Lifetime Exposure: (ECR) เป็นการประเมินความเสี่ยงในการเกิด

มะเร็ง (สมการ 3) ศึกษาความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการบริโภค (oral exposure) ของสารโบรเมต ซึ่งสามารถคำนวณ Excess cancer risk ได้จากสมการ

Drinking water unit risk X ความเข้มข้นของโบรเมตในน้ำ (3)

ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงมาจากการศึกษาต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการประเมินความเสี่ยง

รายการ	ค่า	เอกสารอ้างอิง
- ปริมาณโบรเมต (ไมโครกรัมต่อลิตร)	-	จากการศึกษา
- ปริมาณการบริโภคน้ำ 97.5th percentile (ลิตร/คน/วัน) ของกลุ่ม per capita (คนไทยอายุ 3 ปี ขึ้นไป)	3.0	มอกช. (2559)[22]
- น้ำหนักเฉลี่ยของคนไทยอายุ 3 ปีขึ้นไป (กิโลกรัม)	57.57	มอกช. (2559)[22]
- RfD (µg/kg b.w./day)	4	DeAngelo et al. (1998)[23]
- Drinking Water Unit Risk (ต่อไมโครกรัมต่อลิตร)	2 x 10^{-5}	U.S. EPA. (2001)[6]

ผลการศึกษา

ปริมาณโบรเมตในตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำแร่ธรรมชาติ

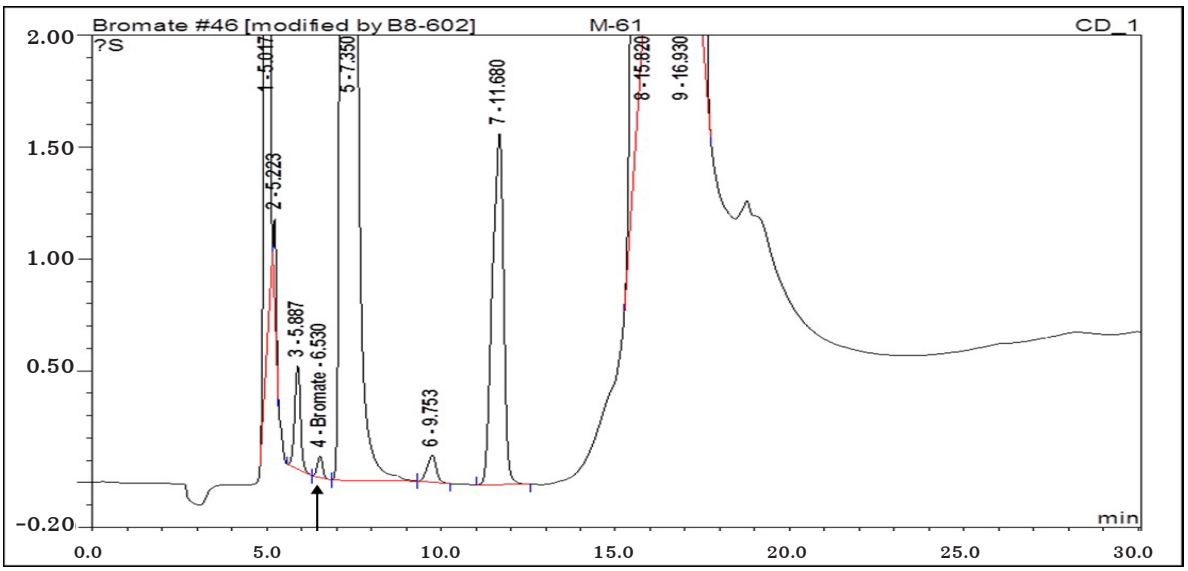
ในน้ำดื่มบรรจุขวดพบโบรเมต 51 ตัวอย่าง (ร้อยละ 10.0) ปริมาณที่พบอยู่ในช่วง <3-177 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยในตัวอย่างที่พบโบรเมต และค่าเฉลี่ยตัวอย่างทั้งหมด 18.5 และ 1.8 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำแร่ธรรมชาติพบโบรเมต 10 ตัวอย่าง (ร้อยละ 18.2) เป็นน้ำแร่ที่ผลิตในประทศ 9 ตัวอย่าง ปริมาณที่พบอยู่ในช่วง <3-134 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยในตัวอย่างที่พบโบรเมต และค่าเฉลี่ยตัวอย่างทั้งหมด 66.1 และ 12.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มี 1 ตัวอย่างเป็นน้ำแร่ที่นำเข้าจากประเทศออสเตรเลีย มีปริมาณโบรเมตสูงถึง 41.5 ไมโครกรัมต่อลิตร ปี พ.ศ. 2562 น้ำดื่มบรรจุขวดพบโบรเมต 5 ตัวอย่าง (ร้อยละ 9.6) ปริมาณที่พบอยู่ในช่วง <5.7-41.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยในตัวอย่างที่พบโบรเมต และค่าเฉลี่ยตัวอย่างทั้งหมด 23.9 และ 2.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำแร่ธรรมชาติพบโบรเมต 9 ตัวอย่าง (ร้อยละ 60.0) เป็นน้ำแร่ที่ผลิตในประทศ 8 ตัวอย่าง ปริมาณที่พบอยู่ในช่วง <3-68.5 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยในตัวอย่างที่พบโบรเมต และค่าเฉลี่ยตัวอย่างทั้งหมด 43.3 และ 26.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ 1 ตัวอย่าง เป็นน้ำแร่ที่นำเข้าจากประเทศออสเตรเลีย มีปริมาณโบรเมตสูงถึง 56.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ยังคงพบปริมาณโบรเมตสูงในทุกตัวอย่างน้ำแร่ที่มีแหล่งกำเนิดในจังหวัดปทุมธานี กราฟแสดงโครมาโตแกรมของโบรเมต แสดงในภาพที่ 1 และผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 2 และ 3

การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (HQ) จากการบริโภคน้ำที่มีโบรเมตโดยคำนวณจากสมการที่ 1 และสมการที่ 2 พบว่าปี พ.ศ. 2557 HQ มีค่าเท่ากับ 0.02-2.3และ 0.02-1.8 ในน้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำแร่ธรรมชาติตามลำดับ ค่า HQ ที่มากกว่า 1 จากกรณีเลวร้ายที่สุด (worst case) ที่บริโภคน้ำที่มีปริมาณโบรเมตสูงสุด แสดงว่าปริมาณโบรเมตที่ได้รับอาจก่อให้เกิดผลทางสุขภาพได้ ปีพ.ศ. 2562 HQ มีค่าน้อยกว่า 1 ทั้งในน้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำแร่ธรรมชาติ แสดงว่าปริมาณโบร-เมตที่ได้รับไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลกระทบทางสุขภาพ ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินแสดงดังตารางที่ 1 และภาพที่ 2 และ 3

ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (ECR) โดยคำนวณจาก

ภาพที่ 1 โครมาโตแกรม (conductivity vs retention time) ของโบรเมตในน้ำแร่ธรรมชาติ



ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์โบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำแร่ธรรมชาติจากการเก็บตัวอย่างปี พ.ศ. 2557

ประเภท /แหล่งผลิต	จำนวนตัวอย่าง	สารโบรเมตในตัวอย่าง				ปริมาณโบรเมต (ไมโครกรัมต่อลิตร)			
		พบ		ไม่พบ		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย*	ค่าเฉลี่ย**
		จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ				
น้ำดื่มบรรจุขวด/ในประเทศ	511	51	10.0	460	90.0	<3	177	1.8	18.5
น้ำแร่ธรรมชาติ	55	10	18.2	45	81.8	<3	134	12.0	66.1
-ในประเทศ	24	9	37.5	15	62.5	<3	134		
-ต่างประเทศ	31	1	3.2	30	96.8	0	41.5		
รวมทั้งหมด	**566**					**0**	**177**		

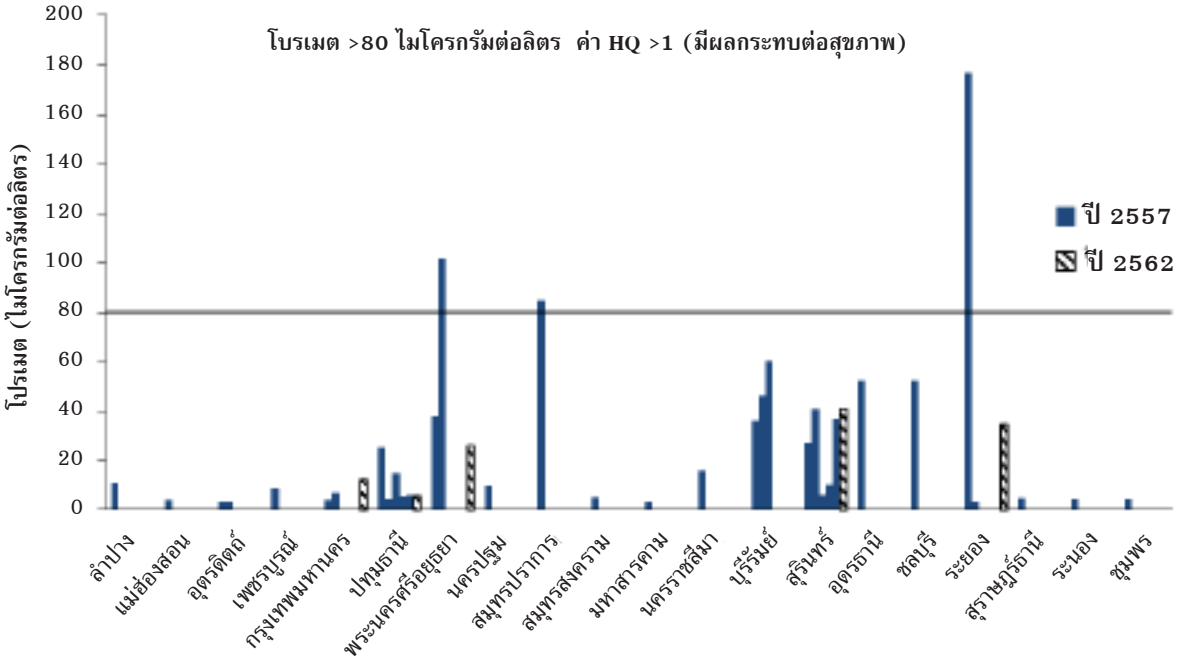
หมายเหตุ: การคำนวณทางสถิติ กรณีไม่พบ แทนค่าด้วย 0 และกรณี <3 แทนด้วย 1.5 (3/2)

