

การปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำและสัตว์น้ำบริเวณพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ



นางสาวอัจฉรา วงษ์ทองดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HEAVY METALS CONTAMINATION IN WATER RESERVOIRS AND AQUATIC ANIMALS IN THE
AREA OF GOLD MINE

Miss Achaya Wongthongdee



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำและสัตว์น้ำบริเวณพื้นที่ เหมืองแร่ทองคำ
โดย	นางสาวอัจฉรา วงษ์ทองดี
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรรศนีย์ พุกทาสีสิทธิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร ชุตินทรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรรศนีย์ พุกทาสีสิทธิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.กำธร ธีรคุปต์)

อัญญา วงษ์ทองดี : การปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำและสัตว์น้ำบริเวณพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ (HEAVY METALS CONTAMINATION IN WATER RESERVOIRS AND AQUATIC ANIMALS IN THE AREA OF GOLD MINE) อ.ที่ปริกษาวิทยานินพนธ์หลัก: อ. ดร.รงชัย งามประเสริฐวงศ์, อ.ที่ปริกษาวิทยานินพนธ์ร่วม: ผศ. ดร.ทรรศนีย์ พุกกษาสัทธี, ผศ. ดร.อภิชาติ อิมย์ม, 107 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปริมาณ As Hg Pb Mn Ni Cu Zn และ Cd ในน้ำ ตะกอนดิน และสัตว์น้ำ บริเวณพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ จังหวัดพิจิตร เพื่อประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสโลหะหนักผ่านทางกรบริโภคสัตว์น้ำ โดยเก็บตัวอย่างภายในพื้นที่เหมือง 3 ครั้ง ในเดือนสิงหาคม 2558 พฤศจิกายน 2558 และกุมภาพันธ์ 2559 และเก็บตัวอย่างภายนอกพื้นที่ในเหมืองเดือนพฤศจิกายน 2559 โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณ Pb Mn Ni Cu Zn และ Cd ในตัวอย่างด้วยเทคนิค Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy และวิเคราะห์ปริมาณ As และ Hg ด้วยเทคนิค Atomic absorption spectrophotometry ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างน้ำผิวดินในพื้นที่เหมืองมีปริมาณ As Hg Pb Ni Cu Zn และ Cd ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำแหล่งน้ำผิวดินกำหนด และมีปริมาณ Mn อยู่ในช่วง 0.0055-2.079 มก./ล. ซึ่งบางตัวอย่างมีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำแหล่งน้ำผิวดินกำหนด และตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่เหมืองมีปริมาณ As Pb Zn และ Cd ต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพของตะกอนดินในแหล่งน้ำกำหนด และมีปริมาณ Ni Cu Mn และ Hg ในตะกอนดินมีค่าอยู่ในช่วง 0.3719-18.89 0.9499-45.35 0.4233-874.1 และ 0.0571-0.8387 มก./กก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งบางตัวอย่างมีค่าสูงกว่ามาตรฐานคุณภาพของตะกอนดินในแหล่งน้ำกำหนด และพบว่าปริมาณของโลหะหนักทุกชนิดจากตัวอย่างน้ำผิวดินและตะกอนดินภายในพื้นที่เหมืองสูงกว่าภายนอกพื้นที่เหมือง ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างสัตว์น้ำในพื้นที่เหมืองจำนวน 15 ชนิด (ปลา 13 ชนิด กุ้ง 1 ชนิด และหอย 1 ชนิด) พบปริมาณ As Mn Ni Cu และ Zn ต่ำกว่ามาตรฐานการปนเปื้อนโลหะหนักในอาหารกำหนด และพบปริมาณ Cd Hg และ Pb ในตัวอย่างสัตว์น้ำอยู่ในช่วง <0.00009-0.6024 <0.0002-16.78 และ <0.0006-1.358 มก./กก. น้ำหนักเปียก ตามลำดับ ซึ่งบางตัวอย่างมีค่าสูงกว่ามาตรฐานการปนเปื้อนโลหะหนักในอาหารกำหนด จากการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพพบว่าการบริโภครสัตว์น้ำบางชนิดในพื้นที่เหมืองมีความเสี่ยงในการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว โดย Hazard Quotient (HQ) ของการได้รับ As Cu Mn และ Hg จากหอยเชอรี่มีค่ามากกว่า 1 และค่า HQ ของการได้รับ Hg จากกุ้งฝอย ปลาแขยงข้างลาย ปลาชิว และปลาหมอมีค่ามากกว่า 1 และมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจาก As หากบริโภครหอยเชอรี่เป็นระยะเวลานาน สำหรับการประเมินค่าความเสี่ยงของสารไม่ก่อมะเร็งโดยรวม (Hazard Index; HI) พบว่าหอยเชอรี่ ปลาหมอ ปลาแขยงข้างลาย ปลาชิว และกุ้งฝอย มีค่า HI เท่ากับ 13 7.6 4.8 3.4 และ 2.2 ตามลำดับ ดังนั้นหากบริโภครในปริมาณมากอย่างต่อเนื่องอาจมีความเสี่ยงต่อสุขภาพเมื่อบริโภครสัตว์น้ำเหล่านี้เป็นระยะเวลานาน

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาร่วม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาร่วม

5787271120 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: BIOACCUMULATION FACTOR / HEAVY METAL / GOLD MINE / HEALTH RISK ASSESSMENT / FISH ACHAYA WONGTHONGDEE: HEAVY METALS CONTAMINATION IN WATER RESERVOIRS AND AQUATIC ANIMALS IN THE AREA OF GOLD MINE. ADVISOR: THONGCHAI NGAMPRASERTWONG, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF.TASSANEE PRUEKSASIT, Ph.D., ASST. PROF.APICHAH IMYIM, Ph.D., 107 pp.

The concentrations of As Hg, Pb, Mn, Ni, Cu, Zn and Cd in surface water, sediments and aquatic animals from the area of gold mine at Phichit province were investigated in order to evaluate health risk of local people from fish ingestion exposure. The samples were collected 3 times from ponds inside the area of gold mine during August 2015, November 2015 and February 2016, and outside area on November 2016. All samples of water, sediments and aquatic animals were digested, and then amounts of heavy metals in samples were determined by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry for Pb, Mn, Ni, Cu Zn and Cd and Atomic Absorption Spectrophotometry for As and Hg. Concentrations of As, Hg, Pb, Ni, Cu, Zn and Cd in surface water were below the maximum allowable levels of Thai standards. Concentrations of Mn in surface water ranged from 0.0055-2.079 mg/l which some samples exceeded Thai standards. Concentrations of As, Pb, Zn and Cd in sediments were below the maximum allowable levels of Canadian Sediment Quality Guidelines, whereas the concentrations of Ni, Cu, Mn and Hg exceeded the standard and ranged from 0.3719-18.89, 0.9499-45.35, 0.4233-874.1 and 0.0571-0.8387 mg/kg dry weight, respectively. The amounts of all heavy metals in surface water and sediment samples inside the area of gold mine were higher than those outside the area of gold mine. The As, Mn, Ni, Cu and Zn concentrations in 15 freshwater species (13 fishes, 1 shrimp and 1 snail) were below the maximum allowable heavy metal levels in food, whereas the concentrations of Cd, Hg and Pb exceeded the standard and ranged from <0.00009-0.6024, <0.0002-16.78 and <0.0006-1.358 mg/kg wet weight, respectively. Based on long-term health risk assessment, the consumption of aquatic species in the area of gold mine can induce the non-carcinogenic risk from exposure. The hazard quotient (HQ) levels of As, Cu, Mn and Hg in *Pomacea canaliculata* were more than 1 corresponding with HQ levels of Hg in *Macrobrachium lanchesteri*, *Mystus multiradiatus* and *Anabas testudineus*. The long-term ingestion exposure of As in *Pomacea canaliculata* can induce the cancer risk. Long-term hazard indices (HI) of *Pomacea canaliculata*, *Anabas testudineus*, *Mystus multiradiatus*, *Esomus metallicus* and *Macrobrachium lanchesteri* were 13, 7.6, 4.8, 3.4 and 2.2, respectively indicating the high risk from long-time ingestion exposure.

Field of Study: Environmental Science

Academic Year: 2016

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือของบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรรศนีย์ พลุกษาสีหิ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ อิมย์ม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งอาจารย์ทั้งสามท่านให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ดูแลแก้ไขปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ และรองศาสตราจารย์ ดร.กำธร ธีรคุปต์ ที่สละเวลาเพื่อเป็นกรรมการ สอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และให้คำแนะนำ เพื่อนำไปแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน) อ.ทับคล้อ จ.พิจิตร ที่ให้ความ อนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่าง อำนวยความสะดวก และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลและภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือในการเก็บตัวอย่าง และห้องปฏิบัติการใน การทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ และเพื่อนจากสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดการทำ วิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบิดาและมารดาที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจอย่างดีในการทำ วิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 วิธีดำเนินการ.....	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ข้อมูลทั่วไปของโลหะหนัก	6
2.2 การสะสมสารพิษในสิ่งมีชีวิต.....	8
2.3 เกณฑ์มาตรฐานของโลหะหนักแต่ละชนิดในแหล่งน้ำผิวดินและสัตว์น้ำ	10
2.4 ค่าปัจจัยความเข้มข้นทางชีวภาพ.....	10
2.5 การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ.....	11
2.6 เหมืองแร่ทองคำ	16
2.7 การศึกษาปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำและสัตว์น้ำจากพื้นที่ต่างๆ.....	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	24

3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย	24
3.2 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง	25
3.3 การเก็บตัวอย่าง.....	25
3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	26
3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ	30
3.6 การคำนวณค่าปัจจัยความเข้มข้นทางชีวภาพ	31
3.7 การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ.....	31
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล.....	34
4.1 การหา LOD และ LOQ	34
4.2 ปริมาณโลหะหนักของน้ำผิวดิน	34
4.3 ปริมาณโลหะหนักของตะกอนดิน	42
4.4 การศึกษาปริมาณโลหะหนักในสัตว์น้ำ	51
4.5 การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ	72
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	83
5.1 ปริมาณของโลหะหนักในน้ำผิวดินจากพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ	83
5.2 ปริมาณของโลหะหนักในตะกอนดินจากพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ	83
5.3 การศึกษาปริมาณของโลหะหนักในสัตว์น้ำจากพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ	84
5.4 ข้อเสนอแนะ	85
รายการอ้างอิง	86
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก	94
ภาคผนวก ข	95
ภาคผนวก ค	100

ณ

หน้า

ภาคผนวก ง..... 103

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 107



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ข้อมูลทั่วไปของโลหะหนักแต่ละชนิด	7
ตารางที่ 2.2 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในแหล่งน้ำผิวดิน (mg/l) และ สัตว์น้ำ (mg/kg).....	10
ตารางที่ 2.3 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต.....	12
ตารางที่ 2.4 สิ่งคุกคามสุขภาพและผลกระทบต่อสุขภาพ	13
ตารางที่ 2.5 ปริมาณอ้างอิงความปลอดภัยจากการบริโภค	16
ตารางที่ 2.6 ปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำของการศึกษานี้กับพื้นที่อื่น (mg/l)	21
ตารางที่ 2.7 ปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินของการศึกษานี้กับพื้นที่อื่น (mg/kg dry weight)	22
ตารางที่ 2.8 ปริมาณโลหะหนักในสัตว์น้ำของการศึกษานี้กับพื้นที่อื่น (mg/kg wet weight).....	23
ตารางที่ 3.1 พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง	24
ตารางที่ 4.1 LOD และ LOQ ของโลหะหนักชนิดต่างๆ.....	34
ตารางที่ 4.2 ชนิดและจำนวนของตัวอย่างสัตว์น้ำที่พบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง	52
ตารางที่ 4.3 ปริมาณโลหะหนักในสารอ้างอิงที่รับรอง DORM-4 และ DORM-2	53
ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในเนื้อแต่ละส่วนของปลาตะเพียนขาวและปลา ยี่สก (mg/kg wet weight)	67
ตารางที่ 4.5 ปัจจัยการสะสมทางชีวภาพระหว่างสัตว์น้ำกับน้ำ.....	70
ตารางที่ 4.6 ปัจจัยการสะสมทางชีวภาพระหว่างสัตว์น้ำกับตะกอนดิน	71
ตารางที่ 4.7 ข้อมูลจากการทำแบบสอบถามพนักงานในพื้นที่เหมือง	73
ตารางที่ 4.8 ปริมาณสารปนเปื้อนที่มนุษย์ได้รับจากการบริโภคสัตว์น้ำต่อวัน (มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมต่อวัน) กรณีเป็นสารไม่ก่อมะเร็ง	75
ตารางที่ 4.9 ปริมาณสารปนเปื้อนที่มนุษย์ได้รับจากการบริโภคสัตว์น้ำต่อวัน (มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ต่อวัน) กรณีเป็นสารก่อมะเร็ง	76

ตารางที่ 4.10	การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนองกรณีเป็นสารไม่ก่อมะเร็ง (Hazard Quotient)	78
ตารางที่ 4.10	การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนองกรณีเป็นสารไม่ก่อมะเร็ง (Hazard Quotient)	79
ตารางที่ 4.11	ดัชนีแสดงค่าความเสี่ยงของ As Pb Cd Cu Zn Ni Mn และ Hg กรณีเป็นสารไม่ก่อมะเร็งโดยรวม (Hazard Index).....	80
ตารางที่ 4.12	การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนองต่อ As และ Pb ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง	81



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 วิธีดำเนินการ	5
ภาพที่ 2.1 แสดงการสะสมปริมาณสารพิษ DDT ในสิ่งมีชีวิต.....	9
ภาพที่ 2.2 กระบวนการผลิตของเหมืองแร่ทองคำ	18
ภาพที่ 3.1 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างภายในและภายนอกพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ.....	25
ภาพที่ 3.2 เนื้อแต่ละส่วนสำหรับการวิเคราะห์	29
ภาพที่ 4.1 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำ.....	35
ภาพที่ 4.2 ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำ.....	36
ภาพที่ 4.3 ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำ.....	37
ภาพที่ 4.4 ความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำ	38
ภาพที่ 4.5 ความเข้มข้นของปรอทในน้ำ	39
ภาพที่ 4.6 ปริมาณโลหะหนักในน้ำผิวดินแต่ละเดือน.....	41
ภาพที่ 4.7 ความเข้มข้นของตะกั่วในตะกอนดิน.....	43
ภาพที่ 4.8 ความเข้มข้นของนิกเกิลในตะกอนดิน.....	44
ภาพที่ 4.9 ความเข้มข้นของสังกะสีในตะกอนดิน.....	45
ภาพที่ 4.10 ความเข้มข้นของทองแดงในตะกอนดิน	46
ภาพที่ 4.11 ความเข้มข้นของแมงกานีสในตะกอนดิน.....	47
ภาพที่ 4.12 ความเข้มข้นของปรอทในตะกอนดิน.....	48
ภาพที่ 4.13 ปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินแต่ละเดือน	50
ภาพที่ 4.14 ความเข้มข้นของแคดเมียมในสัตว์น้ำ	55
ภาพที่ 4.15 ความเข้มข้นของตะกั่วในสัตว์น้ำ.....	56
ภาพที่ 4.16 ความเข้มข้นของนิกเกิลในสัตว์น้ำ.....	57

ภาพที่ 4.17 ความเข้มข้นของสังกะสีในสัตว์น้ำ.....	58
ภาพที่ 4.18 ความเข้มข้นของทองแดงในสัตว์น้ำ.....	59
ภาพที่ 4.19 ความเข้มข้นของแมงกานีสในสัตว์น้ำ.....	60
ภาพที่ 4.20 ความเข้มข้นของปรอทในสัตว์น้ำ.....	61
ภาพที่ 4.21 ปริมาณโลหะหนักในปลาชนิดเดียวกันแต่ละสถานี.....	64
ภาพที่ 4.22 แบบสอบถามพนักงานภายในพื้นที่เหมือง.....	72
ภาพที่ 4.23 Hazard Quotient.....	78



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ทรัพยากรแร่จัดเป็นทรัพยากรที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติประเภทใช้แล้วหมดไปที่มีความสำคัญต่อมนุษย์ ซึ่งแร่ที่มนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้สามารถพบได้ทั่วไป ในแต่ละพื้นที่จะมีปริมาณและคุณภาพของแร่ที่แตกต่างกัน ทรัพยากรแร่ที่พบจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์และคุ้มค่าได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและการบริหารจัดการที่เหมาะสมของประเทศ หากไม่มีการนำทรัพยากรแร่ภายในประเทศมาใช้ประโยชน์ จะต้องมีการนำเข้าแร่จากต่างประเทศเข้ามาเพื่อใช้ประโยชน์แทน แร่ที่นำเข้ามาภายในประเทศมีราคาสูงกว่าแร่ที่ผลิตได้ภายในประเทศ ทำให้เกิดการสูญเสียรายได้ ดังนั้นจึงมีการทำเหมืองแร่เกิดขึ้น ซึ่งการทำเหมืองแร่เป็นหนึ่งในประเภทกิจการที่พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 และพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ถือเป็นกิจการที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อชุมชนอย่างรุนแรงทั้งทางด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อม ทรัพยากรธรรมชาติ และสุขภาพ โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นอาจครอบคลุมผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิประเทศ คุณภาพอากาศ เสียง และความสั่นสะเทือน คุณภาพดิน และคุณภาพน้ำ รวมไปถึงสภาพแวดล้อมทางชีวภาพทั้งในบริเวณพื้นที่ตั้งเหมืองและพื้นที่ใกล้เคียง (กรมอนามัย, 2544; กระทรวงสาธารณสุข, 2529) เนื่องจากขั้นตอนและกระบวนการผลิตเหมืองแร่จำเป็นต้องใช้สารเคมีต่างๆ ในกระบวนการผลิต เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปูนขาว กรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น อีกทั้งในขั้นตอนการผลิตต่างๆ เช่น การบดย่อยสินแร่ อาจก่อให้เกิดการแพร่กระจายของสารมลพิษ การแยกแร่โดยใช้สารเคมี เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟูริก ส่งผลให้สารมลพิษเหล่านี้ปนเปื้อนในแม่น้ำหรือแหล่งน้ำอุปโภคบริโภค กิจกรรมเหมืองแร่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ทั้งในระยะสั้น เช่น คนงานมักได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิตจากการทำงานในเหมือง และระยะยาวพบว่าคนงานสามารถป่วยเป็นโรกระบบทางเดินหายใจ (Stephens & Ahern, 2001)

สัตว์น้ำจากแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารมลพิษที่เกิดจากกิจกรรมของเหมืองแร่ตามห่วงโซ่อาหาร โดยเฉพาะปลาเป็นสัตว์น้ำที่ถือว่าเป็นผู้บริโภคลำดับสูง ทำให้เกิดการสะสมของสารมลพิษในเนื้อเยื่อของสัตว์เพิ่มขึ้นตามลำดับขั้นของการบริโภคและมนุษย์จะได้รับสารมลพิษเข้าสู่ร่างกายจากการบริโภค (Ingestion Exposure) จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงและผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น กรมควบคุมมลพิษ (2552) พบว่าเหมืองแร่ตะกั่ว จังหวัดกาญจนบุรี บริเวณใต้โรงแต่งแร่ลงมาประมาณ 2.5 กิโลเมตร พบว่าตัวอย่างน้ำ สัตว์น้ำ เช่น ปลา กุ้ง และปู มี

ความเข้มข้นของตะกั่วสูงเกินกว่ามาตรฐานในอาหาร จนส่งผลให้ปริมาณตะกั่วในเลือดของประชาชนมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของตะกั่วในเลือดที่กำหนดไว้ที่ 10 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร

การศึกษานี้เป็นการศึกษาระดับการปนเปื้อนของปรอท สารหนู ตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม ในน้ำ ตะกอนดิน และสัตว์น้ำ บริเวณพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ จังหวัดพิจิตร เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสโลหะหนักในอาหารที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนโดยรอบทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ซึ่งการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นนี้ มีประโยชน์ต่อผู้ประกอบการกิจการเหมืองแร่ ประชาชน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ให้สามารถวางแผนและดำเนินการแก้ไขปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เหมืองแร่และพื้นที่โดยรอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนำไปสู่การคุ้มครองทางด้านสุขภาพ อีกทั้งยังลดความเสี่ยงทางด้านสิ่งแวดล้อมที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนจากการบริโภคสัตว์น้ำ ส่งผลให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนของการประกอบกิจการเหมืองแร่และสิ่งแวดล้อมตามจุดประสงค์ของโครงการต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักที่สะสมในแหล่งน้ำและสัตว์น้ำ
- 2) เพื่อประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสโลหะหนักผ่านทาง การบริโภคสัตว์น้ำ

1.3 สมมติฐาน

- ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำที่ได้รับผลกระทบจากเหมืองมีความเข้มข้นเกินค่าเกณฑ์มาตรฐาน
- ความเข้มข้นของโลหะหนักที่สะสมในสัตว์น้ำมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำนั้นๆ
- การได้รับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคสัตว์น้ำจากแหล่งน้ำที่ได้รับผลกระทบจากเหมืองมีความเสี่ยงต่อสุขภาพได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ระยะเวลาและความถี่ในการเก็บตัวอย่าง

ทำการศึกษาในเดือนสิงหาคมและพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 เดือนกุมภาพันธ์และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 เก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอนดิน และสัตว์น้ำรวมทั้งสิ้น 4 ครั้ง

1.4.2 พื้นที่ศึกษา

เก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอนดิน และสัตว์น้ำที่ชาวบ้านจับขึ้นมาจากแหล่งน้ำทั้ง 5 สถานี ในพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ ตำบลเขาเจ็ดยอด อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร โดยเก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำ 5 แห่ง ซึ่งมีข้อมูลว่ามีการจับสัตว์น้ำจากแหล่งน้ำเพื่อนำไปบริโภค ได้แก่ บ่อตกตะกอนที่ 2 (ST11) บ่อรับน้ำฉุกเฉินของ TSF1 (ST17) บ่อตกตะกอนข้างคลังระเบิด (ST20) บ่อตะกอน 4 (ST27) และสระน้ำหลังศูนย์เพาะชำ (ST32) และนอกพื้นที่เหมือง 3 แห่ง ได้แก่ วัดเขาเขต อ่างเก็บน้ำวัดเขาเขต และนาข้าว

1.4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ทำการวิเคราะห์ปริมาณของตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล ทองแดง สังกะสีและแคดเมียม ที่ปนเปื้อนในน้ำ ตะกอนดิน และสัตว์น้ำด้วยเทคนิค Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES) สารหนูและปรอทในสัตว์น้ำด้วยเทคนิค Cold vapor Atomic Absorption spectroscopy และในตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิค Cold vapor Atomic fluorescence spectroscopy

