



ความเข้มข้นของธาตุหลัก จุลธาตุ และโลหะหนัก
และความเสี่ยงของคุณภาพน้ำ เพื่อการบริโภคและการเกษตร
ของอ่างเก็บน้ำหนองเล็งทราย อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา
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

จอมจันทร์ นทิวพัฒนา^{1,2*} ไผ่ตรี สุทธจิตต์³ วิชัย เทียนถาวร² แสง ดอน คิม¹ และ ควอง วู คิม^{1*}

บทคัดย่อ

อ่างเก็บน้ำหนองเล็งทรายเป็นแหล่งน้ำจืดที่มีความสำคัญของจังหวัดพะเยา ทั้งในด้านการอุปโภคบริโภค การเกษตร วิถีชีวิต และวัฒนธรรม การดูแลรักษาแหล่งน้ำดังกล่าวจึงมีความสำคัญต่อชาวบ้านอำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยาเป็นอย่างมาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงของคุณภาพน้ำทางด้านเคมีและกายภาพ และความเข้มข้นของธาตุหลัก จุลธาตุ และโลหะหนัก เพื่อเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ สำหรับใช้ประโยชน์ในด้านการบริโภค และด้านการเกษตร รวมทั้งประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคน้ำ จากผลการสำรวจพบว่า คุณภาพในด้านเคมีและกายภาพได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความกระด้าง และค่าของแข็งละลายน้ำ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม สำหรับความเข้มข้นของธาตุพบว่า เหล็กมีค่าความเข้มข้น 312.44-563.52 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ซึ่งเกินมาตรฐานน้ำดื่ม และมีความเสี่ยงสูงโดยประเมินจากค่าความเสี่ยง (risk quotient) ของความเข้มข้นเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม ธาตุที่พบว่ามีความเสี่ยงปานกลางได้แก่ อะลูมิเนียม แมงกานีส ตะกั่ว และซีลีเนียม การประเมินดัชนีผลกระทบทางด้านสุขภาพไม่พบธาตุที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ ($\text{HRI}<1$) และดัชนีการเกิดอันตราย (hazard index: HI) ของน้ำโดยรวมพบว่า ไม่มีอันตรายต่อสุขภาพ ($\text{HI}<1$) ค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง

¹ คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สาธารณรัฐเกาหลีใต้

² คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

³ คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

พบว่า คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยสูงสุดที่ยอมรับได้ การบริโภคน้ำจากหนองเล็งทรายควรผ่านการบำบัด เพื่อแยกธาตุเหล็กออกจากน้ำดิบเช่น การเติมอากาศให้ตกตะกอนและการกรอง การใช้ระบบรีเวอร์ส-ออสโมซิส การประเมินคุณภาพน้ำด้านการเกษตรพบว่า ค่าคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำเพื่อการชลประทานขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations: FAO) ยกเว้นโพแทสเซียมมีความเข้มข้นสูงกว่ามาตรฐาน $1.84 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ดังนั้นสามารถใช้น้ำในทางการเกษตรได้ อย่างไรก็ตามชุมชนควรทำการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง เพื่อรักษาแหล่งน้ำให้มีคุณภาพดี

ABSTRACT

Nong leng Sai is the vital freshwater marsh of Phayao province for consumption, agriculture, and human well being. This water source conservation within needs of Mae Jai district residents is necessary. The objectives of study were to risk assessment of physico-chemical properties, concentrations of major and trace elements, heavy metals for surveillance water quality to consumption and irrigation, as well as to assess health risk from drinking water. The result showed that physico-chemical characteristics included pH, dissolved oxygen (DO), electrical conductivity (EC), hardness, and total dissolved solid (TDS) were under the permissible limit. As a result of element concentrations, Fe concentration ranged from $312.44\text{--}563.52 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ exceed drinking water guideline and high risk. In the addition the concentrations of Al, Mn, Pb, and Se were indicated medium risk. Health risk indicators as follow health risk index (HRI) and hazard index (HI) revealed that non-carcinogen effects of single elements and overall elements were posed insignificant health risk (HRI and $\text{HI}<1.0$). Cancer risk stayed at the highest safe standard for carcinogenic risk. Therefore this water source appropriated quality for consumption after pre-treatment for Fe elimination for example aeration and filtration, reverse osmosis. On the other hands, the risk assessment of water quality for agriculture exposed that the physico-chemical parameters were within allowable Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) standard. Elevated concentration of potassium was above FAO standard at $1.84 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Nevertheless local community should participate to surveillance water quality of Nong Leng Sai for sustainable utilization.

คำสำคัญ: หนองเล็งทราย น้ำดื่ม น้ำใช้ทางการเกษตร การประเมินความเสี่ยง ความเสี่ยงด้านสุขภาพ

Keywords: Nong Leng Sai Reservoir, Drinking water, Irrigation water, Risk assessment, Health risk assessment