* คำนวณจากตัวอย่างทั้งหมด ** เฉพาะตัวอย่างที่พบโบรเมต

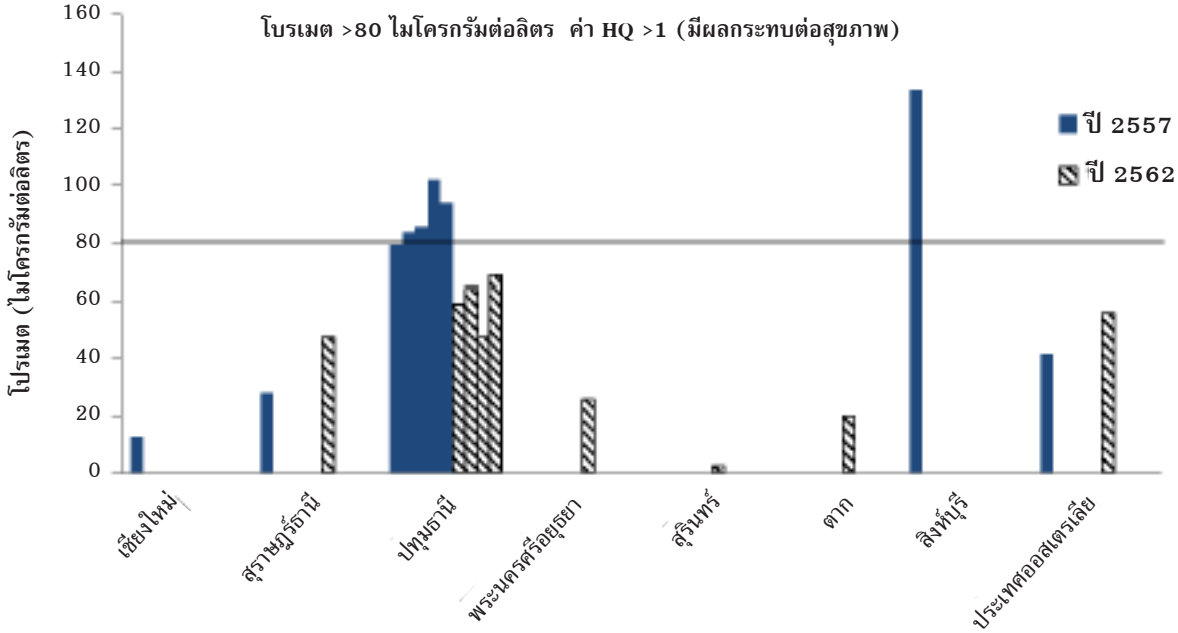
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์โบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำแร่ธรรมชาติจากการเก็บตัวอย่างปี พ.ศ. 2562

ประเภท /แหล่งผลิต	จำนวนตัวอย่าง	สารโบรเมตในตัวอย่าง				ปริมาณโบรเมต (ไมโครกรัมต่อลิตร)			
		พบ		ไม่พบ		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย*	ค่าเฉลี่ย**
		จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ				
น้ำดื่มบรรจุขวด /ในประเทศ	52	5	9.6	47	90.4	5.7	41.0	2.3	23.9
น้ำแร่ธรรมชาติ	15	9	60.0	6	40.0	<3	68.5	26.0	43.3
-ในประเทศ	11	8	72.7	3	27.3	<3	68.5		
-ต่างประเทศ	4	1	25.0	3	75.0	0	56.0		
รวมทั้งหมด	**67**					**0**	**68.5**		

ภาพที่ 2 จังหวัดกับปริมาณโบรเมตที่พบในน้ำดื่มบรรจุขวด ในปี พ.ศ. 2557 และ 2562



ภาพที่ 3 จังหวัดกับปริมาณโบรเมตที่พบในน้ำแร่ธรรมชาติ ในปี พ.ศ. 2557 และ 2562



สมการที่ 3 ใช้ข้อมูลปริมาณโบรเมตในน้ำดื่มที่มีค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่พบโบรเมต และค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งหมดทั้งที่พบและไม่พบโบรเมต พบว่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งปี พ.ศ. 2557 มีค่า $0.3x10^{-4}$ – $35.4x10^{-4}$ และ $0.3x10^{-4}$ – $26.8x10^{-4}$ ปี พ.ศ. 2562 มีค่า $0.5x10^{-4}$ – $8.2x10^{-4}$ และ $0.3x10^{-4}$ – $13.7x10^{-4}$ ในน้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำแร่ธรรมชาติตามลำดับ มากกกว่า $2x10^{-5}$ per ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงเกินเกณฑ์ที่องค์การอนามัยโลกยอมรับทั้งในน้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำแร่ธรรมชาติ แสดงว่ากลุ่มผู้บริโภคน้ำที่มี

ปริมาณความเข้มข้นโบรเมต 1 ไมโครกรัมต่อลิตรมีความเสี่ยงเกินค่าที่ยอมรับได้ คือมีโอกาสเป็นมะเร็งมากกว่า 2 คน ในประชากร 100,000 คน ผลการประเมินความเสี่ยงแสดงในตารางที่แสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4 การประเมินค่าการได้รับสัมผัส และการคำนวณการเกิดสภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพ (hazard quotient: HQ) ในน้ำดื่มบรรจุขวดจำแนกตามปีที่เก็บตัวอย่างและแหล่งผลิต

ภาค	แหล่งผลิต (จังหวัด)	อำเภอ/เขต	ปี พ.ศ. 2557			ปี พ.ศ. 2562		
			BrO_3^- (µg/L)	Exposure (µg/kg bw/day)	HQ	BrO_3^- (µg/L)	Exposure (µg/kg bw/day)	HQ
เหนือ	ลำปาง	เมือง	<3.0****	0.08	0.02	-		
		แจ้ห่ม	10.8****	0.56	0.14	-		
	แม่ฮ่องสอน	ปาย	4.1**	0.21	0.05	-		
	เชียงราย	แม่จัน	<3.0**	0.08	0.02	-		
	อุตรดิตถ์	ท่าปลา	3.0**	0.16	0.04	-		
		เหนือเขื่อน	3.0**	0.16	0.04	-		
	เพชรบูรณ์	วิเชียรบุรี (1)	<3.0****	0.08	0.02	-		
		วิเชียรบุรี (2)	8.9****	0.47	0.47	-		
	นครสวรรค์	พยุหะคีรี	<3.0	0.08	0.02	-		
กลาง	กรุงเทพมหานคร	ดอนเมือง (1)	<3.0	0.08	0.02	12.4****	0.65	0.16
		ดอนเมือง (2)	<3.0****	0.08	0.02	-		
		จตุจักร	4.0	0.21	0.05	-		
		หลักสี่	6.9**	0.36	0.09	-		
	ปทุมธานี	สามโคก (1)	<3.0	0.08	0.02	-		
		สามโคก (2)	<3.0	0.08	0.02	-		
		สามโคก (3)	<3.0	0.08	0.02	-		
		สามโคก (4)	<3****	0.08	0.02	-		
		หนองเสือ	5.5**	0.29	0.07	-		
		ลำลูกกา	6.0**	0.31	0.08	-		
		เมือง (1)	4.5****	0.24	0.06	5.7****	0.30	0.07
		เมือง (2)	15.0*	0.78	0.20	-		
		เมือง (3)	25.4	1.3	0.33	-		
	อยุธยา	บางปะอิน	<3.0****	0.08	0.02	-		
		วังน้อย (1)	37.7	2.0	0.49	26.0**	1.4	0.34
		วังน้อย (2)	102.3	5.4	1.3	-		
	นครปฐม	สามพราน (1)	<3.0**	0.08	0.02	-		
		สามพราน (2)	9.8****	0.51	0.13	-		
	สมุทรปราการ	บางเสาธง	85.0****	4.4	1.1	-		
	สมุทรสงคราม	เมือง	5.3****	0.28	0.07	-		

