การประเมินความเสี่ยงคุณภาพน้ำตามมาตรฐานน้ำดื่มต่อสุขภาพ และความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ในการจัดทำข้อเสนอแนะโครงการพระราชดำริอ่างเก็บน้ำแม่ป๊อก ตำบลศรีวิชัย อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน

Risk Assessment of Water Quality for Drinking, Heavy Metal Consuming, and Agriculture Utilizing to Recommendation King Initiation Royal Project at Mae Pok Reservoir, Sriwichai Subdistrict, Li District, Lamphun Province

จอมจันทร์ นทีวัฒนา [1, 2] จินตพัฒน์ นทีวัฒนา [3] เพชร เพ็งชัย [4] ไมตรี สุทธจิตต์ [5] วิชัย เทียนถาวร [1]
แซง ดอน คิม [2] และ ควอง วู คิม [2]

Jomjun Nateewattana [1, 2*] Jintapat Nateewattana [3] Petch Pengchai [4] Maitree Suttajit [5] Vichai Tienthavorn [1]
Sang Don Kim [2] and Kyoung Woong Kim [2*]

[1]*คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา*
[2]*คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งกวางจู สาธารณรัฐเกาหลี*
[3]*โครงการบัณฑิตศึกษาพิษวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล*
[4]*คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*
[5]*คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา*

[1] *School of Medicine, University of Phayao, Phayao Province*
[2] *Department of Environmental Science and Engineering,Gwangju Institute of Science and Technology (GIST), Republic of Korea.* [3] *Toxicology Graduated Program, Faculty of Science, Mahidol University*
[4] *Faculty of Engineering, Mahasarakham University*
[5] *School of Medical Science, University of Phayao*

วันที่รับบทความ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2557
วันที่ตอบรับตีพิมพ์ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2558

บทคัดย่อ

การประเมินคุณภาพน้ำดื่มและน้ำเพื่อการเกษตรของโครงการพระราชดำริอ่างเก็บน้ำแม่ป๊อก ตำบลศรีวิชัย อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงคุณภาพน้ำตามมาตรฐานน้ำดื่ม โดยประเมินพารามิเตอร์ทางเคมีกายภาพ และความเข้มข้นของธาตุหลัก ธาตุปริมาณน้อย และโลหะหนักที่มีต่อสุขภาพ และประเมินความเสี่ยงตามมาตรฐานน้ำเพื่อการเกษตร เพื่อให้เกิดการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำและจัดทำข้อเสนอแนะ ผลการสำรวจพบว่า ค่าเคมีกายภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุพบว่า อะลูมิเนียมและตะกั่วบริเวณปลายน้ำมีความเข้มข้น 187.90 และ 21.87 µg L^{-1} ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพพบว่า ธาตุที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ โดยมีค่าดัชนีความเสี่ยงต่อสุขภาพมากกว่า 1 ประกอบด้วย สารหนู แทลเลียม และวาเนเดียมทั้งบริเวณต้นน้ำและปลายน้ำ สำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นเด็ก รวมทั้งระดับความเข้มข้นของสารหนูในน้ำมีค่าสูงเกินกว่าระดับความเสี่ยงมาตรฐานความปลอดภัยสูงสุด

*Corresponding author. E-mail: jomjun_102@hotmail.com

ของการเกิดมะเร็งคือ สูงกว่า1 ใน 10,000 ทั้งในผู้ใหญ่และเด็ก แต่ไม่พบความเสี่ยงจากโลหะหนักเมื่อประเมินด้วยดัชนีการปนเปื้อนโลหะหนัก ดัชนีมลพิษจากโลหะหนัก และดัชนีการประเมินค่าโลหะหนัก อย่างไรก็ตามน้ำเพื่อการบริโภคควรผ่านการบำบัด โดยวิธีการต่างๆ เช่น การตกตะกอน การกรอง หรือการใช้ระบบรีเวอร์สออสโมซิสเพื่อความปลอดภัย และควรทำการเฝ้าระวังไม่ให้แหล่งน้ำมีการปนเปื้อนจากมลสารในสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้คุณภาพน้ำสำหรับการเกษตรด้านเคมีกายภาพ และความเข้มข้นของธาตุต่างๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำเพื่อการชลประทานขององค์การอาหาร และเกษตรแห่งสหประชาติ

คำสำคัญ: น้ำดื่ม การประเมินความเสี่ยงคุณภาพน้ำ การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ
การประเมินความเสี่ยงตามมาตรฐานน้ำเพื่อการเกษตร โครงการพระราชดำริอ่างเก็บน้ำแม่ป๊อก

Abstract

The drinking and irrigation water of the King Bhumibol Initiation Royal Project at Mae Pok reservoir, Sriwichai subdistrict, Li district, Lamphun province was assessed quality. The objectives of study included to assess the risk of water quality compared with standard for drinking water and agriculture purposes. The evaluation parameters consisted of physicochemical parameters, the concentration of major elements, trace elements, and heavy metals on health. The main purposes were to surveillance reservoir water quality and to offer recommendation. As a result, physicochemical parameters were acceptable drinking water standard. The study investigated and assessed risk of major element, trace element, and heavy metal concentrations found that Al (187.90 μg L^{-1}) and Pb (21.87 μg L^{-1}) at upstream elevated exceeding drinking water guideline of World Health Organization (WHO). According to health risk assessment, the concentration of detected metals revealed that risk elements included Al, Tl, and V at both of upstream and downstream for children (HRI > 1). On the other hand, the cancer risk of arsenic was elevated above the highest safe standard for carcinogenic risk (CR > 1 in 10,000) in both of adult and children groups; however the risk indexes of heavy metals, comprised the contamination index (C_D), Heavy metal pollution index (HPI), and Heavy metal evaluation index (HEI), indicated safety. Thus water for consumption should be treated by suitable processes as follow precipitation, filtration, and reverse osmosis, and local community should also be surveillance the contamination from environment. Furthermore water quality was suitable for plantation under allowable standard of Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Keywords: drinking water, Risk assessment of water quality, Health risk assessment ,
Risk assessment by agriculture utilization standard, King Initiation Royal Project at Mae Pok reservoir

บทนำ

งานพัฒนาแหล่งน้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของราษฎรไทย ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม เนื่องจากการเกิดภัยแล้ง การขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตรและการอุปโภคบริโภคเป็นปัญหาที่มีความรุนแรงมากที่สุด ทำให้พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงทุ่มเทตลอดระยะเวลาในการทรงงาน เพื่อทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำมากกว่าโครงการพัฒนาอันเนื่องมาจากพระราชดำริประเภทอื่น ด้วยทรงให้ความสำคัญว่า "**น้ำคือชีวิต**" โดยทรงแก้ไขปัญหาหลักเรื่องน้ำแบ่งเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้ **การขาดแคลนน้ำ น้ำท่วม และน้ำเน่าเสีย** ก่อให้เกิดโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริมากมาย โดยมีหลักการและวิธีการที่สำคัญคือ การพัฒนาแหล่งน้ำต้องสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศในแต่ละท้องที่ การพัฒนาต้องมีความเหมาะสมในด้านเศรษฐกิจและสังคมของท้องถิ่น และหลีกเลี่ยงการสร้างปัญหาแก่คนในพื้นที่ ทำให้เกษตรกรมีน้ำในการทำการเพาะปลูกและดำรงชีวิตได้อย่างสมบูรณ์ตลอดทั้งปี แสดงให้เห็นถึงน้ำพระราชหฤทัยที่ต้องการเห็นประชาชนชาวไทยมีความเป็นอยู่ที่ดีตามวิถีชีวิตเกษตรกรรม โครงการอ่างเก็บน้ำแม่ป๊อกเป็นโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ซึ่งเกิดขึ้นในปี 2532 จากการเสด็จพระราชดำเนินเยี่ยมเยียนราษฎร โดยมีการก่อสร้างในปี 2534 อ่างเก็บน้ำแม่ป๊อกมีสันทำนบกว้าง 6 เมตร ยาว 322 เมตร สูง 17.5 เมตร ความจุ 2.500 ล้านลูกบาศก์เมตร ใช้ในพื้นที่ชลประทาน 1,500 ไร่ รับน้ำจากห้วยแม่ป๊อก แล้วปล่อยน้ำไปตามลำห้วยเดิม **ตามภาพที่ 1 และ 2** ชุมชนที่ใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำนี้เป็นหลัก ได้แก่ ชุมชนบ้านแม่ป๊อกใน โดยใช้ในน้ำในภาคการเกษตรเป็นหลัก พื้นที่เหนืออ่างเก็บน้ำและโดยรอบเป็นป่าอนุรักษ์ จึงไม่มีกิจกรรมของมนุษย์ที่ปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง มลสารและแร่ธาตุต่างๆ มาจากธรรมชาติโดยการชะล้างพังทลายและน้ำฝน (กลุ่มกิจกรรมพิเศษ กรมชลประทาน, 2557; โครงการชลประทานลำพูน, 2558)

