

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับโลหะหนักในน้ำใต้ดินและน้ำประปาของ ประชาชนในบริเวณหลุมฝังกลบของเสียที่ไม่อันตราย อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี*

Health Risk Assessment Of Heavy Metals In Ground Water And Tap Water Of The People In Non-Hazardous Waste Landfill Area, Chombueng District, Ratchaburi Province

สิริพงษ์ สุดานาม (Siriphong Sudangam)**

มัลลิกา ปัญญาคะโป (Mallika Panyakapo)***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำใต้ดินและน้ำประปา รวมทั้งประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ทั้งความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากการได้รับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินและในน้ำประปาบริเวณหลุมฝังกลบของเสียที่ไม่อันตรายอำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี โดยเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินที่จุดอ้างอิงเหนือน้ำ จุดบ่อสังเกตการณ์น้ำใต้ดิน และจุดอ้างอิงทำน้ำ รวมทั้งเก็บตัวอย่างน้ำประปาเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ระหว่างเดือน เมษายน – ตุลาคม พ.ศ. 2560

ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำใต้ดินบริเวณจุดต้นน้ำและจุดทำน้ำพบ Ba Mn Ni และ Zn จุดบ่อสังเกตการณ์น้ำใต้ดินพบ As Ba Cr Hg Mn Ni Pb และ Zn ความเข้มข้นอยู่ในช่วง ND-0.004 0.011-1.37 ND-0.13 ND-0.006 0.013-11.14 ND-0.095 ND-0.042 และ ND-0.085 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด สำหรับในน้ำประปาตรวจพบเฉพาะ Mn และ Zn มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.011-0.038 และ ND-0.043 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

งานวิจัยนี้ไม่พบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับโลหะหนักในน้ำใต้ดินและน้ำประปาบริเวณจุดต้นและจุดทำน้ำ เนื่องจากตรวจไม่พบ As ซึ่งเป็นโลหะหนักชนิดเดียวที่ก่อมะเร็งตามรายงานของ US-EPA (2011) และ US-EPA (2003) สำหรับการประเมินความเสี่ยงรวมในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งสำหรับผู้ใหญ่พบความเสี่ยงจากการได้รับโลหะหนักเรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ Ni Mn Ba และ Zn ซึ่งมีค่า Hazard

* เพื่อประกอบการจบการศึกษาตามหลักสูตร วท.ม. (วิทยาศาสตรบัณฑิตสิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

** นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Graduate students, Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University,
Email: s32sudangam@gmail.com

*** รองศาสตราจารย์ ดร.อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Assoc. Prof., Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University,
Email: mpanyakapo@gmail.com

index (HI) อยู่ในช่วง 0.050-0.069 0.011-0.062 0.006-0.045 และ 0.002-0.003 ตามลำดับ การได้รับสัมผัสผ่านทางเดินอาหารก่อให้เกิดความเสี่ยงมากกว่าทางผิวหนัง และความเสี่ยงจากการได้รับโลหะหนักจากน้ำใต้ดินสูงกว่าการได้รับโลหะหนักจากน้ำประปา โดยค่า HI รวมมีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ US-EPA (1989)

คำสำคัญ : หลุมฝังกลบ ของเสียที่ไม่อันตราย ราชบุรี น้ำใต้ดิน โลหะหนัก การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

Abstract

The objectives of this research are to investigate the contamination of heavy metals in groundwater and tap water and to assess human cancer and non-cancer risk caused by heavy metals in groundwater in non-hazardous landfill area located in Chombueng district Rachaburi province. Groundwater and tap water samples, at up-gradient, landfill and down-gradient areas were collected during April to October 2017.

Ba Mn Ni and Zn were found in groundwater collected from up-gradient and down-gradient wells whereas the other heavy metals were not detected. The concentrations of As, Ba, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb and Zn in groundwater collected from monitoring well located in the landfill area were ND-0.004, 0.011-1.37, ND-0.13, ND-0.006, 0.013-11.14, ND-0.095, ND-0.042 and ND-0.085 mg/L, respectively which was meet the requirements of Groundwater Quality Standards by the Department of Industrial Works (2016). For tap water samples, Mn and Zn concentrations were 0.011-0.038 and ND-0.043 mg/L, respectively which was meet the requirement of the Standard Deviation of Provincial Waterworks Authority, 2007. The other heavy metals in tap water were not detected.

No cancer risk caused by heavy metal intake due to the concentration of As in groundwater and tap water samples collected in the up-gradient and the down-gradient area was not detected. Only arsenic (As) causes carcinogenic risk in human, according to US-EPA (2011) and US-EPA (2003). Non-cancer risk, indicated by Hazard index (HI), caused by Ni, Mn, Ba and Zn descended from 0.050-0.069, 0.011-0.062, 0.006-0.045, and 0.002-0.003 respectively. The oral ingestion route caused higher risk than the dermal absorption whereas non-cancer risk from groundwater intake was much higher than that from tap water intake. The total HI was lower than 1 which was accepted by US-EPA 1989.

Keywords: Landfill, Non-hazardous Waste, Ratchaburi, Groundwater, Heavy Metal, Health Risk Assessment

บทนำ

ประเทศไทยมีการพัฒนาอุตสาหกรรมในทุกภูมิภาคของประเทศสิ่งที่ตามมาควบคู่กันคือของเสียจากอุตสาหกรรมซึ่งต้องกำจัดอย่างถูกต้องตามกฎหมายโดยหน่วยงานที่รับบำบัดและกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมที่ได้รับรองการประกอบกิจการโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม การฝังกลบกากของเสียอุตสาหกรรมเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้บำบัดและกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมที่มีประสิทธิภาพ (กรมควบคุมมลพิษ, 2556) อย่างไรก็ตามปัญหามลพิษจากหลุมฝังกลบซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรงทั้งดิน น้ำ และอากาศ อีกทั้งการไหลของน้ำชะขยะทำให้ประชาชนในบริเวณใกล้เคียงได้รับความเดือดร้อนหรือมีความเสี่ยงที่อาจให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัย (อภิญา บัณฑิต และ เครือมาศ สมักรการ, 2560) กระทรวงอุตสาหกรรมจึงออกกฎกระทรวงการควบคุมการปนเปื้อนดินและน้ำใต้ดินภายในบริเวณโรงงาน พ.ศ.2559 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2559ก) เพื่อใช้ในการติดตามตรวจสอบสถานการณ์ของหลุมฝังกลบกากของเสียอุตสาหกรรม ตลอดจนใช้เป็นแนวทางป้องกันแก้ไขปัญหามลพิษจากหลุมฝังกลบกากของเสียอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำใต้ดินและน้ำประปาบริเวณโดยรอบหลุมฝังกลบกากของเสียที่ไม่อันตราย อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นหลุมฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) แบบขุดร่อง (Trench method) ซึ่งดำเนินการฝังกลบของเสียที่ไม่อันตรายตามรหัสของชนิดและประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