ตารางที่ 4 การประเมินค่าการได้รับสัมผัส และการคำนวณการเกิดสภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพ (hazard quotient: HQ) ในน้ำดื่มบรรจุขวดจำแนกตามปีที่เก็บตัวอย่างและแหล่งผลิต (ต่อ)

ภาค (ตัวอย่าง)	แหล่งผลิต (จังหวัด)	อำเภอ/เขต	ปี พ.ศ. 2557			ปี พ.ศ. 2562		
			BrO_3^- (µg/L)	Exposure (µg/kg bw/day)	HQ	BrO_3^- (µg/L)	Exposure (µg/kg bw/day)	HQ
ใต้	สุราษฎร์ธานี	พุนพิน	<3.0*	0.08	0.02	-		
		เคียนซา	4.9*	0.26	0.06	-		
	ระนอง	เมือง	4.3****	0.22	0.06	-		
	ชุมพร	หลังสวน	4.5*	0.24	0.06	-		
ตะวันออกเฉียงเหนือ	มหาสารคาม	เมือง	3.1****	0.16	0.04	-		
	นครราชสีมา	สูงเนิน	<3.0****	0.08	0.02	-		
		เมือง	15.9****	0.83	0.21	-		
	บุรีรัมย์	แคนดง (1)	36.2****	1.9	0.47	-		
		แคนดง (2)	60.2****	3.2	0.79	-		
		กระสัง	46.3****	2.4	0.61	-		
	สุรินทร์	เมือง (1)	6.0*	0.31	0.08	41.0****	2.1	0.54
		เมือง (2)	27.2****	1.4	0.36	-		
		เมือง (3)	37.2****	1.9	0.49	-		
		ชุมพลบุรี	41.2****	2.2	0.54	-		
		ท่าตูม	10.2**	0.53	0.13	-		
		ศีขรภูมิ	6.0****	0.31	0.08	-		
	นครพนม	ธาตุพนม	<3.0****	0.08	0.02	-		
	อุดรธานี	เมือง	52.3****	2.7	0.68	-		
ตะวันออก	ชลบุรี	เมือง	52.3****	2.7	0.68	-		
	จันทบุรี	โป่งน้ำร้อน	<3.0****	0.08	0.02	-		
	ระยอง	บ้านค่าย	3.2**	0.17	0.04	-		
		กิ่งอำเภอนิคมพัฒนา	176.7**	9.2	2.3	34.5*	1.8	0.45
Min-max (BrO_3^-)			<3-177			12.4-41.0		
รวมจำนวนตัวอย่างที่พบ BrO_3^- (ร้อยละ)			51 (10.0)			5 (9.6)		

หมายเหตุ ระบุที่ฉลาก: * OZONE ** UV, OZONE *** RO, OZONE **** RO, UV, OZONE
เว้นว่างคือไม่ระบุ

ตารางที่ 5 การประเมินค่าการได้รับสัมผัส และการคำนวณการเกิดสภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพ (Hazard quotient: HQ) ในน้ำแร่ธรรมชาติจำแนกตามปีที่เก็บตัวอย่างและแหล่งผลิต

แหล่งผลิต	อำเภอ/เขต	ปี พ.ศ. 2557				ปี พ.ศ. 2562			
		จำนวนตัวอย่าง จำนวน (%)	BrO_3^- (µg/L)	Exposure (µg/kg bw/day)	HQ	จำนวนตัวอย่าง จำนวน (%)	BrO_3^- (µg/L)	Exposure (µg/kg bw/day)	HQ
น้ำแร่ธรรมชาติ		10 (18.2)				9 (60.0)			
ในประเทศ		9 (37.5)				8 (72.7)			
เชียงใหม่	เชียงใหม่		12.5	0.65	0.16				
ตาก	พบพระ		-				19.8****	1.0	0.26
สุราษฎร์ธานี	กาญจนดิษฐ์		<3.0*	0.08	0.02				
			28.0*	1.5	0.37		47.5	2.5	0.62
ปทุมธานี	สามโคก		79.2	4.1	1.00		59.0****	3.1	0.77
			83.3**	4.4	1.10		47.5	2.5	0.62
			95.0**	5.0	1.20		64.5******	3.4	0.84
			104.0	5.4	1.40		68.5	3.6	0.90
			85.4	4.5	1.10				
สิงห์บุรี	พรหมบุรี		134.0	7.0	1.8				
อยุธยา	บางบาล						25.8**	1.4	0.34
สุรินทร์	เมือง						2.4****	0.13	0.03
ต่างประเทศ		1 (3.2)				1 (25.0)			
ออสเตรเลีย			41.5	2.2	0.54		56.0	2.9	0.73

หมายเหตุ ระบุที่ฉลาก: * OZONE ** UV, OZONE *** RO, OZONE **** RO, UV, OZONE
เว้นว่างคือไม่ระบุ

ตารางที่ 6 การได้รับสัมผัส ความเสี่ยงของโบรเมตต่อสุขภาพ และความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งจากการบริโภค น้ำดื่มบรรจุขวดและน้ำแร่ธรรมชาติในปี พ.ศ. 2557 และ 2562