1. บทนำ

หนองเล็งทรายเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีความสำคัญของจังหวัดพะเยา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเป็นแอ่งน้ำที่อยู่ระหว่างเทือกเขาฝิปันน้ำและเทือกเขาดอยหัวม้ง ถือเป็นแหล่งอารยธรรมของคนเมืองพะเยา อันเก่าแก่ รวมทั้งมีการค้นพบศิลปาจารึก ซึ่งถูกเก็บรักษาไว้ที่หอวัฒนธรรมนิทัศน์วัดศรีโคมคำ หนองเล็งทรายเป็นระบบนิเวศน้ำจืดที่เป็นน้ำนิ่ง มีเนื้อที่ประมาณ 9.6 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 6,000 ไร่ ตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์คือ 19° 20'-25' N และ 99° 47'-50' E มีความสูงจากระดับน้ำทะเลโดยเฉลี่ย 400 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 5 ตำบล ได้แก่ ตำบลแม่ใจ ตำบลศรีถ้อย ตำบลเจริญราษฎร์ ตำบลบ้านเหล่า และตำบลป่าแฝก ส่วนใหญ่ในฤดูแล้งมีสภาพดินแข็งโดยมีความลึกประมาณ 50 เซนติเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่มีน้ำท่วมในฤดูฝน และบางส่วนน้ำท่วมตลอดปี มีพืชน้ำหลายชนิดขึ้นอยู่เช่น บัว กก สามเหลี่ยม อ้อ แคม โดยมีลำห้วยหลายสายไหลเข้าสู่หนองน้ำเช่น ห้วยหลวงใน ห้วยแม่กระโทบ ห้วยเกี้ยว ห้วยสะแล่ง บริเวณโดยรอบเป็นนาข้าว และบริเวณตอนใต้ของหนองมีฝายน้ำล้น น้ำที่ล้นไหลลงแม่น้ำอิงสู่กว๊านพะเยา รอบหนองมีการวางท่อคอนกรีตเพื่อเป็นทางน้ำผ่าน นอกจากนั้นบริเวณพื้นที่ด้านทิศใต้ตำบลแม่ใจ ถูกขุดเพื่อเป็นแหล่งน้ำสำหรับผลิตน้ำประปาให้แก่ชุมชน นอกจากนี้หนองเล็งทรายยังเป็นต้นกำเนิดของลำน้ำอิง ที่ไหลลงสู่กว๊านพะเยา ซึ่งลำน้ำอิงไหลผ่านหลายอำเภอของจังหวัดพะเยา และไหลลงสู่แม่น้ำโขงที่อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย น้ำจากหนองเล็งทรายถูกใช้ในการเพาะปลูก ทำประมง เลี้ยงสัตว์ เป็นแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตประปา และเป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ (ศูนย์ข้อมูลกลางทางวัฒนธรรม กระทรวงวัฒนธรรม, 2557; มูลนิธิคุ้มครองสัตว์ป่าและพรรณพืชแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชินูปถัมภ์,

2557) การศึกษาคุณภาพน้ำและการประเมินความเสี่ยง เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของสภาพแหล่งน้ำสำคัญของจังหวัดพะเยา ส่งผลต่อการจัดการคุณภาพน้ำและเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ รวมทั้งกำหนดมาตรการในการพัฒนาแหล่งน้ำทั้งระบบของจังหวัดพะเยาต่อไป

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อประเมินความเสี่ยงของน้ำในหนองเล็งทรายด้านเคมีและกายภาพ และความเข้มข้นของธาตุหลัก จุลธาตุ และโลหะหนัก และทำการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ เพื่อใช้ในการบริโภคและการเกษตร

2. เพื่อการประเมินความเสี่ยงของน้ำในหนองเล็งทรายด้านการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (cancer risk) และความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (non cancer risk)

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 พื้นที่ศึกษา

หนองเล็งทราย อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา

3.2 การเก็บและเตรียมตัวอย่าง และการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ ณ จุดเก็บตัวอย่าง (grab sample) ที่ระดับความลึก 10-30 เซนติเมตร 2 ชุดตัวอย่างคือ น้ำดิบและน้ำที่ปรับสภาพด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 65% เก็บในขวดเฮชดีพีอี (high density polyethylene: HDPE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C วิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของน้ำดิบในพื้นที่ศึกษาดังนี้ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ค่าความขุ่น และทำการวิเคราะห์ค่าของแข็งละลายน้ำ และความกระด้างในห้องปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา โดยใช้การวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามวิธี Standard method (APHA,

2012) และความเข้มข้นของธาตุวิเคราะห์ยังสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (GIST) ประเทศเกาหลีใต้ โดยนำน้ำมากรองผ่านเยื่อกรองในลอนที่มีรูพรุนขนาด 0.45 ไมโครเมตร ทำการวิเคราะห์ธาตุหลัก ได้แก่ แคลเซียม (Ca) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) และซิลิกอน (Si) ทำการตรวจวิเคราะห์โดยเครื่อง inductively-coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES; Optima 5300 DV, Perkin Elmer, USA) และวิเคราะห์จุลธาตุและโลหะหนัก ได้แก่ อะลูมิเนียม (Al) สารหนู (As) โบรอน (B) แบเรียม (Ba) แคดเมียม (Cd) โคบอลต์ (Co) ซีเซียม (Cs) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) แกลเลียม (Ga) ลิเทียม (Li) แมงกานีส (Mn) โมลิบดีนัม (Mo) นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) รูบิเดียม (Rb) ซีลีเนียม (Se) สทรอนเทียม (Sr) เทลลูเรียม (Te) ยูเรเนียม (U) วาเนเดียม (V) และสังกะสี (Zn) ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) ทำการตรวจวัดความเที่ยงตรงด้วยน้ำอ้างอิงมาตรฐาน 1640 (SRM 1640; the National Institute of Standard and Technology, MD, USA) จะถูกยอมรับในช่วงไม่น้อยกว่า 5% ค่าความเข้มข้นที่ต่ำกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวัดได้ (detection limit) ใช้การแทนที่ในสัดส่วนครึ่งหนึ่งของค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้