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อสืบสานแนวพระราชดำริให้ประชาชนมีปริมาณน้ำอุปโภคบริโภคและทำการเกษตรอย่างเพียงพอ รวมทั้งมีคุณภาพเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ นำมาสู่การวางกรอบแนวทางการวิจัย เพื่อสำรวจและประเมินคุณภาพแหล่งน้ำในการตรวจวัดความเข้มข้นของธาตุหลัก ธาตุรอง และโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในน้ำ อันจะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้น้ำในการบริโภค รวมไปถึงการทำการเกษตร อีกทั้งยังเป็นการจัดทำฐานข้อมูลคุณภาพน้ำของจังหวัดลำพูน เพื่อจะได้ทำการเฝ้าระวังไม่ให้แหล่งน้ำมีการปนเปื้อนเพิ่มมากขึ้น หรือมีคุณภาพลดลง

วัตถุประสงค์งานวิจัย

วัตถุประสงค์หลัก เพื่อประเมินสถานการณ์คุณภาพน้ำของอ่างเก็บน้ำแม่ป๊อก ตำบลศรีวิชัย อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน นำไปสู่การเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ และสร้างฐานข้อมูลคุณภาพน้ำของจังหวัดลำพูน

วัตถุประสงค์พื้นฐาน

1. เพื่อประเมินความเสี่ยงคุณภาพน้ำตามมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (WHO) และมาตรฐานน้ำในประเทศที่พัฒนาแล้ว โดยประเมินพารามิเตอร์ทางเคมีกายภาพ และความเข้มข้นของธาตุหลัก ธาตุปริมาณน้อย และโลหะหนัก

2. เพื่อประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่ป๊อก

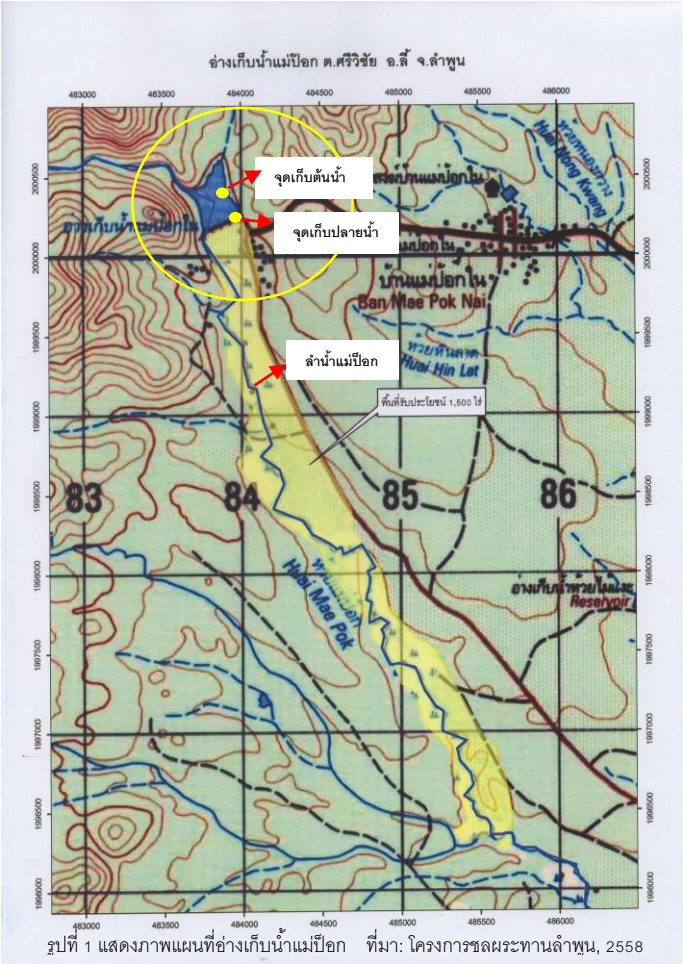
3. เพื่อประเมินความเสี่ยงจากโลหะหนักที่มีในแหล่งน้ำ

4. เพื่อประเมินความเสี่ยงตามมาตรฐานน้ำเพื่อการเกษตรขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาติ (FAO)

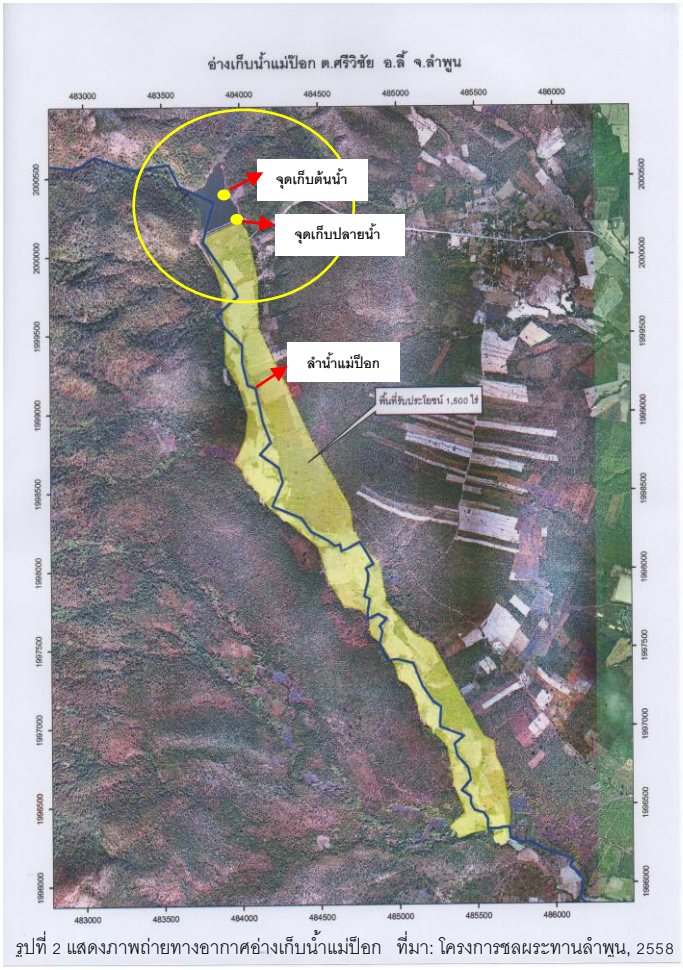
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

โครงการพระราชดำริอ่างเก็บน้ำแม่ป๊อก ตำบลศรีวิชัย อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน การเก็บตัวอย่างเป็นแบบตัดขวาง ณ จุดเวลา โดยจุดเก็บตัวอย่างต้นน้ำได้แก่ 18°19' 04.39" เหนือ 98° 36' 43.26" ตะวันออก และจุดเก็บตัวอย่างปลายน้ำ ได้แก่ 18°19' 01.70" เหนือ 98° 36' 43.98" ตะวันออก แสดงดัง**ภาพที่ 1 และ 2** โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำในวันที่ 23 มกราคม 2557



รูปที่ 1 แสดงภาพแผนที่อ่างเก็บน้ำแม่ป๊อก ที่มา: โครงการชลประทานลำพูน, 2558



รูปที่ 2 แสดงภาพถ่ายทางอากาศอ่างเก็บน้ำแม่ป๊อก ที่มา: โครงการชลประทานลำพูน, 2558

การเก็บและเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำถูกเก็บที่ระดับต่ำกว่าผิวน้ำ 25 เซนติเมตร ทำการเก็บ 2 ชุดตัวอย่าง ชุดที่ 1 ตัวอย่างน้ำดิบที่ไม่ปรับสภาพด้วยกรด และตัวอย่างน้ำชุดที่ 2 ทำการปรับสภาพด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 65% ให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 2

เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ธาตุหลัก ธาตุปริมาณน้อย และโลหะหนัก โดยทำการเก็บในขวดเฮชดีพีอี (High density polyethylene: HDPE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C และขนส่งไปตรวจวิเคราะห์ ณ สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งกวางจู (Gwangju Institute of Science and Technology, GIST) สาธารณรัฐเกาหลี โดยก่อนวิเคราะห์น้ำตัวอย่างทางเคมีจะทำการกรองน้ำผ่านไนลอนฟิวเตอร์เส้นผ่านศูนย์กลาง (pore size) 0.45 ไมโครเมตร

การวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ

ตัวอย่างน้ำดิบที่ไม่ปรับสภาพด้วยกรด ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะเบื้องต้นทางเคมีกายภาพ (Physico-chemical properties) ในพื้นที่เก็บตัวอย่างประกอบด้วยได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH; Mettler Toledo, SG23-FK5 pH/Conductivity) และค่าการนำไฟฟ้า (EC; Mettler Toledo, SG23-FK5 pH/Conductivity), ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO; Mettler Toledo, SG6-FK2 DO Meter), ค่าความขุ่น (Turbidity; Hach, 2100Q Turbidimeter) และอุณหภูมิ

การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์ธาตุหลักได้แก่ 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) โดยความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจพบได้คือ 0.1 mg L^{-1} สารละลายมาตรฐานรวมธาตุสำหรับธาตุหลัก (multi-elements standard) เตรียมจากสารละสายมาตรฐานบริษัทเมิร์ค (Merck, Germany) เพื่อทำกราฟสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration standard curve) ช่วงความเข้มข้นในการวิเคราะห์ธาตุหลัก 0 – 20 mg L^{-1}

การวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยประกอบด้วย อะลูมิเนียม (Al) สารหนู (As) โบรอน (B) แบเรียม (Ba) แคดเมียม (Cd) โคบอลต์ (Co) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) แกลเลียม (Ga) ลิเทียม (Li) แมงกานีส (Mn) โมลิบดีนัม (Mo) นิเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) รูบิเดียม (Rb) ซีเซียม (Se) สทอนเซียม (Sr) แทลเลียม (Tl) ยูเรเนียม (U) วาเนเดียม (V) และสังกะสี (Zn) ทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP – MS) ซึ่งความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจพบได้คือ 0.1 µg L^{-1} สารละลายมาตรฐานรวมธาตุสำหรับธาตุปริมาณน้อย (multi-elements standard) เตรียมจากสารละสายมาตรฐานบริษัทอกิเล็นท์ (Agilent, Santa Clara, CA. USA) เพื่อทำกราฟสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration standard curve) ในช่วงความเข้มข้น 0 – 100 µg L^{-1} สำหรับการตรวจวัดความเที่ยงตรงของวิธีการตรวจวัด ทำการเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำอ้างอิงมาตรฐาน 1640 (SRM 1640; the National Institute of Standard and Technology, MD. USA) โดยจะถูกยอมรับในช่วงไม่น้อยกว่า 5% ของน้ำอ้างอิงมาตรฐาน ค่าความเข้มข้นที่ต่ำกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวัดได้ (detection limit) ใช้การแทนที่ในสัดส่วนครึ่งหนึ่งของค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้

การคำนวณและวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง

1. การคำนวณค่าความเสี่ยง (Risk Quotient)

จากสมการที่ 1 แสดงการคำนวณค่าความเสี่ยง (Risk quotient, RQ) เมื่อ MEC (measured environment concentration) คือ ความเข้มข้นของสารที่วัดในสิ่งแวดล้อม และ PNEC (predicted no effect concentration) คือ ความเข้มข้นสูงสุดของสารที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต เกณฑ์การตัดสินพบว่า หากค่า RQ อยู่ระหว่าง 0.01 – 0.1

แสดงว่า มีความเสี่ยงต่ำ RQ ระหว่าง > 0.1 – 1 แสดงว่า มีความเสี่ยงระดับปานกลาง RQ มากกว่า 1 แสดงว่า มีความเสี่ยงสูง และ RQ มากกว่า 10 แสดงว่า มีความเสี่ยงสูงมาก (U.S.EPA., 2014).

$$RQ = MEC / PNEC \qquad (1)$$

2. การคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณสารที่ได้รับในแต่ละวัน (Chronic Daily Intake: CDI)

ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารที่ได้รับในแต่ละวัน (Chronic Daily Intake: CDI) คำนวณตามสมการที่ 2 มีหน่วยเป็น mg kg^{-1} day^{-1} สำหรับธาตุหลัก และ µg kg^{-1} day^{-1} สำหรับธาตุปริมาณน้อยและโลหะหนัก องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมอเมริกา U.S.EPA. (2011) ระบุธาตุที่รับเข้าสู่ร่างกายโดยการบริโภคน้ำในแต่ละวันคิดเฉลี่ยวันละ 2 ลิตร น้ำหนักตัวเด็กมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15 กิโลกรัม และผู้ใหญ่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70 กิโลกรัม เมื่อ Cm คือ ความความเข้มข้นของสารที่ตรวจวัด (mg L^{-1} หรือ µg L^{-1}) Iw คือ ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ดื่มในแต่ละวัน (L) และ Wb คือ น้ำหนักตัวเฉลี่ย (kg)

$$CDI = \frac{Cm \times Iw}{Wb} \qquad (2)$$

3. ค่าดัชนีความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health Risk Index: HRI)

คำนวณค่าดัชนีความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health risk index: HRI) จากสมการที่ 3 เมื่อ Reference Dose (RfD) คือ ปริมาณสารเคมีที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United state Environmental Protection Agency) ได้กำหนดค่า Reference Dose (RfD) ของแต่ละธาตุไว้ดังนี้ 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), Tl (0.01), V (0.07), และ Zn (300) ปริมาณที่จะก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกาย คือ จำนวนเกินกว่า 1 เท่า (HRI > 1) สำหรับกรณีการก่อโรคอื่นที่ไม่ใช่มะเร็ง (non cancer endpoint) (U.S.EPA., 2005; Risk Assessment Information System, 2014)

$$HRI = \frac{CDI}{RfD} \qquad (3)$$

4. ค่าความเสี่ยงต่อมะเร็ง (Cancer risk: CR)

จากการวิเคราะห์ธาตุทั้งหมดมีเพียงสารหนูที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็ง โดยค่าความเสี่ยงต่อมะเร็งคำนวณตามสมการที่ 4 โดยค่า cancer slope factor (CSF) คือ ปัจจัยใช้แสดงถึงศักยภาพของสารเคมีที่ทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ซึ่งสารหนูมีค่า 1.5 mg kg^{-1} day^{-1} โดยระดับความเสี่ยงตามมาตรฐานความปลอดภัยสูงสุดต่อการเกิดมะเร็งจะถูกยอมรับในช่วง 1 ใน 10,000 ถึง 1 ใน 1,000,000 (U.S.EPA., 1998)

$$CR = CDI * CSF \qquad (4)$$

5. ค่าดัชนีการปนเปื้อนโลหะหนัก (The contamination index: C_D)