โลหะหนักที่วิเคราะห์ 10 ชนิด ได้แก่ As Ba Cd Cr Hg Mn Ni Pb Se และ Zn ซึ่งเป็นโลหะหนักที่กำหนดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดเกณฑ์การปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน การตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน การแจ้งข้อมูลรวมทั้งการจัดทำรายงานผลการตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน และรายงานเสนอมาตรการควบคุมและมาตรการลดการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน พ.ศ. 2559 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2559ข) นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนที่อยู่อาศัยบริเวณโดยรอบหลุมฝังกลบในรัศมี 500 เมตร จากการได้รับสัมผัสโลหะหนักเข้าสู่ร่างกาย 2 เส้นทาง ได้แก่ ทางเดินอาหาร และทางผิวหนัง จากการอุปโภคบริโภคน้ำบาดาลหรือน้ำใต้ดิน และน้ำประปา ตามวิธีการของ US-EPA ปี ค.ศ.1989 ทั้งความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการป้องกันแก้ไขปัญหามลพิษที่อาจเกิดกับประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณรอบหลุมฝังกลบกากของเสียอุตสาหกรรมที่ไม่เป็นอันตรายด้วย

วิธีการวิจัย

1. การเก็บและรักษาสภาพตัวอย่างน้ำ

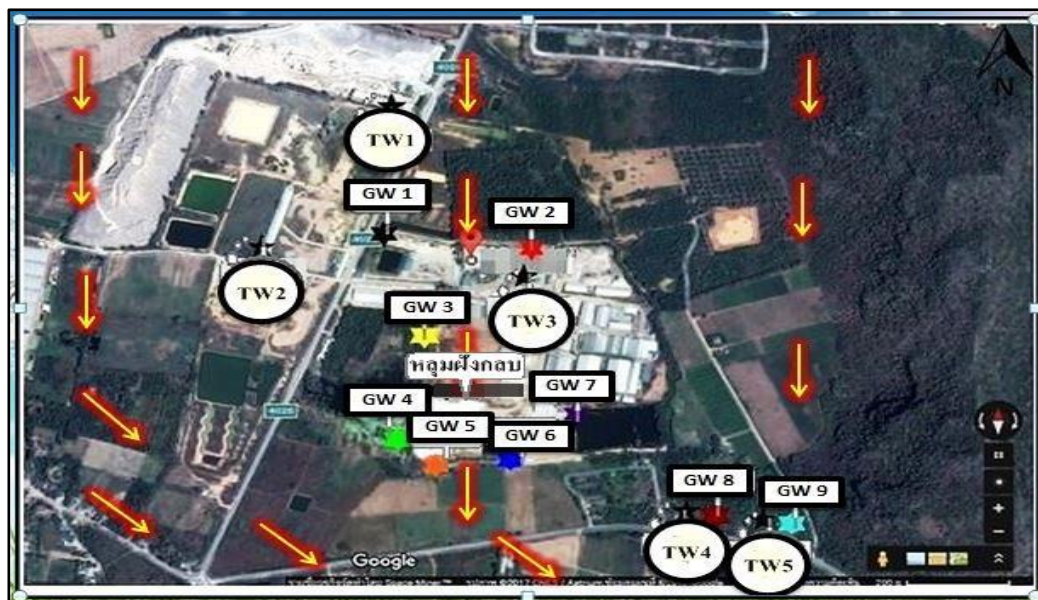
1.1 จุดเก็บตัวอย่าง

การวิจัยนี้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจากบ่อสังเกตการณ์น้ำใต้ดิน (GW) จำนวน 9 จุด และน้ำประปา (TW) จำนวน 5 จุด ในรัศมี 500 เมตรจากหลุมฝังกลบของเสียอุตสาหกรรมที่ไม่เป็นอันตราย อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลแบบขุดร่องเริ่มดำเนินการในหลุมฝังกลบที่ 1 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 จนถึงปี พ.ศ. 2556 โดยมีของของเสียที่บรรจุอยู่ในหลุมฝังกลบมีปริมาณรวม

130,000 ลูกบาศก์เมตร และใช้หลุมฝังกลบหลุมที่ 2 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 ถึงปัจจุบัน ปริมาตรของเสียที่ฝังกลบระหว่างปี พ.ศ. 2557-2561 ประมาณ 82,000 ลูกบาศก์เมตร การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำจากทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (ดังรูปที่ 1) เก็บน้ำใต้ดินด้วย Bailer sampling ตามคู่มือการสำรวจและตรวจสอบการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินจากการประกอบอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2559) และเก็บน้ำประปาแบบจ้วง (Grab sampling) ควบคุมรักษาคุณภาพน้ำตามคู่มือการสำรวจและตรวจสอบการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินจากการประกอบอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2559) โดยเก็บตัวอย่างน้ำใส่ในขวดพลาสติกชนิด Polyethylene ที่มีฝาปิด และเติม HNO_3 ให้ $\text{pH} < 2$ นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส

1.2 ความถี่ของการเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินและน้ำประปา จำนวน 4 ครั้ง ในเดือน เมษายน มิถุนายน สิงหาคม และตุลาคม พ.ศ. 2560



รูปที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำน้ำใต้ดิน (GW) น้ำประปา (TW) บริเวณหลุมฝังกลบ

หมายเหตุ: GW1-GW2 และ TW1-TW2=จุดอ้างอิงเหนือน้ำ GW2-GW7 และ TW3=จุดบ่อสังเกตการณ์ GW8-GW9 และ TW4-TW5=จุดอ้างอิงท้ายน้ำ → = ทิศทางการไหลน้ำใต้ดิน

2. การวิเคราะห์โลหะหนัก

การเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์โลหะหนักต่าง ๆ ใช้วิธีมาตรฐานของ AWWA, 2012.APHA, AWWA and WEF (2012) โดยวิเคราะห์ Ba Cd Cr Pb Mn Ni และ Zn ตามวิธีใน Part 3030 E, 3111 B and 3111 D วิเคราะห์ Hg ตามวิธี Part 3030 E, 3112 B และวิเคราะห์ As และ Se ตามวิธี Part 3030 E, 3114 B and 3114 C โดยเครื่องอะตอมมิกแอพซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Agilent รุ่น SpectrAA 240FS