3.3 การคำนวณและวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง

3.3.1 การคำนวณค่าความเสี่ยง (risk quotient)

คำนวณจากสมการที่ 1 โดย RQ คือ ค่าความเสี่ยง (risk quotient, RQ) MEC (measured environment concentration) คือ ความเข้มข้นของสารที่วัดในสิ่งแวดล้อม และ PNEC (predicted no effect concentration) คือ ความเข้มข้นสูงสุดของสารที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต เกณฑ์การตัดสินใจ

พบว่า กำหนดให้ RQ น้อยกว่าเท่ากับ 0.1 หมายความว่า มีความเสี่ยงต่ำ RQ มากกว่า 0.1 ถึง 1 หมายความว่า มีความเสี่ยงระดับปานกลาง RQ มากกว่า 1 หมายความว่า มีความเสี่ยงสูง และ RQ มากกว่า 10 หมายความว่า มีความเสี่ยงสูงมาก (U.S.EPA., 2014)

$$RQ = \frac{MEC}{PNEC} \quad (1)$$

3.3.2 การคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณสารที่ได้รับในแต่ละวัน (chronic daily intake: CDI)

คำนวณตามสมการที่ 2 โดย Cm คือ ความเข้มข้นของสารที่ตรวจวัด ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) lw คือ ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ดื่มในแต่ละวัน (L) และ Wb คือ น้ำหนักตัวเฉลี่ย (kg) โดยระบุว่ารับธาตุที่รับเข้าสู่ร่างกายผ่านการบริโภคน้ำในแต่ละวันคิดเฉลี่ยวันละ 2 ลิตร น้ำหนักตัวเด็กและผู้ใหญ่คิดค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15 และ 70 กิโลกรัมตามลำดับ (U.S.EPA., 2011)

$$CDI = \frac{C_m \times lw}{W_b} \quad (2)$$

3.3.3 ค่าดัชนีความเสี่ยงต่อสุขภาพ (health risk index: HRI) และค่าดัชนีอันตรายต่อสุขภาพ (hazard index: HI) ในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (non cancer risk)

$$HRI = \frac{CDI}{RFD} \quad (3)$$

$$HI = \sum HRI = \frac{CDI_1}{RFD_1} + \frac{CDI_2}{RFD_2} + \dots + \frac{CDI_i}{RFD_i} \quad (4)$$

คำนวณตามสมการที่ 3 โดย reference dose (RFD) หน่วย $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ คือ ปริมาณสารเคมีที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย กำหนดไว้มีค่าดังนี้ As (0.30), B (200), Ba (200), Cd (0.50), Co (0.30), Cu (40), Fe (700), Li (2), Mn (140), Mo (5), Ni (20), Se (5), Sr (600), Te (0.01), V (7), and Zn (300) และปริมาณที่จะก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายคือ จำนวนเกินกว่า 1

เท่า ($HRI > 1$) สำหรับกรณีการก่อโรคอื่นที่ไม่ใช่มะเร็ง (non cancer endpoint) (U.S.EPA., 2005; Risk Assessment Information System, 2014) และจากสมการที่ 4 ดัชนีบ่งชี้อันตราย (hazard index: HI) เป็นดัชนีบ่งชี้ผลกระทบความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (non cancer risk) ของธาตุที่ปรากฏในน้ำทุกธาตุที่รับเข้าไปโดยการดื่มน้ำในแต่ละวัน (ingestion) กลุ่มผู้บริโภคจะมีความเสี่ยงเมื่อ HI มีค่ามากกว่า 1 (U.S.EPA., 2010)

3.3.4 ค่าความเสี่ยงต่อมะเร็ง (cancer risk: CR)

จากสมการที่ 5 ค่าปัจจัยใช้แสดงถึงศักยภาพของสารเคมีที่ทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์หรือ cancer slope factor (CSF) สำหรับสารหนูมีค่า $1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ โดยค่าความเสี่ยงต่อมะเร็งจะถูกลบคูณรับในช่วง 1 ใน 10,000 ถึง 1 ใน 1,000,000 (U.S.EPA., 1998)

$$CR = CDI \times CSF \quad (5)$$

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมี

จากตารางที่ 1 ผลเคมีและกายภาพพบว่า น้ำมีคุณภาพดี ค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วงเป็นกรดเล็กน้อยและเป็นกลาง ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่ามากกว่า $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ น้ำมีความขุ่นเล็กน้อย ค่าการนำไฟฟ้าต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับค่าของแข็งละลายน้ำ แสดงว่ามีสารนำไฟฟ้าละลายในน้ำน้อย จำพวกแร่ธาตุ อนินทรีย์ รวมทั้งของแข็งที่ละลายน้ำมีค่าน้อย น้ำมีลักษณะเป็นน้ำอ่อนเมื่อพิจารณาจากค่าความกระด้าง (มันสิน, 2538) เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำด้านเคมีและกายภาพพบว่า มีคุณภาพดีใกล้เคียงกับคุณภาพน้ำในระบบเครือข่ายอ่างเก็บน้ำ (อ่างพวง) ในศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัด

เพชรบุรี (ศุภลักษณ์และคณะ, 2556) และคุณภาพน้ำผิวดินในกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา (วิมลรัตน์และคณะ, 2556)