ค่าดัชนีการปนเปื้อนโลหะหนักคำนวณตามสมการที่ 5 และ 6 เมื่อค่า C_D ได้จากการคำนวณแต่ละพารามิเตอร์ของโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์ที่มีค่าเกินระดับที่ยอมรับได้ แล้วนำมารวมกันเป็นค่าดัชนีการปนเปื้อนของแต่ละองค์ประกอบ การปนเปื้อนของโลหะหนักส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ เกณฑ์การจำแนกระดับการปนเปื้อนประกอบด้วย 3 กลุ่ม ได้แก่ $C_D < 1$ แสดงการปนเปื้อนระดับต่ำ C_D 1 – 3 มีการปนเปื้อนระดับปานกลาง และ $C_D > 3$ มีการปนเปื้อนระดับสูง เมื่อ Cfi คือ ปัจจัยการปนเปื้อนของแต่ละองค์ประกอบ CAi คือ ค่าความเข้มข้นของแต่ละองค์ประกอบ CNi คือ ความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ โดย i แทนแต่ละองค์ประกอบที่เกินมาตรฐาน ในการศึกษานี้ใช้ค่า CNi เท่ากับเกณฑ์กำหนดสูงสุดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332, 2521) และองค์ประกอบโลหะหนักที่นำมาคำนวณได้แก่ สารหนู แคดเมียม โครเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว และสังกะสี ยกเว้นนิเกิลที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ (Edet and Offiong, 2002; Maria-Alexandra *et al*., 2013)

$$C_D = \sum_{i=0}^{n} Cfi \qquad (5)$$

$$Cfi = \frac{CAi}{CNi} - 1 \qquad (6)$$

6. ค่าดัชนีมลพิษจากโลหะหนัก (Heavy metal pollution index: HPI)

ค่าดัชนีมลพิษจากโลหะหนักพิจารณาจากค่าความเข้มข้นของโลหะหนักโดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ทำการคำนวณตามสมการ 7 และ 8 โดยคำนวณดัชนีย่อยของโลหะหนักแต่ละตัว (The sub-index: Qi) จากสมการที่ 7 และ คำนวณค่าดัชนีมลพิษจากโลหะหนักตามสมการที่ 8 โดยค่านี้เป็นค่าสัดส่วนของมาตราวัดจากการประเมินของแต่ละพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดน้ำหนัก ซึ่งมาตราวัดประเมิน (Wi) คือ ค่าที่กำหนดขึ้นมีค่าระหว่าง 0 – 1 โดยเลือกมาจากพื้นฐานความสำคัญของโลหะหนักแต่ละค่า โดยเป็นสัดส่วนผกผันกับค่ามาตรฐานของพารามิเตอร์เดียวกัน (corresponding parameter) นั่นคือ Wi เท่ากับ 1/MAC ซึ่งในที่นี้ใช้เกณฑ์กำหนดสูงสุดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคในการคำนวณ เมื่อ Qi คือ ค่าดัชนีย่อยของโลหะหนักแต่ละพารามิเตอร์ Mi คือ ค่าจากการตรวจวัดโลหะแต่ละพารามิเตอร์ Ii คือ เกณฑ์อนุโลมสูงสุดของโลหะหนักแต่ละชนิด Si เกณฑ์กำหนดสูงสุดของโลหะหนักแต่ละชนิด โดยแสดงค่าใน **ตารางที่ 3** (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332, 2521) โดยค่า |Mi - Ii| เป็นค่าสัมบูรณ์ Wi คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละพารามิเตอร์ และ n เท่ากับจำนวนพารามิเตอร์ที่พิจารณา สำหรับเกณฑ์การประเมินใช้ค่าวิกฤติของค่าดัชนีมลพิษจากโลหะหนัก (The critical pollution index of HPI) สำหรับน้ำดื่มคือ 100 (Ameh and Akpah, 2011; Edet and Offiong, 2002; Maria-Alexandra *et al*., 2013)

$$Qi = \frac{\sum_{i=1}^{n} |Mi - Ii|}{Si - Ii} \times 100 \qquad (7)$$

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^{n} WiQi}{\sum_{i=1}^{n} Wi} \qquad (8)$$

7. **ดัชนีการประเมินค่าโลหะหนัก** (Heavy metal evaluation index: HEI)

ดัชนีการประเมินค่าโลหะหนักเป็นค่าดัชนีที่บ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำโดยรวม ซึ่งจะพิจารณาจากผลกระทบของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำ องค์ประกอบโลหะหนักที่นำมาคำนวณเป็นชุดเดียวกับสองดัชนีข้างต้น คำนวณตามสมการ 9 เมื่อ H_C คือ ค่าการตรวจวัดของแต่ละพารามิเตอร์ Hmac คือ ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ ในการศึกษานี้ใช้ค่ากำหนดสูงสุดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคของโลหะหนักแต่ละพารามิเตอร์ เกณฑ์การตัดสินการประเมินค่าโลหะหนักแบ่งเป็น 3 ระดับดังนี้ ค่า HEI < 400 แสดงว่า มีการปนเปื้อนต่ำ HEI 400 – 800 แสดงว่า มีการปนเปื้อนปานกลาง และ HEI > 800 แสดงว่า มีการปนเปื้อนสูง (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332, 2521; Edet and Offiong, 2002; Maria-Alexandra *et al*., 20013)

$$HEI = \sum_{k=1}^{n} \frac{HCi}{Hmac} \qquad (9)$$

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การประเมินความเสี่ยงมาตรฐานน้ำดื่ม: พารามิเตอร์ทางเคมีกายภาพ

การประเมินคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (Physico-chemical properties) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen, DO) ค่าความนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) ค่าของแข็งละลายน้ำ (total dissolved solid, TDS) มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อยคือ 7.60 และ 7.82 และค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 4.35 และ 4.50 mg L^{-1} ณ บริเวณต้นน้ำและปลายน้ำตามลำดับ ถือว่าน้ำมีคุณภาพดี สามารถนำไปใช้ในการบริโภค โดยเมื่อวัดค่าความกระด้างของน้ำพบว่า น้ำมีคุณสมบัติเป็นน้ำอ่อน (WHO, 2011; มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2538) ผลแสดงดัง**ตารางที่ 1**

การประเมินความเสี่ยงมาตรฐานน้ำดื่ม: ความเข้มข้นของธาตุหลัก ธาตุปริมาณน้อย และโลหะหนัก

จาก**ตารางที่ 1** แสดงการประเมินความเข้มข้นของธาตุที่พบในน้ำ เพื่อวัตถุประสงค์ในการบริโภคพบว่า ความเข้มข้นของธาตุที่เกินเกณฑ์มาตรฐานประกอบด้วยอะลูมิเนียม (Al) และตะกั่ว (Pb) บริเวณปลายน้ำ สำหรับธาตุอื่นๆ ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม สารหนู โบรอน แบเรียม แคดเมียม โคบอลต์ โครเมียม ทองแดง เหล็ก ลิเทียม แมงกานีส โมลิบดีนัม นิเกิล ซีเซียม แทลเลียม ยูเรเนียม วาเนเดียม สังกะสี รวมทั้งอะลูมิเนียมและตะกั่วบริเวณต้นน้ำ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มสากล (ADWG, 2004; DWQSs, 2008; Title 22 - California Code of regulations, 2008; WHO, 1998; WHO, 2009; WHO, 2011; U.S. EPA., 2006 and 2008) สำหรับซิลิกอน ซีเซียม แกลเลียม รูบิเดียม และสทอนเซียมยังไม่มีมาตรฐานกำหนดเรื่องระดับการปนเปื้อนที่ปลอดภัยสำหรับน้ำดื่มในขณะนี้ โดยเมื่อทำการประเมินความเสี่ยง (Risk Quotient) พบว่า อะลูมิเนียมและตะกั่วบริเวณปลายน้ำมีความเสี่ยงสูง โดยมีค่า RQ เท่ากับ 1.879 และ 2.190 ตามลำดับ และธาตุที่มีความเสี่ยงปานกลางได้แก่ อะลูมิเนียมและซีลีเนียมบริเวณต้นน้ำ สังกะสีบริเวณปลายน้ำ และสารหนู เหล็ก แมงกานีส แทลเลียมทั้งบริเวณต้นน้ำและปลายน้ำ การประเมินจะสอดคล้องกับการใช้งานในชุมชน

เนื่องจากชุมชนชนบทส่วนใหญ่จะทำการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำไปบำบัดเองในครัวเรือน และนำไปบริโภคโดยตรง ซึ่งไม่ผ่านกระบวนการบำบัดอย่างเป็นระบบเช่นเดียวกับการผลิตน้ำประปา จึงทำการประเมินโดยใช้มาตรฐานน้ำเพื่อการบริโภค ซึ่งเป็นมาตรฐานที่มีความปลอดภัยสูงสุด

การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ: ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารที่ได้รับในแต่ละวัน (Chronic Daily Intake: CDI) และค่าดัชนีความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health Risk Index: HRI)

สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของปริมาณสารที่ได้รับในแต่ละวัน (CDI) จำแนกเป็นกลุ่มเด็กและผู้ใหญ่ คิดค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่บริโภควันละ 2 ลิตรตามมาตรฐานสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S.EPA., 2005) แสดงค่าดัง**ตารางที่ 2** จากนั้นจึงนำมาคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health Risk Index: HRI) พบว่า สารหนู แทลเลียม และวาเนเดียมทั้งบริเวณต้นน้ำและปลายน้ำในเด็กมีค่าความเสี่ยงสูง เพราะค่าดัชนีความเสี่ยงต่อสุขภาพมากกว่า 1 (HRI >1)

อ่างเก็บน้ำแม่ป๊อกมีความเสี่ยงสูงจากธาตุที่เป็นอันตรายร้ายแรง 2 ธาตุได้แก่ สารหนูและตะกั่ว (ATSDR, 2011) ดังนั้นจึงควรทำการเฝ้าระวังอย่างมากในกลุ่มเด็กที่บริโภคน้ำจากแหล่งดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง สรุปได้ว่า ธาตุที่มีความเสี่ยงสูงและปานกลาง รวมทั้งมีค่าดัชนีความเสี่ยงต่อสุขภาพมากกว่า 1 ซึ่งต้องทำการเฝ้าระวังสำหรับอ่างเก็บน้ำแม่ป๊อกได้แก่ อะลูมิเนียม สารหนู เหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว ซีลีเนียม แทลเลียม วาเนเดียม และสังกะสี ผลจากการรับเอาสารอันตรายเข้าสู่ร่างกายเป็นประจำ ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายอย่างคาดไม่ถึง โดยหากรับอะลูมิเนียมในปริมาณสูงอย่างต่อเนื่องจะมีผลต่อระบบประสาท (neurotoxicant) และอาจก่อให้เกิดโรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) (Flaten., 2001) สำหรับตะกั่วซึ่งมีความเป็นพิษร้ายแรงอยู่ในอันดับสองของการจัดอันดับสารอันตรายจากองค์กร Agency for Toxic Substances and Disease Registry หรือ ATSDR แห่งสหรัฐอเมริกา (2011) เมื่อมีการรับเข้าไปในปริมาณสูงอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้มีการทำลายประสาทส่วนกลาง ไต และระบบหมุนเวียนโลหิต (He *et al*., 2009) สารอีกชนิดหนึ่งที่ต้องทำการเฝ้าระวังอย่างสูงซึ่งปนเปื้อนในน้ำคือ สารหนู โดยถูกจัดเป็นอันดับหนึ่งของสารที่มีพิษร้ายแรงต่อสุขภาพของมนุษย์ (ATSDR, 2011) ซึ่งเมื่อรับเข้าไปในร่างกายจะส่งผลต่อระบบทางเดินอาหาร ระบบประสาทส่วนกลาง ผิวหนังมีปุ่มหนาและมีสีคล้ำ ผมร่วง รวมทั้งก่อมะเร็งปอด ตับ ไต กระเพาะปัสสาวะ และผิวหนัง (จอมจันทร์, 2555: Nguyen *et al*., 2009) รวมทั้งปริมาณเหล็กความเข้มข้นสูงที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำจะส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของน้ำคือ น้ำขุ่นคล้ำและมีสีแดง ซึ่งจะส่งผลต่อสุขภาพคือ ก่อให้เกิดภาวะฮีโมโครมาโทซิส (Haemochromatosis) (WHO, 1996)

สำหรับแมงกานีสซึ่งเป็นสารที่ส่งผลต่อระบบประสาท (neurotoxic agent) สัมพันธ์กับความเสี่ยงในการเกิดโรคพาร์กินสัน (Parkinson disease) (Michalke and Fernsebner, 2014) การรับเอาซีลีเนียมเข้าไปในร่างกายมากเกินพอจะเกิดผลเสียต่อสุขภาพ ทำให้มีอาการผมร่วง เล็บเปราะ เกิดแผลที่ผิวหนัง และส่งผลต่อระบบประสาท อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และโรคหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular disease) (Bajaj *et al*., 2011) สำหรับผลการรับแทลเลียมมากเกินพอจะก่อให้เกิดอาการพิษของแทลเลียม หรือ Thallotoxicosis โดยมีอาการอ่อนแรง ปวดกล้ามเนื้อและข้อ ส่งผลต่อการมองเห็น ผมร่วง (Xiao *et al*., 2012) และการรับเอาวาเนเดียมในปริมาณสูงจะส่งผลต่อระบบประสาท การทำงานของหัวใจ และระบบเลือด (WHO, 2000) และในกรณีที่รับสังกะสีเข้าสู่ร่างกายมากเกินพอจะ

ส่งผลให้เกิดภาวะโลหิตจางแบบ Sideroblastic anemia รวมทั้งทำให้ประสาทเสื่อม เจริญเติบโตช้า และภูมิคุ้มกันในร่างกายลดลง (สกุลรัตน์ อุษณาวรงค์, 2549; Muhammad *et al*., 2011)

การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง (Cancer risk: CR)

ผลการวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของสารหนูในการก่อมะเร็งแสดงว่า กลุ่มเด็กและผู้ใหญ่ที่บริโภคน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่ป๊อกโดยไม่ผ่านการบำบัด เพื่อลดปริมาณสารหนู จะก่อให้เกิดความเสี่ยงสูงต่อการก่อมะเร็ง เมื่อมีการบริโภคอย่างต่อเนื่อง เพราะสารหนูมีปริมาณความเข้มข้นสูงเกินกว่ามาตรฐานความปลอดภัยสูงสุดของการเกิดมะเร็ง (The highest safe standard for carcinogenic risk) ที่ได้กำหนดไว้คือ 1 ใน 10,000 โดยมีค่าเท่ากับ 1.58×10^{-4} และ 1.11×10^{-4} ในผู้บริโภคน้ำที่เป็นผู้ใหญ่บริเวณต้นน้ำและปลายน้ำ และ 7.38×10^{-4} และ 5.20×10^{-4} ในผู้บริโภคน้ำที่เป็นเด็กบริเวณต้นน้ำและปลายน้ำตามลำดับ จึงควรทำการเฝ้าระวังไม่ให้มีการปนเปื้อนสารหนูในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น (U.S.EPA., 1998)

ตารางที่ 1 **แสดงผลการประเมินคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภคและการเกษตรของอ่างเก็บน้ำแม่ป็อก**

การประเมินมาตรฐานน้ำดื่ม									การประเมินมาตรฐานน้ำทางการเกษตร		
พารามิเตอร์	**หน่วย**	**เกณฑ์มาตรฐาน**	**ความเข้มข้นต้นน้ำ**	**ความเข้มข้นปลายน้ำ**	**RQ ต้นน้ำ**	**RQ ปลายน้ำ**	**Risk ต้นน้ำ**	**Risk ปลายน้ำ**	**เกณฑ์มาตรฐาน**	**การผ่านมาตรฐาน ต้นน้ำ**	**การผ่านมาตรฐานปลายน้ำ**
pH	-	6.5 – 9 [a]	7.60	7.82	-	-	**ผ่าน**	**ผ่าน**	6.5 - 8.5 [a]	ผ่าน	ผ่าน
DO	mg L^{-1}	> 3 [a]	4.35	4.50	-	-	**ผ่าน**	**ผ่าน**	> 4 [b]	ผ่าน	ผ่าน
Turbidity	NTU	ไม่มี	1.47	0.66	-	-	-	-	ไม่มี	-	-
EC	µs cm^{-1}	1500 [a]	143	145	0.095	0.097	**ต่ำ**	**ต่ำ**	3000 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Hardness	mg L^{-1}	150 [a]	64	60	0.427	0.400	**ปานกลาง**	**ปานกลาง**	ไม่มี	-	-
TDS	mg L^{-1}	500 [a]	73	73	0.146	0.146	**ปานกลาง**	**ปานกลาง**	2000 [a]	ผ่าน	ผ่าน
SAR	mEq L^{-1}	-	-	-					9 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Ca	mg L^{-1}	300 [b]	8.54	9.27	0.028	0.031	**ต่ำ**	**ต่ำ**	40 [a]	ผ่าน	ผ่าน
K	mg L^{-1}	411 [a]	2.04	1.74	0.005	0.004	**ต่ำ**	**ต่ำ**	2 [a]	**เกินเกณฑ์**	ผ่าน
Mg	mg L^{-1}	300 [b]	4.09	3.73	0.014	0.012	**ต่ำ**	**ต่ำ**	10 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Na	mg L^{-1}	200 [b]	3.76	7.70	0.019	0.039	**ต่ำ**	**ต่ำ**	40 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Si	mg L^{-1}	ไม่มี	7.16	10.97	-	-	-	-	ไม่มี	-	-
Al	µg L^{-1}	100 [c, d]	22.50	187.90	0.225	1.879	**ปานกลาง**	**สูง**	5000 [a]	ผ่าน	ผ่าน
As	µg L^{-1}	10 [a]	3.69	2.60	0.369	0.260	**ปานกลาง**	**ปานกลาง**	100 [a]	ผ่าน	ผ่าน
B	µg L^{-1}	500 [e]	5.10	1.31	0.010	0.003	**ต่ำ**	**ต่ำ**	2000 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Ba	µg L^{-1}	700 [a]	59.00	21.81	0.084	0.031	**ต่ำ**	**ต่ำ**	ไม่มี	-	-
Cd	µg L^{-1}	3 [a]	BDL	BDL	BDL	BDL	**ต่ำ**	**ต่ำ**	10 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Co	µg L^{-1}	11 [f]	0.17	0.33	0.015	0.030	**ต่ำ**	**ต่ำ**	50 [a]	ผ่าน	ผ่าน