ปี พ.ศ.	ตัวอย่าง	การบริโภค (ลิตร/คน/วัน)	โบรเมต (µg/l)	Exposure (µg/kg.bw/day)	ความเสี่ยง (Risk) Hazard quotient (HQ)	ความเสี่ยง (Risk) Excess cancer risk ($x10^{-4}$)
2557	น้ำดื่มบรรจุขวด					
	- ค่าต่ำสุด	3.0	<3.0	0.08	0.02	0.3
	- ค่าสูงสุด	3.0	177.0	9.30	2.30	35.4
	- ค่าเฉลี่ยที่พบ	3.0	18.5	0.97	0.24	3.7
	- ค่าเฉลี่ยทั้งหมด	3.0	1.7	0.09	0.02	0.3
	น้ำแร่ธรรมชาติ					
	- ค่าต่ำสุด	3.0	<3.0	0.08	0.02	0.3
	- ค่าสูงสุด	3.0	134.0	7.00	1.8	26.8
	- ค่าเฉลี่ยที่พบ	3.0	66.1	3.50	0.86	13.2
	- ค่าเฉลี่ยทั้งหมด	3.0	12.0	0.63	0.16	2.4

ตารางที่ 6 การได้รับสัมผัส ความเสี่ยงของโบรเมตต่อสุขภาพ และความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งจากการบริโภคน้ำดื่มบรรจุขวดและน้ำแร่ธรรมชาติในปี พ.ศ. 2557 และ 2562 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	ตัวอย่าง	การบริโภค (ลิตร/คน/วัน)	โบรเมต (µg/l)	Exposure (µg/kg.bw/day)	ความเสี่ยง (Risk) Hazard quotient (HQ)	Excess cancer risk (x10^{-4})
2562	น้ำดื่มบรรจุขวด					
	- ค่าต่ำสุด	3.0	5.7	0.30	0.07	1.1
	- ค่าสูงสุด	3.0	41.0	2.10	0.54	8.2
	- ค่าเฉลี่ยที่พบ	3.0	23.9	1.30	0.31	4.8
	- ค่าเฉลี่ยทั้งหมด	3.0	2.3	0.12	0.03	0.5
	น้ำแร่ธรรมชาติ					
	- ค่าต่ำสุด	3.0	<3.0	0.08	0.02	0.3
	- ค่าสูงสุด	3.0	68.5	3.60	0.90	13.7
	- ค่าเฉลี่ยที่พบ	3.0	43.3	2.30	0.57	8.7
	- ค่าเฉลี่ยทั้งหมด	3.0	26.0	1.36	0.34	5.2

วิจารณ์

การวิเคราะห์ปริมาณโบรเมตในตัวอย่างน้ำดื่มใช้เทคนิค ion chromatography เป็นวิธีที่ได้ผ่านการพัฒนาแล้ว จากข้อมูลการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์และการเข้าร่วมทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการพบว่าเหมาะสมที่จะใช้วิเคราะห์ปริมาณโบรเมตในน้ำ มีความถูกต้องน่าเชื่อถือ

จากผลการสำรวจปริมาณโบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวดและน้ำแร่ธรรมชาติที่จำหน่ายทั่วประเทศไทย ส่วนใหญ่ร้อยละ 90.0 ไม่พบโบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวด อย่างไรก็ตามแม้ว่าตัวอย่างน้ำดื่มจะมีเพียงร้อยละ 10.0 ที่พบโบรเมต แต่เป็นตัวอย่างที่ผลิตจากทุกภาคของประเทศ สูงเกินเกณฑ์ที่องค์การอนามัยโลกกำหนด เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาการในปี พ.ศ. 2556 พบว่าปัจจุบันการพบโบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวดมีเปอร์เซ็นต์ลดลง แต่พบสูงขึ้นในน้ำแร่ธรรมชาติ และเป็นการพบในแหล่งกำเนิดเดิม เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุที่ทำให้น้ำแร่ธรรมชาติที่ผลิตในประเทศมีปริมาณโบรเมตสูง ข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาและสาธารณสุขจังหวัดพบว่าผู้ประกอบการหลายรายใช้น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำดิบในการผลิตน้ำแร่ธรรมชาติ[5] ซึ่งน้ำบาดาลเป็นน้ำที่มาจากใต้ดิน สสารในแหล่งน้ำจะซับซ้อน แตกต่างกันตามสภาพทางธรณีวิทยา มีการแปรผันได้ตามฤดูกาล หรือตามสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะในช่วงที่น้ำทะเลหนุนมีการแทรกซึมของน้ำทะเลสู่ชั้นน้ำบาดาลในบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเลจะมีปริมาณโบรไมด์สูง เนื่องจากโบรไมด์มีคุณสมบัติทางกายและทางเคมีเหมือนกับโซเดียมคลอไรด์ ในแหล่งน้ำธรรมชาติถ้าพบโซเดียมคลอไรด์จะพบโบรไมด์ด้วยเสมอ[24] น้ำแร่ที่ผลิตในประเทศหลายจังหวัดมีพื้นที่ติดกับแม่น้ำ เช่น อำเภอพบพระ จังหวัดตากเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำเมย อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ทิศเหนือติดอ่าวไทย ปทุมธานีเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่บนลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา โดยเฉพาะอำเภอสามโคก และอำเภอเมืองมีแม่น้ำเจ้าพระยาไหลผ่าน[25] เป็นต้น จึงมีโอกาสการปนเปื้อนของโบรไมด์ที่มาจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ หรือน้ำบาดาลสูง จากการศึกษาเพิ่มเติมในปี พ.ศ. 2562 สอดคล้องกับการศึกษาในปี 2556 และ 2557