3. การทำแบบสอบถาม

การสำรวจข้อมูลดำเนินการโดยใช้แบบสอบถามด้วยวิธีการสัมภาษณ์และจดบันทึกทั้งนี้เพื่อให้ทราบข้อมูลจริงของประชาชนในพื้นที่ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับน้ำประปาและน้ำใต้ดินโดยลงพื้นที่เก็บข้อมูล 1 ครั้ง ในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2561 ทำการเก็บข้อมูลจากประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณหลุมฝังกลบของเสียที่ไม่เป็นอันตรายในรัศมี 500 เมตร จำนวน 43 คน ในจุดต้นน้ำและจุดท้ายน้ำที่มีประชาชนอาศัยอยู่และมีกิจกรรมในการใช้น้ำใต้ดินและน้ำประปา ในการดื่มกิน การหุงต้มประกอบอาหาร และการชำระล้างร่างกาย ข้อมูลจากแบบสอบถามจะเป็นส่วนหนึ่งของการนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

4. ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับโลหะหนักจากน้ำใต้ดินและน้ำประปา

ในการประเมินความเสี่ยงจะนำความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำใต้ดินและน้ำประปา รวมทั้งข้อมูลจากแบบสอบถาม มาทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพตามวิธีการของ US-EPA ปี ค.ศ.1989 โดยทำการประเมินความเสี่ยงจากเส้นทางการได้รับสัมผัสเข้าสู่ร่างกาย 2 เส้นทาง ได้แก่ ทางเดินอาหาร (Ingestion) และทางผิวหนัง (Dermal contact) และประเมินความเสี่ยงสำหรับคน 2 กลุ่ม คือ เด็ก (อายุ 0-12 ปี) และผู้ใหญ่ (อายุเฉลี่ย 70 ปี)

การประเมินการรับสัมผัสเป็นการประเมินการรับสารเข้าสู่ร่างกายการคำนวณการรับสัมผัสจากการหายใจและทางผิวหนังสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ โดยค่าคงที่ต่างๆ รวมทั้งสัดส่วนการใช้น้ำใต้ดินและน้ำประปาจากแบบสอบถามแสดงดังตารางที่ 1 ในการประเมินความเสี่ยงตำแหน่งจุดต้นน้ำใช้ข้อมูลจากตัวอย่างจากจุด GW2-TW1 เนื่องจากจุด GW2 เป็นบ่อน้ำใต้ดินที่มีการนำน้ำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ มากที่สุดและอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับจุดการใช้น้ำประปา TW1 สำหรับจุดท้ายน้ำตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินดังรูปที่ 1 ใช้จุด GW8-TW4 และ GW9-TW5 เนื่องจาก GW8 และ GW9 เป็นน้ำใต้ดินซึ่งเป็นบ่อน้ำต้นที่ชาวบ้านขุดไว้เองและใช้ร่วมกับน้ำประปาในจุด TW4 และ TW5 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งคำนวณได้จากสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ โดยใช้ค่าคงที่จากตารางที่ 2

กรณีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งมีค่าระหว่าง 1×10^{-6} ถึง 1×10^{-4} เป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ กรณีความเสี่ยงจากอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง ค่า Hazard index มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 หมายความว่าปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายได้รับไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกายได้ หากค่า Hazard index มีค่ามากกว่า 1 หมายความว่าปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายได้รับโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ ต้องหาแนวทางในการบริหารจัดการและแก้ไขความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับสุขภาพอนามัยของประชาชนในพื้นที่

$$I_{\text{ingestion}} = \frac{CW \times IR \times EF \times EP}{BW \times AT} \quad (1)$$

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

$$\text{Cancer Risk} = I \times SF \quad (3)$$

$$HI = \frac{I}{RfD} \quad (4)$$

เมื่อ

I = ปริมาณสารที่ร่างกายได้รับ (mg/kg-weight/day)	CW = ความเข้มข้นของสารในน้ำ (mg/L)
IR = อัตราการบริโภคน้ำ (L/day)	ET = ระยะเวลาในการสัมผัสต่อวัน (hr/day)
EF = จำนวนวันที่สัมผัสใน 1 ปี (day/year)	EP = จำนวนปีที่สัมผัสสาร (year)
BW = น้ำหนักของร่างกาย (kg)	AT = ระยะเวลาเฉลี่ย (day)
SA = พื้นที่ผิวที่สัมผัส (cm ²)	PC = ค่าคงที่จำเพาะต่อสารเคมีที่ซึมผ่านทางผิวหนัง (cm/hr)
Cancer risk = ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง	HI = ดัชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง
CF = ค่าที่ใช้สำหรับการแปลงค่าปริมาตรน้ำ (1 L/ 1000 cm ³)	I = ปริมาณสารที่ได้รับ (mg/kg-day)
SF = Slope factor (mg/kg-day) ⁻¹	RfD = Reference Dose (mg/kg-day)

ตารางที่ 1 ค่าคงที่สำหรับคำนวณการได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกาย (Intake)

พารามิเตอร์	หน่วย	ตัวแปร	ค่าคงที่		แหล่งที่มา
			เด็ก	ผู้ใหญ่	
ความเข้มข้นของสารในน้ำ	mg/l	CW	-	*	ผลวิเคราะห์
อัตราการบริโภคน้ำ	l/day	IR	0.96	1.67	(มูทาทิกซ์ และ มัลลิกา, 2559)
จำนวนวันที่สัมผัสใน 1 ปี	day/year	EF	-	365	แบบสอบถาม
จำนวนปีที่สัมผัสสาร (เฉลี่ย)	year	EP	-	18.5	แบบสอบถาม
น้ำหนักของร่างกาย (เฉลี่ย)	kg	BW	-	58.3	แบบสอบถาม
เวลาในการสัมผัสสาร (เฉลี่ย)	day	AT	-	6,752	แบบสอบถาม
พื้นที่ผิวที่สัมผัส	m ²	SA	-	1.72	(กิตติ, 2548)
ค่าคงที่จำเพาะต่อสารเคมีที่ซึมผ่านผิว	cm/hr	PC	0.001	0.001	(US-EPA, 1989)
ระยะเวลาในการสัมผัสน้ำต่อวัน	hr/day	ET	-	0.17	แบบสอบถาม
ค่าที่ใช้สำหรับแปลงค่าปริมาตรน้ำ	l/cm ³	CF	0.001	0.001	(US-EPA, 1989)

หมายเหตุ: * ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนักในน้ำใต้ดินและน้ำประปา

ตารางที่ 2 ค่า Oral and Dermal Slope factor และ Reference Dose ของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ

Metals	Oral SF (mg/kg-day) ⁻¹	Oral RfD (mg/kg/day)	Dermal SF (mg/kg-day) ⁻¹	Dermal RfD (mg/kg/day)
As	1.5	3.0×10^{-4}	3.66	1.23×10^{-4}
Cd	-	5.0×10^{-4}	-	1.0×10^{-5}
Cr	-	3.0×10^{-3}	-	6.0×10^{-5}
Ba	-	2.0×10^{-1}	-	1.4×10^{-2}
Hg	-	3.0×10^{-4}	-	2.1×10^{-5}
Pb	-	3.5×10^{-3}	-	5.25×10^{-4}
Ni	-	2.0×10^{-2}	-	5.4×10^{-3}
Zn	-	0.3	-	6×10^{-2}
Mn	-	0.14	-	1.84×10^{-3}
Se	-	5.0×10^{-3}	-	2.2×10^{-3}