ตารางที่ 1 **แสดงผลการประเมินคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภคและการเกษตรของอ่างเก็บน้ำแม่ป็อก (ต่อ)**

การประเมินมาตรฐานน้ำดื่ม									การประเมินมาตรฐานน้ำทางการเกษตร		
พารามิเตอร์	**หน่วย**	**เกณฑ์มาตรฐาน**	**ความเข้มข้น ต้นน้ำ**	**ความเข้มข้น ปลายน้ำ**	**RQ ต้นน้ำ**	**RQ ปลายน้ำ**	**Risk ต้นน้ำ**	**Risk ปลายน้ำ**	**เกณฑ์มาตรฐาน**	**การผ่าน มาตรฐาน ต้นน้ำ**	**การผ่าน มาตรฐานปลายน้ำ**
Cr	$\mu g\ L^{-1}$	50 [a]	BDL	BDL	BDL	BDL	**ต่ำ**	**ต่ำ**	100 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Cs	$\mu g\ L^{-1}$	ไม่มี	0.01	0.12	-	-	-	-	ไม่มี	-	-
Cu	$\mu g\ L^{-1}$	2000 [a]	1.00	1.91	0.001	0.001	**ต่ำ**	**ต่ำ**	200 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Fe	$\mu g\ L^{-1}$	300 [d, g, h]	104.60	210.63	0.349	0.702	**ปานกลาง**	**ปานกลาง**	5000 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Ga	$\mu g\ L^{-1}$	ไม่มี	3.33	1.41	-	-	-	-	ไม่มี	-	-
Li	$\mu g\ L^{-1}$	73 [f]	0.33	0.46	0.005	0.006	**ต่ำ**	**ต่ำ**	2500 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Mn	$\mu g\ L^{-1}$	400 [a]	137.10	79.76	0.343	0.199	**ปานกลาง**	**ปานกลาง**	200 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Mo	$\mu g\ L^{-1}$	50 [d]	0.53	BDL	0.011	BDL	**ต่ำ**	**ต่ำ**	10 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Ni	$\mu g\ L^{-1}$	70 [a]	0.23	1.24	0.003	0.018	**ต่ำ**	**ต่ำ**	200 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Pb	$\mu g\ L^{-1}$	10 [a]	0.31	21.87	0.031	2.190	**ต่ำ**	**สูง**	5000 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Rb	$\mu g\ L^{-1}$	ไม่มี	8.11	3.85	-	-	-	-	ไม่มี	-	-
Se	$\mu g\ L^{-1}$	10 [a]	1.80	0.65	0.180	0.065	**ปานกลาง**	**ต่ำ**	20 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Sr	$\mu g\ L^{-1}$	ไม่มี	51.45	37.62	-	-	-	-	ไม่มี	-	-
Tl	$\mu g\ L^{-1}$	2 [f, g, h]	0.22	0.21	0.110	0.105	**ปานกลาง**	**ปานกลาง**	ไม่มี	-	-
U	$\mu g\ L^{-1}$	15 [a]	0.82	1.24	0.055	0.083	**ต่ำ**	**ต่ำ**	ไม่มี	-	-
V	$\mu g\ L^{-1}$	260 [f]	0.90	1.09	0.003	0.004	**ต่ำ**	**ต่ำ**	100 [a]	ผ่าน	ผ่าน
Zn	$\mu g\ L^{-1}$	3000 [d]	5.00	641.15	0.002	0.214	**ต่ำ**	**ปานกลาง**	2000 [a]	ผ่าน	ผ่าน

หมายเหตุ: BDL คือ Below detection limited; **อ้างอิงมาตรฐานน้ำดื่ม** [a] WHO guideline for drinking water quality, 2011; [b] Drinking water quality standards (DWQSs) 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; **อ้างอิงมาตรฐานน้ำทางการเกษตร** [a] Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO) อ้างอิงจาก Ayers and Westcot, 1994; [b] กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

ตารางที่ 2 **แสดงผลการประเมินดัชนีผลกระทบสุขภาพของน้ำบริโภคจากอ่างเก็บน้ำแม่ป็อก**

พารามิเตอร์	หน่วยค่า CDI	ค่า CDI เด็ก ต้นน้ำ	ค่า CDI เด็ก ปลายน้ำ	ค่า CDI ผู้ใหญ่ ต้นน้ำ	ค่า CDI ผู้ใหญ่ ปลายน้ำ	ค่า HRI เด็ก ต้นน้ำ	ค่า HRI เด็ก ปลายน้ำ	ค่า HR ผู้ใหญ่ ต้นน้ำ	ค่า HRI ผู้ใหญ่ ปลายน้ำ
Ca	mg kg^{-1} day^{-1}	1.14	1.24	0.24	0.26	-	-	-	-
K	mg kg^{-1} day^{-1}	0.27	0.23	0.06	0.05	-	-	-	-
Mg	mg kg^{-1} day^{-1}	0.55	0.50	0.12	0.11	-	-	-	-
Na	mg kg^{-1} day^{-1}	0.50	1.03	0.11	0.22	-	-	-	-
Si	mg kg^{-1} day^{-1}	0.95	1.46	0.20	0.31	-	-	-	-
Al	µg kg^{-1} day^{-1}	3.00	25.05	0.64	5.37	-	-	-	-
As	µg kg^{-1} day^{-1}	0.49	0.35	0.11	0.07	1.640	1.156	0.351	0.248
B	µg kg^{-1} day^{-1}	0.68	0.17	0.15	0.04	0.003	0.001	0.001	1.87E-04
Ba	µg kg^{-1} day^{-1}	7.87	2.91	1.69	0.62	0.039	0.015	0.008	0.003
Cd	µg kg^{-1} day^{-1}	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Co	µg kg^{-1} day^{-1}	0.02	0.04	0.00	0.01	0.007	0.147	0.016	0.031
Cr	µg kg^{-1} day^{-1}	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Cs	µg kg^{-1} day^{-1}	0.00	0.02	0.00	0.00	-	-	-	-
Cu	µg kg^{-1} day^{-1}	0.13	0.25	0.03	0.05	0.003	0.006	0.001	0.001
Fe	µg kg^{-1} day^{-1}	13.95	28.08	2.99	6.02	0.020	0.040	0.004	0.009
Ga	µg kg^{-1} day^{-1}	0.44	0.19	0.10	0.04	-	-	-	-
Li	µg kg^{-1} day^{-1}	0.04	0.06	0.01	0.01	0.022	0.031	0.005	0.007
Mn	µg kg^{-1} day^{-1}	18.28	10.63	3.92	2.28	0.131	0.076	0.028	0.016
Mo	µg kg^{-1} day^{-1}	0.07	BDL	0.02	BDL	0.014	BDL	0.003	BDL