เมื่อพิจารณาฉลากพบว่าน้ำแร่นำเข้าจากต่างประเทศไม่ระบุการผลิต แต่น้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำแร่ธรรมชาติในประเทศไทยจะระบุการผลิตหลายรูปแบบ เช่น โอโซน ยูวีและโอโซน อาร์โอและโอโซน เป็นต้น น้ำแร่ที่ผลิตในประเทศหลายยี่ห้อมาจากแหล่งกำเนิด และผู้ผลิตเดียวกัน ทั้งนี้ก็เพื่อหวังผลทางการตลาด หรือเป็นการรับจ้างผลิตโดยใช้ยี่ห้อ (brand) แตกต่างกัน บางยี่ห้อก็จำกัดอยู่เฉพาะพื้นที่การขาย บางยี่ห้อระบุและใช้สัญลักษณ์โอโซนบนฉลาก ซึ่งแสดงถึงความไม่เข้าใจในกรรมวิธีการผลิต ก๊าซ-โอโซนเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยออกซิเจนสามอะตอม เป็นก๊าซที่ไม่เสถียรแต่มีพลังงานในการทำปฏิกิริยาออก-ซิเดชันสูง[9] มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำได้รุนแรงและเร็วกว่าคลอรีน หลักการทำงานของโอโซนเพื่อฆ่าเชื้อในน้ำแร่จึงไม่เป็นไปตามหลักการที่ว่าน้ำแร่-ธรรมชาติมีความบริสุทธิ์ตามแหล่งกำเนิด[5] การใช้โอโซนในการฆ่าเชื้อจึงใช้ได้เฉพาะกับน้ำดื่มบรรจุขวดเท่านั้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบข้อกำหนดเกี่ยวกับโบรเมตในมาตรฐานน้ำดื่มของต่างประเทศ เช่น ประเทศ-สหรัฐอเมริกา แคนนาดา ออสเตรเลีย จะเห็นได้ว่าในแง่ของการคุ้มครองผู้บริโภคมาตรฐานของต่างประเทศจะมีความชัดเจนกว่า U.S. EPA. มีเป้าหมายไม่ให้มีการปนเปื้อนของโบรเมตในน้ำดื่ม และกำหนดค่าสูงสุดที่มีในน้ำดื่มได้ไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร[19] ประเทศออสเตรเลียกำหนดค่าโบรเมตที่มีในน้ำไว้ที่ 20 ไมโครกรัมต่อลิตร[15] ประเทศญี่ปุ่น และสิงคโปร์กำหนดค่าโบรเมตที่มีในน้ำไว้ที่ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร[26,27] ในสหรัฐอเมริกามีการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในการลดกระบวนการเกิดโบรเมต[19,21] และเฝ้าระวังระบบสาธารณูปโภคที่มีการใช้โอโซน ในแต่ละเดือนจะมีการสุ่มเก็บตัวอย่างที่อาจมีการปนเปื้อนของโบรเมตแล้วรายงานทุก ๆ ไตรมาส เช่นเดียวกับประเทศออสเตรเลีย ญี่ปุ่น มีการเก็บตัวอย่างน้ำที่ไม่ตรงตามมาตรฐานการควบคุมคุณภาพในรายการที่เกิดสารผลิตภัณฑ์ (DBPs) สรุปเป็นรายงานแจ้งหน่วยงานที่ควบคุมดูแลคุณภาพน้ำถึงความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าโบรเมตเป็นปัญหาของหลายประเทศในโลก และจากการศึกษาพบว่าสาเหตุหลักเกิดจากการใช้โอโซนในกระบวนผลิต[15,28,29] และการปนเปื้อนจากสารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ เป็นต้น[30-32]

การกำจัดโบรเมตออกจากน้ำสามารถทำได้ระดับหนึ่งโดยการใช้กระบวนการที่เหมาะสม เช่น กรองด้วยสารหรือวัสดุบางชนิด เช่น reverse osmosis[33,34] anion-exchange resins[35] หรือใช้ activated alumina[36] เป็นตัวดูดซับ เป็นต้น อย่างไรก็วิธีการที่ใช้ได้ผลดีคือควบคุมการใช้โอโซนในการฆ่าเชื้อ

เนื่องจากประเทศไทยไม่ได้กำหนดค่ามาตรฐานใด ๆ จึงไม่มีข้อบังคับซึ่งนำไปสู่กระบวนการผลิตที่ใช้โอโซนในหลายรูปแบบที่แตกต่างกันทำให้ยากต่อการควบคุม ตรวจสอบ และเฝ้าระวัง ข้อมูลและองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้ได้นำไปสื่อสารความเสี่ยงและแจ้งเตือนภัย (consumer report) ของสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เพื่อให้ผู้บริโภค ผู้ประกอบการผลิตน้ำดื่มได้เรียนรู้ถึงอันตรายจากน้ำดื่มที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยโอโซน โดยเฉพาะหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ตระหนักในการควบคุมดูแล ให้ความสำคัญกับมาตรฐานความปลอดภัยในกระบวนการผลิตน้ำดื่มที่ผ่านโอโซนทั้งการนำเข้า และจำหน่าย การกำหนดมาตรฐานของโบรเมตจึงเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะเป็นมาตรฐานในการจัดการความปลอดภัยในระดับสากล เป็นข้อบังคับซึ่งนำไปสู่การปฏิบัติ หากมีมาตรการซึ่งบังคับใช้ทางกฎหมายจะเป็นการคุ้มครองผู้บริโภค และลดความเสี่ยงต่อการได้รับโบรเมตในน้ำดื่มได้

สรุป

กระบวนการฆ่าเชื้อในน้ำ ยังคงมีความสำคัญเพราะเป็นกรรมวิธีในการควบคุมคุณภาพไม่ให้มีเชื้อโรคในน้ำ-ดื่มซึ่งสามารถควบคุมได้ แต่สารผลิตภัณฑ์ (DBPs) ที่เกิดจากการกรรมวิธีฆ่าเชื้อโรคนั้นจะไม่สามารถควบคุมได้ ถ้าขาดมาตรฐานกำหนดค่าความปลอดภัย การพบโบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวดบ่งถึงการฆ่าเชื้อด้วยโอโซนในการกระบวนผลิตโดยปราศจากการควบคุมอย่างเหมาะ-