ความเข้มข้นของธาตุและค่าความเสี่ยง ธาตุที่มีค่าเกินมาตรฐานน้ำดื่มมีเพียงธาตุเดียวคือ เหล็ก และพบว่า มีความเสี่ยงสูง สำหรับธาตุที่มีความเสี่ยงปานกลางได้แก่ อะลูมิเนียม แมงกานีส ตะกั่ว และซิลิเนียม ดังตารางที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาคุณภาพน้ำจากอ่างเก็บน้ำโครงการในพระราชดำริอ่างเก็บน้ำแม่ปืม ตำบลแม่ใจ จังหวัดพะเยา ซึ่งมีความเสี่ยงสูงจากธาตุเหล็กที่เกินมาตรฐาน และมีความเสี่ยงปานกลางจากอะลูมิเนียมและซิลิเนียมที่เหมือนกัน ซึ่งอ่างเก็บน้ำแม่ปืมยังพบความเสี่ยงสูงจากแมงกานีสที่ต้องทำการเฝ้าระวัง และธาตุอื่นที่มีความเสี่ยงปานกลางได้แก่ แบเรียม และโคบอลต์ (จอมจันทร์และคณะ, 2557)

ผู้บริโภคน้ำจากหนองเล็งทรายอาจได้รับผลกระทบจากธาตุดังกล่าว โดยส่งผลกระทบต่อสุขภาพดังนี้ การรับธาตุเหล็กสูงเข้าสู่ร่างกายอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะฮีโมโครมาโทซิส (haemochromatosis) (WHO., 1996) หากรับอะลูมิเนียมโดยการดื่มหรือกินเข้าไปในระยะยาวในความเข้มข้นสูง ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) และภาวะสมองเสื่อม (dementia) โรคพาร์กินสัน (Parkinson's disease) (สิทธิธีรารัตน์, 2555) ตะกั่วส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้ความสามารถในการเรียนรู้ลดลง (Bellinger et al., 1987; Needleman et al., 1990) สำหรับการรับแมงกานีสในปริมาณสูงโดยการดื่มน้ำส่งผลกระทบต่อระบบประสาท และเป็นพิษต่อตับ (WHO., 2011) และซิลิเนียมส่งผลกระทบต่อสุขภาพฟัน เล็บ และผม รวมทั้งก่อให้เกิดโรคผิวหนัง และส่งผลกระทบต่อทางเดินอาหารเรียกว่า โรคพิษจากซิลิเนียมหรือซีลีโนซิส (selenosis) (WHO., 2011)

ตารางที่ 1 การประเมินตามมาตรฐานน้ำดื่มและมาตรฐานน้ำทางการเกษตร

การประเมินมาตรฐานน้ำดื่ม							การประเมินมาตรฐานน้ำทางการเกษตร				
พารามิเตอร์	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐาน	ช่วงความเข้มข้น	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าความเสี่ยงสูงสุด (RQ _{max})	ระดับความเสี่ยง	เกณฑ์มาตรฐาน	ช่วงความเข้มข้น	ค่าเฉลี่ย	การผ่านมาตรฐาน
pH	-	6.5-9 ³	6.06-7.27	6.51	0.66	-	ผ่าน	6.5-8.5 ³	6.06-7.27	6.51	ผ่าน
DO	mg·L ⁻¹	> 3 ³	4.50-5.39	4.96	0.39	-	ผ่าน	> 4 ^b	4.50-5.39	4.96	ผ่าน
Turbidity	NTU	ไม่กำหนด	5.41-8.43	6.67	1.57	-	-	ไม่มี	5.41-8.43	6.67	-
EC	µs·cm ⁻¹	1,500 ³	111.00-135.00	120.00	13.08	0.090	ต่ำ	3,000 ³	111.00-135.00	120	ผ่าน
Hardness	mg·L ⁻¹	150 ³	46.00-48.00	46.67	1.15	0.320	ปานกลาง	ไม่มี	46.00-48.00	46.67	-
TDS	mg·L ⁻¹	500 ³	51.00-57.00	54.00	3.00	0.114	ปานกลาง	2,000 ³	51.00-57.00	54.00	ผ่าน
SAR	mEq·L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	9 ³	0.99-1.01	0.99	ผ่าน
Ca	mg·L ⁻¹	300 ^b	12.83-13.73	13.18	0.48	0.046	ต่ำ	40 ³	12.83-13.73	13.18	ผ่าน
K	mg·L ⁻¹	411 ³	3.74-3.98	3.84	0.13	0.010	ต่ำ	2 ³	3.74-3.98	3.84	เกินเกณฑ์
Mg	mg·L ⁻¹	300 ^b	2.59-2.64	2.62	0.03	0.009	ต่ำ	10 ³	2.59-2.64	2.62	ผ่าน
Na	mg·L ⁻¹	200 ^b	2.74-2.88	2.79	0.08	0.014	ต่ำ	40 ³	2.74-2.88	2.79	ผ่าน
SI	mg·L ⁻¹	ไม่กำหนด	3.19-3.29	3.25	0.05	-	-	ไม่กำหนด	3.19-3.29	3.25	-
Al	µg·L ⁻¹	100 ^{c,d}	47.63-93.10	64.93	24.61	0.931	ปานกลาง	5,000 ³	47.63-93.10	64.93	ผ่าน
As	µg·L ⁻¹	10 ³	0.52-0.87	0.65	0.19	0.087	ต่ำ	100 ³	0.52-0.87	0.65	ผ่าน
B	µg·L ⁻¹	500 ^e	3.62-3.92	3.74	0.16	0.008	ต่ำ	2,000 ³	3.62-3.92	3.74	ผ่าน
Ba	µg·L ⁻¹	700 ³	35.10-36.60	35.96	0.78	0.052	ต่ำ	ไม่กำหนด	35.10-36.60	35.96	-
Cd	µg·L ⁻¹	3 ³	BDL	BDL	BDL	BDL	ต่ำ	10 ³	BDL	BDL	ผ่าน
Co	µg·L ⁻¹	11 ^f	0.04-0.13	0.07	0.05	0.012	ต่ำ	50 ³	0.04-0.13	0.07	ผ่าน
Cs	µg·L ⁻¹	ไม่กำหนด	0.02-0.03	0.02	0.01	-	-	ไม่กำหนด	0.02-0.03	0.02	-
Cr	µg·L ⁻¹	50 ³	BDL	BDL	BDL	BDL	ต่ำ	100 ³	BDL	BDL	ผ่าน
Cu	µg·L ⁻¹	2,000 ³	0.23-0.98	0.61	0.37	4.91E-04	ต่ำ	200 ³	0.23-0.98	0.61	ผ่าน
Fe	µg·L ⁻¹	300 ^{g,h}	312.44-563.52	400.65	141.21	1.878	สูง	5,000 ³	312.44-563.52	400.65	ผ่าน
Ga	µg·L ⁻¹	ไม่กำหนด	1.43-1.49	1.47	0.04	-	-	ไม่กำหนด	1.43-1.49	1.47	-