ที่มา : (US-EPA, 2011) และ (US-EPA, 2003)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

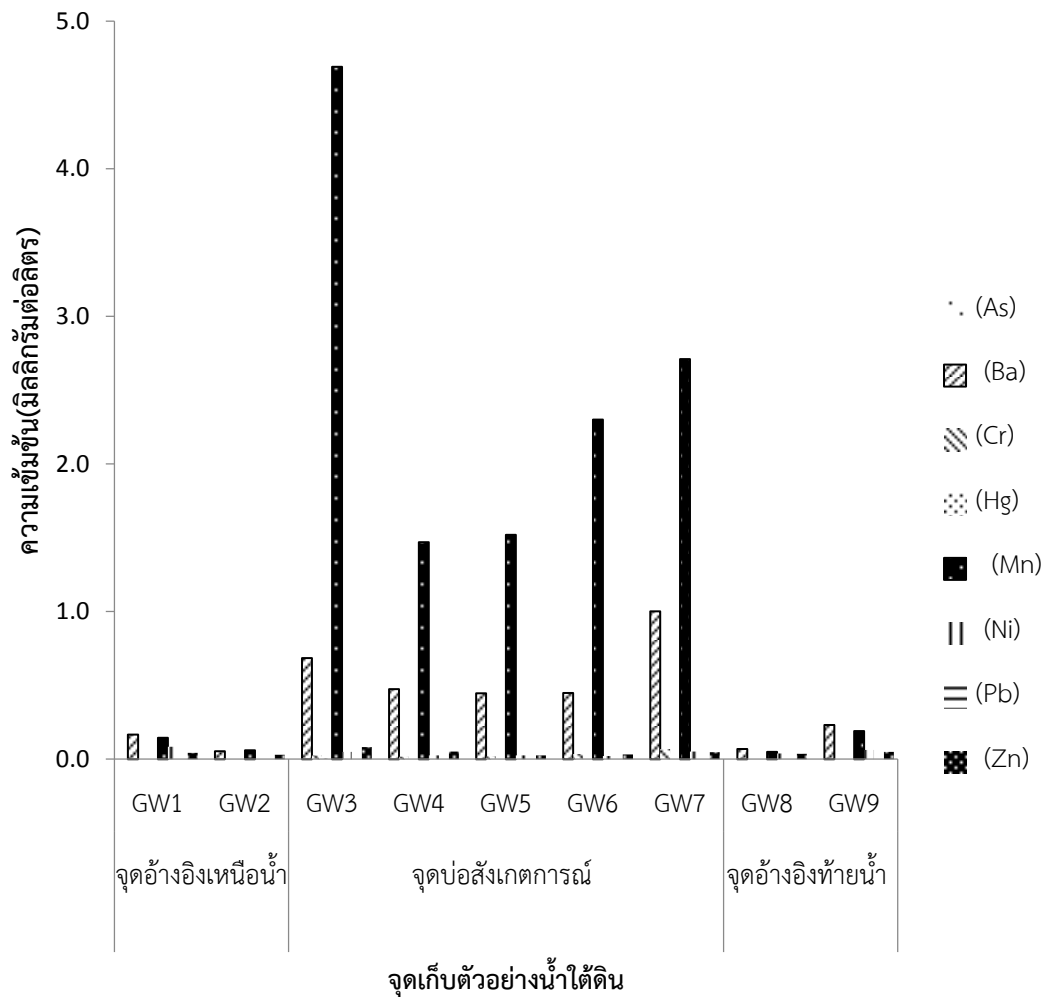
1. ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนัก

1.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน

ผลการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำใต้ดินที่เก็บตัวอย่างจากจุดอ้างอิงเหนือน้ำจุดบ่อสังเกตการณ์ และจุดอ้างอิงท้ายน้ำดังนี้ As = ND-0.002 Ba = 0.02-1.0 Cr = ND-0.06 Hg = ND-0.005 Mn = 0.02-4.69 Ni = ND-0.08 Pb = ND-0.03 Zn = 0.01-0.08 มก./ล. (ดังรูปที่ 2) โดยความเข้มข้นของโลหะหนักทุกชนิดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2559

สำหรับจุดอ้างอิงเหนือน้ำซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณจุด GW1 และ GW2 ตรวจพบโลหะหนัก 4 ชนิด เรียงความเข้มข้นจากมากไปน้อย ได้แก่ Ba Mn Ni และ Zn สำหรับจุดบ่อสังเกตการณ์ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณจุด GW3 และ GW7 ตรวจพบโลหะหนัก 8 ชนิด ได้แก่ As Ba Cr Hg Mn Ni Pb และ Zn โดยความเข้มข้นสูงสุด 3 ลำดับแรกของโลหะหนักเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ได้แก่ Mn Ba และ Ni ตามลำดับจุดอ้างอิงท้ายน้ำซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณจุด GW8 และ GW9 ตรวจพบโลหะหนัก 4 ชนิด เรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ Ba Mn Ni และ Zn

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักที่จุดบ่อสังเกตการณ์พบว่ามีความเข้มข้นของโลหะหนักสูงกว่าจุดอ้างอิงเหนือน้ำกับจุดอ้างอิงท้ายน้ำ เนื่องจากจุดบ่อสังเกตการณ์เป็นจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่อยู่ในบริเวณพื้นที่หลุมฝังกลบที่อาจได้รับการปนเปื้อนของโลหะหนักจากของเสียที่นำมาฝังกลบและแพร่กระจายไปยังน้ำใต้ดิน



รูปที่ 2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน

หมายเหตุ: มาตรฐานคุณภาพน้ำ*: มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2559)

สารหนู (As)<0.1	แบเรียม (Ba)<160	โครเมียม (Cr)<6.0	ปรอท (Hg)<0.7
แมงกานีส (Mn)<33	นิเกิล (Ni)<5.0	ตะกั่ว (Pb)<4.0	สังกะสี (Zn)<10