สม และมีการใช้โอโซนในการกระบวนผลิตน้ำแร่ธรรมชาติ

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปใช้ในการเฝ้าระวังอันตรายที่เกิดจากการบริโภคน้ำดื่มบรรจุขวด น้ำแร่ธรรมชาติ และใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพตั้งแต่การเลือกแหล่งน้ำ การเฝ้าระวัง การตรวจติดตาม และปรับกระบวนการผลิต ตลอดจนเป็นข้อมูลสนับสนุนในการกำหนดมาตรฐานปริมาณโบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำแร่ธรรมชาติของประเทศต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้บริหารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ที่สนับสนุนโครงการนี้ เจ้าหน้าที่ทุกท่านที่มีส่วนร่วมเก็บตัวอย่างเพื่อส่งวิเคราะห์ นางกัญญา พุกสุ่น อดีตหัวหน้าฝ่ายน้ำและสารกัมมันตรังสี สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร ผู้รวบรวมข้อมูลและมีส่วนสำคัญทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นางอุมา บริบูรณ์ ผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยของอาหาร นางสาวพนาวัลย์ กลึงกลางดอน ที่ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาเรื่องการประเมินความเสี่ยง และนายยุรนันท์ พินิจมนตรี ช่วยทวนสอบเอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

1. Haag WR, Hoigne J. Ozonation of bromide-containing waters: kinetics of formation of hypobromous acid and bromate. Environmental Science & Technology 1983; 17(5):261-7.
2. International Agency for Research on Cancer. Some naturally occurring and synthetic food components, furocoumarins and ultraviolet radiation. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans volume 40. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1986.
3. International Agency for Research on Cancer. Some chemicals that cause tumours of the kidney or urinary bladder in rodents and some other substances. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1999.
4. กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 199 (พ.ศ. 2543) เรื่องน้ำแร่ธรรมชาติ. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 118, ตอนพิเศษ 6 ง (ลงวันที่ 24 มกราคม 2544).
5. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. แนวทางการอนุญาตสถานที่ผลิตน้ำแร่ธรรมชาติ: กรณีใช้น้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำดิบ [อินเทอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อ 13 ก.ค. 2562]. แหล่งข้อมูล: https://sites. google.com/site/ssithrrxdphung/naewthang-kar-xnuyat-sthan-thi-phlit-narae-thrrm-chati.pdf
6. US Environmental Protection Agency. Toxicological review of bromate [Internet]. 2001 [cited 2019 Jul 13]. Available from: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents /documents/toxreviews/1002tr.pdf
7. World Health Organization. Bromate in drinking-water. Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality [Internet]. 2005 [cited 2019 Aug 30]. Available from: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/che micals/bromate260505.pdf
8. Hoigné J, Bader H. Kinetics of reactions of chlorine dioxide (OClO) in water — I. Rate constants for inorganic and organic compounds. Water Research 1994; 28(1):45-55.
9. การประปานครหลวง. สารไตรฮาโลมีเธน (THMs) [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [สืบค้นเมื่อ 30 ส.ค. 2562]. แหล่งข้อมูล: https://www.mwa.co.th/ewt_news .php?nid=3587
10. บรรพต กลิ่นประทุม. การสำรวจไตรฮาโลมีเทนในพื้นที่น้ำประปาดื่มได้ เขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. การประชุมวิชาการกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562; 18-20 มีนาคม 2562; นนทบุรี, ประเทศไทย; นนทบุรี: กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์; 2562.
11. Chawla RC, Varma MM, Balram A, Murali M, Natarajan P. Trihalomethane removal and formation mechanism in water. Washington DC: The DC Water Resources Research Center, University of the District of Columbia; 2005.
12. Richardson SD. Disinfection by-products and other emerging contaminants in drinking water. TrAC Trends in Analytical Chemistry 2003;22(10):666-84.

13. Rook JJ. Formation of haroforms during chlorination of natural waters. Water Treatment and Examination 1974; 23:234-43.
14. National Health and Medical Research Council. Australian drinking water guidelines 6 national water quality management strategy. Canberra: National Health and Medical Research Council, National Resource Management Ministerial Council; 2011.
15. Health Canada. Guidelines for Canadian drinking water quality: guideline technical document — bromate. Ottawa, Ontario: Water and Air Quality Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada; 2016.
16. Campbell KC. Bromate-induced ototoxicity. Toxicology 2006;221(2-3):205-11.
17. Ahmad MK, Naqshbandi A, Fareed M, Mahmood R. Oral administration of a nephrotoxic dose of potassium bromate, a food additive, alters renal redox and metabolic status and inhibits brush border membrane enzymes in rats. Food Chemistry 2012;134(2):980-5.
18. Office of Environmental Health Hazard Assessment. Public health goals for chemicals in drinking water: bromate. Sacramento, CA: California Environmental Protection Agency; 2009.
19. US Environmental Protection Agency. National Primary Drinking Water Regulations: Stage 2. Disinfectants and disinfection byproducts rule; final rule. Federal Register 2006;71(2):388-493.
20. Commission of the European Communities. European Parliament and Council. Commission Directive 2003/40/EC establishing the list, concentration limits and labeling requirement for the constituents of natural mineral waters and condition for using ozone-enriched air for the treatment of natural mineral waters and spring waters. Official Journal of the European Union 2003;126:34-9.
21. ทิพวรรณ นิ่งน้อย, กัญญา พุกสุ่น, กรรณิกา จิตติยศรา. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากโบรเมตในน้ำดื่มบรรจุขวดและน้ำแร่ธรรมชาติ. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ 2556;55(3):161-75.
22. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทย [อินเทอร์เน็ต]. 2559. [สืบค้นเมื่อ 2 ส.ค. 2562]. แหล่งข้อมูล: http://resource.thaihealth.or.th/system/files/documents/1_451.pdf
23. DeAngelo AB, George MH, Kilburn SR, Moore TM and Wolf DC. Carcinogenicity of potassium bromate administered in the drinking water to male B6C3F1 mice and F344/N rats. Toxicologic pathology 1998;26(5): 587-94.
24. Al-Mutaz IS. Water desalination in the Arabian Gulf region. In: Goosen MFA, Shayya WH, editors. Water management, purification and conservation in arid climates. Vol. 2. Water purification. Basel: Technomic Publishing; 2000. p. 245-65.
25. วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. จังหวัดปทุมธานี [อินเทอร์เน็ต]. 2562. [สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ก.ค. 2562]. แหล่งข้อมูล: https://th.wikipedia.org/wiki/จังหวัดปทุมธานี
26. Hiroshi W. Revision of drinking water quality standards and QA/QC for drinking water quality analysis in Japan. Technical note of National Institute for Land and Infrastructure Management 2005;264:74-88.
27. NEA. (2019). Environmental Public Health Act (Chapter 95). Environmental public health (water suitable for drinking) regulations [Internet]. 2019. [cited 2019 Aug 30]. Available from: https://www.nea.gov.sg/docs/default-source/default-document-library/eph-water-suitab le-for-drinking-regulations-2019.pdf
28. Richardson SD, Thruston AD, Rav-Acha C, Groisman L, Popilevsky I, Juraev O, et al. Tribromopyrrole, brominated acids, and other disinfection byproducts produced by disinfection of drinking water rich in bromide. Environmental Science & Technology 2003; 37(17): 3782-93.
29. Berry M, Dombrowski K, Richardson C, Chang R, Borders E and Vosteen B. Mercury control evaluation of calcium bromide injection into a PRB-fired furnace with an SCR. Proceedings of the Air Quality VI Conference; 2007 September 24-27; Washington DC; 2007. p. 1-9.
30. Gordon G, Emmert GL, Bubnis B. Bromate ion formation in water when chlorine dioxide is photolyzed in the