1.4.4 การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ

1) การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification) โดยการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสรุปว่าการได้รับสารเคมีที่มีองค์ประกอบของโลหะหนักใช้ในกระบวนการต่างๆ ของการประกอบกิจการเหมืองแร่มีผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์หรือไม่

2) การประเมินการรับสัมผัส (Exposure Assessment) โดยการประเมินจากความเข้มข้นของโลหะหนัก ความถี่การรับสัมผัส ระยะเวลาการสัมผัส และช่องทางการรับสัมผัสคือ การบริโภค โดยการทำแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลการบริโภคกับสัตว์น้ำกับพนักงานภายในเหมืองแร่ทองคำ

3) การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-Response Assessment) การประเมินขนาดของการสัมผัสระดับใดที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ จากการศึกษาปริมาณอ้างอิงความปลอดภัยจากการบริโภคของสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งสามารถเทียบได้จากค่า Reference Dose และ สารที่ก่อให้เกิดมะเร็งสามารถเทียบได้จากค่า Slope Factor

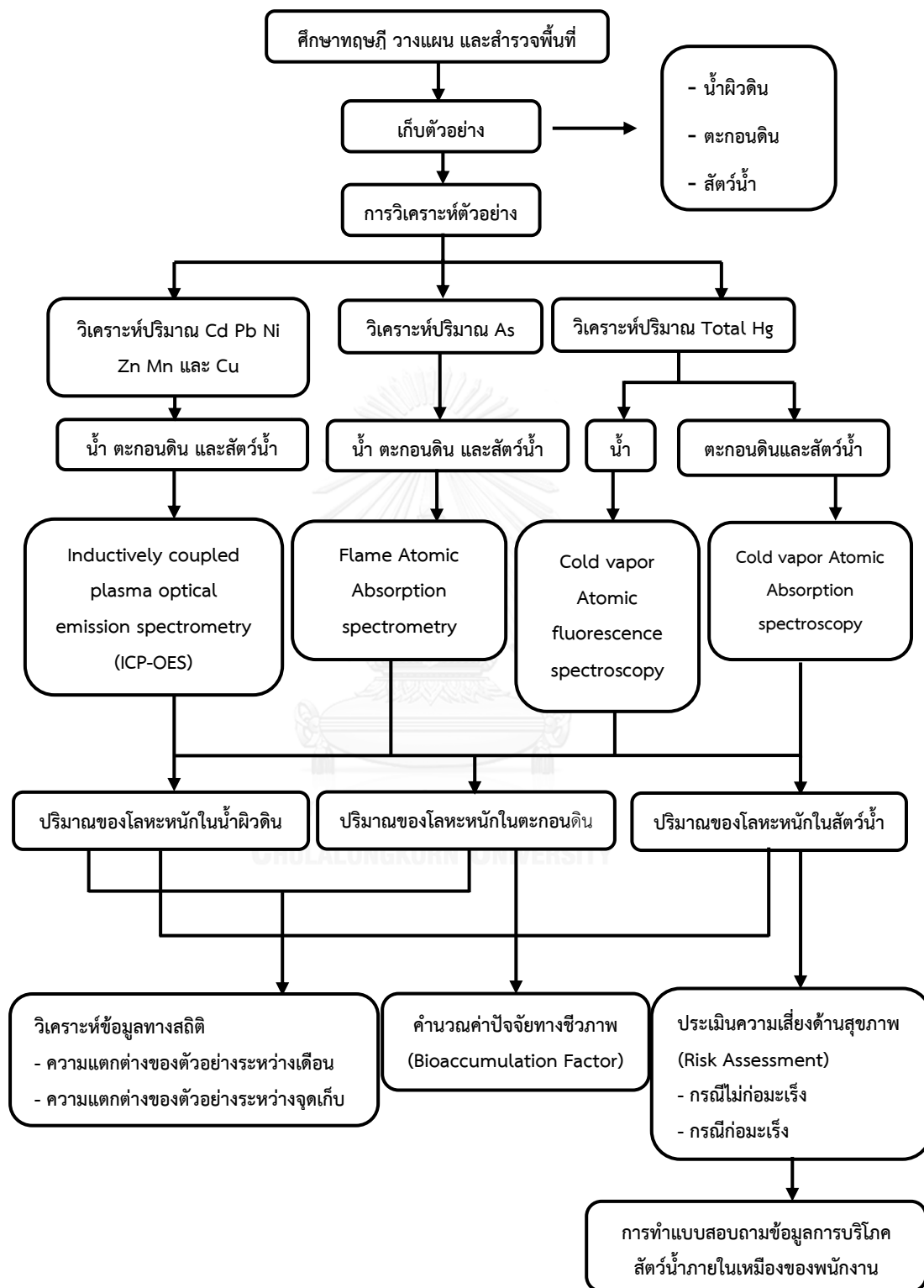
4) การอธิบายลักษณะของความเสียหาย (Risk Characterization) อธิบายถึงการสัมผัสสิ่งคุกคามในสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำของพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ โดยพิจารณาถึงความเสียหายต่อสุขภาพหากนำสัตว์น้ำจากแหล่งน้ำดังกล่าวไปบริโภค โดยการประเมินความเสี่ยงของการสัมผัสสารมลพิษ ที่คาดว่าจะก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogen) จะคำนวณหาค่าความเสี่ยง (Risk) และสารไม่ก่อมะเร็ง (Non-Carcinogen) จะคำนวณค่า Hazard index (HI)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสถานการณ์การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำ ตะกอนดิน และสัตว์น้ำจากพื้นที่เมืองแร่ทองคำ
2. ทราบถึงความเสี่ยงทางสุขภาพและปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคสัตว์น้ำจากพื้นที่เมืองแร่ทองคำ
3. ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการใช้เฝ้าระวังการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำ ตะกอนดิน และสัตว์น้ำจากพื้นที่เมืองแร่ทองคำ



1.6 วิธีดำเนินการ



ภาพที่ 1.1 วิธีดำเนินการ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปของโลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ดีบุก สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว สารหนู พรอท แคดเมียม เป็นต้น มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันดังตารางที่ 2.1 ซึ่งการบริโภคเป็นทางหนึ่งที่สามารถทำให้มนุษย์ได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายได้ เช่น การบริโภคกุ้ง หอย ปลา สหรัาย เป็นต้น จากการบริโภคตามห่วงโซ่อาหาร ความเป็นพิษของโลหะหนักขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมีของสารประกอบของโลหะหนักแต่ละชนิดและเส้นทางที่ร่างกายได้รับเข้าไป เช่น ระบบทางระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร ทางผิวหนัง เป็นต้น ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้เมื่อสะสมอยู่ในร่างกายจนถึงระดับหนึ่ง จะส่งผลให้แสดงอาการออกมาให้เห็น ซึ่งผลของความเป็นพิษของโลหะหนักต่อกลไกระดับเซลล์มี 5 แบบ คือ ทำให้เซลล์ตาย เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ ทำให้ความเสียหายต่อโครโมโซม ซึ่งเป็นปัจจัยทางพันธุกรรม เป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งและสาเหตุของการเกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม(สุทธิณี มีสุข, 2554)

รูปแบบของโลหะหนักที่เข้าไปสะสมในสิ่งมีชีวิตต้องสามารถปลดปล่อยออกมาได้ง่ายจากสิ่งแวดล้อม โดยรูปแบบของสารประกอบอินทรีย์หรือสารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายน้ำอยู่จะเป็นรูปแบบที่สามารถเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ ส่วนโลหะหนักที่อยู่ในรูปของของแข็งต้องมีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างเคมี จึงจะสามารถอยู่ในรูปที่เข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ ดังนั้นกระบวนการที่โลหะหนักเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตจากการถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหารและการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อสัตว์ โดยสามารถดูดซึมผ่านทางผิวหนังหรือดูดซึมเข้าสู่เซลล์หรือร่างกาย เมื่อมนุษย์บริโภคเข้าไปจะทำให้เกิดการสะสมสารพิษเพิ่มขึ้นตามลำดับขั้นของการบริโภค

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลทั่วไปของโลหะหนักแต่ละชนิด

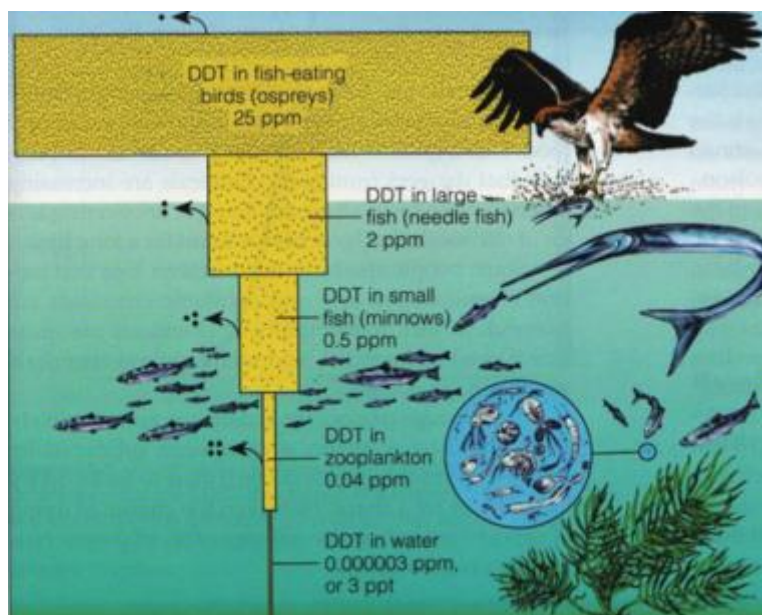
ธาตุ	ชื่อสามัญ	เลขอะตอม	มวลอะตอม	ประเภทธาตุ	ลักษณะ	แหล่งที่มา	ความเป็นพิษ
As	สารหนู	33	74.92	กึ่งโลหะ	ผงสีเทา	- พบในสายแร่ธรรมชาติ - ระเบิดภูเขาไฟ - เผาถ่านหิน - การถลุงแร่	- หัวใจล้มเหลว - ผิวหนังมีรอยต่างดํา - มีผลต่อทารกในครรภ์และเกิดการกลายพันธุ์
Pb	ตะกั่ว	82	207.1	โลหะ	สีชาวมํ้าเงิน	- พบในสายแร่ธรรมชาติ - อุตสาหกรรมแบตเตอรี่และเครื่องสำอาง	- เหงือกมีสีเงินปนเทา - แขนขาอ่อนแรง - เคลื่อนไหวช้า เสียการทรงตัว - สติปัญญาเสื่อม
Mn	แมงกานีส	25	54.94	โลหะ	สีชาวลายเงิน	- มักเกิดร่วมกับธาตุอื่น - อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาและเคลือบเซรามิก	- รู้สึกรสโลหะในปาก - มีบุตรยาก - มีอาการทางจิต - เสื่อมสมรรถภาพทางเพศ
Cu	ทองแดง	29	63.55	โลหะ	สีแดงแบบทองแดง	- พบในสายแร่ธรรมชาติ - อุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า	- ร่างกายสันเทาตลอดเวลา (Wilson Diseases) - ควบคุมการพูดลำบาก
Cd	แคดเมียม	48	112.4	โลหะ	สีขาวฟ้า	- มักอยู่ในรูปสารประกอบเกลือ - อุตสาหกรรมสารเคลือบโลหะและพลาสติก	- ไตและตับถูกทำลาย - สูญเสียการรับกลิ่น - โลหิตจาง
Ni	นิกเกิล	28	58.69	โลหะ	สีขาวเงินมีความมันวาว	- ในธรรมชาติมักทำปฏิกิริยากับธาตุกำมะถัน - อุตสาหกรรมผลิตเหรียญและโลหะอัลลอยด์	- ผนังจมูกทะลุ - สูญเสียการรับกลิ่น - มะเร็งในโพรงจมูก

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลทั่วไปของโลหะหนักแต่ละชนิด (ต่อ)

ธาตุ	ชื่อสามัญ	เลขอะตอม	มวลอะตอม	ประเภทธาตุ	ลักษณะ	แหล่งที่มา	ความเป็นพิษ
Zn	สังกะสี	30	65.41	โลหะ	สีเทา อ่อนแกม น้ำเงิน	- พบในสายแร่ ธรรมชาติ - อุตสาหกรรม เคลือบโลหะและ ผลิตยาง	- ปวดท้องรุนแรง - ทางเดินอาหารตีบตัน
Hg	ปรอท	80	200.6	โลหะ	สีขาว	- พบได้ในรูปของ โลหะปรอท เกลือ ปรอทอินทรีย์ และสารประกอบ ปรอทอินทรีย์	- มีผลต่อทารกในครรภ์ - การเคลื่อนไหว กล้ามเนื้อผิดปกติ - เหงือกบวมและมีเส้น ทึบสีน้ำเงิน - ประสาทหลอน

2.2 การสะสมสารพิษในสิ่งมีชีวิต

เมื่อสารเคมีถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่ตัวกลางในสิ่งแวดล้อม เช่น อากาศ น้ำ ดิน อาหาร จากนั้นจึงเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์และสัตว์ ในการกินกันต่อเป็นทอดๆ ของพืชและสัตว์ในห่วงโซ่อาหาร เมื่อสัตว์ในห่วงโซ่อาหารระดับบนกินพืชและสัตว์ในห่วงโซ่อาหารระดับล่างที่มีการปนเปื้อนสารเคมีเข้าไปมากๆ อาจทำให้สัตว์นั้นได้รับสารเคมีสะสมไว้ที่เนื้อเยื่อในความเข้มข้นสูงได้ เราเรียกว่าเกิด Bioaccumulation การได้รับสารพิษผ่านทางปากในกระบวนการกินอาหารพบว่าในธรรมชาติกระบวนการกินอาหารของสิ่งมีชีวิตเป็นกระบวนการพื้นฐานสำคัญที่ทำให้สิ่งมีชีวิตได้รับพลังงานและสารอาหาร ผ่านกระบวนการกินกันเป็นทอดๆ ตามลำดับชั้นการกินในห่วงโซ่อาหารเรียกว่าเกิด Biomagnification เช่น แพลงก์ตอนถูกปลาเล็กกินเป็นอาหาร ปลาเล็กจะได้รับพลังงานและสารอาหารจากแพลงก์ตอน เมื่อปลาเล็กถูกปลาใหญ่กิน ปลาใหญ่จะได้รับพลังงานและสารอาหารจากการกินปลาเล็ก และเมื่อปลาใหญ่ถูกมนุษย์กินอีกครั้ง พลังงานและสารอาหารก็จะถูกส่งต่อเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ตามลำดับชั้นของการกิน แต่สิ่งที่ส่งต่อไปตามห่วงโซ่อาหารนั้นไม่ได้มีเพียงพลังงานและสารอาหารเท่านั้น แต่อาจจะมีสารมลพิษอื่นปะปนมาด้วย เช่น ดีดีที ปรอท โลหะหนัก เป็นต้น สารเหล่านี้เป็นสารพิษที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการสร้างพลังงานให้แก่เซลล์ จึงสะสมอยู่ภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิตเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น แล้วถ่ายทอดต่อไปตามลำดับชั้นของการกิน โดยมีความเข้มข้นของสารพิษสูงสุดในร่างกายของผู้บริโภคลำดับสุดท้ายดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงการสะสมปริมาณสารพิษ DDT ในสิ่งมีชีวิต

ที่มา: Miller (2007)

กรณีตัวอย่างการถ่ายทอดสารพิษที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมสะสมเข้าสู่สิ่งมีชีวิตแล้วถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารแล้วส่งผลกระทบต่อมนุษย์ เช่น การเกิดโรคมินามาตะ (Minamata Disease) ในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการปล่อยน้ำเสียจากโรงงานแห่งหนึ่งที่ตั้งอยู่ริมทะเลในเมืองมินามาตะ โรงงานแห่งนี้ปล่อยน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารปรอทในรูปเมธิลเมอร์คิวรี (Methyl Mercury) ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต acetaldehyde ปล่อยลงสู่ทะเลโดยตรง ทำให้มีสารปรอทปนเปื้อนอยู่ในน้ำทะเลและตะกอนดินจำนวนมาก เกิดการสะสมสารปรอทในปลาและหอยสูงถึง 20-40 ppm โดยเกณฑ์มาตรฐานของสารปรอทที่กฎหมายญี่ปุ่นยอมให้มีในสิ่งแวดล้อมคือ ไม่เกิน 1 ppm ชาวบ้านในแถบนี้บริโภคปลา หอย และสัตว์ทะเลเป็นอาหารหลัก จึงทำให้ได้รับสารปรอทสะสมอยู่ในร่างกาย เมื่อเวลาผ่านไปประมาณช่วงกลางปี พ.ศ. 2499 พบว่าชาวบ้านมีลักษณะเหมือนขาดสารอาหารและมีอาการคล้ายวิกลจริตอย่างอ่อน กริ๊งร้อง นัยน์ตาดำขยายกว้าง แขนขาเคลื่อนไหวลำบาก มีการกระตุกตัวแข็ง แขน ขาบิดงออย่างรุนแรง ซึ่งเป็นผลจากสารที่ปรอทสะสมจำนวนมาก ทำให้ระบบประสาทส่วนกลางผิดปกติ โดยผลการตรวจพบปรอทในเส้นผมของผู้ป่วยสูงสุดถึง 705 ppm ซึ่งค่าสูงสุดที่พบในคนที่มีสุขภาพปกติคือ 191 ppm เปรียบเทียบกับผู้คนที่อาศัยในพื้นที่มินามาตะมีค่าเฉลี่ย 4.42 ppm นอกจากนี้ในผู้หญิงที่กำลังตั้งครรภ์ สารปรอทสามารถแทรกซึมไปตามสายรกและส่งผลกระทบต่อทารกในครรภ์ได้ เมื่อคลอดออกมาจะพิการแต่กำเนิดและเกิดความบกพร่องทางจิตหรือมีภาวะปัญญาอ่อน (Harada, 1995) และกรณีตัวอย่างการเกิดโรคอิไต อิไต (Itai-itai disease) ในปี พ.ศ. 2493 บริเวณแถบแม่น้ำจินสุ เขตโตยามา ประเทศญี่ปุ่น สาเหตุมาจากการทำเหมืองและถลุงโลหะของบริษัทมิตซุซุ ทำอุตสาหกรรมการผลิตโลหะทองแดง ตะกั่ว และ

สังกะสี ปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำและลักลอบนำกากโลหะจากโรงงานทิ้งลงสู่แม่น้ำ ทำให้ไหลเข้าสู่หน้า
 ข้าวของชาวบ้าน เมื่อชาวบ้านที่อาศัยในแถบนั้น นำไปบริโภคเกิดอาการเจ็บปวดที่กระดูกตามกระดูก
 สันหลัง ซีโครง ขาและแขน ต่อมาทำให้กระดูกเสียรูปทรงไปจากเดิมและทำให้เกิดกระดูกแตกและ
 หักได้ง่าย การระบาดในครั้งนี้นำให้มีชาวบ้านเสียชีวิตไปกว่า 100 คน โดยมีการค้นพบว่าสาเหตุมา
 จากการใช้บริโภคข้าวที่ปนเปื้อนสารแคดเมียมเป็นเวลานานมากกว่า 30 ปี (Yoshida, Hata, &
 Tonegawa, 1999)

2.3 เกณฑ์มาตรฐานของโลหะหนักแต่ละชนิดในแหล่งน้ำผิวดินและสัตว์น้ำ

2.3.1 เกณฑ์มาตรฐานของโลหะหนักแต่ละชนิดในแหล่งน้ำผิวดิน

ปัจจุบันมีการกำหนดความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดทั้งในระดับประเทศและ
 ระดับนานาชาติ ซึ่งได้มีการกำหนดปริมาณของโลหะหนักแต่ละชนิดที่ยอมให้มีปนเปื้อนในแหล่งน้ำผิ
 ดินและสัตว์น้ำดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในแหล่งน้ำผิวดิน (mg/l) และสัตว์น้ำ
 (mg/kg)

	As	Cd	Pb	Ni	Zn	Cu	Mn	Hg	อ้างอิง
น้ำผิวดิน	0.01	0.005	0.05	0.1	1.0	0.1	1.0	0.002	กรมควบคุมมลพิษ (2537)
น้ำผิวดิน	-	0.005	0.05	0.05	1.0	0.1	-	0.001	FDEP (1997)
เนื้อปลา	0.5	0.1	0.5	-	50	50	-	0.5	FAO/WHO (2011)
กุ้ง	-	0.5	0.5	-	-	-	-	-	USFDA (2003)
หอย	-	1.0	1.0	-	-	-	-	-	USFDA (2003)
อาหารทั่วไป	2	1.0	1.0	-	100	20	-	0.5	กระทรวงสาธารณสุข (2529)

2.4 ค่าปัจจัยความเข้มข้นทางชีวภาพ

ค่าปัจจัยความเข้มข้นทางชีวภาพ (Bioaccumulation factor; BAF) เป็นดัชนีที่ใช้
 ในการแสดงการสะสมของสารเคมีของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ซึ่งสารเคมีในสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ใน
 ส่วนที่เป็นไขมัน และบางส่วนจะรวมตัวกับชีวโมเลกุลอื่นในเซลล์ เช่น โปรตีน จึงทำให้ความเข้มข้น
 ของสารเคมีภายในสิ่งมีชีวิตมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นที่ละลายอยู่ในน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการ
 2.1 และ 2.2 (Mackay & Fraser, 2000)

$$BAF_{\text{สัตว์น้ำ}} = \frac{\text{ความเข้มข้นของสารเคมีในปลา (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเปียก)}}{\text{ความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)}} \quad (2.1)$$

$$BAF_{\text{สัตว์น้ำ}} = \frac{\text{ความเข้มข้นของสารเคมีในปลา (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเปียก)}}{\text{ความเข้มข้นของสารเคมีในตะกอนดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)}} \quad (2.2)$$

2.5 การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ

ความเสี่ยง หมายถึง ลักษณะของสถานการณ์หรือการกระทำใดๆ ที่มีผลลัพธ์ได้มากกว่า 2 อย่าง ผลลัพธ์นี้ไม่สามารถบอกได้แน่นอนว่าจะเกิดขึ้นหรือไม่ และอย่างน้อยหนึ่งในผลลัพธ์ไม่พึงประสงค์ (พงศ์เทพ วิวรรณะเดช, 2547)

การประเมินความเสี่ยง หมายถึง กระบวนการประเมินโอกาสและความรุนแรงที่จะเกิดขึ้นกับมนุษย์ หรือสิ่งแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์กับสิ่งคุกคาม กระบวนการ การกระทำหรือเหตุการณ์

การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ หมายถึง การศึกษาโอกาส หรือความน่าจะเป็นของผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งสิ่งแวดล้อมที่ได้รับผลกระทบนี้จะหมายถึง สิ่งคุกคาม (hazard) การประเมินความเสี่ยงจัดเป็น “กระบวนการ” ของความคิดที่กระทำเพื่อให้ทราบว่าคุณเสี่ยงนั้นมีมากหรือน้อยเพียงใด แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Quantitative Risk Assessment) การศึกษาที่เน้นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถตรวจวัดค่าเป็นตัวเลขโดยอาศัยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์หรือการทดสอบตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถอธิบายโดยใช้หลักการและเหตุผล สามารถทดลองซ้ำได้ และการประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ (Qualitative Risk Assessment) การศึกษาเพื่อที่จะอธิบายปรากฏการณ์เชิงสังคมศาสตร์และมานุษยวิทยา โดยอาศัยข้อมูลที่ใช้วิธีการสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (in-depth interview) การศึกษานี้ทำทั้ง 2 วิธีดังกล่าวควบคู่กัน เนื่องจากผลที่ได้จากการศึกษาทั้ง 2 วิธีร่วมกัน ทำให้ผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปสู่แนวทางการแก้ปัญหาได้ตรงจุดมากกว่าการศึกษาเพียงแค่วิธีใดวิธีหนึ่ง

กระบวนการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพมี 4 ขั้นตอน

2.5.1 การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification) คือ กระบวนการในการบ่งชี้ว่าสิ่งใดหรือภาวะใดเป็นปัจจัยคุกคาม นั่นคือหากมนุษย์สัมผัสสิ่งนั้นหรือภาวะนั้นอาจก่อให้เกิดปัญหาทางสุขภาพขึ้นได้ การบ่งชี้สิ่งคุกคามสามารถบอกได้ว่าอะไรบ้างที่เป็นสิ่งคุกคาม มีการศึกษาแนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยง กรณีเหมืองแร่ทองคำ โดยกระทรวงสาธารณสุข (2558) พบว่าสารเคมีหรือสารมลพิษที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ ของการประกอบกิจการเหมืองแร่แสดงดังตารางที่ 2.3 และผลกระทบทางสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการได้รับแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต	สารเคมีที่ใช้	ทำหน้าที่
กระบวนการบดละเอียด	ปูนขาว (Quick Lime)	ควบคุมความเป็นด่าง
กระบวนการชะละลายโลหะและ กระบวนการดึงโลหะออกจากเม็ด ถ่านกัมมันต์	สารละลายโซเดียมไซยาไนด์ (NaCN)	ใช้แยกทองและเงินออกจากสินแร่
	โซดาไฟ (NaOH)	ชะละลายหิวแร่และปรับค่าความเป็น เป็นด่างของน้ำให้มีค่ามากกว่า 10.5 ในระหว่างการผสมไซยาไนด์
	สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl)	กำจัดแคลเซียมออกจากผิวของเม็ด ถ่านกัมมันต์
กระบวนการหลอมโลหะ	โซเดียมบอเรตหรือบอแรกซ์ (Borax)	ทำปฏิกิริยาและรวมตัวกับเหล็ก และแร่ลทินอื่นๆ แยกตัวออกจาก โลหะผสมทองคำและเงิน
	ซิลิกอนไดออกไซด์หรือผงซิลิกา (Silica Sand: SiO ₂)	
	โซเดียมคาร์บอเนตหรือโซดาแอส (Sodium Carbonate or Soda Ash)	
	โซเดียมไนเตรต (Sodium Nitrate)	
การแต่งแร่	กรดซัลฟามิก (Sulfamic Acid)	ทำความสะอาดตะแกรงต่างๆ ใน กระบวนการแต่งแร่
	สารช่วยตกตะกอน	ตกตะกอนกากสินแร่เปียก
	ถ่านกัมมันต์	ดูดซับโลหะทองคำและเงิน
การกำจัดไซยาไนด์	สารละลายโซเดียมไบซัลไฟท์ (NaHSO ₃)	เปลี่ยนไซยาไนด์ในรูปอิสระให้เป็น โซเดียมไซยาเนต ซึ่งจะมีความเป็นพิษ น้อยลง
	คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	
	สารละลายกรดซัลฟูริก (H ₂ SO ₄)	ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง

ที่มา: กระทรวงสาธารณสุข (2558)

ตารางที่ 2.4 สิ่งคุกคามสุขภาพและผลกระทบต่อสุขภาพ

สิ่งคุกคามต่อสุขภาพ	ผลกระทบต่อสุขภาพ
สารละลายโซเดียมไซยาไนด์ (Sodium Cyanide)	<ul style="list-style-type: none"> - มีฤทธิ์กัดกร่อนเมื่อสัมผัสกับเยื่อบุทางเดินหายใจหรือทางเดินอาหาร - ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบหายใจ และจะเป็นพิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง - ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายผ่านทางผิวหนังได้ เป็นพิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ ง่วงซึม คลื่นไส้ เป็นลม ควบคุมระบบหายใจ หายใจ และหัวใจหยุดเต้น - การสัมผัสเรื้อรังจะทำให้เกิดผื่นคัน ผื่นแดง ผื่นพุพอง ปวดศีรษะ คลื่นไส้ วิงเวียนศีรษะ และอาจทำให้เกิดภูมิแพ้ได้
คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper Sulphate)	<ul style="list-style-type: none"> - เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ผื่นแดง ตา - หากได้รับโดยการกลืนหรือกินเข้าไป ทำให้ท้องร่วง และเป็นแผลในกระเพาะอาหาร คลื่นไส้ อาเจียน หมดสติ และชักได้
กรดเกลือ (Hydrochloric)	<ul style="list-style-type: none"> - มีอันตรายต่อผิวหนัง ตา และเยื่อบุ ทำให้ระคายเคืองตาอย่างรุนแรง ปวดแสบ และอาจบอดได้
โซเดียมไนเตรต (Sodium Nitrate)	<ul style="list-style-type: none"> - ก่อให้เกิดการระคายเคืองเยื่อเมือกและทางเดินหายใจส่วนบน มีอาการไอ หายใจถี่ เจ็บคอ น้ำมูกไหล - การสัมผัสผิวหนังจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผิวหนัง เป็นผื่นแดง บวมและเจ็บปวด - การสัมผัสผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองเป็นผื่นแดง ตาบวม น้ำตาไหล และเจ็บปวด - สารนี้เป็นสารก่อมะเร็ง ทำลายเลือด ประสาท หัวใจ ปอด
เซเลเนียม (Selenium)	<ul style="list-style-type: none"> - ระคายเคืองต่อระบบหายใจ ผื่นแดง ตา - เมื่อได้รับสารนี้เป็นเวลานานจะทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) บกพร่อง เป็นพิษต่อตับ ไต ท่อปัสสาวะ กระเพาะ และลำไส้
ดีบุก (Tin)	<ul style="list-style-type: none"> - ระคายเคืองทางเดินหายใจ ผื่นแดง ตา
อะลูมิเนียม (Aluminum)	<ul style="list-style-type: none"> - มีผลต่อการทำงานของสมอง เกิดอาการผิดปกติเกี่ยวกับการพูด มีอาการสั่น กล้ามเนื้อกระตุก ชัก - อาจทำให้เกิดพังผืดในเนื้อปอด (pulmonary fibrosis) ได้

ตารางที่ 2.4 สิ่งคุกคามสุขภาพและผลกระทบต่อสุขภาพ (ต่อ)

สิ่งคุกคามต่อสุขภาพ	ผลกระทบต่อสุขภาพ
สังกะสี (Zinc)	- ระคายเคืองผิวหนังตา - เมื่อหายใจเข้าไปทำให้มีรสหวาน คอแห้ง ไอ อ่อนเพลีย เป็นไข้ คลื่นไส้ อาเจียน
ทองแดง (Copper)	- ระคายเคืองจมูก ปาก และตา ทำให้ปวดศีรษะ ปวดท้อง มึนงง อาเจียนและท้องร่วง การได้รับทองแดงปริมาณมากจะทำลายตับและไต - ทำให้เกิดโรควิลสัน (Wilson's Disease)
แคดเมียม (Cadmium)	- หากได้รับแบบเฉียบพลันทำให้ คลื่นไส้ อาเจียนรุนแรง ท้องร่วง ระคายเคืองที่หลอดลม ปอด จมูก ลาคอ ไอ เวียนศีรษะ - อาการเรื้อรังทำลายกระดูก ปรากฏเด่นชัดในกรณีการเกิดโรค อีไต อีไต - เป็นสารก่อมะเร็ง
แมงกานีส (Mn)	- เมื่อหายใจเข้าไป จะมีอาการไข้สูง แน่นหน้าอกและหอบเหนื่อย เจ็บคอ ไอมีเสมหะ - ระบบที่จะได้รับผลกระทบมากที่สุดสำหรับการสัมผัสแบบเรื้อรัง คือระบบประสาท สารแมงกานีสจะทำให้เกิดอาการทางสมอง
นิกเกิล (Nickel)	- ระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ ทางเดินอาหาร ผิวหนัง ตา
สารหนู (Arsenic)	- ระคายเคืองทางเดินหายใจ ผิวหนัง ตา - เป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม A1 ตามบัญชีรายชื่อของ American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) - ทำลายตับ ไต ปอด ระบบหายใจ เลือด ก่อให้เกิดเนื้องอก
ปูนขาว (Calcium carbonate)	- อาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง และเยื่อจมูกได้ - การหายใจเข้าไปจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจส่วนบน คอและจมูก
ตะกั่ว (Lead)	- สารนี้ถูกจัดให้เป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง กลุ่ม A3 - สารนี้มีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ระบบการย่อยอาหาร ไต โลหิตจาง การเจริญพันธุ์ การพัฒนาการของทารกในครรภ์

ตารางที่ 2.4 สิ่งคุกคามสุขภาพและผลกระทบต่อสุขภาพ (ต่อ)

สิ่งคุกคามต่อสุขภาพ	ผลกระทบต่อสุขภาพ
กรดซัลฟามิก (Sulfamic Acid)	<ul style="list-style-type: none"> - ทำให้เกิดการระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากสารนี้เป็นฝุ่นหรืออาจทำให้เกิดฝุ่น มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน - การสัมผัสผิวหนัง อาจเป็นสาเหตุทำให้ผิวหนังเกิดการระคายเคืองเล็กน้อย ผื่นแดง และผิวหนังไหม้ - การสัมผัสถูกตา จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตาเล็กน้อย เกิดอาการปวดแสบปวดร้อน น้ำตาไหล ตาแดง และแผลไหม้
ไซยาไนด์ (cyanide)	<ul style="list-style-type: none"> - เมื่อหายใจเข้าไปจะเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ปอด เข้าสู่กระแสเลือด - สัมผัสทางผิวหนัง จะถูกดูดซึมเข้าสู่ผิวหนังอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะบริเวณที่มีบาดแผล ไอของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์จะทำลาย เรตินาและประสาทตา ทำให้ตาบอด - หากกลืนกินเข้าไป สามารถถูกดูดซึมเข้าสู่ผนังชั้นในของกระเพาะอาหารได้อย่างรวดเร็ว กรดในกระเพาะอาหารยังทำให้เกิดการแตกตัวของสารประกอบไซยาไนด์ได้ดี - การสะสมในร่างกายจะส่งผลกระทบต่อระบบการหายใจ หายใจติดขัด ต่อมไทรอยด์โต และยังมีผลต่อการเกิดโรคต่างๆ ที่เกี่ยวกับระบบการหายใจ สมอ และการมองเห็น

ที่มา: กระทรวงสาธารณสุข (2558)

2.5.2 การประเมินการรับสัมผัส (Exposure Assessment) คือ การประเมินระดับการสัมผัสของแต่ละบุคคล ประชากร หรือระบบนิเวศได้รับมีมากน้อยเพียงใด โดยคำนึงถึงขนาดการสัมผัส (dose) ระยะเวลาที่สัมผัส (duration) และเส้นทางการสัมผัส (routes of exposure)

2.5.3 การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-Response Assessment) คือ การประเมินขนาดของการสัมผัสระดับใดที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้สามารถแบ่งระดับการสัมผัสเป็นระดับปลอดภัยกับระดับที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณการสัมผัสสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ สารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งและสารที่คาดว่าจะก่อให้เกิดมะเร็ง จากการศึกษาปริมาณความปลอดภัยของสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งสามารถเทียบได้จากค่า Reference Dose และ สารที่ก่อให้เกิดมะเร็งสามารถเทียบได้จากค่า Slope Factor ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณอ้างอิงความปลอดภัยจากการบริโภค

ชนิด	Slope Factor (SF) (mg/kg.day)	Reference Dose (RfD) (mg/kg.day)	อ้างอิง
As	1.5	0.0003	USEPA (1984)
Cd	N.D.	0.001	USEPA (1999)
Pb	0.0085	0.02	USEPA (1999)
Mn	N.D.	0.14	USEPA (1999)
Ni	N.D.	0.02	USEPA (1986)
Zn	N.D.	0.30	USEPA (2003)
Cu	N.D.	0.04	USEPA (1997)
Hg	N.D.	0.0001	USEPA (1997)

2.5.4 การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization) คือ การวิเคราะห์ข้อมูลจากทั้ง 3 ขั้นตอนดังที่กล่าวข้างต้น เพื่อนำมาประเมินว่าการสัมผัสสิ่งคุกคามในสภาพที่เป็นอยู่นั้น ถือเป็นความเสี่ยงต่อสุขภาพหรือไม่ ในที่นี้การทำกิจกรรมต่างๆ ของเหมืองแร่ คนงานแต่ละคนย่อมจะมีความเสี่ยงต่อสุขภาพที่แตกต่างกันไปตามสิ่งคุกคามที่สัมผัส รายละเอียดที่ต้องพิจารณาในขั้นตอนนี้คือ สามารถบอกได้ว่าความเสี่ยงต่อปัจจัยคุกคามที่สนใจระดับของความเสี่ยงมีมากน้อยแค่ไหน มีความเสี่ยงอย่างไร ใครเป็นผู้ที่มีความเสี่ยงสูงสุด ลักษณะงานหรือกิจกรรมแบบใดที่ทำให้เกิดความเสี่ยงสูงสุด

2.6 เหมืองแร่ทองคำ

การเกิดแร่ทองคำมี 2 ลักษณะใหญ่ ได้แก่ การเกิดทองคำอยู่ในสายแร่ควอตซ์และอาจมีแร่ไพไรต์หรือแร่ซัลไฟต์อื่นๆ ซึ่งสายแร่ควอตซ์มักแทรกตัวเข้าไปในหินชนิดอื่น ลักษณะการเกิดทองคำดังกล่าวเรียกว่า แผลงแร่ปฐมภูมิ หมายถึง สิ้นแร่ ที่เกิดในช่วงเวลาเดียวกับการเกิดแผลงแร่และการเกิดทองคำที่มีลักษณะเป็นก้อน แผ่นขนาดเล็กปะปนกับตะกอนชนิดอื่นหรือทองคำที่อาจถูกพัดพามาจากแหล่งต้นกำเนิด ลักษณะการเกิดทองแบบนี้เรียกว่า แผลงทุติยภูมิ หมายถึง แผลงแร่จะเกิดภายหลังการเกิดของสิ้นแร่

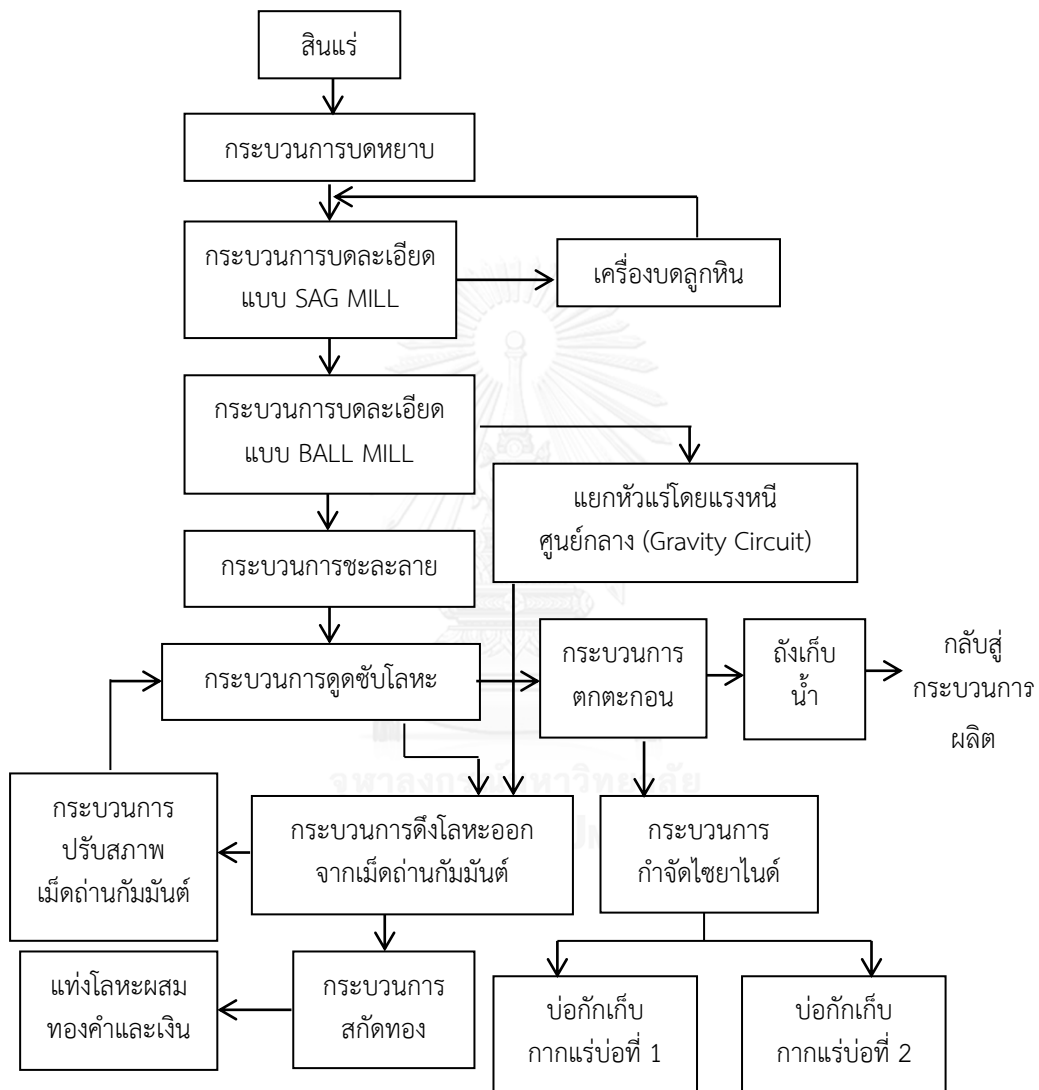
2.6.1 การทำเหมืองแร่ทองคำ

การทำเหมืองแร่ทองคำโดยทั่วไปมี 2 วิธี (อานนท์ นนทโส, 2554) ได้แก่ การทำเหมืองแร่ทองคำแบบเหมืองเปิดเหมาะสำหรับแหล่งที่มีแร่ทองคำอยู่ไม่ลึกจากผิวดิน การทำเหมืองลักษณะนี้จำเป็นต้องใช้พื้นที่หน้าเหมืองมาก โดยเริ่มจากการเปิดหน้าดินลึกลงไปจนถึงแหล่งที่มีแร่ทองคำ ถ้าแหล่งแร่อยู่ในระดับที่มีความลึกมาก ยังจำเป็นต้องเปิดหน้าเหมืองให้กว้างขึ้น ซึ่งจะแบ่งทำเป็นชั้นๆ ลักษณะคล้ายขั้นบันได และการทำเหมืองแร่ทองคำแบบเหมืองใต้ดินเหมาะสำหรับแหล่งที่มีแร่ทองคำอยู่ลึกจากผิวดินมาก การทำเหมืองลักษณะนี้จำเป็นต้องใช้พื้นที่หน้าเหมืองน้อย โดยเริ่มจากการเปิดหน้าดินและนำแร่ขึ้นมาบนพื้นดิน

2.6.2 กระบวนการผลิตทองคำและเงิน

เมื่อขุดสินแร่ขึ้นมาจากบ่อเหมืองจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องบดหยาบ เพื่อบดให้สินแร่มีขนาดเล็กกว่า 125 มิลลิเมตร จากนั้นสินแร่ขนาดเล็กกว่า 125 มิลลิเมตร จะถูกส่งเข้ากระบวนการบดละเอียดแบบเปียก ซึ่งประกอบไปด้วยหม้อบดชนิด SAG Mill และ Ball Mill จนกระทั่งสินแร่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน สินแร่หยาบที่ไม่ได้ขนาดจะถูกส่งไปกระบวนการแยกหัวแร่โดยใช้แรงหนีศูนย์กลาง (Gravity-Recovery) เพื่อคัดเอาหัวแร่ออกมาเพื่อนำไปชะละลายหัวแร่ (Inline Leach Reactor) สารละลายที่มีโลหะทองคำและเงินจะถูกสูบไปเก็บไว้ในถังก่อนเข้าสู่กระบวนการแยกโลหะด้วยเซลล์ไฟฟ้า ส่วนหางแร่จะถูกส่งกลับไปบดที่หม้อบด Ball Mill สินแร่เปียกขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน ที่ผ่านกระบวนการบดละเอียดจะถูกส่งเข้าสู่ถังชะละลาย (Leach Tank) โดยใช้สารละลายโซเดียมไซยาไนด์ ชะละลายสินแร่ทองคำและเงินให้ออกมาอยู่ในรูปของสารละลาย และใช้เม็ดถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นตัวดูดซับเอาโลหะทองคำและเงินมาไว้ที่ผิวของเม็ดถ่าน เม็ดถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับโลหะทองคำและเงินไว้จะถูกแยกออกจากสินแร่เปียก โดยใช้ตะแกรงเพื่อนำไปล้างทำความสะอาดด้วยสารละลายกรดเกลือเจือจางก่อนที่จะถูกดึงโลหะทองคำและเงินออกจากผิวของเม็ดถ่านกัมมันต์โดยใช้สารละลายโซเดียมไซยาไนด์และโซดาไฟ เพื่อให้โลหะทองคำและเงินกลับมาอยู่ในรูปสารละลายอีกครั้ง ส่วนกากแร่ที่ผ่านการชะละลายทองคำและเงินออกจากสินแร่แล้วถูกส่งต่อไปยังถังกรอง เพื่อตกตะกอนกากแร่ แล้วนำน้ำมาหมุนเวียนใช้ใหม่ในกระบวนการ กากแร่จะถูกส่งไปยังกระบวนการกำจัดไซยาไนด์ก่อนที่จะถูกส่งไปเก็บไว้ที่เก็บกากแร่ สารละลายที่มีโลหะทองคำและเงินจากกระบวนการดึงโลหะออกจากผิวเม็ดถ่านกัมมันต์ข้างต้น และจากกระบวนการชะละลายหัวแร่ (Inline Leach Reactor) จะถูกป้อนเข้าสู่เซลล์ไฟฟ้า เพื่อทำหน้าที่แยกโลหะออกจากสารละลาย โดยโลหะทองคำและเงินจะจับตัวอยู่ที่ขั้วลบของเซลล์ไฟฟ้า ซึ่งทำมาจากตาข่ายเหล็กกล้าปลอดสนิม และเมื่อล้างทำความสะอาดเซลล์ไฟฟ้า โลหะทองคำและเงินที่มีลักษณะคล้ายโคลนจะถูกฉีดล้างออกจากขั้วลบของเซลล์ไฟฟ้าด้วยน้ำ และนำไปทำการอบให้แห้ง เพื่อเตรียมหลอมโลหะ ซึ่งก่อนที่จะทำการหลอมโลหะนั้น จะต้องเติมสารเคมีลงไป เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการ

หลอมโลหะและช่วยแยกสิ่งเจือปนออกจากเนื้อโลหะผสมที่มีความบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น จากนั้นโลหะหลอมเหลวจะถูกเทลงในเบ้า เพื่อให้กลายเป็นแท่งโลหะก่อนปล่อยให้เย็นตัวแล้วทำความสะอาดคราบสกปรกที่ติดอยู่บนผิว แท่งโลหะผสมเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายจากเหมืองแร่ทองคำ โดยแสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กระบวนการผลิตของเหมืองแร่ทองคำ

ที่มา: กระทรวงสาธารณสุข (2558)

2.7 การศึกษาปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำและสัตว์น้ำจากพื้นที่ต่างๆ

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การพัฒนาเทคโนโลยี และการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม มีการนำโลหะหนักมาใช้เป็นวัตถุดิบ เมื่อมีการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมชนิดจำกัด ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การรั่วไหลปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำ ทำให้ในชีวิตประจำวันมนุษย์มีความเสี่ยงต่อการนำโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายผ่านทางอาหารหรือน้ำดื่มที่มีสารเหล่านี้ปนเปื้อนอยู่ ในแต่ละพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติมีการศึกษาของรัตยา สิงหล (2549), Ozturk et al. (2009) และ Karadede and Ünlü (2000) พบการปนเปื้อนของโลหะหนักแต่ละชนิดโดยรวม ดังนี้ พบปริมาณแคดเมียม สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แมงกานีส และนิกเกิล มีค่าอยู่ในช่วง 0.0001-0.0012, 0.064-0.197, N.D.-0.220, N.D.-0.019, N.D.-0.0890 และ 0.0004-0.0154 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของโลหะหนักในแต่ละพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์มีการศึกษาของ วรวงคณา วิเศษมณี และกาญจนา หริ่มเพ็ง (2554), วรณวิมล ภัทรสิริวงศ์ และคณะ (2547), พลยุทธ สุขุมิติ และวิวัฒน์ ไตรธิกุล ในปี 2546 2549 และ 2551, จุฑารัตน์ พุกกะวัน และคณะ (2557) และ Lee et al. (2005) พบการปนเปื้อนของโลหะหนักแต่ละชนิดโดยรวม ดังนี้ พบปริมาณแคดเมียม สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล สารหนูและปรอท มีค่าอยู่ในช่วง <math><0.002-0.161</math>, <math><0.005-3.899</math>, <math><0.005-0.018</math>, <math><0.005-0.1136</math>, <math><0.005-0.852</math>, <math><0.005-0.0028</math>, <math><0.0003-0.246</math> และ ND-0.0016 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ในพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติมีการศึกษาตะกอนดินจากแหล่งน้ำธรรมชาติของ Ozturk et al. (2009) และ Wu et al. (2014) พบปริมาณแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิล มีค่าอยู่ในช่วง 0.0007-0.53, 0.01-45.46, 0.005-30.22, 0.004-0.006, 23.31 ± 3.98 และ 0.27 ± 0.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของโลหะหนักในตะกอนดินแต่ละพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์มีการศึกษาของพรพรรณ ศิลารัตน์ และคณะ (2557), ญัฐวิวัฒน์ พลเวียง และ ศรัณย์ เกียรติมาลีสถิตย์ (2557), ศิริลักษณ์ บุญมี และลำไย ณีรัตน์ พันธุ์ (2557), Saha (2011), Jahangir (2016), Salah et al. (2012), Saeed and Shaker (2008), Issa et al. (2011), Edokpayi et al. (2016) และ Tang et al. (2014) พบการปนเปื้อนของโลหะหนักแต่ละชนิดโดยรวม ดังนี้ พบปริมาณแคดเมียม สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล และสารหนู มีค่าอยู่ในช่วง N.D.- 84.80, 1.11-432.2, 0.10-1027, 1.39-61.9, 0.50-1638, 0.57-60.5 และ 4.547-377.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

จากการศึกษาปริมาณของโลหะหนักในแหล่งน้ำที่อยู่ในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ พบว่า การปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดจะมีค่าสูงกว่าปริมาณที่พบในแหล่งน้ำ

ธรรมชาติ ซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมต่างๆ เช่น การได้รับน้ำทั้งจากชุมชน การทำเกษตรกรรม ปศุสัตว์ และการทำเหมืองแร่ เช่น การไหลและการพัดพาของน้ำและตะกอนจากบริเวณโรงแต่งแร่มาสะสมในแหล่งน้ำ และจากการที่บริเวณเหมืองแร่มีโลหะหนักในธรรมชาติสูงอยู่แล้ว ดังนั้นอาจแสดงว่าเมื่อมีการปนเปื้อนของโลหะในแหล่งน้ำจากการทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำและมีการแพร่กระจายไปสะสมอยู่ในตะกอนดิน ทำให้บางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในตะกอนดิน บางส่วนละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการสะสมของโลหะหนักในห่วงโซ่อาหารของสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ภายในแหล่งน้ำได้ ทั้งจากการดำรงชีวิตและการบริโภคของสัตว์น้ำ

การศึกษาสัตว์น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติของสุพรรณบุรี สุพรรณิษฐ์ (2550), สุพรรณิษฐ์ เกียรติสยามภู และสุนิสา ชายเกลี้ยง (2552), กชพรรณ วงค์เจริญ และ ศิรินันท์ ยุบลศิริ (2555), Ubalua et al. (2007), Yilmaz et al. (2007) และ Ozturk et al. (2009) พบปริมาณแคดเมียม สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล สารหนู และปรอท โดยรวมมีค่าอยู่ในช่วง 0.00001-0.39, 0.0015-0.028, 0.0001-3.85, 0.00001-0.95, 0.0001-0.02, N.D.-1.27, 1×10^{-5} -0.0002, 1×10^{-5} -0.625 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของโลหะหนักในสัตว์น้ำแต่ละพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์มีการศึกษาของ Ikingura and Akagi (1996), กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2554), ญัฎฐ์วิจน์ พลเวียง และ ศรัณย์ เกียรติมาลีสถิต (2557) และ Squadrone et al. (2016) พบการปนเปื้อนของโลหะหนักแต่ละชนิดโดยรวม ดังนี้ พบปริมาณแคดเมียม สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล สารหนู และปรอท มีค่าอยู่ในช่วง 0.07-0.84 30.3-273.90, 3.60-173.10, 0.01-4.30, 6.50-88.00, 0.11-0.32, 0.01-8.25 และ 0.002-0.017 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเปียก ตามลำดับ

จากการตรวจสอบเอกสารสรุปได้ว่าบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ อาจก่อให้เกิดแนวโน้มการปนเปื้อนการสะสมของโลหะหนักในสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในบริเวณแหล่งน้ำเพิ่มมากขึ้น สามารถสรุปการปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำและสัตว์น้ำจากพื้นที่ต่างๆ ได้จากตารางที่ 2.6-2.8

ตารางที่ 2.6 ปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำของการศึกษานี้กับพื้นที่อื่น (mg/l)

พื้นที่ศึกษา	Cd	Zn	Cu	Pb	Mn	Ni	As	Hg	อ้างอิง
การศึกษานี้	<0.0001	0.0046-0.0659	0.0007-0.0131	0.0002-0.0037	0.0055-2.079	<0.001	<2.2×10 ⁻⁶	1.2×10 ⁻⁶ - 18×10 ⁻⁶	
พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์									
เหมืองแร่ดิบบุก จ.นครศรีธรรมราช	<0.002	0.026-0.439	<0.005-0.009	<0.005-0.009	0.018-0.852	<0.005	<0.0003-0.7		วรรณวิมล ภัทรสิริวงศ์ และ คณะ (2547)
เหมืองแร่ทองคำ จ.พิจิตร	<0.002	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005-0.582	<0.005			พลยุทธ สุขุมดี และวิวัฒน์ โตธิกรกุล (2546)
เหมืองแร่ทองคำ จ.พิจิตร	<0.002	<0.005-0.130	<0.005	<0.005	<0.005-0.691	<0.005			พลยุทธ สุขุมดี และวิวัฒน์ โตธิกรกุล (2549)
บริเวณใกล้เหมืองแร่ ทองคำ จ.พิจิตร	0.003	0.005-0.271	0.002-0.018	0.006-0.024	0.004-0.333				พลยุทธ สุขุมดี และวิวัฒน์ โตธิกรกุล (2551)
คลองชาวดหมั่น		0.0728-0.4616	0.0080-0.0112	0.0264-0.1136	0.0392- 0.1024	0.0012-0.0028	0.0012- 0.0128	ND-0.0016	จุฑารัตน์ พฤษภาคม และ คณะ (2557)
Songcheon Au-Ag mine / Korea	0.161	3.899	0.003	0.001			0.246		วารจกานา วิเศษมณี และ กาญจนา หริ่มเพ็ง (2554) Lee et al. (2005)
พื้นที่ธรรมชาติ	<0.002-0.161	<0.005-3.899	<0.005-0.018	<0.005-0.1136	<0.005-0.852	<0.005-0.0028	0.0012-0.246	ND-0.0016	
ก๊วยนพะเยา	N.D.		N.D.-0.0844	N.D.	N.D.-0.0890				รัตยา สิงห์ (2549)
Ataturk Dam Lake		0.064-0.197	0.025-0.220		0.0039-0.0041	0.011-0.0154			Karadede and Unlu (2000)
Avsardam Lake	0.0001-0.0012		0.01-0.02	0.0003-0.019		0.0004-0.012			Ozturk et al. (2009)

ตารางที่ 2.7 ปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินของการศึกษาน้ำกับพื้นที่อื่น (mg/kg dry weight)

พื้นที่ศึกษา	Cd	Zn	Cu	Pb	Mn	Ni	As	Hg	อ้างอิง
การศึกษานี้	<0.0001	3.221-47.83	0.9499-44.34	0.1165-6.544	0.4233-874.1	0.3719-10.69	<2.2x10 ⁻⁶	<0.00005-0.8387	
พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมมนุษย์									
นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	0.12-1.00	6.23-100.1	0.70-14.85	1.39-14.85	13.32-451.1				พรพรรณ ศิลารัตน์ และคณะ (2557)
จ.ระยอง									
บริเวณเหมืองแร่ทองคำ							25.72-377.6		ณัฐรัตน์ พลเวียง และ ศรีณีย์ เกียรติมาลิสลิตย์ (2557)
จ.เลย									
บริเวณเหมืองแร่ทองคำ							4.547-277.3		ศิริลักษณ์ บุญมี และลำไย ณีรัตน์ พันธุ์ (2557)
จ.เลย									
Northern delta Lakes	1.47-84.80	217.3-432.2	36.77-315.4		419.6-1390				Saeed and Shaker (2008)
Buriganga River, Bangladesh	0.80±0.55	502.3 ±320.3	184.4± 133.8	79.8± 16.9					Saha (2011)
Orogodo River, Nigeria	0.43-0.09	1.11-1.91	0.10-1.04	0.30-0.96	0.50-4.02	0.57-0.75			Issa et al. (2011)
Euphrates River, Iraq	1.87 ±0.45	48.00±31.25	18.91 ±5.59	22.56 ±7.37	228.18±56.13	67.08±19.36			Salah et al. (2012)
Eastern China	0.925± 0.936	192± 120	54.7± 29.1	61.9±36.0		60.5 ± 21.6			Tang et al. (2014)
Fish Farms, Bangladesh	0.009 ± 0.001	208 ± 31.38		14.85 ± 1.995		58.67±4.617			Jahangir (2016)
Mvuudi River, South Africa	N.D.-2.19	14.481-39.88	13.22-1027	1.775-4.157	279-1638				Edokpayi et al. (2016)
พื้นที่ธรรมชาติ									
AvsarDam Lake, Turkey	0.0007-0.001		0.01	0.005-0.01		0.004-0.006			Ozturk et al. (2009)
Hongfeng Reservoir	0.53±0.27		45.46±17.72	30.22±25.63			23.31±3.98	0.27±0.17	Wu et al. (2014)

ตารางที่ 2.8 ปริมาณโลหะหนักในสัตว์น้ำของการศึกษาในกับพื้นที่อื่น (mg/kg wet weight)

พื้นที่ศึกษา	ชนิด	เนื้อเยื่อ	Cd	Zn	Cu	Pb	Mn	Ni	As	Hg	อ้างอิง
การศึกษา การศึกษานี้	ปลา	Muscle	<0.0001- 0.6024	1.453-87.32	<0.0004-177.6	<0.001-1.358	0.1488-593.9	<0.0012-2.171	<2.2x10 ⁻⁶ - 0.6981	<0.00005- 16.78	
พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์											
เหมืองแร่ทองคำ จ.พิจิตร	ปลา	Muscle							0.015-0.309		กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2554)
เหมืองแร่ทองคำ จ.เลย	Gastropoda	Muscle							4.01-8.25		ณัฐรัตน์ พลเวียง และ ศรัณย์ เกียรติมาลีติดย (2557)
Lake Victoria	fish	Muscle								0.002-0.017	Ikingura and Akagi (1996)
Tshangalele Lake	fish	Muscle	0.07-0.84	30.3-273.90	3.60-173.10	0.01-4.30	6.50-88.00		0.01-0.36		Squadrone et al. (2016)
พื้นที่ธรรมชาติ											
ทะเลสาบสงขลา	ปลากินพืช	Muscle								0.012-0.070	สุชาติรัตน์ สุขพันธ์ (2550)
	ปลากินพืช/สัตว์									0.012-0.066	
	ปลากินสัตว์									0.011-0.625	
	กุ้ง									0.007-0.026	
หนองเล็งเป็ย	ปลา	Muscle				0.01-0.22					สุพรรณษา เกียรติสยามภู และสุมิสา ชายเกี้ยง (2552)
	หอยเชอรี่					N.D.-0.95					
						0.03-0.37					กชพรรณ วงศ์เจริญ (2555)
เขื่อนลำปาว	ปลา	Muscle	0.00-0.080			0.05-0.43					
	กุ้ง		0.03-0.39								
Aba river	fish	Muscle		0.0015- 0.0025	0.0003-0.0014	0.00001- 0.00002	0.00001- 0.0002		0.00001- 0.0002	<0.00001	Ubalua et al. (2007)
Saricay river	fish	Muscle	0.00001- 0.0001	0.0006-0.028	0.0001-0.004	0.0001-0.001	0.0001-0.02	N.D.			Yilmaz et al. (2007)
Avsar Dam Lake	C. carpio	Muscle	0.17±0.07		3.85±2.18	2.14±2.09		1.27±1.18			Ozturk et al. (2009)

บทที่ 3

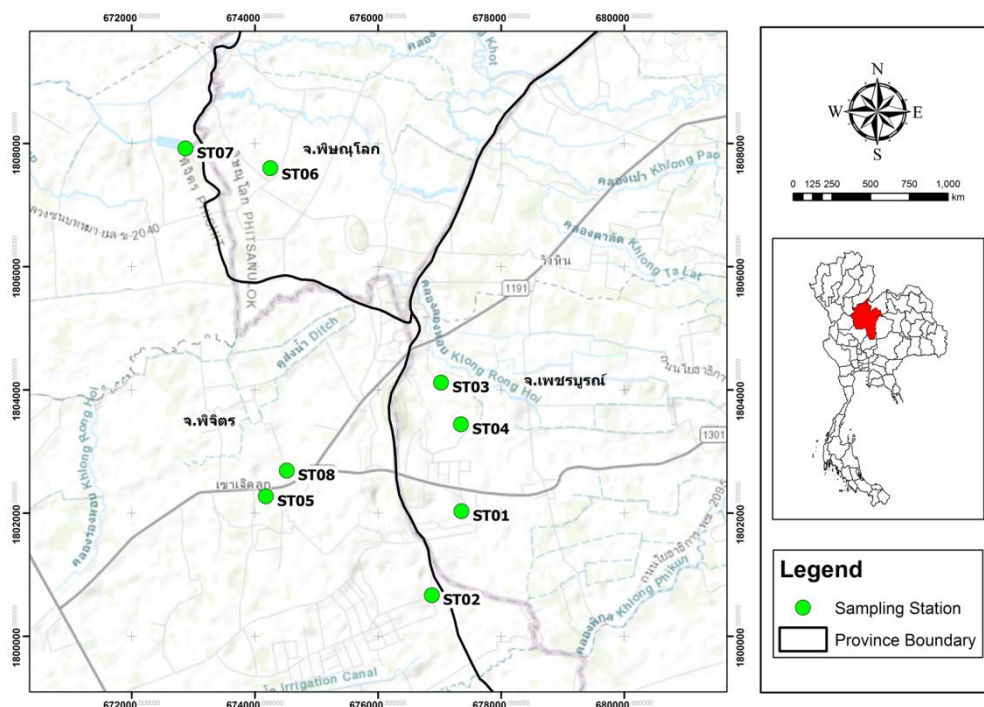
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

ในพื้นที่เมืองแร่ทองคำ ตำบลเขาเจ็ดยอด อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร โดยการเก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน ตะกอนดิน และสัตว์น้ำจากการประมงของพนักงานจากบ่อน้ำในพื้นที่เมืองทั้งหมด 5 บ่อ ได้แก่ ST01 คือ ST11 บ่อดกตะกอนที่ 2 ST02 คือ ST17 บ่อรับน้ำฉุกเฉินของTSF1 ST03 คือ ST20 บ่อดกตะกอนข้างคลังระเบิด ST04 คือ ST27 บ่อดกตะกอน 4 และ ST05 คือ ST32 สระน้ำหลังศูนย์เพาะชำ สำหรับจุดเก็บตัวอย่าง ST01 ST03 และ ST04 มีหน้าที่รองรับน้ำฝนและน้ำไหลบ่าผิวดินภายในพื้นที่เมือง ST02 มีหน้าที่รองรับน้ำล้นจากกระบวนการต่างๆ ของเมือง และ ST05 มีหน้าที่รองรับน้ำฝนและไม่เกี่ยวข้องกับการกิจกรรมของเมือง ทั้งนี้การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างมาจากการสอบถามพนักงานของเมืองและเป็นแหล่งที่พนักงานนิยมจับสัตว์น้ำเพื่อนำไปรับประทานและเก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำภายนอกพื้นที่เมืองทั้งหมด 3 แหล่ง ได้แก่ วัดเขาเขต อ่างเก็บน้ำทุ่งตะขาบ และนาข้าว ดังรายละเอียดพิกัดจุดเก็บตัวอย่างแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง

พื้นที่ภายในเมือง			
จุดเก็บ	สถานี	แลตติจูด (องศาเหนือ)	ลองจิจูด (องศาตะวันออก)
ST01	ST11 บ่อดกตะกอนที่ 2	16° 17' 33.67"	100° 39' 35.66"
ST02	ST17 บ่อรับน้ำฉุกเฉินของ TSF1	16° 16' 49.40"	100° 39' 19.02"
ST03	ST20 บ่อดกตะกอนข้างคลังระเบิด (บ่อดกตะกอน 5)	16° 18' 41.62"	100° 39' 25.08"
ST04	ST27 บ่อดกตะกอน 4	16° 18' 19.52"	100° 39' 35.72"
ST05	ST32 สระน้ำหลังศูนย์เพาะชำ	16° 17' 42.34"	100° 37' 48.64"
พื้นที่ภายนอกเมือง			
ST06	วัดเขาเขต	16° 20' 35.65"	100° 37' 52.53"
ST07	อ่างเก็บน้ำทุ่งตะขาบ	16° 20' 46.41"	100° 37' 6.15"
ST08	นาข้าว	16° 17' 55.85"	100° 38' 0.18"



ภาพที่ 3.1 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างภายในและภายนอกพื้นที่เมืองแร่ทองคำ

3.2 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

ระยะเวลาศึกษาเริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2558 ถึง เดือนธันวาคม 2559 โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน ตะกอนดิน และสัตว์น้ำ ภายในพื้นที่เมือง 3 ครั้ง ได้แก่ (1) วันที่ 22-23 สิงหาคม 2558 (2) วันที่ 21-22 พฤศจิกายน 2558 และ (3) วันที่ 27-28 กุมภาพันธ์ 2559 และเก็บตัวอย่างภายนอกพื้นที่เมืองวันที่ 27 พฤศจิกายน 2559

3.3 การเก็บตัวอย่าง

3.3.1 การทำความสะอาดอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

ขวดเก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน เตรียมโดยการแช่ใน 10% HNO_3 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ซึ่งมีความต้านทานไฟฟ้า $>18 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ จำนวน 3 ครั้ง ผึ่งให้แห้ง และเก็บในตู้ปลอดฝุ่นจนกว่าจะนำมาใช้งาน

3.3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์โลหะหนัก

เก็บตัวอย่างน้ำด้วยขวดพลาสติกชนิด Polyethylene สถานีละ 3 ขวด ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วง (Grab sampling) และเติม conc. HNO_3 วัด pH จนกว่าตัวอย่างน้ำจะมี pH น้อยกว่า 2 เพื่อนำกลับมาวิเคราะห์ยังห้องปฏิบัติการ

3.3.3 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปรอท

เก็บตัวอย่างน้ำด้วยขวด Teflon สถานีละ 1 ขวด ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วง (Grab sampling) เติม conc. HNO₃ วัด pH จนกว่าตัวอย่างน้ำจะมี pH น้อยกว่า 2 และรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำกลับมาวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ

3.3.4 การเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำ

เก็บตัวอย่างสัตว์น้ำที่ชาวบ้านจับขึ้นมาจากแหล่งน้ำทั้ง 5 สถานี โดยเก็บอย่างน้อยชนิดละ 3 ตัวอย่างในแต่ละบ่อ และบันทึกชนิด น้ำหนัก และขนาดของสัตว์น้ำแต่ละชนิด บรรจุตัวอย่างใส่ถุงซิปลาสติกชนิด Polyethylene ที่สะอาดแยกตามชนิดของสัตว์น้ำ ปิดปากถุงให้แน่น พร้อมบันทึกรายละเอียดของตัวอย่างบนถุง เก็บรักษาตัวอย่างด้วยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำกลับมาวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ

3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.4.1 การทำความสะอาดอุปกรณ์วิเคราะห์ตัวอย่าง

อุปกรณ์และเครื่องแก้วทุกชิ้นที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี เตรียมโดยการแช่ใน 10% HNO₃ 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ซึ่งมีความต้านทานไฟฟ้า >18 M Ω -cm จำนวน 3 ครั้ง ผึ่งให้แห้ง และเก็บในตู้ปลอดฝุ่นจนกว่าจะนำมาใช้งาน

3.4.2 การหา LOD และ LOQ

Limit of detection (LOD) หาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างที่สามารถตรวจวัดได้ และ Limit of quantitation (LOQ) หาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างที่สามารถหาปริมาณหรือรายงานผล ค่า LOD และ LOQ หาได้โดยการวัด blank ของตัวอย่าง (sample blank) อย่างน้อย 7 ซ้ำ และนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่า SD (Standard Deviation) ดังสมการ (3.1) และ (3.2)

$$\text{LOD} = 3\text{SD} \quad (3.1)$$

$$\text{LOQ} = 10\text{SD} \quad (3.2)$$

3.4.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์โลหะหนัก

การเตรียมสารละลายมาตรฐานผสมความเข้มข้น 0.02 0.08 0.5 1 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ของธาตุ Cd Pb Mn Ni Zn และ Cu จากสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วย 1% HNO₃ และสารละลายมาตรฐานผสมความเข้มข้น 1 5 10 20 และ 50 ไมโครกรัมต่อลิตร ของธาตุ As และ Hg

จากสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

3.4.4 การวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างน้ำ

ดัดแปลงจาก USEPA (1994) ตัวอย่างน้ำตัวอย่างละ 100 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม conc. HNO_3 2 มิลลิลิตร และเติม conc. HCl 1 มิลลิลิตร ตั้งบน Hot plate ตั้งอุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา ระวังอย่าให้ตัวอย่างเดือด เมื่อตัวอย่างน้ำมีปริมาตรเหลือประมาณ 5 มิลลิลิตร เอาลงจาก Hot plate และตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เทตัวอย่างใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 10 มิลลิลิตร กรองด้วย Syringe Filter PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร เทตัวอย่างที่ปรับปริมาตรแล้วลงในขวดพลาสติกขนาด 30 มิลลิลิตร เพื่อรอการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES)

3.4.5 การวิเคราะห์ปรอทในตัวอย่างน้ำ

ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นปรอทที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยตวงตัวอย่างน้ำ 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติม BrCl 0.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อให้ทำปฏิกิริยาให้สมบูรณ์ เติมสารละลาย 7% Hydroxylamine hydrochloride 0.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 2-3 นาที เทตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ลงใน bubbler เติม SnCl_2 0.5 มิลลิลิตร ปิด bubbler ตั้งให้ bubbler Argon ไหลที่ 80 มิลลิลิตรต่อ นาที ไอปปรอทที่ได้จะเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์โดยใช้ก๊าซอาร์กอน (Argon) เป็นตัวนำพา และตรวจวัดปริมาณไอปปรอทด้วยเทคนิค Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrophotometer โดยมี Gold trap เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน

3.4.6 การวิเคราะห์โลหะหนักในตะกอนดิน

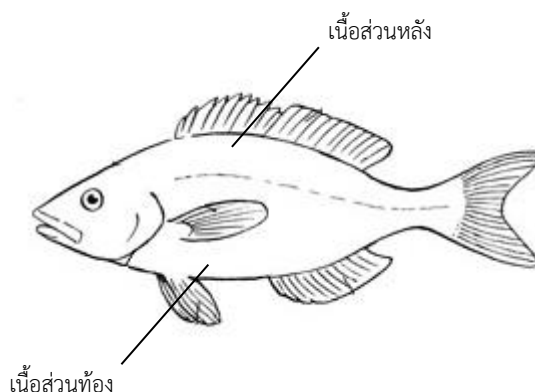
ดัดแปลงจาก USEPA (2007) ตัวอย่างตะกอนดินตัวอย่างละ 0.6 กรัม น้ำหนักแห้ง โดยชั่งและจดน้ำหนักที่แน่นอน นำตัวอย่างใส่ในหลอดย่อยตัวอย่างสำหรับย่อยด้วยเครื่อง Milestone Ethos One Advanced Microwave digestion เติม conc. HNO_3 8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วปิดฝาให้เครื่องทำงานโดยตั้งค่า step1 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และ step2 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทิ้งตัวอย่างไว้ให้เย็น กรองด้วย Syringe Filter PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร เทใส่ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร เทตัวอย่างที่ปรับปริมาตรแล้วลงในขวดพลาสติกขนาด 30 มิลลิลิตร เพื่อรอการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES)

3.4.7 การวิเคราะห์ปรอทในตะกอนดิน

ดัดแปลงจาก US-EPA (2001) นำตัวอย่างตะกอนดินอบโดยตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดละเอียดและร่อนดินด้วยกระแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ซึ่งตัวอย่างตะกอนดิน 0.6 กรัม ด้วยเครื่องซังทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักแน่นอน ใส่ลงในหลอดทดลอง เติม conc. HNO_3 : HCl 1:1 (v/v) 5 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอด นำหลอดทดลอง บรรจุลงในเต็มหลุมแบบ block heater ตั้งอุณหภูมิในที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นทิ้งตัวอย่างไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมสารละลาย 0.07 N BrCl 30 มิลลิลิตร เพื่อออกซิไดซ์ปรอทอินทรีย์ทั้งหมดให้อยู่ในรูปปรอทอนินทรีย์ ตั้งสารละลายทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นนำสารละลายที่ตั้งทิ้งไว้มาเติม 7% Hydroxylamine hydrochloride 3 มิลลิลิตร เพื่อกำจัด BrCl ส่วนเกิน ผสมให้เข้ากันจนเป็นสารละลายใส นำสารละลายไปวิเคราะห์ปรอททันที โดยใช้สารละลาย 0.2% NaBH_4 เป็นตัวรีดิวซ์ปรอทในรูปแบบต่างๆ ที่ละลายอยู่ในสารละลายให้กลายเป็นไอของปรอท ไอปรอทที่ได้จะเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์โดยก๊าซอาร์กอนตรวจวัดปริมาณไอปรอทด้วย Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometer

3.4.8 การวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างสัตว์น้ำ

ดัดแปลงจาก FSSAI (2012) นำตัวอย่างสัตว์น้ำที่แช่แข็งไว้ออกมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง ปลาที่มีขนาดใหญ่จะนำมาแยกเป็นเนื้อส่วนหลัง เนื้อส่วนท้อง และตับ แสดงดังภาพที่ 3.2 บดให้ละเอียด ส่วนปลาที่มีขนาดเล็กจะนำมาบดละเอียดทั้งตัว จากนั้นนำเนื้อส่วนที่ต้องการวิเคราะห์มาประมาณ 0.2-0.3 กรัม โดยซังและจดน้ำหนักที่แน่นอน นำตัวอย่างใส่ในหลอดย่อยตัวอย่างสำหรับย่อยด้วยเครื่อง Milestone Ethos One Advanced Microwave digestion เติม conc. HNO_3 8 มิลลิลิตร และเติม 30% H_2O_2 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วปิดฝาให้เครื่องทำงาน โดยตั้งค่า step1 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และ step2 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทิ้งตัวอย่างไว้ให้เย็น กรองด้วย Syringe Filter PTFE ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร เทตัวอย่างที่ปรับปริมาตรแล้วลงในขวดพลาสติกขนาด 30 มิลลิลิตร เพื่อรอการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES)



ภาพที่ 3.2 เนื้อแต่ละส่วนสำหรับการวิเคราะห์

3.4.9 การวิเคราะห์ปรอทในตัวอย่างสัตว์น้ำ

ดัดแปลงจาก AOAC (1990) ตัวอย่างสัตว์น้ำที่แช่แข็งไว้ ออกมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง ปลาที่มีขนาดใหญ่จะนำมาแยกเป็นเนื้อส่วนหลัง เนื้อส่วนท้อง และตับ บดให้ละเอียด ส่วนปลาที่มีขนาดเล็กจะนำมาบดละเอียดทั้งตัว นำเนื้อส่วนที่ต้องการวิเคราะห์มาประมาณ 0.3 กรัม บดให้ละเอียด บรรจุลงในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร เติม conc. H_2SO_4 0.5 มิลลิลิตร และ conc. HNO_3 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ปิดฝาหลอด นำหลอดทดลองบรรจุลงในเต็มหุ้มแบบ block heater ตั้งอุณหภูมิในที่ 90-95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นทิ้งตัวอย่างไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมสารละลาย 0.02N BrCl 38.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าผสม สารละลาย ตั้งสารละลายทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นนำสารละลายที่ตั้งทิ้งไว้มาเติม 7% Hydroxylamine hydrochloride 1 มิลลิลิตร เพื่อกำจัด BrCl ส่วนเกิน ผสมให้เข้ากันจนเป็นสารละลายใส นำสารละลายไปวิเคราะห์ปรอททันที โดยใช้สารละลาย 0.2% $NaBH_4$ เป็นตัวรีดิวซ์ปรอทในรูปแบบต่างๆ ที่ละลายอยู่ในสารละลายให้กลายเป็นไอของปรอท ไอปรอทที่ได้จะเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์โดยก๊าซอาร์กอน (Argon) ตรวจวัดปริมาณไอปรอทด้วย Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometer

3.4.10 การวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคตะกอนดิน

ดัดแปลงจาก แยกเอาสิ่งที่ไม่ใช่เนื้อตะกอนดิน เช่น ก้อนหิน กิ่งไม้ ออกจากตะกอนอบตะกอนดินให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส ชั่งตะกอนดิน 10 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งละเอียด บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน กำจัดสารอินทรีย์ออกจากตะกอนด้วย 10% (v/v) H_2O_2 ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน กำจัด H_2O_2 ที่เหลือด้วยการให้ความร้อนจนเกือบเดือด ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เทน้ำส่วนใสออกจนเหลือเพียงท่วมตะกอนดิน เติม 50% (v/v) HCl 10 มิลลิลิตร คนจนไม่เห็นฟองก๊าซเกิดขึ้น รินน้ำส่วนใสทิ้งและอบตะกอนให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ร่อนตะกอนแห้งโดยชน้ำผ่านตะแกรงร่อนขนาดรูเปิด 63 ไมครอน จากนั้น

อบตะกอนที่มีขนาดมากกว่า 63 ไมครอน ซึ่งจะค้างอยู่บนตะแกรง ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด ผลที่ได้จะเป็นน้ำหนักอนุภาคทราย นำตะกอนส่วนที่ผ่านตะแกรงใส่ลงในกระบอกตักตะกอนขนาด ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร นำไปทำการตักตะกอนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เติม 10% (w/v) $(\text{NaPO}_3)_6$ 10 มิลลิลิตร เพื่อให้เม็ดดินตะกอนกระจายตัวอย่างอิสระ เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอก ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ใช้แท่งคนตะกอนกวนภายในกระบอกตักตะกอนจนอนุภาคภายในกระบอก ตักตะกอนฟุ้งกระจาย เริ่มจับเวลาทันทีหลังจากหยุดกวน เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง 52 นาที จุ่ม ปลายไมโครปิเปตขนาด 5 มิลลิลิตร ลงที่ระดับต่ำจากผิวหน้า 5 เซนติเมตร ดูดน้ำที่ระดับความลึก 5 มิลลิลิตร นำน้ำไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด บันทึก น้ำหนักที่แน่นอนที่มีอยู่ในตะกอน 5 มิลลิลิตร เพื่อนำมาคำนวณน้ำหนักตะกอนที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน ซึ่งเป็นขนาดของดินเหนียวที่มีอยู่ทั้งหมดในน้ำ จากนั้นคำนวณสัดส่วนของอนุภาคขนาด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยถือว่าน้ำหนักรวมของทุกขนาดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

3.4.11 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ทุกรอบของการย่อยตัวอย่าง จะทำการย่อยโดยไม่ใส่ตัวอย่าง (blank) โดยวิธีการ เดียวกับการย่อยตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจะทำการวิเคราะห์ซ้ำจำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และ จะทำการย่อยตัวอย่าง DORM-2 และ DORM-4 (Fish protein certified reference material for trace metals) ซึ่งเป็นสารอ้างอิงมาตรฐาน (Certified Reference Materials: CRM) ของ National Research Council of Canada ที่ระบุความเข้มข้นของโลหะหนักที่แน่นอน เพื่อ ตรวจสอบกระบวนการย่อยตัวอย่างทุกรอบของการย่อยตัวอย่าง

3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

3.5.1 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics)

ค่าเฉลี่ย (average) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ค่ามัธยฐาน (median) ค่าต่ำสุด (minimum) ค่าสูงสุด (maximum) ของข้อมูล

3.5.2 สถิติเชิงวิเคราะห์ (Analytical statistics)

T-test สำหรับการวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักใน ตะกอนดินแต่ละเดือน และ ANOVA สำหรับการวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของ โลหะหนักในน้ำแต่ละเดือน และวิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้นในน้ำและตะกอนดินในแต่ละ จุดเก็บตัวอย่าง

3.6 การคำนวณค่าปัจจัยความเข้มข้นทางชีวภาพ

การคำนวณค่าปัจจัยความเข้มข้นทางชีวภาพ (Bioaccumulation factor; BAF) สามารถคำนวณได้จากสมการ 3.3 และ 3.4 ดังนี้

$$BAF_{\text{สัตว์น้ำ}} = \frac{\text{ความเข้มข้นของสารเคมีในปลา (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเปียก)}}{\text{ความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)}} \quad (3.3)$$

$$BAF_{\text{สัตว์น้ำ}} = \frac{\text{ความเข้มข้นของสารเคมีในปลา (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเปียก)}}{\text{ความเข้มข้นของสารเคมีในตะกอนดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)}} \quad (3.4)$$

3.7 การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ

3.7.1 การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification) จากเหมืองแร่ทองคำ

กระทรวงสาธารณสุข (2558) จัดสารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และปรอท (Hg) เป็นสิ่งคุกคามที่อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ

3.7.2 การประเมินการรับสัมผัส (Exposure Assessment) จากการบริโภคสัตว์น้ำจากเหมืองแร่ทองคำ

การสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคสัตว์น้ำจากพนักงานภายในเหมือง ได้แก่ ความถี่การรับสัมผัส และระยะเวลาการสัมผัส โดยกำหนดช่องทางการรับสัมผัสทางการบริโภค เพื่อใช้ในการคำนวณค่า Acceptable daily intake (ADI) ร่วมกับค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก สำหรับกรณีสารไม่ก่อมะเร็งและ Chronic daily intake (CDI) ในกรณีสารก่อมะเร็ง จากสมการ 3.5

$$ADI \text{ or } CDI = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (3.5)$$

โดยที่ ADI or CDI = ปริมาณสารที่ได้รับสัมผัส (mg/kg.day)

C = ความเข้มข้นของสาร (mg/kg) โดยใช้ความเข้มข้นของโลหะหนักในสัตว์น้ำจากการวิเคราะห์

IR = อัตราการได้รับสัมผัสอาหารที่ปนเปื้อนต่อสัปดาห์ (kg/week) ใช้ข้อมูลปริมาณการบริโภคสัตว์น้ำของพนักงาน

EF = ความถี่ของการสัมผัส (week/years) ใช้ข้อมูลความถี่ในการบริโภคสัตว์น้ำต่อสัปดาห์ของพนักงาน

ED = ระยะเวลาที่สัมผัส (years) ใช้ข้อมูลระยะเวลาที่บริโภคสัตว์น้ำภายในเมืองของพนักงาน

BW = น้ำหนักตัว (kg) ใช้ข้อมูลน้ำหนักตัวของพนักงาน

AT = ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ย (days) (USEPA, 1989)

โดย $AT = ED \text{ (year)} \times 365 \text{ (day/year)}$ เมื่อสารที่ได้รับสัมผัสไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

และ $AT = 70 \text{ (year)} \times 365 \text{ (day/year)}$ สำหรับสารก่อมะเร็ง

3.7.3 การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization) จากการบริโภคสัตว์น้ำจากเหมืองแร่ทองคำ

คำนวณค่าความเสี่ยง (Risk) ต่อสุขภาพหากนำสัตว์น้ำจากแหล่งน้ำมาบริโภคสัตว์น้ำที่ปนเปื้อนด้วยสารมลพิษที่คาดว่าจะก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogen) การศึกษานี้มีโลหะที่ก่อให้เกิดมะเร็ง 2 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As) และตะกั่ว (Pb) ถ้า $Risk < 1 \times 10^{-6}$ ถือเป็นความเสี่ยงยอมรับได้ จากสมการ 3.6 ดังนี้

$$Risk = CDI \times SF \quad (3.6)$$

โดยที่ Cancer Risk = ค่าความเสี่ยงจากการได้รับสารก่อมะเร็งจากปริมาณสารที่ได้รับทุกวัน

CDI = ปริมาณสารที่ได้รับสัมผัส (mg/kg.day)

SF = ค่าความชันของการเกิดมะเร็งโดยการกิน (Carcinogen Potency Slope) (mg/kg.day) สำหรับ Pb และ As มีค่าเท่ากับ 0.0085 และ 1.5 mg/kg.day ตามลำดับ (USEPA, 1999)

กรณีเป็นสารไม่ก่อมะเร็ง คำนวณหาค่า Hazard Quotient (HQ) จากสมการ 3.7 และคำนวณค่า Hazard index (HI) จากสมการ 3.8 ถ้า HI มีค่าน้อยกว่า 1 หมายความว่า การปนเปื้อนยังมีความปลอดภัย

$$HQ = \frac{ADI}{RfD} \quad (3.7)$$

โดยที่ HQ = ค่าความปลอดภัย

ADI = ปริมาณสารที่ได้รับสัมผัส (mg/kg.day)

RfD = Reference Dose ปริมาณสารเคมีที่สามารถรับเข้าไปทุกวันโดยไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติใดๆ ต่อร่างกาย (mg/kg.day) สำหรับ As, Cd, Pb, Mn, Ni, Zn, Cu และ Hg มีค่า

เท่ากับ 0.003 0.001 0.02 0.14 0.02 0.30 0.04 และ 0.0001 mg/kg*day ตามลำดับ (USEPA, 1999)

$$HI = \sum(HQ) \quad (3.8)$$

โดยที่ HI = ดัชนีแสดงค่าความเสี่ยง

$\sum HQ$ = ผลรวมของค่า Hazard Quotient ของสารที่ไม่ใช่สารก่อมะเร็ง

3.7.4 การประเมินปริมาณความปลอดภัยในการบริโภค

นำข้อมูลความเข้มข้นโลหะหนักของสัตว์น้ำมาคำนวณหาปริมาณที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยต่อสัปดาห์ (Provisional Tolerable Weekly Intake; PTWI) จากสมการ (3.8)

$$PTWI = \left[\frac{TRV \times BW}{C_f} \right] \times 7 \quad (3.8)$$

โดยที่ PTWI = ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดทั้งหมดที่ร่างกายได้รับอย่างปลอดภัย (kg/week)

TRV = The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) (2014) กำหนดให้ผู้บริโภคไม่ควรได้รับ โลหะหนักแต่ละชนิดสูงกว่าปริมาณที่กำหนด (mg/kg/day) สำหรับ Cd, Zn, Hg, Pb, Cu, Mn และ As มีค่าเท่ากับ 0.001, 1, 0.00023, 0.0036, 3, 0.07 และ 0.002 mg/kg/day ตามลำดับ

BW = น้ำหนักตัว (kg)

C_f = ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักแต่ละชนิดในสัตว์น้ำ (mg/kg)

7 = จำนวนวัน/สัปดาห์

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 การหา LOD และ LOQ

Limit of detection (LOD) และ Limit of quantitation (LOQ) ของโลหะหนักแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 LOD และ LOQ ของโลหะหนักชนิดต่างๆ

ชนิดของโลหะหนัก	ค่า LOD ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	ค่า LOQ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	เทคนิค
Cd	0.0928	0.3093	Inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES)
Cu	0.3015	1.005	
Mn	0.0481	0.1603	
Zn	0.8212	2.737	
Ni	1.208	4.026	
Pb	0.6963	2.321	
As	0.0022	0.0073	Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometer (CVAAS)
Hg	0.0494	0.1646	

4.2 ปริมาณโลหะหนักของน้ำผิวดิน

4.2.1 การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในน้ำผิวดินกับค่ามาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักจำนวน 8 ชนิดในตัวอย่างน้ำผิวดินจากบ่อน้ำภายในพื้นที่เหมือง (จากการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้งในระหว่างวันที่ 22-23 สิงหาคม 2558 วันที่ 21-22 พฤศจิกายน 2558 และวันที่ 27-28 กุมภาพันธ์ 2559) และค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำผิวดินจากแหล่งน้ำจำนวน 3 แห่งที่อยู่นอกพื้นที่เหมือง (จากการเก็บตัวอย่างในวันที่ 27 พฤศจิกายน 2559) แสดงในภาคผนวก ก

1) ปริมาณความเข้มข้นของสารหนู (As)

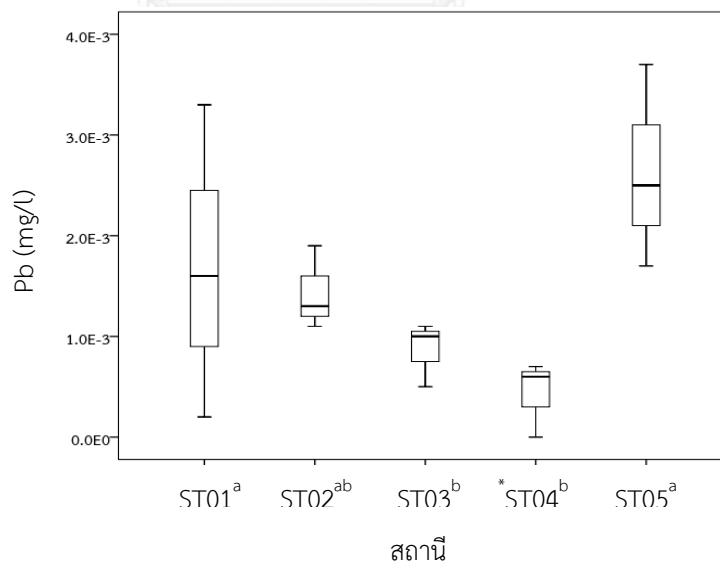
ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนู พบว่า ตัวอย่างน้ำผิวดินทั้งหมดจากแหล่งน้ำภายในและภายนอกพื้นที่เหมืองมีปริมาณสารหนูต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ ($<2.2 \times 10^{-6}$ มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนสารหนูในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ตามกรมควบคุมมลพิษ พ.ศ. 2552 (<0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร)

2) ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม พบว่า ตัวอย่างน้ำผิวดินทั้งหมดจากแหล่งน้ำภายในและภายนอกพื้นที่เหมืองมีปริมาณแคดเมียมต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ (<0.0001 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนแคดเมียมในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ตามกรมควบคุมมลพิษ พ.ศ. 2552 (<0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร)

3) ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่ว (Pb)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วดังภาพที่ 4.1 พบว่า ตัวอย่างน้ำผิวดินเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณตะกั่วปนเปื้อนในตัวอย่างน้ำผิวดินมีค่าอยู่ในช่วง 0.0005 - 0.0025 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST05 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณตะกั่วมีค่าอยู่ในช่วง 0.0007 - 0.0037 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST05 และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณตะกั่วมีค่าอยู่ในช่วง 0.0002 - 0.0017 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST05 และปริมาณตะกั่วภายนอกพื้นที่เหมืองมีปริมาณตะกั่วต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ (<0.0006 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตัวอย่างน้ำในการศึกษานี้ทั้งหมดมีปริมาณตะกั่วไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนตะกั่วในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ตามกรมควบคุมมลพิษ พ.ศ. 2552 (<0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร) สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ One-Way ANOVA พบว่าปริมาณตะกั่วใน ST05 มีความแตกต่างกับ ST03 และ ST04 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



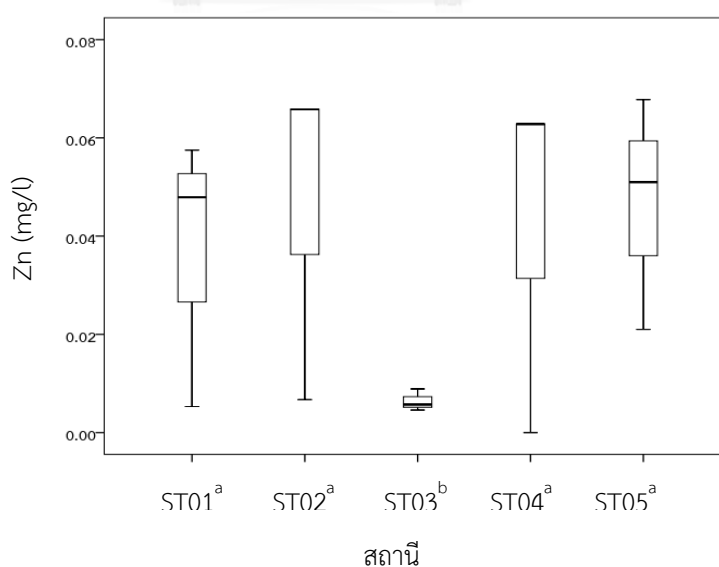
ภาพที่ 4.1 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำ

4) ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิล พบว่า ตัวอย่างน้ำผิวดินทั้งหมดจากแหล่งน้ำภายในและภายนอกพื้นที่เหมืองมีปริมาณนิกเกิลต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ (<0.0012 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนแคดเมียมในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ตามกรมควบคุมมลพิษ พ.ศ. 2552 (<0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร)

5) ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสี (Zn)

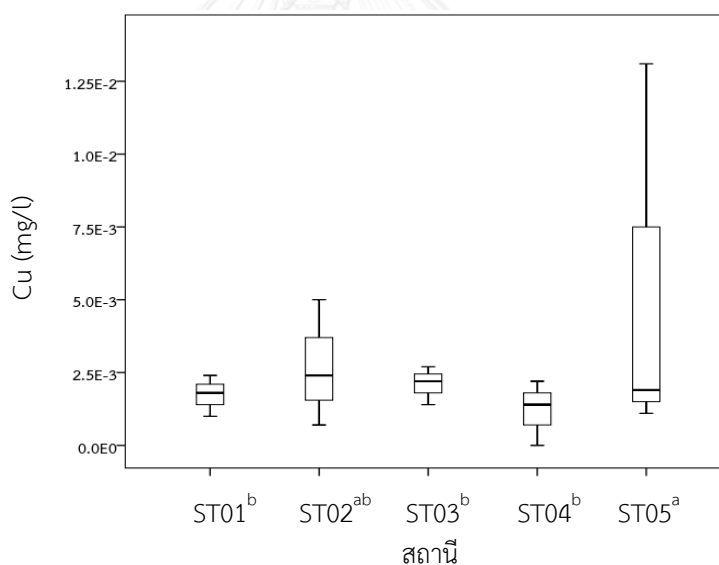
ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีดังภาพที่ 4.2 พบว่า ตัวอย่างน้ำผิวดินเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณสังกะสีมีค่าอยู่ในช่วง 0.0053-0.0210 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST05 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณสังกะสีมีค่าอยู่ในช่วง 0.0046-0.0659 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST02 และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณสังกะสีมีค่าอยู่ในช่วง 0.0089-0.0678 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST05 และตัวอย่างน้ำผิวดินจากพื้นที่ภายนอกเหมืองพบค่าอยู่ในช่วง 0.0047-0.0305 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าพื้นที่ภายในเหมือง ตัวอย่างน้ำในการศึกษานี้ทั้งหมดมีปริมาณสังกะสีต่ำกว่ามาตรฐานการปนเปื้อนสังกะสีในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ตามกรมควบคุมมลพิษ พ.ศ. 2552 (<1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร) สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ One-Way ANOVA พบว่าปริมาณสังกะสีใน ST03 มีความแตกต่างกับ ST01 ST02 ST04 และ ST05 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณสังกะสีระหว่างภายในพื้นที่เหมืองกับภายนอกพื้นที่เหมืองโดยใช้ Independent T-test พบว่าทั้ง 2 พื้นที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4.2 ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำ

6) ปริมาณความเข้มข้นของทองแดง (Cu)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณทองแดงดังภาพที่ 4.3 พบว่า เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณทองแดงมีค่าอยู่ในช่วง 0.0007-0.0011 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST05 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณทองแดงมีค่าอยู่ในช่วง 0.0018-0.0050 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST02 และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณทองแดงมีค่าอยู่ในช่วง 0.0014-0.0131 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST05 ตัวอย่างน้ำผิวดินจากพื้นที่ภายนอกเหมืองพบค่าอยู่ในช่วง 0.0007-0.0036 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าพื้นที่ภายในเหมือง ตัวอย่างน้ำในการศึกษานี้ทั้งหมดมีปริมาณทองแดงไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนทองแดงในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ตามกรมควบคุมมลพิษ พ.ศ. 2552 (<0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร) สำหรับการวิเคราะห์การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ One-Way ANOVA พบว่าปริมาณทองแดงใน ST05 มีความแตกต่างกับ ST01 ST02 และ ST04 อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณทองแดงในพื้นที่เหมืองกับนอกพื้นที่เหมืองโดยใช้ Independent T-test พบว่าทั้ง 2 พื้นที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

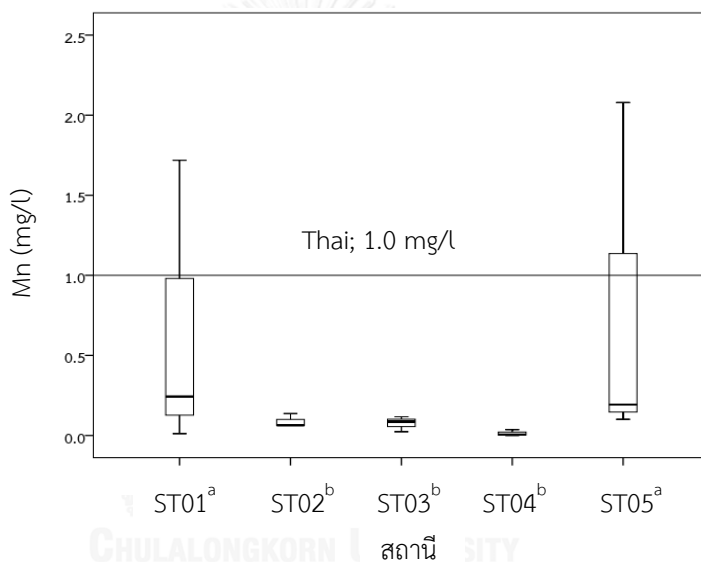


ภาพที่ 4.3 ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำ

7) ปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีส (Mn)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสดังภาพที่ 4.4 พบว่า เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณแมงกานีสมีค่าอยู่ในช่วง 0.0116-0.1011 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST05 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณแมงกานีสมีค่าอยู่ในช่วง 0.0055-0.2425 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST01 และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณแมงกานีสมีค่าอยู่ในช่วง 0.0364-2.079 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST05

ตัวอย่างน้ำผิวดินจากพื้นที่ภายนอกเมืองพบค่าอยู่ในช่วง 0.1079-1.142 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าพื้นที่ภายในเมือง ตัวอย่างน้ำในการศึกษานี้ส่วนใหญ่มีปริมาณแมงกานีสไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนแมงกานีสในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ตามกรมควบคุมมลพิษ พ.ศ. 2552 (<1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร) ยกเว้นตัวอย่างน้ำผิวดินในเดือน เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 จำนวน 2 ตัวอย่าง ที่มีปริมาณแมงกานีสสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ได้แก่ ST11 และ ST05 มีปริมาณแมงกานีสเท่ากับ 1.7189 และ 2.0789 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ One-Way ANOVA พบว่าปริมาณแมงกานีสใน ST05 มีความแตกต่างกับ ST02 ST03 และ ST04 อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณแมงกานีสในพื้นที่เมืองกับนอกพื้นที่เมืองโดยใช้ Independent T-test พบว่าทั้ง 2 พื้นที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

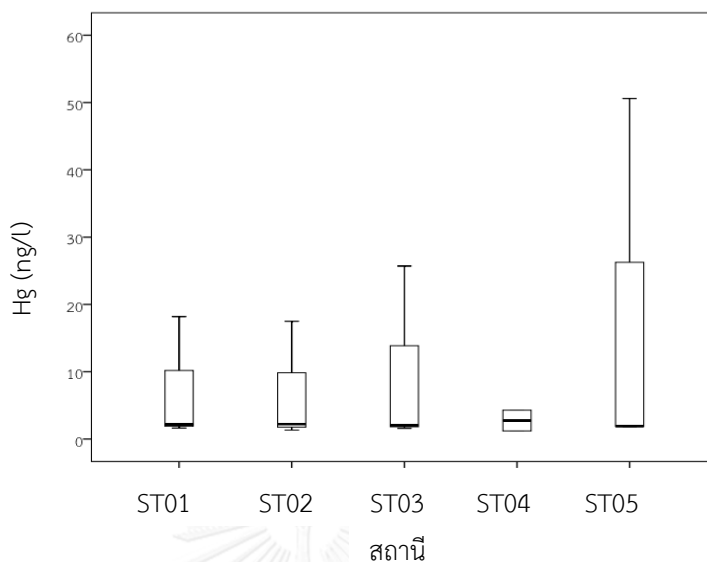


ภาพที่ 4.4 ความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำ

8) ปริมาณความเข้มข้นของปรอท (Hg)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทดังภาพที่ 4.5 พบว่า เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 1.86-2.21 นาโนกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST02 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 1.20-1.91 นาโนกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST05 และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 4.30-50.6 นาโนกรัมต่อลิตร ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST05 ตัวอย่างน้ำผิวดินจากพื้นที่ภายนอกเมืองพบปริมาณปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 1.81-2.52 นาโนกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าพื้นที่ภายในเมือง ตัวอย่างน้ำในการศึกษานี้ทั้งหมดมีปริมาณปรอทไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานการ

ปนเปื้อนปรอทในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ตามกรมควบคุมมลพิษ พ.ศ. 2552 (<0.0020 มิลลิกรัมต่อลิตร)



ภาพที่ 4.5 ความเข้มข้นของปรอทในน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักในน้ำผิวดิน พบว่าโลหะหนักทั้ง 7 ชนิด ได้แก่ As, Cd, Pb, Ni, Zn Cu และ Hg มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนปรอทในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ของกรมควบคุมมลพิษ (2552) ยกเว้น Mn เท่านั้นที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ST05 มีปริมาณของ Pb, Zn, Cu และ Mn สูงสุด และมีปริมาณ Pb, Cu และ Mn แตกต่างกับตัวอย่างน้ำผิวดินในบ่ออื่น ซึ่ง ST05 เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่ไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆ ของเมืองแร่ทองคำ แต่อยู่ติดกับพื้นที่ที่มีกิจกรรมของเมืองแร่ทองคำ อาจเนื่องมาจากการฟุ้งกระจายของตะกอนดินขณะเก็บตัวอย่างในช่วงหน้าแล้ง ปริมาณของโลหะหนักกรองลงมาก็คือ ST01 บ่อดกตะกอน 2 และ ST02 บ่อรองรับน้ำฉุกเฉิน TSF 1 สำหรับ ST03 และ ST04 ส่วนใหญ่พบปริมาณโลหะหนักน้อยที่สุด ซึ่งเป็นบ่อดกตะกอนที่ไม่ได้รองรับน้ำจากกระบวนการผลิตจากเหมืองโดยตรง แต่รองรับน้ำจากน้ำฝนและน้ำไหลบ่าผิวดินภายในพื้นที่เหมือง ทั้งนี้ใน ST01 ST03 และ ST04 เป็นบ่อดกตะกอนเหมือนกัน แต่ ST01 พบปริมาณของโลหะหนักสูง เมื่อสังเกตจากตำแหน่งของบ่อ พบว่า ST01 อยู่ในบริเวณที่มีการทำกิจกรรมของเหมืองมากกว่า ST03 และ ST04 ดังนั้นอาจส่งผลให้น้ำที่ไหลลงสู่ ST01 มีการปนเปื้อนของโลหะหนักมากกว่า

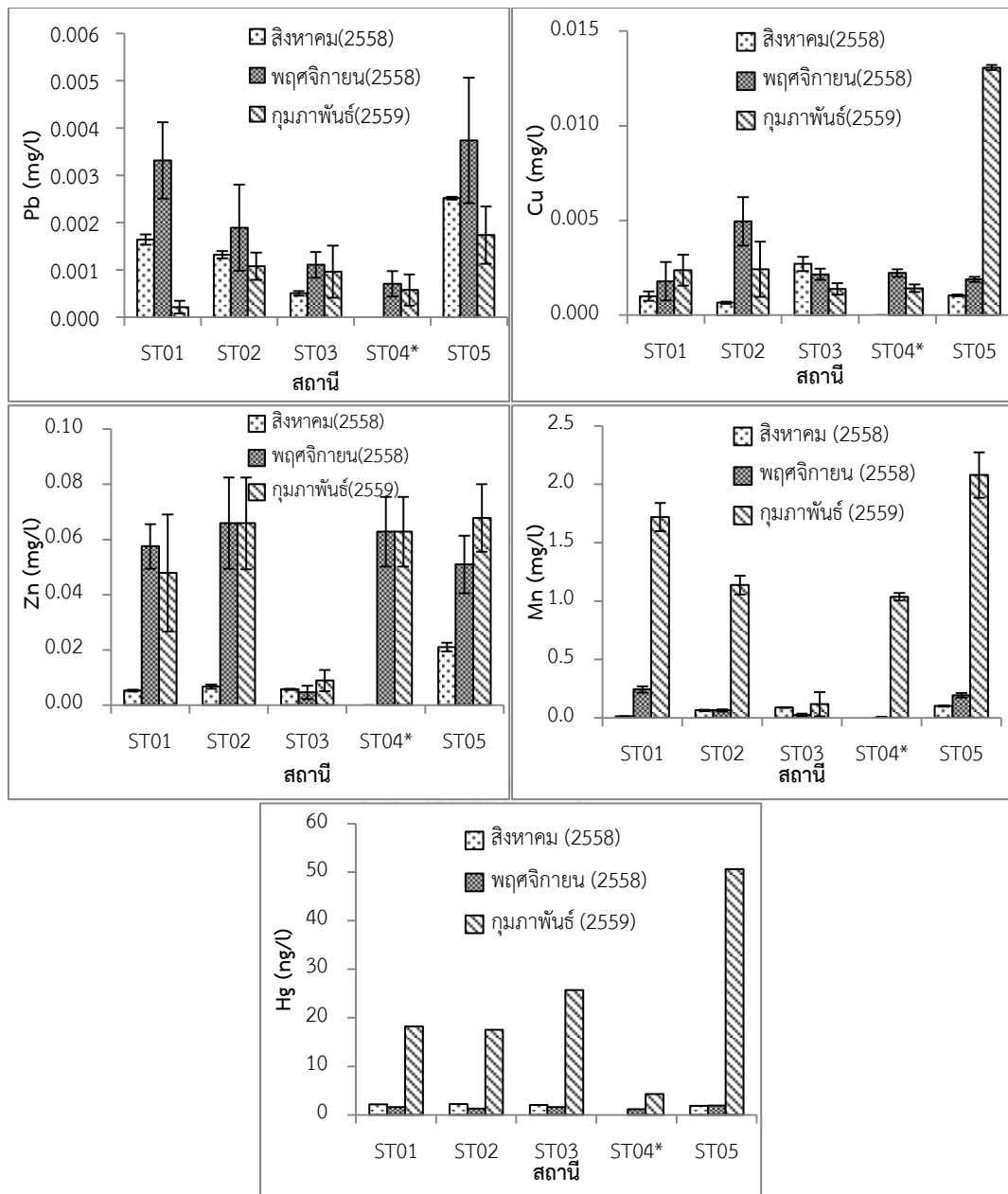
เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำผิวดินก่อนดำเนินงานเหมืองแร่ทองคำ จ.พิจิตร ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2554) พบปริมาณ As, Cd, Pb, Ni และ Hg มีค่าอยู่ในช่วง 0.004-0.014, 0.001-0.009, 0.01-0.15, 0.003-0.026 และ 0.0001-0.023 mg/l

ตามลำดับ พบว่าปริมาณของโลหะหนักในการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าปริมาณโลหะหนักในน้ำผิวดินก่อนดำเนินการทำเหมือง ยกเว้น Hg บางตัวอย่างใน ST05

4.2.2 การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในน้ำระหว่างเดือน

ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบโลหะหนักในน้ำทั้ง 3 เดือนแสดงดังภาพที่ 4.6 พบว่า ปริมาณของ Zn, Mn และ Hg ส่วนใหญ่มีแนวโน้มสูงขึ้นในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ซึ่งเป็นช่วงน้ำแล้ง แต่ปริมาณของ Pb และ Cu พบว่ามีแนวโน้มที่ไม่แน่นอน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำฝนหรือน้ำที่ไหลผ่านมาตามกองดินและหินเมื่อไหลลงสู่บ่อน้ำทางเหมืองจะมีการสูบน้ำวนเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ อาจส่งผลให้ปริมาณของโลหะหนักที่สะสมอยู่เกิดความแปรปรวนได้ เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณของโลหะหนักทั้ง 3 เดือนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ยกเว้นทองแดงและปรอท





ภาพที่ 4.6 ปริมาณโลหะหนักในน้ำผิวดินแต่ละเดือน

4.2.3 การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในน้ำผิวดินกับพื้นที่อื่นๆ

จากตารางที่ 2.6 การศึกษานี้พบปริมาณของ Cd, Ni และ As มีค่า <0.0001 , <0.0012 และ $<2.2 \times 10^{-6}$ มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณของ Zn, Cu, Pb, Mn และ Hg มีค่าอยู่ในช่วง 0.0046-0.0678, 0.0007-0.0131, 0.0005-0.0037, 0.0055-2.079 และ 1.20×10^{-6} - 50.6×10^{-6} มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักทุกชนิดมีค่าสูงสุดต่ำกว่าพื้นที่อื่น ยกเว้น Mn ของพื้นที่อื่นที่นำมาเปรียบเทียบพบปริมาณ Mn อยู่ในช่วง <0.005 -0.852 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3 ปริมาณโลหะหนักของตะกอนดิน

4.3.1 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนดิน

ลักษณะของตะกอนดินและผลการวิเคราะห์แต่ละบ่อแสดงในภาคผนวก ข และจากการศึกษาขนาดอนุภาคของตะกอนดินจาก sediment texture triangle diagram ตามสัดส่วนโดยมวลของอนุภาคขนาดทราย (>63 ไมครอน) ขนาดทรายแป้ง (2-63 ไมครอน) และขนาดดินเหนียว (<2 ไมครอน) พบว่า ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตะกอนดิน ST01 ST04 และ ST05 เป็นดินร่วนปนตะกอน (silty loam) ST02 และ ST03 เป็นดินเหนียวปนตะกอน (silty clay) โดยสถานที่ที่มีอนุภาคตะกอนเนื้อละเอียดมากเป็นสถานี ST02 และ ST03 เมื่อทดสอบความแตกต่างของปริมาณอนุภาคขนาดต่างๆ ด้วย paired t-test พบว่าปริมาณอนุภาคทุกขนาดไม่มีความแตกต่างระหว่างเดือนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.3.2 การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินกับค่ามาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักจำนวน 8 ชนิดในตัวอย่างตะกอนดินจากบ่อน้ำภายในพื้นที่เหมือง (จากการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้งในระหว่างวันที่ 21-22 พฤศจิกายน 2558 และวันที่ 27-28 กุมภาพันธ์ 2559) และปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างตะกอนดินจากแหล่งน้ำจำนวน 3 แห่งที่อยู่นอกพื้นที่เหมือง (จากการเก็บตัวอย่างในวันที่ 27 พฤศจิกายน 2559) แสดงในภาคผนวก ค

1) ปริมาณความเข้มข้นของสารหนู (As)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนู พบว่า ตัวอย่างตะกอนดินจากแหล่งน้ำภายในและภายนอกพื้นที่เหมืองมีปริมาณสารหนูต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ ($<2.2 \times 10^{-6}$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งมีค่าไม่เกินเกณฑ์ที่แนะนำของ Canadian Council of Ministers of the Environment (2007) ที่แนะนำว่าควรมีปริมาณสารหนูน้อยกว่า 5.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