ตารางที่ 1 การประเมินตามมาตรฐานน้ำดื่มและมาตรฐานน้ำทางเกษตร (ต่อ)

การประเมินมาตรฐานน้ำดื่ม									
พารามิเตอร์	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐาน	ช่วงความเข้มข้น	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าความเสียหายสูงสุด (RQ _{max})	ระดับความเสี่ยงสูงสุดจาก RQ _{max}	การประเมินมาตรฐานน้ำทางเกษตร	
								เกณฑ์มาตรฐาน	การผ่านมาตรฐาน
Li	µg·L ⁻¹	73 ^f	0.04-0.08	0.06	0.02	0.001	ต่ำ	2,500 ^a	ผ่าน
Mn	µg·L ⁻¹	400 ^a	68.65-130.60	91.50	34.02	0.327	ปานกลาง	200 ^g	ผ่าน
Mo	µg·L ⁻¹	50 ^d	0.03-0.05	0.03	0.01	0.001	ต่ำ	10 ^a	ผ่าน
Ni	µg·L ⁻¹	70 ^a	0.15-0.53	0.29	0.21	0.008	ต่ำ	200 ^a	ผ่าน
Pb	µg·L ⁻¹	10 ^a	BDL – 1.17	0.39	0.67	0.117	ปานกลาง	5,000 ^g	ผ่าน
Rb	µg·L ⁻¹	ไม่กำหนด	6.07-6.15	6.11	0.04	-	-	ไม่กำหนด	-
Se	µg·L ⁻¹	10 ^a	2.68-2.84	2.76	0.08	0.284	ปานกลาง	20 ^a	ผ่าน
Sr	µg·L ⁻¹	ไม่กำหนด	50.44-51.01	50.63	0.33	-	-	ไม่กำหนด	-
Tl	µg·L ⁻¹	2 ^{g,h}	BDL	BDL	BDL	BDL	ต่ำ	ไม่กำหนด	-
U	µg·L ⁻¹	15 ^a	0.08-0.12	0.10	0.02	0.008	ต่ำ	ไม่กำหนด	-
V	µg·L ⁻¹	260 ^f	0.55-1.02	0.71	0.27	0.004	ต่ำ	100 ^g	ผ่าน
Zn	µg·L ⁻¹	3,000 ^d	9.04-16.31	11.80	3.94	0.005	ต่ำ	2,000 ^a	ผ่าน

หมายเหตุ: BDL คือ Below detection limited เท่ากับ 10 µg L⁻¹; ^aอ้างอิงมาตรฐานน้ำดื่ม^a WHO guideline for drinking water quality, 2011; ^b Drinking water quality standards (DWQs) of Japan, 2008; ^c WHO drinking water guideline, 1998; ^d ADWG; Australia drinking water guideline, 2004; ^e WHO guideline for drinking water quality, 2009; ^f Title 22; California Code of regulations, 2008; ^g และ ^h USEPA; United States Environmental Protection Agency, 2006 and 2008; ^aอ้างอิงมาตรฐานน้ำทางการเกษตร^a Food and Agriculture Organization of United Nations; ^b กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