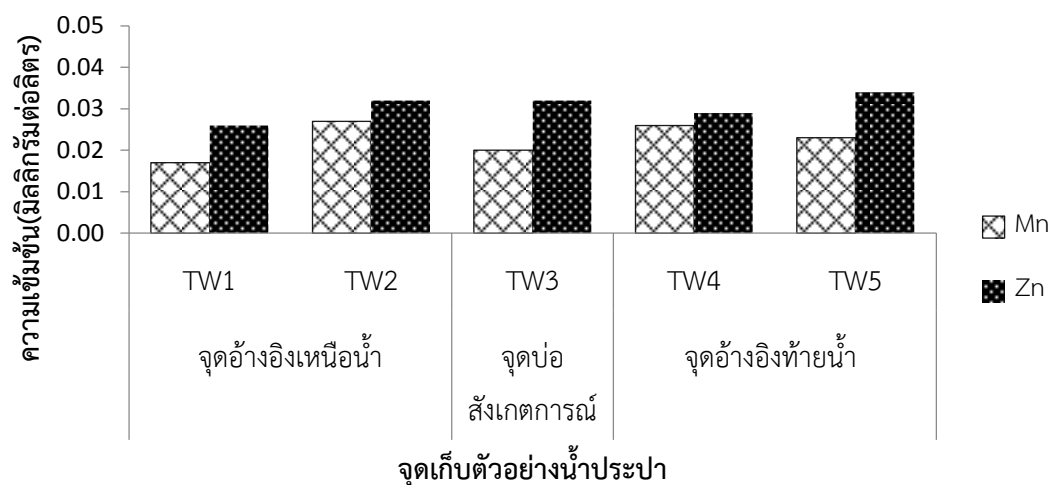
Detection limit ของโลหะแต่ละชนิดมีค่าดังนี้ As=0.001 Ba=0.01 Cd=0.001 Cr=0.01

Hg=0.001 Mn=0.01 Ni=0.01 Pb=0.01 Se=0.001 และ Zn=0.01 mg/l

ผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์น้ำบาดาลที่เก็บบริเวณสถานที่ฝังกลบมูลฝอยและบริษัทเขตอุตสาหกรรมสุรนารีซึ่งพบความเข้มข้นของ As = ND-0.001 Cr = ND-0.002 Hg = ND-0.005 Mn = ND-0.24 Pb = ND-0.005 Zn = ND-0.218 มก./ล. (จุฑาทิพย์, 2557) ระดับการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินที่อยู่ใกล้กับพื้นที่ฝังกลบของเทศบาล ในพื้นที่รัฐลาออสรัฐไนจีเรีย พบความเข้มข้นเฉลี่ยของ Mn=0.08 Zn=0.08 และ Cr=0.44 มก./ล.(Longe et al., 2010) และการศึกษาประเมินการปลดปล่อยโลหะจากหลุมฝังกลบในบูลาวาโยชิมบับเวในน้ำบาดาลพบความเข้มข้น Pb = 0.02-0.21 Cr= 0.007-0.11 มก./ล.(Charles et al., 2017)

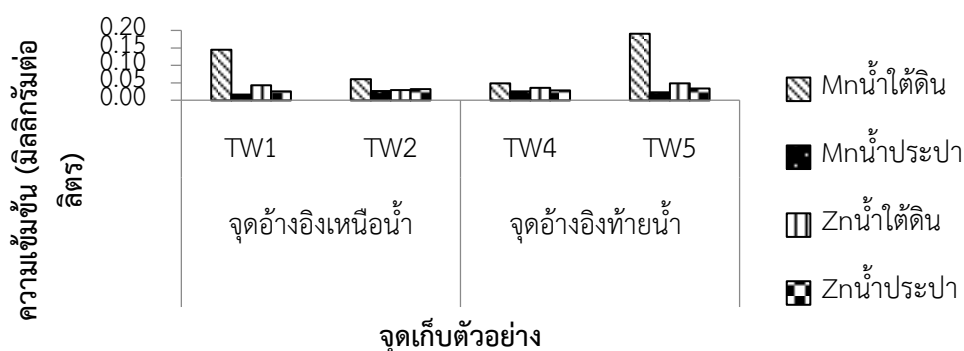
1.2 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำประปา

การศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำประปาจำนวน 5 จุดเก็บตัวอย่าง คือ TW1 ถึง TW5 ผลการวิเคราะห์ตรวจไม่พบโลหะหนักจำนวน 8 ชนิด ได้แก่ Cd Cr Ba Pb Ni As Se และ Hg แต่ตรวจพบโลหะ 2 ชนิด คือ Mn และ Zn มีช่วงความเข้มข้นเท่ากับ 0.011-0.038 และ ND-0.043 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งทุกจุดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค พ.ศ. 2550 (ดังรูปที่ 3) โดยความเข้มข้นของ Mn และ Zn ที่ตรวจพบในน้ำประปาอยู่ในช่วงเดียวกับค่าที่ตรวจพบในน้ำประปาของหมู่บ้านถ้ำลา ตำบลลานข่อย อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง (ธนวัฒน์ รักกมล, ปุณณพัฒน์ ไชยเมล์, สมเกียรติยศ วรเดช และ ชีระวิทย์ รัตนพันธ์, 2553)



รูปที่ 3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในน้ำประปา

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำใต้ดินกับน้ำประปา คือ Mn และ Zn พบว่าในตัวอย่างน้ำใต้ดินมีค่าสูงกว่าตัวอย่างน้ำประปา เนื่องจากบริเวณตำบลรางบัว อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี เป็นพื้นที่มีแหล่งทรัพยากรแร่ที่มีการสะสมของแมงกานีส(กรมทรัพยากรธรณี, 2550) โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของ Mn ในน้ำใต้ดินและน้ำประปาเท่ากับ 0.191 และ 0.027 มก./ล. ตามลำดับ และความเข้มข้นเฉลี่ยของ Zn ในน้ำใต้ดินและน้ำประปาเท่ากับ 0.049 และ 0.026 มก./ล. ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4)



รูปที่ 4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสและสังกะสีในตัวอย่างน้ำใต้ดินและน้ำประปา

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถาม

จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลด้วยวิธีการสัมภาษณ์ประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณหลุมฝังกลบภายในรัศมี 500 เมตร ในวันที่ 22 เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 พบว่าประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่บริเวณหลุมฝังกลบทั้งหมดเป็นผู้ใหญ่จำนวน 43 คน ซึ่งเป็นเจ้าของสวนและคนงานรับจ้าง โดยไม่มีเด็กอยู่อาศัยในพื้นที่ในช่วงเวลาเก็บข้อมูล ประชาชนพฤติกรรมกรใช้น้ำ 3 ประเภท ได้แก่ น้ำบรรจุขวดหรือถัง น้ำประปา และน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล สรุปข้อมูลจากแบบสอบถามแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลจากแบบสอบถามสำหรับการใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับโลหะหนักในน้ำใต้ดินและน้ำประปา