ตารางที่ 2 **แสดงผลการประเมินดัชนีผลกระทบสุขภาพของน้ำบริโภคจากอ่างเก็บน้ำแม่ป๊อก (ต่อ)**

พารามิเตอร์	หน่วยค่า CDI	ค่า CDI เด็ก ต้นน้ำ	ค่า CDI เด็ก ปลายน้ำ	ค่า CDI ผู้ใหญ่ ต้นน้ำ	ค่า CDI ผู้ใหญ่ ปลายน้ำ	ค่า HRI เด็ก ต้นน้ำ	ค่า HRI เด็ก ปลายน้ำ	ค่า HR ผู้ใหญ่ ต้นน้ำ	ค่า HRI ผู้ใหญ่ ปลายน้ำ
Ni	μg kg^{-1} day^{-1}	0.03	0.17	0.01	0.04	0.002	0.008	3.29E-04	0.002
Pb	μg kg^{-1} day^{-1}	0.04	2.92	0.01	0.62	-	-	-	-
Rb	μg kg^{-1} day^{-1}	1.08	0.51	0.23	0.11	-	-	-	-
Se	μg kg^{-1} day^{-1}	0.24	0.09	0.05	0.02	0.048	0.017	0.010	0.004
Sr	μg kg^{-1} day^{-1}	6.86	5.02	1.47	1.07	0.011	0.008	0.002	0.002
Tl	μg kg^{-1} day^{-1}	0.03	0.03	0.01	0.01	2.933	2.800	0.629	0.600
U	μg kg^{-1} day^{-1}	0.11	0.17	0.02	0.04	-	-	-	-
V	μg kg^{-1} day^{-1}	0.12	0.15	0.03	0.03	1.714	2.076	0.367	0.445
Zn	μg kg^{-1} day^{-1}	0.67	85.49	0.14	18.32	0.002	0.285	4.76E-04	0.061

หมายเหตุ: BDL คือ Below detection limit

ตารางที่ 3 **แสดงค่ามาตรฐานในการคำนวณดัชนีมลพิษจากโลหะหนัก**

พารามิเตอร์	หน่วย	W	S	I	MAC
As	$\mu g\ L^{-1}$	0.02	1000	500	500
Cd	$\mu g\ L^{-1}$	0.1	500	300	300
Cr	$\mu g\ L^{-1}$	0.02	1500	1000	1000
Cu	$\mu g\ L^{-1}$	0.001	15000	5000	5000
Fe	$\mu g\ L^{-1}$	0.001	-	50	50
Mn	$\mu g\ L^{-1}$	0.001	-	50	50
Pb	$\mu g\ L^{-1}$	0.02	-	10	10
Zn	$\mu g\ L^{-1}$	0.001	-	50	50

หมายเหตุ: I คือ เกณฑ์อนุโลมสูงสุดของโลหะหนักแต่ละพารามิเตอร์ S เกณฑ์กำหนดสูงสุดของโลหะหนักแต่ละตัว (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332, 2521)

การประเมินความเสี่ยงจากโลหะหนัก

จาก**ตารางที่** 3 แสดงค่ามาตรฐานในการคำนวณดัชนีมลพิษจากโลหะหนัก ผลจากการประเมินการสะสมโลหะหนักพบว่า ดัชนีการปนเปื้อน (The contamination index: C_D) เป็นการคำนวณค่าโลหะหนักที่เกินกว่าระดับที่ยอมรับได้ โดยพบว่ามีค่าเท่ากับ 0 ทั้งบริเวณต้นน้ำและปลายน้ำ แสดงว่า น้ำไม่มีการปนเปื้อนของโลหะที่เกินกว่าระดับที่ยอมรับได้ นอกเหนือจากนี้จากการคำนวณค่าดัชนีมลพิษจากโลหะหนัก (Heavy metal pollution index: HPI) ซึ่งทำการคำนวณโดยวิธีการถ่วงน้ำหนักพบว่า มีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤติของดัชนีมลพิษ (critical pollution index) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 100 แสดงว่าน้ำมีความปลอดภัยต่อโลหะหนักที่เป็นพิษ ซึ่งในการศึกษานี้คำนวณจากโลหะหนัก 8 ชนิดได้แก่ สารหนู แคดเมียม โครเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส นิเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ยกเว้นนิเกิลที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ โดยพบว่า ต้นน้ำและปลายน้ำมีค่า HPI เท่ากับ 25.42 และ 15.00 ตามลำดับ และค่าดัชนีประเมินค่าโลหะหนัก (Heavy metal evaluation index: HEI) ซึ่งเป็นการประเมินค่าผลรวมโลหะหนัก ซึ่งเป็นการบ่งชี้คุณภาพโดยรวมของน้ำ ใช้การประเมินค่าจากค่ายอมรับได้สูงสุดของความเข้มข้นของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำ (Maximum admissible concentration, MAC) โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าเกณฑ์กำหนดสูงสุดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (Maximum Acceptable Concentration) (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332, 2521) และคำนวณโดยใช้โลหะชุดเดียวกับดัชนีข้างต้น ซึ่งพบว่า จากการประเมินน้ำมีการปนเปื้อนในระดับต่ำคือ ต้นน้ำและปลายน้ำมีค่า HEI เท่ากับ 0.75 และ 1.74 ระดับของค่าดัชนีประเมินค่าโลหะหนัก (HEI) น้อยกว่า 400 ซึ่งเป็นเกณฑ์ระดับต่ำสุด เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงจากดัชนีการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 3 ค่าของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิดพบว่า น้ำมีความปลอดภัยต่อการบริโภค

การประเมินความเสี่ยงตามมาตรฐานน้ำเพื่อการเกษตร

การประเมินค่าน้ำเพื่อใช้ประโยชน์ในการชลประทานพบว่า ค่าเคมีกายภาพได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งที่ละลายน้ำ และค่า SAR ซึ่งเป็นการจำแนกคุณภาพน้ำ เพื่อการเกษตร

ตามความเหมาะสมของน้ำที่มีเกลือโซเดียม หรือค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (Sodium Absorption Ratio; SAR) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และน้ำแหล่งน้ำนี้จัดเป็นน้ำอ่อนคือ มีความกระด้างน้อยกว่า 75 mg L^{-1} และการประเมินความเข้มข้นของธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำพบว่า มีเพียงโพแทสเซียมที่เกินมาตรฐานคือ 2 mg L^{-1} เพียงเล็กน้อยโดยจากการสำรวจมีค่า 2.04 mg L^{-1} แสดงว่าน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่ป๊อกมีคุณภาพตามมาตรฐานขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of United Nations) สำหรับภาคการเกษตร ผลการประเมินแสดงดัง **ตารางที่** 1