ตารางที่ 2 การประเมินผลกระทบทางสุขภาพ

พารามิเตอร์	ช่วงค่า CDI ในผู้ใหญ่ ^{1,2*}	ค่าเฉลี่ย CDI ในผู้ใหญ่ ^{1,2*}	ช่วงค่า CDI ในเด็ก ^{1,2*}	ค่าเฉลี่ย CDI ในเด็ก ^{1,2*}	ช่วงค่า HRI ในผู้ใหญ่	ค่าเฉลี่ย HRI ในผู้ใหญ่	ช่วงค่า HRI ในเด็ก	ค่าเฉลี่ย HRI ในเด็ก
Ca	0.367-0.392	0.376	1.711-1.830	1.757	-	-	-	-
K	0.107-0.114	0.110	0.498-0.531	0.512	-	-	-	-
Mg	0.074-0.075	0.075	0.346-0.352	0.349	-	-	-	-
Na	0.078-0.082	0.080	0.365-0.384	0.372	-	-	-	-
Si	0.091-0.094	0.093	0.426-0.439	0.433	-	-	-	-
Al	1.361-2.660	1.860	6.351-12.413	8.657	-	-	-	-
As	0.015-0.025	0.019	0.069-0.115	0.086	0.049-0.082	0.062	0.021-0.035	0.026
B	0.103-0.112	0.107	0.483-0.522	0.498	5.17E-4 – 5.59E-4	0.001	0.002-0.003	0.002
Ba	1.003-1.046	1.027	4.679-4.880	4.794	5.01E-3 – 5.23E-3	0.005	0.023-0.024	0.024
Cd	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Co	0.001-0.004	0.002	0.005-0.017	0.010	0.003-0.012	0.007	0.016-0.056	0.032
Cs	4.34E-4 – 7.53E-4	6.22E-4	0.002-0.004	0.003	-	-	-	-
Cr	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Cu	0.007-0.028	0.017	0.031-0.131	0.081	1.68E-4 – 7.03E-4	4.36E-4	0.001-0.003	0.002
Fe	8.927-16.101	11.447	41.659-75.136	53.420	0.013-0.023	0.016	0.060-0.107	0.076
Ga	0.041-0.043	0.042	0.190-0.199	0.196	-	-	-	-
Li	0.001-0.002	0.002	0.006-0.011	0.007	6.04E-4 – 1.17E-3	0.001	0.003-0.005	0.004
Mn	1.961-3.731	2.614	9.153-17.413	12.200	0.014-0.027	0.019	0.065-0.124	0.087
Mo	7.87E-4 – 1.31E-3	0.001	0.004-0.006	0.005	1.57E-4 – 2.62E-4	1.95E-4	7.34E-4 – 1.22E-4	0.001
Ni	0.004-0.015	0.008	0.020-0.071	0.039	2.12E-4 – 7.61E-4	4.17E-4	0.001-0.004	0.002
Pb	BDL – 0.033	0.011	BDL – 0.156	0.052	-	-	-	-
Rb	0.174-0.176	0.175	0.810-0.820	0.815	-	-	-	-
Se	0.077-0.081	0.079	0.358-0.378	0.368	0.015-0.016	0.016	0.072-0.076	0.074

ตารางที่ 2 การประเมินผลกระทบทางสุขภาพ (ต่อ)

พารามิเตอร์	ช่วงค่า CDI ในผู้ใหญ่ ^{1,2*}	ค่าเฉลี่ย CDI ในผู้ใหญ่ ^{1,2*}	ช่วงค่า CDI ในเด็ก ^{1,2*}	ค่าเฉลี่ย CDI ในเด็ก ^{1,2*}	ช่วงค่า HRI ในผู้ใหญ่	ค่าเฉลี่ย HRI ในผู้ใหญ่	ช่วงค่า HRI ในเด็ก	ค่าเฉลี่ย HRI ในเด็ก
Sr	1.441-1.457	1.447	6.725-6.801	6.751	2.40E-3 – 2.43E-3	0.002	1.12E-2 – 1.13E-2	0.011
Tl	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
U	0.002-0.003	0.003	0.011-0.016	0.013	-	-	-	-
V	0.016-0.029	0.020	0.073-0.136	0.095	0.002-0.004	0.003	0.010-0.019	0.014
Zn	0.258-0.466	0.337	1.205-2.174	0.001-0.002	0.001	0.004-0.007	0.005	
ΣHRI	-	-	-	-	0.107-0.177	0.133	0.210-0.477	0.360

หมายเหตุ: 1* หน่วยค่า CDI ของ Ca, K, Mg,, Na, และ Si คือ mg kg⁻¹ day⁻¹ 2* หน่วยของค่า CDI ของ Al, B, Ba, Cd, Co, Cs, Cr, Cu, Fe, Ga, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb,Se, Sr, Tl, U, V, และ Zn คือ µg kg⁻¹ day⁻¹

4.2 ผลการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ

จากการคำนวณดัชนีผลกระทบสุขภาพตามตารางที่ 2 พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารที่ได้รับในแต่ละวัน (chronic daily intake: CDI) คือ ค่าบ่งชี้การรับธาตุจากน้ำโดยเฉลี่ยต่อวัน โดยคิดเป็นการดื่มน้ำวันละ 2 ลิตร และน้ำหนักเฉลี่ย สำหรับเด็ก 15 กิโลกรัม และผู้ใหญ่ 70 กิโลกรัม โดยนำมาคำนวณดัชนีความเสี่ยงต่อสุขภาพ (health risk index: HRI) เพื่อตัดสินว่า มีความเสี่ยงต่อสุขภาพหรือไม่ และพบว่า ไม่มีธาตุใดที่มีความเสี่ยง (HRI<1) เมื่อพิจารณาเป็นรายธาตุ สำหรับดัชนีการเกิดอันตราย (hazard index: HI) ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้ความเสี่ยงในภาพรวมของธาตุที่ปรากฏในน้ำ โดยจะบ่งชี้การเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (non cancer risk) (US.EPA., 2010) พบว่า สำหรับผู้บริโภครวมผู้ใหญ่มียูเรทระหว่าง 0.107–0.177 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.133 และผู้บริโภครวมเด็กมีค่าอยู่ระหว่าง 0.290–0.477 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.360 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัย (HI<1) เมื่อเปรียบเทียบความเสี่ยงด้านสุขภาพกับอ่างเก็บน้ำแม่ปืมพบว่า น้ำจากหนองเล็งทรายไม่มีความเสี่ยง และมีคุณภาพเหมาะสมต่อการบริโภค ซึ่งอ่างเก็บน้ำแม่ปืมมีความเสี่ยงด้านสุขภาพจากแมงกานีสที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ (จอมจันทร์และคณะ, 2557)