ข้อมูล	ผลจากแบบสอบถาม
น้ำหนักของร่างกาย (กิโลกรัม)	ต่ำสุด-สูงสุด 39-72 เฉลี่ย 58.3
จำนวนปีที่สัมผัสสาร (ปี)	ต่ำสุด-สูงสุด 12-25 เฉลี่ย 18.5
ช่วงเวลาการอาศัยในพื้นที่ (เฉลี่ย) (ชั่วโมง)/วัน	ต่ำสุด-สูงสุด 4-8 เฉลี่ย 6.7
ระยะเวลาในการสัมผัสสารต่อวัน (เฉลี่ย)	ต่ำสุด-สูงสุด 0.10-0.20 เฉลี่ย 0.17
น้ำสำหรับดื่ม-กิน	น้ำบรรจุถัง/ขวด
น้ำสำหรับหุงต้มประกอบอาหาร	ร้อยละการใช้น้ำใต้ดิน : น้ำประปา ร้อยละ 80 : ร้อยละ 20
น้ำสำหรับชำระล้างร่างกาย	ร้อยละการใช้น้ำใต้ดิน : น้ำประปา ร้อยละ 33.3 : ร้อยละ 66.7

3. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับโลหะหนักในน้ำใต้ดินและน้ำประปา

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพสำหรับผู้ใหญ่ประเมินจากการได้รับโลหะหนัก 10 ชนิดจากการใช้น้ำใต้ดินและน้ำประปาบริเวณจุดต้นน้ำ (GW2-TW1) และจุดท้ายน้ำ (GW8-TW4 และ GW9-TW5) จากการได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย 2 เส้นทาง คือ ทางเดินอาหาร และทางผิวหนัง มีรายละเอียดดังนี้

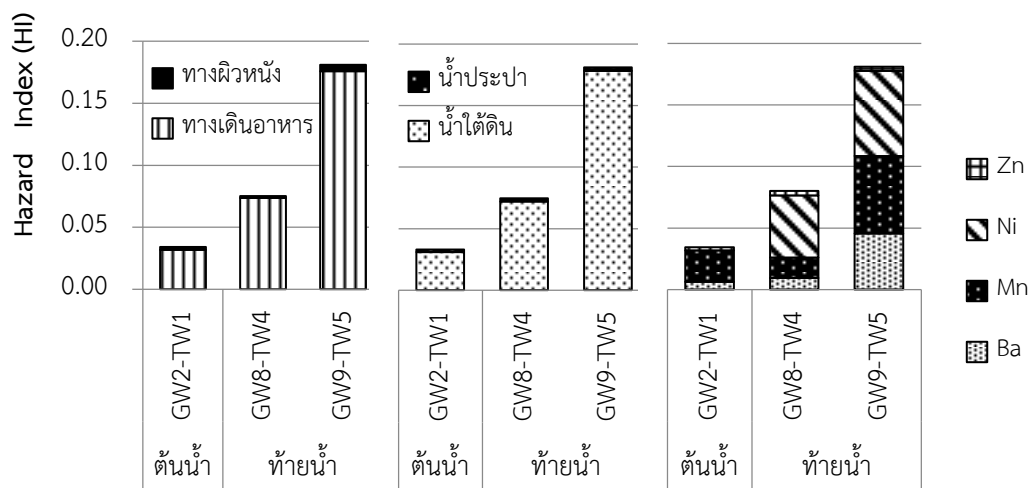
3.1 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง

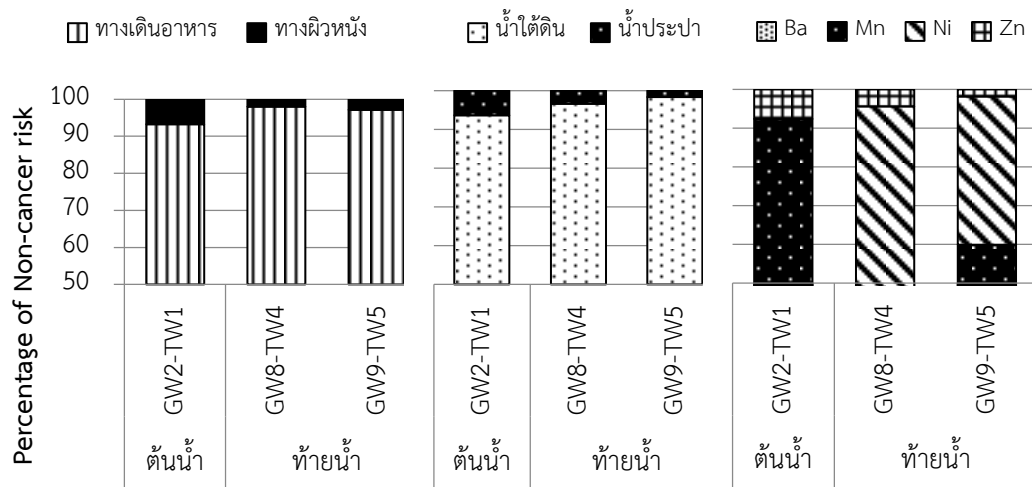
สำหรับโลหะหนักทั้ง 10 ชนิดที่ทำการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ตามรายงานของ US-EPA (2011) และ US-EPA (2003) โลหะหนักเพียงชนิดเดียวที่เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ ได้แก่ สารหนู (As) ส่วนโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ไม่จัดเป็นสารก่อมะเร็งเนื่องจากไม่พบค่า Slop Factor (SF) ซึ่งเป็นค่าความเป็นพิษที่ใช้ในการประเมินความเป็นพิษของสารก่อมะเร็งดังตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำใต้ดินบริเวณจุดต้นน้ำและจุดท้ายน้ำไม่พบ As แต่พบโลหะ 4 ชนิด คือ Mn Ba Ni และ Zn ซึ่งไม่ได้จัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ ดังนั้นจึงประเมินได้ว่าไม่พบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับโลหะหนักจากการอุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินทั้งบริเวณจุดอ้างอิงเหนือน้ำและจุดอ้างอิงท้ายน้ำ

3.2 ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากระยะเริ่ม

ผลการประเมินพบว่าความเสี่ยงรวมในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งซึ่งแสดงโดยค่า HI (ดังรูปที่ 5) ซึ่งพบว่าความเสี่ยงรวมบริเวณจุดทำยนน้ำสูงกว่าบริเวณจุดต้นน้ำจุดทำยนน้ำที่มีค่าความเสี่ยงสูงสุดที่จุด GW9-TW5 โดยมีค่า HI รวมเท่ากับ 0.175 ค่า HI รวมของทั้ง 3 จุดมีค่าไม่เกิน 1 จึงถือว่าเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ตามแนวทางของ US-EPA (1989) การได้รับสัมผัสโลหะหนักผ่านทางเดินอาหารสูงกว่าผ่านทางผิวหนัง โดยค่า HI จากการได้รับโลหะหนักผ่านทางเดินอาหาร และ ทางผิวหนังอยู่คิดเป็นร้อยละ 93.26-98.0 และ 2.00-6.74 ตามลำดับ การรับสัมผัสโลหะหนักจากน้ำใต้ดินมีค่าสูงกว่าจากน้ำประปา ค่า HI รวมจากการได้รับโลหะหนักจากน้ำใต้ดิน และน้ำประปา มีค่า 0.178 และ 0.003 ตามลำดับ โดยคิดเป็นร้อยละ 93.66-98.34 และ 1.66-6.34 ตามลำดับ ค่า HI จากการได้รับโลหะ Ni Mn Ba และ Zn เรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ 0.050-0.069, 0.016-0.062, 0.005-0.045 และ 0.002-0.003 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 38.25-63.12, 20.75-73.97, 11.75-25.15 และ 1.82-7.60 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 6)

งานวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาการประเมินความเสี่ยงสุขภาพของการอุปโภคบริโภคน้ำประปาชุมชนในจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ สุรินทร์ ซึ่งพบค่า HI จากการได้รับ Mn=0.034 Zn=0.060 (ประพัฒน์, 2557) การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับโลหะหนักในน้ำใต้ดินบริเวณเหมืองถ่านหินดิ่งจิในประเทศจีน พบค่า HI รวมน้อยกว่า 1 (Zhang *et al.*, 2016) และในเมืองแอมแพงเจอร์และเมืองริชาร์ด เบย์ของประเทศแอฟริกาใต้ พบค่า HI จากการได้รับ Mn Ni Pb และ Zn ในน้ำใต้ดินของ อยู่ในช่วง 0-0.083, 0.002-0.011, 0.001-0.029 และ 0.054-0.99 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ US-EPA ปี ค.ศ.1989 (Vetrimurugan *et al.*, 2017)





สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำใต้ดินและน้ำประปาบริเวณหลุมฝังกลบของเสียไม่อันตราย อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี ผลการวิเคราะห์น้ำใต้ดินบริเวณจุดต้นน้ำและจุดท้ายน้ำพบ Ba Mn Ni และ Zn จุดบ่อสังเกตการณ์น้ำใต้ดินพบ As Ba Cr Hg Mn Ni Pb และ Zn ความเข้มข้นอยู่ในช่วง ND-0.004, 0.011-1.37, ND-0.13, ND-0.006, 0.013-11.14, ND-0.095, ND-0.042 และ ND-0.085 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดเกณฑ์การปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน การตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน การแจ้งข้อมูลรวมทั้งการจัดทำรายงานผลการตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน และรายงานเสนอมาตรการควบคุมและมาตรการลดการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน พ.ศ. 2559 สำหรับในน้ำประปาตรวจพบเฉพาะ Mn และ Zn มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.011-0.038 และ ND-0.043 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค พ.ศ. 2550

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับโลหะหนัก 10 ชนิดจากการใช้น้ำใต้ดินและน้ำประปาบริเวณจุดต้นน้ำและจุดท้ายน้ำ ในการได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย 2 เส้นทาง คือ ทางเดินอาหาร และทางผิวหนัง ไม่พบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเนื่องจากไม่พบ As ที่จุดต้นน้ำและจุดท้ายน้ำที่มีการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค สำหรับการประเมินความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งพบค่าความเสี่ยงรวมมีค่า HI น้อยกว่า 1 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ตามตามเกณฑ์ของ US-EPA ปี ค.ศ.1989 ดังนั้นความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับโลหะหนักในการใช้น้ำสำหรับอุปโภคบริโภคของน้ำใต้ดินและน้ำประปาบริเวณหลุมฝังกลบอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย อย่างไรก็ตามควรมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินและน้ำประปาต่อเนื่องเพื่อการปนเปื้อนจากหลุมฝังกลบสู่แหล่งน้ำใต้ดินหรือสิ่งแวดล้อมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- Briwichayawisut, C. (2009). *Kāṇpramoēṅkhwāmsiāṅghōṅgkāṇdairapsāṇtraihaḷomīthenāchāk sawaīnāmthīkhāchūarokdūaikhōrīn* [Risk Assessment of Trihalomethanes Exposure from Chlorinated Swimming Pool], Degree of Master Thesis. Silpakorn University.
- จรรยา บรวิชัยวิสุทธิ. (2552). การประเมินความเสี่ยงของการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- Department of Industrial Works. (2016). *Khrōṅkāṇtruātsōṅkāṇponpuāṇlāpramoēṅsakyaphāp lumfangklopkhōṅgsiā'utsāhakam* [Pollutant Inspection and Assessment Project for Industrial Waste Landfills], Bangkok: Department of Industrial Works.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2559). โครงการตรวจสอบการปนเปื้อนและประเมินศักยภาพหลุมฝังกลบของเสียอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- Department of Industrial Works. (2016). *Khūmūkāṇsamruātāetruātsōṅkāṇponpuāṇnāidin lānāmtaidinchākāṇprakōṅkā'utsāhakam* [A Guide to Monitoring and Monitoring Contamination in Soil and Groundwater from Industrial Operations], Bangkok: Department of Industrial Works.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2559). คู่มือการสำรวจและตรวจสอบการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินจากการประกอบการอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- Department of Mineral Resources. (2007). *Phūṇthīsiāṅghaichāksāṇphitthammachat Changwat rāṭburī* [The risk of natural toxins Ratchaburi Province], Bangkok: Department of Mineral Resources.
- กรมทรัพยากรธรณี. (2550). พื้นที่เสี่ยงภัยจากสารพิษธรรมชาติ จังหวัดราชบุรี. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี.
- Intranon, K. (2005). *Kānyasāt*. [Ergonomics], Bangkok: Chulalongkorn University.
- กิตติ อินทรานนท์. (2548). การยศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Ministry of Industry. (2016ก). *Kotkrasūāṅg Khuāpkhumkāṇponpuāṇnāidinlānāmtaidin phāinaibōrīwenrōṅngāṇ* A.D. 2016 [Soil and Groundwater Contamination Monitoring to Follow Ministerial Regulation on the Controlling of Soil and Groundwater Contamination within Factory Compound, B.E. 2016]. Accessed April 20, 2017. Available from <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2559/A/038/89.PDF>
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2559ก). กฎกระทรวง ควบคุมการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินภายในบริเวณโรงงาน พ.ศ. 2559. เข้าถึงเมื่อ 20 เมษายน. เข้าถึงได้จาก <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2559/A/038/89.PDF>