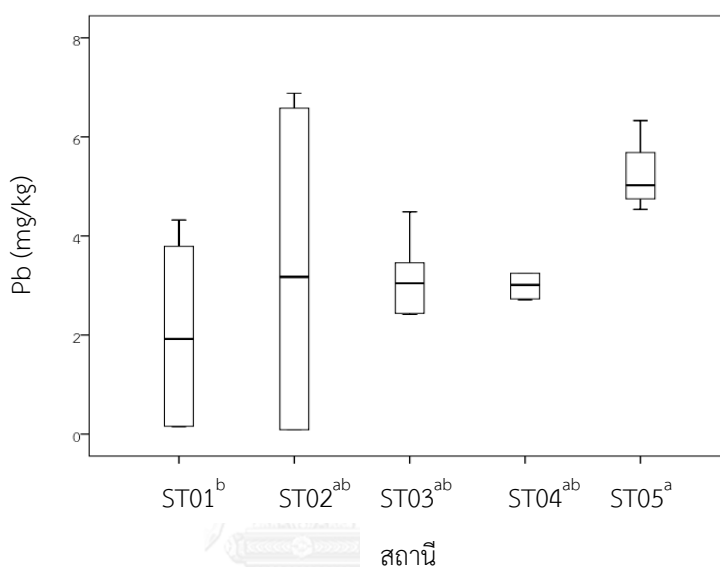
2) ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม พบว่า ตัวอย่างตะกอนดินจากแหล่งน้ำภายในและภายนอกพื้นที่เหมืองมีปริมาณแคดเมียมต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ (<0.0001 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งมีค่าไม่เกินเกณฑ์ที่แนะนำของ Canadian Council of Ministers of the Environment (2007) ที่แนะนำว่าควรมีปริมาณแคดเมียมต่ำกว่า 0.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

3) ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่ว (Pb)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วดังภาพที่ 4.7 พบว่า เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณตะกั่วปนเปื้อนในตัวอย่างตะกอนดินมีค่าอยู่ในช่วง 0.1165-4.688 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST05 และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณตะกั่วปนเปื้อนในตัวอย่างตะกอนดินมีค่าอยู่ในช่วง 3.090-6.544 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

น้ำหนักแห้ง ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST02 สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ One-Way ANOVA พบว่าปริมาณตะกั่วใน ST05 มีความแตกต่างกับ ST01 อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ตัวอย่างตะกอนดินจากแหล่งน้ำภายนอกพื้นที่เหมืองมีปริมาณตะกั่วต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ (0.0006 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตัวอย่างตะกอนดินทั้งหมดมีปริมาณตะกั่วไม่เกินเกณฑ์ของ Canadian Council of Ministers of the Environment (2007) ที่แนะนำว่าควรมีปริมาณตะกั่วน้อยกว่า 35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

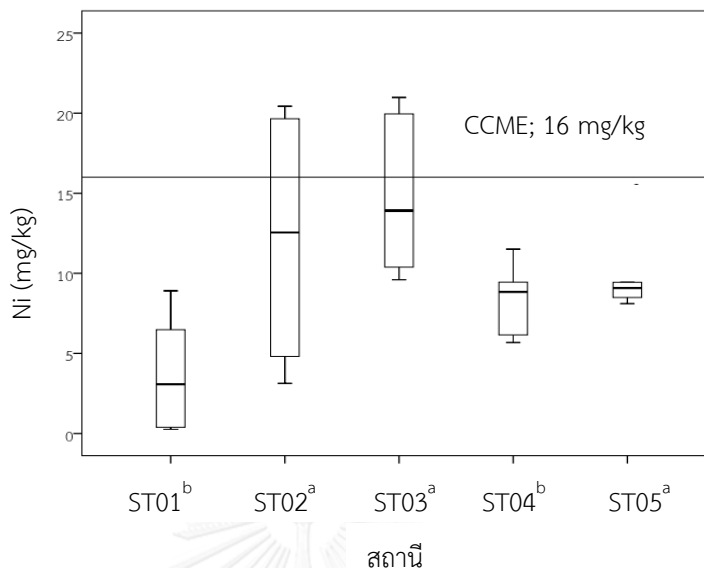


ภาพที่ 4.7 ความเข้มข้นของตะกั่วในตะกอนดิน

4) ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) าล้าย

ผลการวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลดังภาพที่ 4.8 พบว่า เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณนิกเกิลมีค่าอยู่ในช่วง 0.3719-10.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST03 และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณนิกเกิลมีค่าอยู่ในช่วง 7.022-18.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST03 ตัวอย่างตะกอนดินจากแหล่งน้ำภายนอกพื้นที่เหมืองมีปริมาณนิกเกิลมีค่าอยู่ในช่วง 1.811-3.613 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีช่วงต่ำกว่าพื้นที่ภายในเหมือง เกณฑ์ของ Canadian Council of Ministers of the Environment (2007) ที่แนะนำว่าควรมีปริมาณตะกั่วน้อยกว่า 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาแล้วพบว่าตัวอย่างที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่แนะนำ ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ได้แก่ ST02 และ ST03 มีค่าเท่ากับ 18.64 และ 18.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ One-Way ANOVA พบว่า ปริมาณนิกเกิลใน ST02 ST03 และ ST05 มีความแตกต่างกับ ST04 และ ST01 อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณนิกเกิลภายในพื้นที่เหมืองกับภายนอกพื้นที่

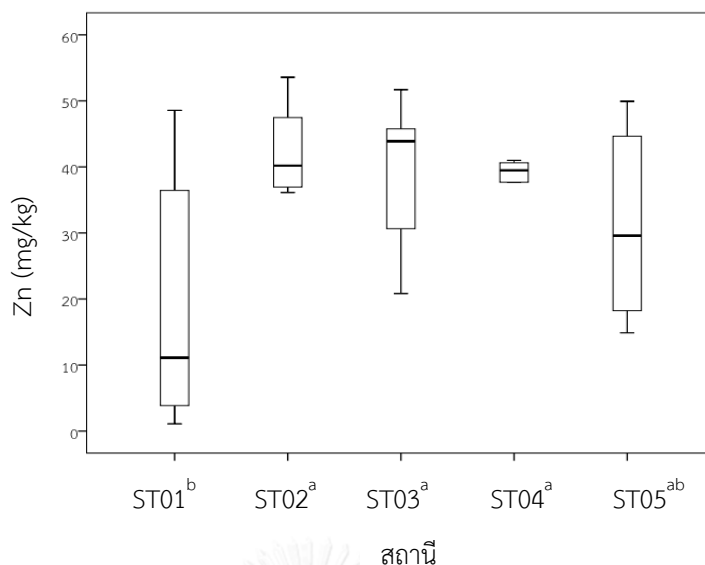
เหมืองโดยใช้ Independent T-test พบว่าทั้ง 2 พื้นที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)



ภาพที่ 4.8 ความเข้มข้นของนิกเกิลในตะกอนดิน

5) ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสี (Zn)

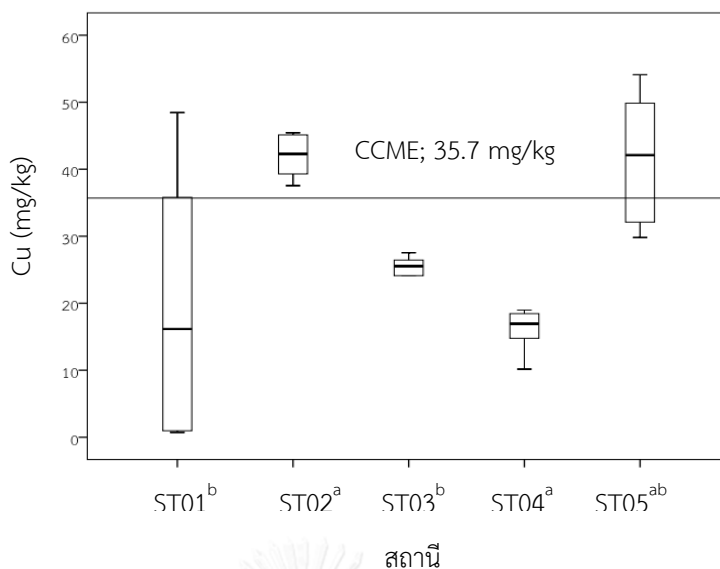
ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีดังภาพที่ 4.9 พบว่า เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณสังกะสีมีค่าอยู่ในช่วง 3.221-46.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST03 และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณสังกะสีมีค่าอยู่ในช่วง 32.41-47.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST02 ตัวอย่างตะกอนดินจากแหล่งน้ำภายนอกพื้นที่เหมืองมีปริมาณสังกะสีมีค่าอยู่ในช่วง 7.655-13.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีช่วงต่ำกว่าพื้นที่ภายในเหมือง ปริมาณสังกะสีในตะกอนจากแหล่งน้ำภายในและภายนอกเหมืองมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่แนะนำการปนเปื้อนสังกะสีในตะกอนดินของ Canadian Council of Ministers of the Environment (2007) แนะนำว่าควรมีปริมาณสังกะสีน้อยกว่า 110 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ One-Way ANOVA พบว่าปริมาณสังกะสีใน ST01 มีความแตกต่างกับ ST02 ST03 ST04 และ ST05 อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณสังกะสีภายในพื้นที่เหมืองกับภายนอกพื้นที่เหมืองโดยใช้ Independent T-test พบว่าทั้ง 2 พื้นที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)



ภาพที่ 4.9 ความเข้มข้นของสังกะสีในตะกอนดิน

6) ปริมาณความเข้มข้นของทองแดง (Cu)

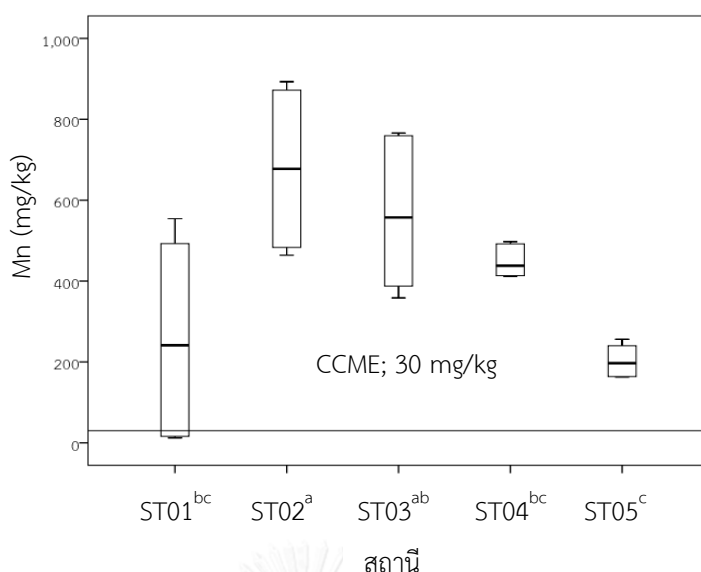
ผลการวิเคราะห์ปริมาณทองแดงดังภาพที่ 4.10 พบว่า เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณทองแดงมีค่าอยู่ในช่วง 0.9499-44.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST02 และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณทองแดงมีค่าอยู่ในช่วง 17.62-45.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST05 ตัวอย่างตะกอนดินจากแหล่งน้ำภายนอกพื้นที่เหมืองมีปริมาณทองแดงมีค่าอยู่ในช่วง 1.173-9.830 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีช่วงต่ำกว่าพื้นที่ภายในเหมือง เกณฑ์ที่แนะนำการปนเปื้อนทองแดงในตะกอนดินของ Canadian Council of Ministers of the Environment (2007) แนะนำว่าควรมีปริมาณทองแดงน้อยกว่า 35.7 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาแล้วพบว่าตัวอย่างที่มีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่แนะนำ ในเดือนพฤศจิกายน 2558 ได้แก่ ST02 และ ST05 มีค่าเท่ากับ 44.34 และ 38.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในเดือนกุมภาพันธ์ 2559 ได้แก่ ST01 ST02 และ ST05 มีค่า 38.46 39.64 เท่ากับ และ 45.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ One-Way ANOVA พบว่าปริมาณทองแดงใน ST027 และ ST05 มีความแตกต่างกับ ST01 ST03 และ ST04 อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณทองแดงในพื้นที่เหมืองกับนอกพื้นที่เหมืองโดยใช้ Independent T-test พบว่าทั้ง 2 พื้นที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4.10 ความเข้มข้นของทองแดงในตะกอนดิน

7) ปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีส (Mn)

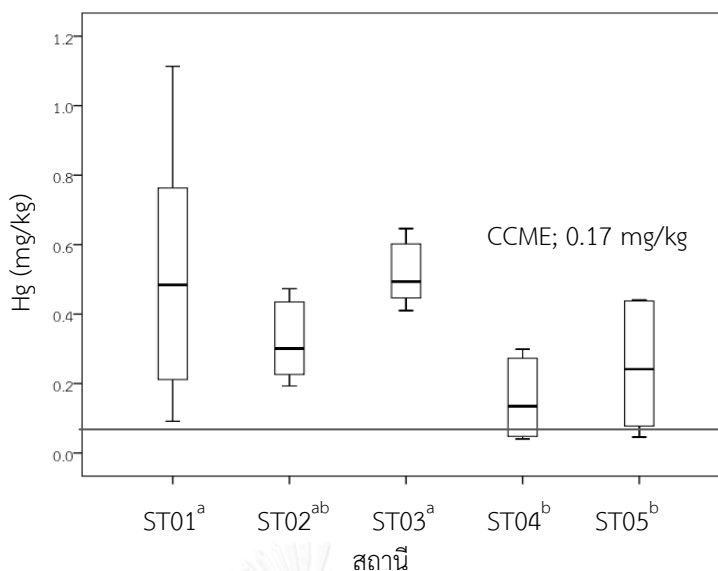
ผลการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสดังภาพที่ 4.11 พบว่า เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณแมงกานีสมีค่าอยู่ในช่วง 15.32-481.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST02 และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณแมงกานีสมีค่าอยู่ในช่วง 0.4233-874.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST02 ตัวอย่างตะกอนดินจากแหล่งน้ำภายนอกพื้นที่เหมืองมีปริมาณแมงกานีสมีค่าอยู่ในช่วง 16.40-27.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีช่วงต่ำกว่าพื้นที่ภายในเหมือง เกณฑ์ที่แนะนำการปนเปื้อนแมงกานีสในตะกอนดินของ Canadian Council of Ministers of the Environment (2007) แนะนำว่าควรมีปริมาณแมงกานีสน้อยกว่า 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาแล้วพบว่าตะกอนดินทุกตัวอย่างที่มีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่แนะนำ ยกเว้น ST01 ในเดือนกุมภาพันธ์ 2559 สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ One-Way ANOVA พบว่าปริมาณแมงกานีสใน ST02 และ ST03 มีความแตกต่างกับ ST01 ST04 และ ST05 อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณแมงกานีสในพื้นที่เหมืองกับนอกพื้นที่เหมืองโดยใช้ Independent T-test พบว่าทั้ง 2 พื้นที่ไม่มีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4.11 ความเข้มข้นของแมงกานีสในตะกอนดิน

8) ปริมาณความเข้มข้นของปรอท (Hg)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทดังภาพที่ 4.12 พบว่า เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 0.0836-0.4863 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST05 และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 0.0571-0.8387 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณสูงสุดพบในสถานี ST01 ตัวอย่างตะกอนดินจากแหล่งน้ำภายนอกพื้นที่เหมืองมีปริมาณปรอทมีค่าอยู่ในช่วง <math><0.00005-0.1147</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีช่วงต่ำกว่าพื้นที่ภายในเหมือง เกณฑ์ที่แนะนำการปนเปื้อนปรอทในตะกอนดินของ Canadian Council of Ministers of the Environment (2007) แนะนำว่าควรมีปริมาณปรอทน้อยกว่า 0.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาแล้วพบว่า ตัวอย่างที่มีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่แนะนำ ในเดือนพฤศจิกายน 2558 ได้แก่ ST05 มีค่า 0.0836 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในเดือนกุมภาพันธ์ 2559 ได้แก่ ST01 มีค่า 0.8387 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ One-Way ANOVA พบว่าปริมาณปรอทใน ST04 และ ST05 มีความแตกต่างกับ ST01 ST02 และ ST03 อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)



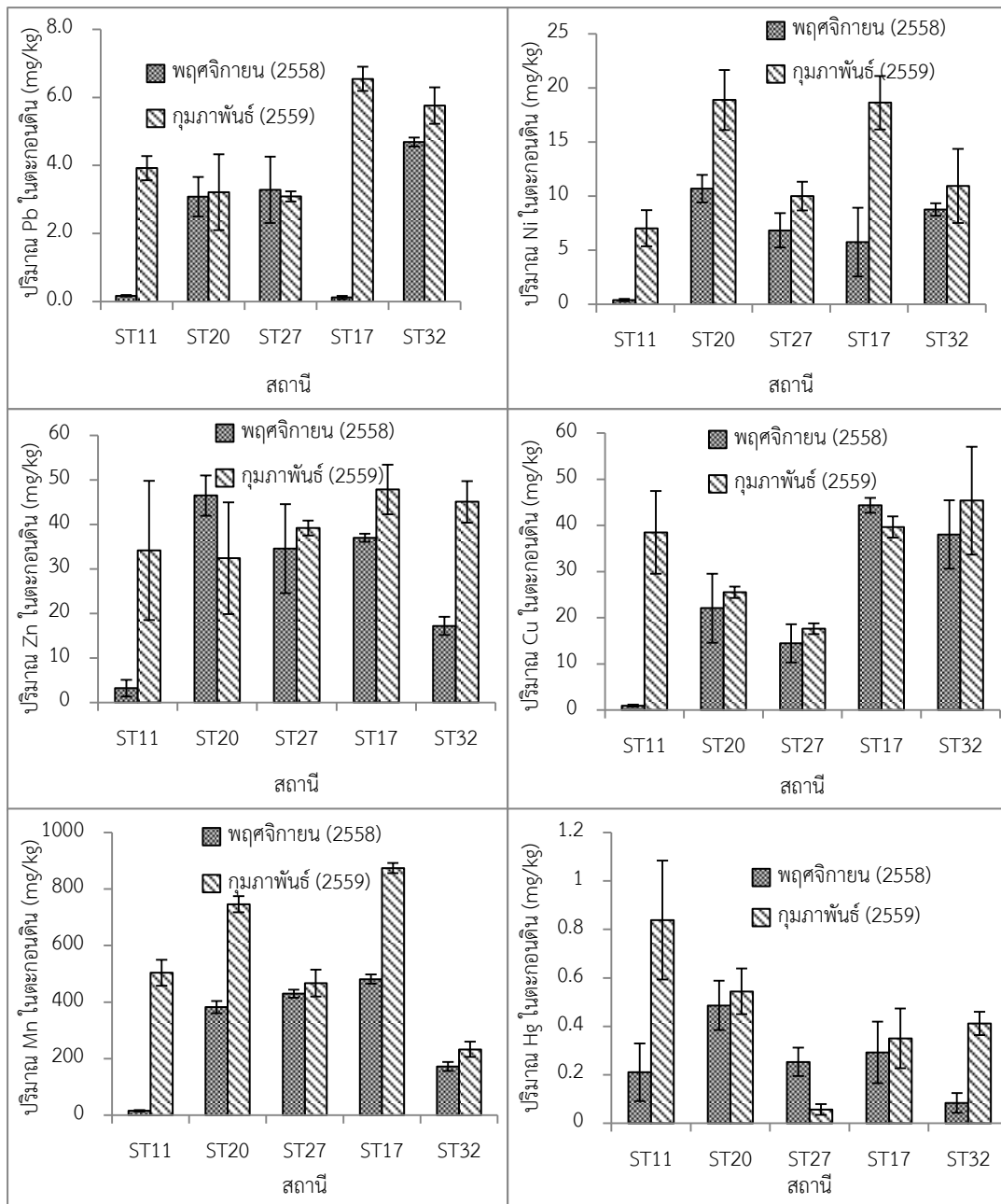
ภาพที่ 4.12 ความเข้มข้นของปรอทในตะกอนดิน

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักในตะกอนดิน พบว่ามีปริมาณ As, Cd, Pb และ Zn ไม่เกินเกณฑ์ที่แนะนำของ Canadian Council of Ministers of the Environment (2007) แต่มีปริมาณ Ni, Cu, Mn และ Hg เกินเกณฑ์ที่แนะนำ การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ST02 มีปริมาณ Mn, Cu และ Zn สูงสุด อาจเนื่องมาจาก ST02 บ่อรองรับน้ำจากเขื่อน TSF1 เป็นบ่อที่ใช้สำหรับรองรับน้ำที่ล้นมาจากบ่อกักเก็บหางแร่และน้ำที่ล้นมาจากกระบวนการต่างๆ ซึ่งปริมาณที่พบมีค่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำผิวดิน อาจเนื่องมาจากเมื่อบ่อ ST02 มีขนาดอนุภาคของตะกอนดินที่ละเอียดมากกว่าบ่ออื่น ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง สามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารได้มาก (อนงนาฏ, 2557) ส่งผลให้โลหะหนักเข้าไปแทรกตัวตามอนุภาคของดินตะกอนได้มากขึ้น ซึ่งส่งเสริมให้เกิดการสะสมได้ดี และยังเป็นบ่อที่รองรับน้ำจากกระบวนการต่างๆ ของเหมืองโดยตรง โดยน้ำที่ปล่อยเข้ามาในบ่อทางเหมืองได้มีการบำบัดน้ำสม่ำเสมอ แต่ไม่ได้มีการบำบัดตะกอนดินซึ่งส่งผลให้โลหะหนักที่ตกตะกอนสะสมอยู่ในตะกอนดินปริมาณมาก ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ Cu, Mn, Ni และ Zn กับพื้นที่ภายนอกเหมืองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ Pb และ Hg พบว่าพื้นที่ภายนอกเหมืองพบปริมาณ Pb และ Hg มีค่าต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ ซึ่งแตกต่างจากพื้นที่ในเหมืองที่ตรวจพบปริมาณ Pb อยู่ในช่วง 0.0865-6.880 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าสูงสุดพบที่ ST02 และปริมาณ Hg อยู่ในช่วง 0.0404-1.113 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าสูงสุดพบที่ ST01 และความเข้มข้นของโลหะหนักทุกชนิดจากในพื้นที่เหมืองมีค่าอยู่ในช่วงที่สูงกว่าบริเวณพื้นที่นอกเหมือง อาจแสดงให้เห็นว่าการทำกิจกรรมต่างๆ ของเหมืองแร่ทองคำอาจส่งผลให้เกิดการสะสมของโลหะหนักมากขึ้นได้ การศึกษานี้พบปริมาณของปรอทในตะกอนดินสูง

มากเมื่อเทียบกับในน้ำผิวดิน เนื่องมาจากปรอทมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ดังนั้นเมื่อปรอทปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ จะทำให้ปรอทยึดติดกับอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยอยู่ในน้ำและตกตะกอนลงสู่ท้องน้ำ ดังนั้นจึงพบปริมาณปรอทที่สะสมอยู่ในตะกอนดินมีค่าสูงกว่าในน้ำหลายเท่า (Bryan and Langston, 1992) อีกทั้งปรอทสามารถสร้างพันธะที่แข็งแกร่งกับสารอินทรีย์ในตะกอนดิน ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกระบวนการเมทิลเลชันของปรอท เกิดเป็นเมทิลเมอร์คิวรีที่ไม่ละลายน้ำ (Benoit et al. 2001)