จากการสำรวจเพื่อประเมินค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง cancer risk (CR) พบว่า สารหนูเป็นธาตุที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง จากการสำรวจน้ำจากหนองเล็งทรายมีสารหนูอยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับตามมาตรฐานความปลอดภัยสูงสุดของการเกิดมะเร็ง (the highest safe standard for carcinogenic risk) สำหรับผู้บริโภครวมผู้ใหญ่มียูเรทความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง (CR) อยู่ระหว่าง 2.25×10^{-5} ถึง 3.75×10^{-5} และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.85×10^{-5} ซึ่งอยู่ในช่วงค่าความปลอดภัยสูงสุดที่

ยอมรับได้คือ 1 ใน 10,000 (U.S.EPA., 1998) สำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นเด็กมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง (CR) อยู่ระหว่าง 1.04×10^{-4} ถึง 1.73×10^{-4} และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.29×10^{-4} โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นตามข้อกำหนดของมาตรฐานน้ำดื่ม ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณสารหนูในน้ำดื่มไม่เกิน $10 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ โดยแหล่งน้ำมีความเข้มข้นเพียง 0.52–0.87 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ จึงนับได้ว่ามีความเสี่ยงระดับต่ำ (WHO., 2011) อย่างไรก็ตามควรทำการเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสารหนูในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น อันจะนำไปสู่ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง

4.3 ผลการประเมินความเสี่ยงด้านการเกษตร

สอดคล้องกับตารางที่ 1 จากการประเมินคุณภาพน้ำทางด้านการเกษตรพบว่า ค่าเคมีและกายภาพผ่านมาตรฐานน้ำเพื่อการชลประทานขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations หรือ FAO) คือ ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งละลายน้ำ และค่าการจำแนกคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตรตามความเหมาะสมของน้ำที่มีเกลือโซเดียม (sodium absorption ratio; SAR) ผ่านมาตรฐานน้ำทางการเกษตร และมีคุณภาพเหมาะสมต่อการเพาะปลูกสำหรับการปนเปื้อนของแร่ธาตุพบว่า มีเพียงธาตุหลักคือ โพแทสเซียมที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ โดยมีค่าอยู่ที่ 3.74–3.98 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ซึ่งมีค่าไม่สูงจนก่อให้เกิดอันตรายต่อพืชผลทางการเกษตร แต่ควรทำการเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง (Ayers and Westcot., 1994) ผลการศึกษาสอดคล้องกับคุณภาพน้ำอ่างเก็บน้ำแม่ปืมที่พบว่า คุณภาพน้ำทางด้านเคมีและกายภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นมีธาตุโพแทสเซียมที่สูงเกินมาตรฐาน และยังต้องทำการเฝ้าระวังแมงกานีสซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานของ FAO (จอมจันทร์และคณะ, 2557)

สรุปผลการทดลอง

การประเมินความเสี่ยงคุณภาพน้ำของหนองเล็งทรายเพื่อการบริโภคพบว่า น้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มด้านเคมีและกายภาพ ผลการสำรวจความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ มีเพียงเหล็กที่มีค่าเกินมาตรฐานน้ำดื่ม และมีความเสี่ยงสูง ดังนั้นจึงต้องทำการบำบัดน้ำด้วยวิธีที่เหมาะสมก่อนนำไปบริโภคเช่น การเติมอากาศให้ตกตะกอน การกรองด้วยซีโอไลท์หรือสารที่มีคุณสมบัติในการดูดซับไอออนของเหล็ก การใช้ระบบรีเวอร์สออสโมซิส (reverse osmosis; RO) และธาตุที่พบว่ามีความเสี่ยงปานกลางที่ต้องทำการเฝ้าระวังได้แก่ อะลูมิเนียม แมงกานีส ตะกั่ว และซิลิเนียม ไม่ให้มีเพิ่มขึ้นในแหล่งน้ำ จนถึงระดับที่จะเป็นอันตรายได้สำหรับการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากดัชนีความเสี่ยงต่อสุขภาพ (HRI) และดัชนีการเกิดอันตราย (HI) ไม่มีธาตุใดธาตุหนึ่งหรือทุกธาตุที่ปรากฏในน้ำรวมกันมีความเสี่ยงต่อสุขภาพ ค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง (CR) อยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานความปลอดภัยสูงสุดของการเกิดมะเร็ง สำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นผู้ใหญ่ และกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นเด็กมีค่าในระดับที่มีความปลอดภัย การประเมินความเสี่ยงคุณภาพน้ำทางด้านการเกษตรพบว่า คุณสมบัติน้ำทางเคมีและกายภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำเพื่อการชลประทานขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) สำหรับความเข้มข้นของธาตุมีเพียงโพแทสเซียมที่เกินมาตรฐาน เพื่อรักษาคุณภาพน้ำให้มีคุณภาพดีเหมาะสมต่อการใช้งาน ชุมชนควรช่วยกันเฝ้าระวังไม่ให้มีมลสารปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำเพิ่มมากขึ้นทั้งภาคการเกษตร ประมง ร้านค้า และครัวเรือนในบริเวณโดยรอบ และร่วมกันอนุรักษ์อ่างเก็บน้ำหนองเล็งทรายให้อยู่คู่กับจังหวัดพะเยาตลอดไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เกิดภายใต้การสนับสนุนทุนวิจัยจาก รัฐบาลสาธารณรัฐเกาหลีใต้ (Republic of Korea) ภายใต้การสนับสนุนทุนการวิจัย 2013 Postdoctoral Fellowship Program for Foreign Researchers รวมทั้งการสนับสนุนงานวิจัยอย่างเต็มที่ของ School of Environmental Science and Engineering แห่งสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งกวางจู สาธารณรัฐเกาหลีใต้ ร่วมกับคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ขอขอบพระคุณบุคลากรทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องในประเทศเกาหลีและประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- จอมจันทร์ นทีวัฒนา, จินตพัฒน์ นทีวัฒนา, ไมตรี สุทธจิตต์, วิชัย เทียนถาวร, แสง ตอน คิม, ควอง วู คิม. (2557). การประเมินความเสี่ยงคุณภาพน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อการบริโภคและการชลประทาน: โครงการในพระราชดำริอ่างเก็บน้ำแม่ปืม อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 33(6): 615–628.
- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8. (2537). กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16.
- มันสิน ตัณกุลเวศม์. (2538). คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มูลนิธิคุ้มครองสัตว์ป่าและพรรณพืชแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชินูปถัมภ์. (2557). หนองเล็งทราย. แหล่งข้อมูล: <http://www.maechai.ac.th/art/maechai.htm>. ค้นเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2557.
- วิมลรัตน์ บุตรดาสุข, เจนจิรา หมีนเร็ว, และสุทธัย พงศ์พัฒนศิริ. (2556). การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำผิวดินในกว๊านพะเยา (ลุ่มน้ำแม่โขง). วารสารนเรศวรพะเยา มหาวิทยาลัยพะเยา 6(2): 111–115.