- Ministry of Industry. (2016ข). Prakātkarasūāṅ'utsāhakam Rūāṅ Kamnotkēkānpōnpūānnai dīnlānāmtāidīnKāntrūātsōpkhunnaphāpdīnlānāmtāidīnKānchāēṅkhōmūnūāmthang kānchātthamrāīṅānphōnkāntrūātsōpkhunnaphāpdīnlānāmtāidīnlāēāīṅānsānōēāmtt rakānkhūāpkhumlāēātrākānlotkānpōnpūānnaidīnlānāmtāidīn A.D.2016 [Notification of the Ministry of Industry on the criteria for contamination in soil and groundwater. Soil and Groundwater Monitoring Reporting, including the results of soil and groundwater quality monitoring. And report on control measures and measures to reduce contamination in soils and groundwater], Available from <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2559/E/275/4.PDF>
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2559ข). ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดเกณฑ์การปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน การตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน การแจ้งข้อมูลรวมทั้งการจัดทำรายงานผลการตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำใต้ดิน และรายงานเสนอมาตรการควบคุมและมาตรการลดการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน พ.ศ. 2559. เข้าถึงเมื่อ 20 เมษายน. เข้าถึงได้จาก <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2559/E/275/4.PDF>
- Omking, J. (2014). Kānpōnpūānsānmōlōphitnaināmbādānbōrīwēnkhet' utsāhakamlāe Sathānthīfāṅklopūnfojī 'Amphōēmuāṅ Chāṅwatnakhōṅrāṅchāsīmā [POLLUTANT CONTAMINATION IN GROUNDWATER NEAR INDUSTRIAL ZONE AND LANDFILL SITE IN MUANG DISTRICT NAKHONRATCHASIMA], Degree of Master Thesis. Suranaree University of Technology.
- จุฑาทิพย์ อ้อมกิ่ง. (2557). การปนเปื้อนสารมลพิษในน้ำบาดาลบริเวณเขตอุตสาหกรรมและสถานที่ฝังกลบมูลฝอย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี.
- Pentamwa, P. (2012). Kānpromoēnkhwāmsīāṅthāṅsukphāpkhōṅkānbōrīphōknām prapāchumchon [Health Risk Assessment for Community Water Supply Exposure], Degree of Master Thesis. Suranaree University of Technology.
- ประพัฒน์ เป็นตามวา. (2555). การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของการบริโภคน้ำประปาชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Pluemudom, A. & Smakgahn, K. (2017). Kānpromoēnphūnthīthīmōsom naikānsāṅ bōrīfāṅklopkhaya yāṅthūsukhāphibān Kranīsuksa' amphōēmuāṅsamutprākān Chāṅwatsamutprākān [The assessment of suitable sanitary landfills area: a case study in Mueang Samutprakarn District, Samutprakarn Province]. Veridian E-Journal, Silpakorn University 4,5 (September – October): 93-103.

- อภิญญา ปลื้มอุดม. และ เครือมาศ สมัครการ. (2560). “การประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมในการสร้างบ่อฝังกลบขยะอย่างถูกสุขาภิบาล กรณีศึกษาอำเภอมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ.” Veridian E-Journal, Silpakorn University 4, (5) (กันยายน – ตุลาคม): 93-103.
- Pollution Control Department.(2013).Kānpromoensamatthanakāndamnoengnā fangklop mūnfojī. [The Performance of Solid Waste Landfill], Bangkok: Pollution Control Department.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2556). การประเมินสมรรถนะการดำเนินงานฝังกลบมูลฝอย. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
- Provincial Waterworks Authority. (2007). Matrathānkhunnaphāpnāmprapākhoṅgkānpapāsūanphūmphāk [The Standard Deviation of Provincial Waterworks Authority], Available from <https://www.pwa.co.th/download/pwastandard50-1.pdf>
- การประปาส่วนภูมิภาค. (2550). มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค. เข้าถึงเมื่อ 9 เมษายน. เข้าถึงได้จาก <https://www.pwa.co.th/download/pwastandard50-1.pdf>
- Rakkamon T., Chaimay B., Woradet S., & Rattanapan C. (2010). “Kānpromoēnkhwāmsiāngthāng sukphāpnāikānbōrīphoknāmpapāthīponpūānlohanak : Kranisuksārabopkānpalītnāmpapāmubānthamlā Tambonlānkhōjī ‘Amphoēpāphayōm Changwatphatthalung” [Health Risk Assessment for Exposure to Heavy Metals in Tap Water : Case study of Tamla Village Tap Water System, Lankhoy Sub-District, Paprayoom District, Phatthalung Province]. Journal of Public Health and Development 8,2 (May-August): 159-171.
- ธนาวุฒิ รักษมณ, ปุณณพัฒน์ ไชยเมธ, สมเกียรติยศ วรเดช และ ชีระวิทย์ รัตนพันธ์. (2553). “การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพในการบริโภคน้ำประปาที่ปนเปื้อนโลหะหนัก : กรณีศึกษาระบบการผลิตน้ำประปาหมู่บ้านถ้ำตา ตำบลลานข่อย อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง”.วารสารสาธารณสุขและพัฒนา. 8(2): 159-171.
- Rodthim, M. & Panyakapo, M.(2016).“Kānpromoēnkhwāmsiāngtoṅsukphāp chākkāndairapsānnūthīlāinainām‘uppaphokbōrīphokNaiphūnthīlāengrāedībukkao Changwatsurasothani” [Health risk assessment from soluble arsenic in the water supply in the old tin mine areas, Surat thani province]. Veridian E-Journal, Silpakorn University 3,1 (January – February): 34-47.
- มุกดาทิพย์ รอดทิม. และ มัลลิกา ปัญญาอะโป. (2559). “การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารหนูที่ละลายในน้ำอุปโภคบริโภค ในพื้นที่แหล่งแร่ดีบุกเก่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี.” Veridian E-Journal, Silpakorn University 3, (1) (มกราคม – กุมภาพันธ์): 34-47.

ภาษาต่างประเทศ

- APHA, AWWA, WEF. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Ed. American Public Health Association. Washington, DC.
- Charles, T. & Tapiwa, H. (2017). “Heavy Metal Contamination of Ground Water from an Unlined Landfill in Bulawayo, Zimbabwe.” Journal of Health & Pollution 7, (15):18-27.
- Longe, E.O. & Balogun, M.R. (2010). “Groundwater Quality Assessment near a Municipal Landfill, Lagos, Nigeria.” Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 2, (1): 39-44.
- US-EPA .(1989). Risk Assesment Guidance foe Superfund Volume I:Human Health Evaluation Mannual (Part A). EPA/540/1-89/002. Accessed January 3, 2017.Available from https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rags_a.pdf
- US-EPA .(2003). IRIS Database for Risk Assessment. Accessed January 3, 2017.Available from <http://www.epa.gov/iris>
- US-EPA .(2011). IRIS Database for Risk Assessment. Accessed January 13, 2017.Available from <http://www.epa.gov/iris>
- Vetrimurugan, E., Brindha, K., & Elango L. (2017). “Human Exposure Risk Assessment Due to Heavy Metals in Groundwater by Pollution Index and Multivariate Statistical Methods: A Case Study from South Africa.” Water 9, (4): 234-240.
- Zhang, S., Guijian L., Ruoyu S., & Dun W. (2016). “Health risk assessment of heavy metals in groundwater of coal mining area: A case study in Dingji coal mine, Huainan coalfield, China.” Human and Ecological Risk Assessment 22, (7): 1469-1479.