presence of bromide ion. Proceedings of the American Water Works Association Water Quality Technology Conference, November 1995, New Orleans. Denver, Colorado: American Water Works Association; 1995.

31. Liu C, Von Gunten U, Croué JP. Enhanced bromate formation during chlorination of bromide-containing waters in the presence of CuO: catalytic disproportionation of hypobromous acid. Environ Sci technol 2012; 46(20):11054-61.
32. Liu C, Von Gunten U, and Croué JP. Chlorination of bromide-containing waters: Enhanced bromate formation in the presence of synthetic metal oxides and deposits formed in drinking water distribution systems. Water Research 2013;47(14):5307-15.
33. Van der Hoek JP, Rijnbende DO, Lokin CJA, Bonne PAC, Loonen MT, Hofman JAMH. Electrodialysis as an alternative for reverse osmosis in an integrated membrane system. Desalination 1998;117(1-3):159-72.
34. Watson K, Farré MJ, Knight N. Strategies for the removal of halides from drinking water sources, and their applicability in disinfection by-product minimisation: a critical review. Journal of Environmental Management 2012;110:276-98.
35. Chen R, Yang Q, Zhong Y, Li X, Li XM, Du WX, et al. Sorption of trace levels of bromate by macroporous strong base anion exchange resin: influencing factors, equilibrium isotherms and thermodynamic studies. Desalination 2014;344:306-12.
36. Legube B. A survey of bromate ion in European drinking water. Ozone Science and Engineering 1996; 18(4):325-48.

Abstract: Risk Situation of Bromate Contained in Bottled Drinking Water and Natural Mineral Water Distributed in Thailand

Kannika Jittiyosara, B.Sc. (Chemistry)*; Sakorn Singsalasaeng, B.Sc. (Chemistry)*; Prapapan Prohmhirangul, M.Sc. (Food and nutrition toxicology); Nirundorn Raekasin, M.Sc. (Chemistry)***; Sujit Sakhajorn, B.Sc. (Chemistry)****; Pakphon Chaphonpak, B.Sc. (Chemistry)*****; Suwimon Iamboo, B.Sc. (Chemistry)********

Bureau of Quality and Safety of Food, Department of Medical Sciences, Nonthaburi Province; ** Regional Medical Sciences Center 4 Saraburi, Saraburi Province; * Regional Medical Sciences Center 11 Surat Thani, Surat Thani Province; **** Regional Medical Sciences Center 11/1 Phuket, Phuket Province; ***** Regional Medical Sciences Center 1/1 Chiang Rai, Chiang Rai Province; ****** Regional Medical Sciences Center 2 Phitsanulok, Phitsanulok Province, Thailand*

Journal of Health Science 2020;29(4):719-34.

Bromate is mutagenic possibly carcinogenic to humans. It can be found in drinking water as a by-product from water disinfected by ozone. No regulatory limit has been established in Thailand. This study aimed to evaluate risk situation from intake of bromate in bottled drinking water and natural mineral water distributed in Thailand in 2014 and a follow-up assessment in 2019. For the year 2014, the total of 566 samples from 60 provinces in Thailand with trademark was consisted of 511 samples of ozone treated bottled drinking water treatment system, 55 samples of natural mineral water, 24 samples were locally produced and 31 samples were imported. The 2019 study, there were 67 samples collected from 12 provinces including 4 imported samples. The analysis was performed using ion chromatographic technique with LOD and LOQ of 1 and 3 μg/L respectively, recovery of 99-112% and relative standard deviation (RSD) of 2.4-8.4%. The results showed that 10.0% of bottled drinking water collected in 2014 contained bromate in the range of <3-177 μg/L; and 18.2% of mineral water contained bromate in the range of <3-134 μg/L. Similar investigation conducted in 2016 revealed that bromate was still found in 9.8% of the drinking water samples with the range of 5.7-41.0 μg/L, and 60% in natural mineral water with the range of <3-68.5 μg/L. The health risk assessment revealed the hazard quotient (HQ) of less than 1. However, the excess cancer risks (ECR) in both bottled drinking water and mineral water was over $2x10^{-5}$, the acceptable risk level set by the World Health Organization. Therefore, the national authority should establish a regulatory limit for bromate in drinking water in Thailand in order to protect the consumers.

***Keywords*: bromate; ozone; risk; bottled drinking water; natural mineral water**