- ศุภลักษณ์ โภชนสมบูรณ์, เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม, และสุนิรัตน์ เรืองสมบูรณ์. (2556). คุณภาพน้ำในระบบเครือข่ายอ่างเก็บน้ำ (อ่างพวง) บริเวณศูนย์การศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี. ใน: การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 51. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศูนย์ข้อมูลกลางทางวัฒนธรรม กระทรวงวัฒนธรรม. (2557). หนองเล็งทราย. แหล่งข้อมูล: <http://www.m-culture.in.th>. ค้นเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2557.
- สิทธิ์ธีรารักษ์ ชโรเตอร์. (2555). อะลูมิเนียม. แหล่งข้อมูล: www.summacheeva.org. ค้นเมื่อวันที่ 19 มิถุนายน 2557.
- APHA. (2012). Standard Method for Examination of Water and Waste Water. (22nd ed). Washington, D.C.
- Ayers, R. S., and Westcot, D. W. (1994). Water quality for agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Bellinger, D.A., Leviton, A., Waternaux, C., Needleman, H., Rabinowitz, M. (1987). Longitudinal analyses of prenatal and postnatal lead exposure and early cognitive development. N. Engl. J. Med. 316 (17): 1037–1043.
- Department of Health Services, Division of Drinking Water and Environmental Management. (2013). California regulations related to drinking water (Title 22 - CALIFORNIA DHS). แหล่งข้อมูล: www.cdph.ca.gov. ค้นเมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม 2557.
- Ministry of Health, Labour, and Welfare. (2008). Drinking water quality standards of Japan, DWQSS. แหล่งข้อมูล: http://www.jwwa.or.jp/english/water_en/water-e07.html. ค้นเมื่อวันที่ 25 มิถุนายน 2557.
- National Health and Medical Research Council and Natural Resource Management Ministerial Council. (2004). Australian Drinking Water Guidelines, ADWG. แหล่งข้อมูล: www.nhmrc.gov.au/guideline-publications/eh52. ค้นเมื่อวันที่ 29 กรกฎาคม 2557.
- Needleman, H.L., Schell, A., Bellinger, D., Leviton, A., Allred, E.N. (1990). The long-term effects of exposure to low doses of lead in childhood, An 11-year follow-up report. N. Engl. J. Med. 322: 83–88.
- Risk Assessment Information System, RAIS. (2014). แหล่งข้อมูล: <http://rais.ornl.gov/>. ค้นเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน 2557
- U.S.EPA. (1998). Integrated Risk Information System, IRIS: Arsenic, Inorganic, CASRN 7440-38-2. Washington, D.C.
- U.S. EPA. (2005). Guidelines for carcinogen risk assessment. Washington, D.C.
- U.S. EPA. (2006). Drinking water standards and health advisories. Washington, D.C.
- U.S. EPA. (2008). Drinking water contaminants. Washington, D.C.
- U.S.EPA. (2010). Risk assessment guidance for superfund, Volume I Human health evaluation manual. Washington, D.C.
- U.S.EPA. (2011). Exposure Factors Handbook. Washington, D.C.
- U.S.EPA. (2014). Technical Overview of Ecological Risk Assessment Risk Characterization. Washington, D.C.
- World Health Organization, WHO. (1996). Iron in Drinking-water. Geneva.
- World Health Organization, WHO. (1998). Aluminium in Drinking-water. Geneva.
- World Health Organization, WHO. (2009). Boron in drinking-water. Geneva.
- World Health Organization, WHO. (2011). WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva.