สรุปผลการวิจัย

การประเมินคุณภาพน้ำอ่างเก็บน้ำแม่ป๊อกในโครงการตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ตั้งอยู่ ณ ตำบลศรีวิชัย อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน เมื่อประเมินความเสี่ยงตามมาตรฐานสากลเพื่อการบริโภคพบว่า พารามิเตอร์ทางเคมีภายภาพอยู่ในเกณฑ์ปกติ การสำรวจความเข้มข้นของธาตุหลัก ธาตุปริมาณน้อย และโลหะหนักที่เจือปนในน้ำพบว่า อะลูมิเนียมและตะกั่วบริเวณปลายน้ำ มีค่าสูงเกินมาตรฐานน้ำดื่ม และมีความเสี่ยงสูง โดยมีค่าความเสี่ยง (Risk Quotient) ของอะลูมิเนียมและตะกั่วเท่ากับ 1.879 และ 2.190 ตามลำดับ สำหรับธาตุที่มีความเสี่ยงปานกลางได้แก่ อะลูมิเนียมและซีลีเนียมบริเวณต้นน้ำ สังกะสีบริเวณปลายน้ำ และสารหนู เหล็ก แมงกานีส และแทลเลียมทั้งต้นน้ำและปลายน้ำ ซึ่งเป็นการประเมินคุณภาพน้ำเบื้องต้น อย่างไรก็ตามการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพพบว่า สารหนู แทลเลียม และวาเนเดียมมีความเสี่ยงต่อสุขภาพในกลุ่มเด็กที่บริโภคน้ำจากแหล่งนี้เป็นประจำอย่างต่อเนื่อง โดยสารหนูมีค่าดัชนีความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health risk index: HRI) เท่ากับ 1.640 และ 1.156 แทลเลียมสำรวจได้เท่ากับ 2.933 และ 2.800 รวมทั้งวาเนเดียมมีค่า HRI เท่ากับ 1.714 และ 2.076 ของค่าต้นน้ำและปลายน้ำตามลำดับ นอกจากนี้ยังต้องเฝ้าระวังสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำ เนื่องจากมีค่าความเสี่ยงสูงเกินกว่าระดับความปลอดภัยสูงสุดโดยมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดมะเร็ง ดังนั้นการบริโภคน้ำจึงต้องผ่านการบำบัดที่เหมาะสมเช่น การตกตะกอน การกรอง การใช้ระบบรีเวอร์สออสโมซิส หรือจัดทำระบบบำบัดน้ำที่ได้มาตรฐาน เพื่อแจกจ่ายสู่ชุมชนในอนาคต รวมทั้งคนในชุมชนควรบริโภคน้ำจากแหล่งอื่นร่วมด้วยเช่น ประปาภูเขา น้ำฝน เนื่องจากอ่างเก็บน้ำแม่ป๊อกเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติและอยู่ห่างไกลจากแหล่งชุมชน จึงไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์โดยตรง การปนเปื้อนส่วนใหญ่มาจากธรรมชาติ การชะล้างพังทลาย และฝนที่ตกลงสู่แหล่งน้ำ การเฝ้าระวังแหล่งน้ำจึงควรอนุรักษ์ให้แหล่งต้นน้ำลำธารให้มีความอุดมสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามพื้นที่โดยรอบควรระวังการใช้สารเคมีทางการเกษตร เพื่อป้องกันการชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ สำหรับการประเมินโลหะหนักที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ จากการสำรวจไม่พบค่าความเสี่ยงจากโลหะหนักทั้ง 8 ชนิดได้แก่ สารหนู แคดเมียม โครเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว และสังกะสี นอกจากนี้น้ำมีคุณภาพเหมาะสมต่อการทำการเกษตร คือ ผ่านมาตรฐานน้ำเพื่อการชลประทานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาติ (Food and Agriculture Organization of United Nations) ซึ่งมีเพียงโพแทสเซียมที่สูงเกินมาตรฐานคือ 2.00 mg L^{-1} โดยมีค่า 2.04 mg L^{-1} นอกจากนี้ในอนาคตจะได้ทำการประเมินคุณภาพน้ำด้านชีวภาพเกี่ยวกับการตรวจวัดจุลินทรีย์ สาหร่ายและแพลงตอนที่เป็นพิษหรือสามารถสร้างสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ให้มีความครอบคลุมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อสืบสานพระราชปณิธานในการจัดการน้ำตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว และการอนุรักษ์ทรัพยากรแหล่งน้ำที่สำคัญของจังหวัดลำพูน ส่งผลดีต่อชุมชนที่ใช้น้ำอ่างแม่ป๊อกในการบริโภคและการเกษตร เนื่องด้วยความอนุเคราะห์จากรัฐบาลสาธารณรัฐเกาหลี (Republic of Korea) ภายใต้การสนับสนุนทุนการวิจัย 2013 Postdoctoral Fellowship Program for Foreign Researchers รวมทั้งการสนับสนุนงานวิจัยอย่างเต็มที่ของ School of Environmental Science and Engineering สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งกวางจู สาธารณรัฐเกาหลี ร่วมกับคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา รวมไปถึงบุคลากรในมหาวิทยาลัยพะเยา คุณประเสริฐ ปาลีกุย หัวหน้าฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 3 โครงการชลประทานลำพูน และผู้ร่วมงานทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มกิจกรรมพิเศษ กรมชลประทาน.(2557). อ่างเก็บน้ำแม่ป๊อก. วันที่ค้นข้อมูล 20 มิถุนายน 2557, เข้าถึงได้จาก http://kromchol.rid.go.th.

โครงการชลประทานลำพูน กรมชลประทาน. (2558). ข้อมูลอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก. ลำพูน: โครงการชลประทานลำพูน.

จอมจันทร์ นทีวัฒนา. (2555). เทคโนโลยีการบำบัดสารหนูในสิ่งแวดล้อม. *วารสารนเรศวรพะเยา, 5*(3), 258 – 270.

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332. (2521). ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่องกำหนมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 95 ตอนที่ 68 ลงวันที่ 4 กรกฎาคม 2521

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8.(2535).กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. (2538). คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สกุลรัตน์ อุษณาวรงค์. (2549). สังกะสี (Zinc) กับภาวะความดันโลหิตสูง. *วารสารศูนย์บริการวิชาการ, 14*(2), 23 – 28.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2011). Public health statement cobalt CAS#: 7440-48-4. วันที่ค้นข้อมูล 20 มิถุนายน 2557, เข้าถึงได้จาก www.atsdr.cdc.gov.

Ameh, E. G., and Akpah, F. A. (2011). Heavy metal pollution indexing and multivariate statistical evaluation of hydrogeochemistry of River Pov Pov in Itakpe Iron-Ore mining area, Kogi State, Nigeria. *Advances in Applied Science Research, 2*, 33 – 46.

Ayers RS, and Westcot DW. (1994). Water quality for agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Bajaj M, Eiche E, Neumann T, Winter J, Gallert C. (2011). Hazardous concentrations of selenium in soil and groundwater in North-West India. *Journal of hazardous material, 189*, 640 – 646.

Department of Health Services, Division of Drinking Water and Environmental Management. (2008). California regulations related to drinking water (Title 22 - CALIFORNIA DHS), Los Angeles, California.

Drinking water quality standards of Japan; DWQSs. (2008). วันที่ค้นข้อมูล 25 มิถุนายน 2557, เข้าถึงได้จาก http://www.jwwa.or.jp/english/water_en/ water-e07.html.

Edet, A. E., and Offiong, O.E. (2002). Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. A study case from Akpabuyo - Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastern Nigeria*). GeoJournal, 57*, 295–304.

Flaten, T. P. (2001). Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. *Brain Research Bulletin, 55*(2), 187–196.

He K, Wang S, Zhang J. (2009). Blood lead levels of children and its trend in China. *Science of the Total Environment, 407*, 3986 – 3993.

Maria-Alexandra, H., Roman, C., Ristoiu, D., Popita, G., Tanaselia, C. (2013). Assessing of water quality pollution indices for heavy metal contamination: A study case from medias city groundwater. *Agriculture – Science and Practice, 3 – 4* (87 – 88), 25 – 31.

Michalke, B., and Fernsebner, K. (2014). New insights into manganese toxicity and speciation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 28,* 106–116.

Muhammad, S., Shah, M.T., Khan, S., (2011). Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. *Microchemical Journal, 98,* 334–343.

National Health and Medical Research Council and Natural Resource Management Ministerial Council. (2004). Australian Drinking Water Guidelines (ADWG); Artarmon, NSW.

Nguyen, V. A., Bang, S., Viet, P. H., Kim, K. W. (2009). Contamination of groundwater and risk assessment for arsenic exposure in Ha Nam province, Vietnam. *Environment International, 35*, 466–472.

Risk Assessment Information System (RAIS). (2014). วันที่ค้นข้อมูล 20 มิถุนายน 2557, เข้าถึงได้จาก http://rais.ornl.gov/.

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. (2011). Exposure Factors Handbook. Washington, D.C.

U.S.EPA. (2014). Technical Overview of Ecological Risk Assessment Risk Characterization. วันที่ค้นข้อมูล 20 มิถุนายน 2557, เข้าถึงได้จาก http://www.epa.gov/oppefed1/ecorisk_ders/toera_risk.htm.

WHO Regional Office for Europe. (2000). Vanadium. Air Quality Guidelines. Second Edition, Copenhagen.

World Health Organization (WHO). (1996). Iron in Drinking-water. Second Edition, 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. Fourth Edition, Geneva.

Xiao, T., Yang, F., Li, S., Zheng, B., Ning, Z. (2012). Thallium pollution in China: A geo-environmental perspective. *Science of the Total Environment, 421*-422, 51–58.