4.3.3 การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินระหว่างเดือน

ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบโลหะในตะกอนดินทั้ง 2 เดือนแสดงดังภาพที่ 4.13 พบว่าปริมาณของโลหะหนักส่วนใหญ่มีแนวโน้มสูงขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ซึ่งเป็นช่วงน้ำแล้ง อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงจากการลดระดับของน้ำในแหล่งน้ำของแต่ละสถานี การตกตะกอนในฤดูแล้งหรือช่วงเวลาน้ำลดระดับ การระเหยของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของโลหะหนักถ่ายทอดไปสู่ตะกอนดินได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Alagarsamy (2006) พบความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำสุดในช่วงมรสุมเมื่อเทียบกับช่วงก่อนและหลังมรสุม และการศึกษาของ Edokpayi et al. (2015) พบว่าในน้ำและตะกอนดินของแม่น้ำ Mvudi มีปริมาณโลหะที่พบในฤดูแล้งมากกว่าฤดูฝน ทั้งนี้ในการศึกษานี้ปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินทั้ง 2 เดือน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4.13 ปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินแต่ละเดือน

4.3.4 การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินกับพื้นที่อื่นๆ

จากตารางที่ 2.7 การศึกษานี้พบปริมาณ Cd และ As มีค่า <0.0001 และ $<2 \times 10^{-6}$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณของ Zn, Cu, Pb, Mn Ni และ Hg มีค่าอยู่ในช่วง 3.221-47.83 0.9499-44.34 0.1165-6.544 0.4233-874.1 0.3719-10.69 และ <0.0002 -0.8387 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักทุกชนิดมีค่าสูงสุดต่ำกว่าพื้นที่อื่น

4.4 การศึกษาปริมาณโลหะหนักในสัตว์น้ำ

4.4.1 ชนิดของสัตว์น้ำที่พบในพื้นที่ศึกษา

ตัวอย่างสัตว์น้ำที่เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 มีจำนวนรวมทั้งสิ้น 172 ตัว โดยสามารถจำแนกชนิดได้รวม 11 ชนิด เป็นปลา 9 ชนิด กุ้ง 1 ชนิด และหอย 1 ชนิด ในการเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำครั้งที่ 2 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 มีจำนวนสัตว์น้ำรวมทั้งสิ้น 301 ตัว โดยสามารถจำแนกชนิดได้รวม รวม 7 ชนิดเป็นปลา 5 ชนิด กุ้ง 1 ชนิด และหอย 1 ชนิด และในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีจำนวนสัตว์น้ำรวมทั้งสิ้น 254 ตัว โดยสามารถจำแนกชนิดได้รวม รวม 12 ชนิดเป็นปลา 11 ชนิด และหอย 1 ชนิด รายละเอียดของสัตว์น้ำที่เก็บตัวอย่างได้ในแต่ละครั้งจากแต่ละสถานีแสดงดังตารางที่ 4.1 และตัวอย่างจากภายนอกเมืองจำแนกชนิดได้ 4 ชนิด จำนวนรวมทั้งสิ้น 41 ตัว ดังตารางที่ 4.2 ตลอดระยะเวลาการศึกษาได้ทำการเก็บตัวอย่างปลาจำนวนทั้งสิ้น 13 ชนิดดังนี้

- วงศ์ Ambassidae ได้แก่ ปลาแป้นแก้ว (*Ambassis apogonoides*; AA)
- วงศ์ Anabas ได้แก่ ปลาหมอ (*Anabas testudineus*; AT)
- วงศ์ Bagridae ได้แก่ ปลาแขยงข้างลาย (*Mystus multiradiatus*; MM)
- วงศ์ Channidae ได้แก่ ปลาช่อน (*Channa striata*; CS)
- วงศ์ Cichlidae ได้แก่ ปลานิล (*Oreochromis niloticus*; ON)
- วงศ์ Cyprinidae ได้แก่ ปลาตะเพียนขาว (*Barbonymus gonionotus*; BG)
ปลาชิวหนวดยาว (*Esomus metallicus*; EM)
ปลาชิวหางแดง (*Rasbora borapetensis*; RB)
ปลาชิวควายแถบดำ (*Rasbora tornieri*; RT)
ปลาสร้อยขาว (*Henicorhynchus siamensis*; HS)
ปลายี่สก (*Probarbus jullieni*; PJ)
- วงศ์ Eleotridae ได้แก่ ปลาบุ้ทราย (*Oxyeleotris marmorata*; OM)
- วงศ์ Osphronemidae ได้แก่ ปลากระดี่หม้อ (*Trichopodus trichopterus*; TT)

นอกจากนั้นในสถานี ST17 ยังได้ทำการเก็บตัวอย่างสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่เป็นสัตว์น้ำที่มีการนำมาบริโภคอีกจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ หอยเชอรี่ (*Pomacea canaliculata*; PC) และกุ้งฝอย (*Macrobrachium lanchesteri*; ML)

ตารางที่ 4.2 ชนิดและจำนวนของตัวอย่างสัตว์น้ำที่พบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

สถานี	ชื่อสามัญ	ชื่อวิทยาศาสตร์	ส.ค. 2558		พ.ย. 2558		ก.พ. 2559		ธ.ค. 2559		
			จำนวน (ตัว)	น้ำหนัก (กรัม)	จำนวน (ตัว)	น้ำหนัก (กรัม)	จำนวน (ตัว)	น้ำหนัก (กรัม)	จำนวน (ตัว)	น้ำหนัก (กรัม)	
ST01	ปลาตะเพียนขาว	<i>Barbonymus gonionotus</i>	3	4042	5	3065.1	4	636.5			
	ปลาอีตัก	<i>Probarbus jullieni</i>	1	2420	-	-	-	-			
	ปลาชิวทงแดง	<i>Rosbora borapetensis</i>	8	3.98	-	-	-	-			
	ปลาแป้นแก้ว	<i>Ambassis opogonoides</i>	25	23.5	68	50.9	-	-			
	หอยเชอรี่	<i>Pomacea canaliculata</i>	23	140	32	165	3	10.9			
ST02	กุ้งฝอย	<i>Macrobrachium lanchesteri</i>	23	5.5	10	8.20	-	-			
	ปลาช่อน	<i>Channa striata</i>	-	-	-	-	1	90.5			
	ปลาชิวทวดขาว	<i>Esomus metallicus</i>	10	19.9	-	-	-	-			
	ปลาแป้นแก้ว	<i>Ambassis opogonoides</i>	14	10.0	152	117.4	26	31			
	ปลาแขยงข้างลาย	<i>Mystus multiradiatus</i>	6	170	1	83.9	-	-			
ST03	ปลาสร้อยขาว	<i>Henicorhynchus siamensis</i>	6	180	-	-	-	-			
	ปลาหมอ	<i>Anabas testudineus</i>	3	53.9	-	-	-	-			
	ปลาชิวทวยแถบดำ	<i>Rosbora tornieri</i>	-	-	-	-	16	61			
	ปลากรรณะตีหม้อ	<i>Trichopodus trichopterus</i>	-	-	-	-	2	3			
	ปลาชิวทวยแถบดำ	<i>Rosbora tornieri</i>	-	-	7	10.7	16	80			
ST04	ปลากรรณะตีหม้อ	<i>Trichopodus trichopterus</i>	ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง		-	-	9	23			
	ปลาหมอ	<i>Anabas testudineus</i>	ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง		-	-	8	33			
	ปลาแขยงข้างลาย	<i>Mystus multiradiatus</i>	ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง		-	-	12	90			
	ปลาชิวทวดขาว	<i>Esomus metallicus</i>	32	54.7	23	38.2	27	46.5			
	ปลาชิวทวยแถบดำ	<i>Rosbora tornieri</i>	18	56.6	3	3.4	-	-			
ST05	ปลานิล	<i>Oreochromis niloticus</i>	-	-	-	-	2	335			
	ปลาสร้อยขาว	<i>Henicorhynchus siamensis</i>	-	-	-	-	125	256.1			
	ปลาหมอ	<i>Anabas testudineus</i>	-	-	-	-	2	72.5			
	ปลานุ้ทราย	<i>Oxyleotris marmorata</i>	-	-	-	-	1	90.5			
	ปลาช่อน	<i>Channa striata</i>	-	-	-	-	-	-			
ตลาด	ปลาช่อน	<i>Anabas testudineus</i>	ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง							5	189.2
นาข้าว	ปลาช่อน	<i>Channa striata</i>	ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง							3	64.9
	ปลาหมอ	<i>Anabas testudineus</i>	ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง							3	71.5
	ปลากรรณะตีหม้อ	<i>Trichopodus trichopterus</i>	ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง							1	2.14
	หอยเชอรี่	<i>Pomacea canaliculata</i>	ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง							5	221.8
				ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง							24

4.4.2 การวิเคราะห์สารอ้างอิงที่รับรอง

การวิเคราะห์สารอ้างอิงที่รับรอง (Certified Reference Material; CRM) DORM-4 และ DORM-2 โดยใช้วิธีการเดียวกันกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 10 ซ้ำ ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.3 โดยพบว่าปริมาณ As และ Hg ใน DORM-2 คิดเป็น 97.6 และ 95.5% ของปริมาณที่กำกับมากับ CRM ตามลำดับ ส่วนปริมาณ Cd, Cu, Mn, Ni, Pb และ Zn ใน DORM-4 คิดเป็น 95.5, 96.4, 97.0, 97.0, 95.7 และ 96.9% ของปริมาณที่กำกับมากับ CRM ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3 ทั้งนี้ค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ในช่วง 95.5-97.6%

ตารางที่ 4.3 ปริมาณโลหะหนักในสารอ้างอิงที่รับรอง DORM-4 และ DORM-2

ครั้งที่	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	As	Hg
1	0.2710	15.02	2.940	1.535	0.3711	52.46	15.58	4.23
2	0.2942	14.64	3.241	1.468	0.4311	47.74	15.66	4.12
3	0.2817	16.88	2.849	1.440	0.3547	47.88	14.32	3.98
4	0.2693	14.49	3.222	0.9824	0.4389	49.96	16.31	3.76
5	0.2888	15.54	3.185	1.623	0.3918	48.64	15.72	4.21
6	0.2692	14.81	2.733	1.017	0.3633	49.83	17.21	4.87
7	0.3035	15.75	3.305	1.372	0.3807	51.24	16.32	4.35
8	0.3048	15.34	3.250	1.113	0.4056	51.10	15.69	3.98
9	0.2835	13.54	3.009	1.407	0.3524	51.48	16.81	4.55
10	0.2902	15.28	3.004	1.031	0.3753	49.43	16.48	4.62
CRM (mg/kg)	0.299	15.7	3.17	1.34	0.404	51.6	16.4	4.47
Avg	0.2856	15.13	3.074	1.299	0.3865	49.98	16.01	4.267
S.D.	0.0132	0.8789	0.1945	0.2385	0.0302	1.591	0.8053	0.3372
% ที่วิเคราะห์ได้	95.5	96.4	97.0	97.0	95.7	96.9	97.6	95.5

4.4.3 การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในสัตว์น้ำกับค่ามาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักจำนวน 8 ชนิดในตัวอย่างสัตว์น้ำจากบ่อน้ำภายในพื้นที่เหมือง (จากการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้งในระหว่างวันที่ 22-23 สิงหาคม 2558 วันที่ 21-22 พฤศจิกายน 2558 และวันที่ 27-28 กุมภาพันธ์ 2559) และค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำผิวดินจากแหล่งน้ำจำนวน 3 แห่งที่อยู่นอกพื้นที่เหมือง (จากการเก็บตัวอย่างในวันที่ 27 พฤศจิกายน 2559) แสดงในภาคผนวก ง

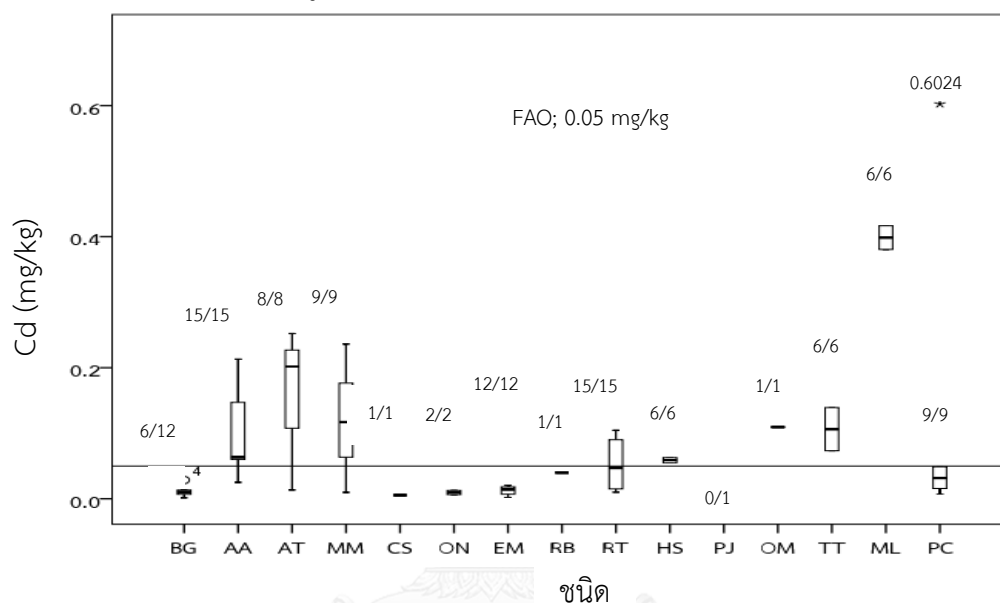
1) ปริมาณความเข้มข้นของสารหนู (As)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนู พบว่า ตัวอย่างจากแหล่งน้ำภายในและภายนอกพื้นที่เหมืองมีปริมาณสารหนูต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ ($<2.2 \times 10^{-6}$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ยกเว้นตัวอย่างหอยเชอรี่ในพื้นที่เหมืองจาก (ST02) เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณสารหนู 0.6981 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งมีค่าไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับมาตรฐานการปนเปื้อนแคดเมียมในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดว่าต้องมีปริมาณสารหนูน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งตัวอย่างหอยเชอรี่มีค่าไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด

2) ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมดังภาพที่ 4.14 พบว่า ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ $<0.00009-0.4166$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของกุ้งฝอย (ST02) สำหรับในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ $<0.00009-0.6024$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของหอยเชอรี่ (ST02) และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำมีค่าตั้งแต่ $<0.00009-0.2360$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของปลาแขยงข้างลาย (ST03) ซึ่งจากการวิเคราะห์ตัวอย่างสัตว์น้ำทั้งหมดพบว่าปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างสัตว์น้ำไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับมาตรฐานการปนเปื้อนแคดเมียมในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดว่าต้องมีปริมาณแคดเมียมน้อยกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับปริมาณสูงสุดที่ยอมรับได้ของแคดเมียมของ FAO/WHO (2011) กำหนดระดับของแคดเมียมปนเปื้อนในอาหารต้องต่ำกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าปริมาณแคดเมียมส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ตัวอย่างตับของปลาตะเพียน (ST01) 2 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0.1458-0.5534 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาแป้นแก้ว (ST02 และ ST03) มีค่าเท่ากับ 0.2130 และ 0.0636 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ กุ้งฝอย (ST02) มีค่าเท่ากับ 0.4166 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาสร้อยขาว (ST03) มีค่าเท่ากับ 0.0630 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาหมอ (ST03) มีค่าเท่ากับ 0.2521 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปลาชิวควายแถบดำ (ST05) มีค่าเท่ากับ 0.0902 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตัวอย่างกุ้งฝอย (ST02) มีค่าเท่ากับ 0.3804 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หอยเชอรี่ (ST02) มีค่าเท่ากับ 0.6024 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาแป้นแก้ว (ST02) มีค่าเท่ากับ 0.1473 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาแขยงข้างลายมีค่าเท่ากับ 0.1170 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปลาชิวควายแถบดำมีค่าเท่ากับ 0.1046 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตัวอย่างปลาแป้นแก้ว (ST03) มีค่าเท่ากับ 0.0601 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลากระตี่หม้อ (ST04) มีค่าเท่ากับ 0.0733 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาหมอ

(ST04) มีค่าเท่ากับ 0.2018 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาแขยงข้างลาย (ST04) มีค่าเท่ากับ 0.2360 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาสร้อยขาว (ST05) มีค่าเท่ากับ 0.0550 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลานู๋ทราย (ST05) มีค่าเท่ากับ 0.1094 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักจากการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ธรรมชาติ พบว่าปริมาณของแคดเมียมในสัตว์น้ำอยู่ในช่วง 0.0012-0.1804 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งพบปริมาณสูงสุดต่ำกว่าสัตว์น้ำจากเหมือง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง <math><0.00009-0.6024</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดของแคดเมียมพบในหอยเชอร์รี่เช่นเดียวกันทั้ง 2 พื้นที่

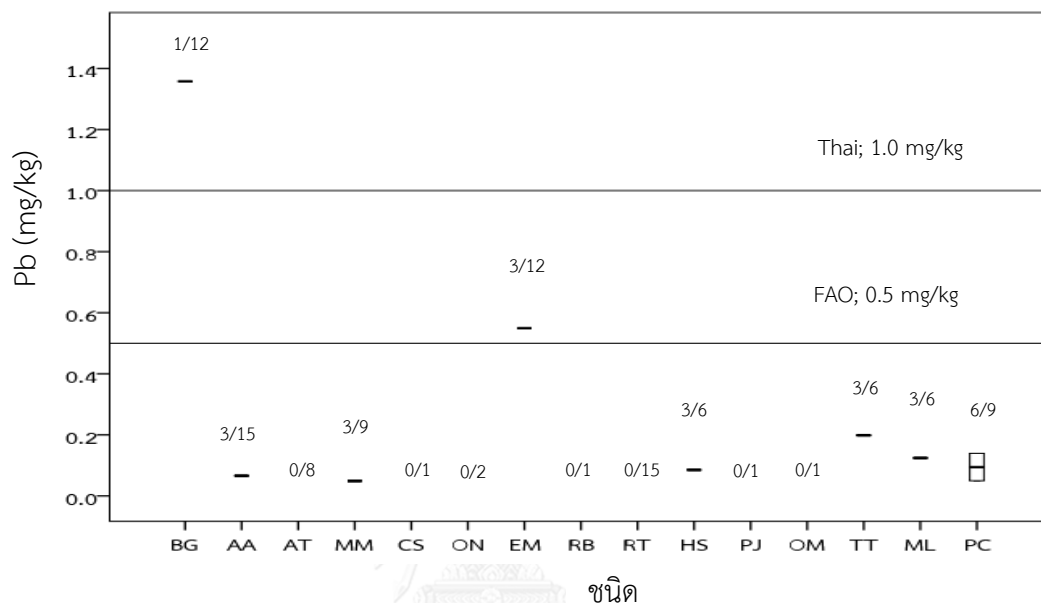


ภาพที่ 4.14 ความเข้มข้นของแคดเมียมในสัตว์น้ำ

3) ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่ว (Pb)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วดังภาพที่ 4.15 พบว่า ตัวอย่างสัตว์น้ำทั้งหมดในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 มีปริมาณตะกั่วต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ (<math><0.0006</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณตะกั่วปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ <math><0.0006-1.358</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณตะกั่วสูงสุดพบในตัวอย่างของเนื้อปลาตะเพียนขาว (ST01) และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณตะกั่วปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ <math><0.0006-0.5496</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของปลาชิวหนวดยาว (ST05) เกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนตะกั่วในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2529 กำหนดว่าต้องมีปริมาณตะกั่วต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่ามีตัวอย่างเนื้อปลาตะเพียน (ST01) ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 จำนวน 1 ตัวอย่าง มีปริมาณตะกั่ว 1.358 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เมื่อเทียบกับปริมาณสูงสุดที่ยอมรับได้ของตะกั่ว FAO/WHO (2011) กำหนดระดับของแคดเมียมปนเปื้อนใน

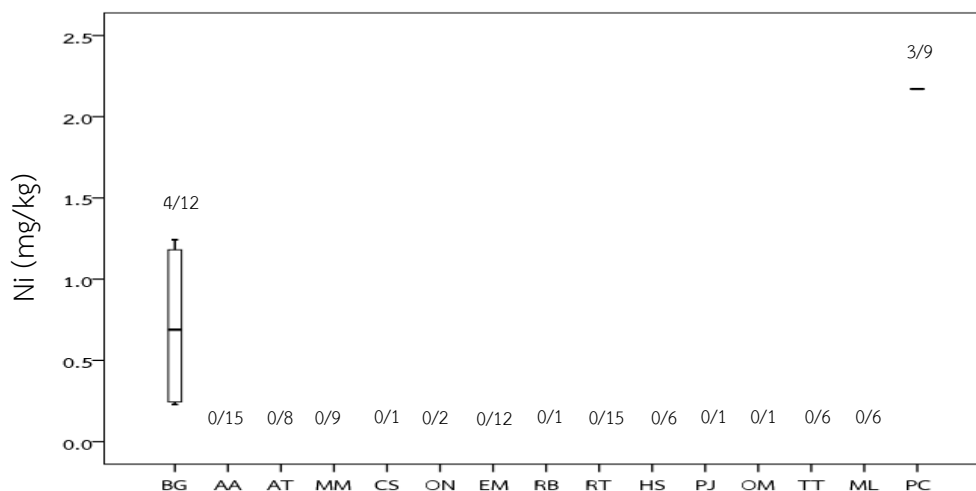
อาหารต้องต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 มีตัวอย่างปลาชิวหนวดยาว (ST05) ปริมาณแคดเมียมค่าเท่ากับ 0.5495 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วจากการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ธรรมชาติ พบว่าปริมาณตะกั่วในสัตว์น้ำมีค่าต่ำกว่าที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้ (<0.0006) ทั้งหมด แต่ในพื้นที่เหมืองมีการตรวจพบการปนเปื้อนของตะกั่วในสัตว์น้ำอยู่ในช่วง $<0.0006-1.358$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



ภาพที่ 4.15 ความเข้มข้นของตะกั่วในสัตว์น้ำ

4) ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลดังภาพที่ 4.16 พบว่า ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณนิกเกิลปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ $<0.0010-2.171$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของหอยเชอร์รี่ (ST02) สำหรับในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณนิกเกิลปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ $<0.0010-1.118$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของเนื้อปลาตะเพียนขาว (ST01) และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณนิกเกิลปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์ต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ (<0.0012 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เกณฑ์สูงสุดของนิกเกิลที่ยอมรับได้ของ FAO/WHO (2011) กำหนดระดับของนิกเกิลปนเปื้อนต้องต่ำกว่า 76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่มีตัวอย่างสัตว์น้ำเกินเกณฑ์ที่กำหนด การเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลจากการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ธรรมชาติ พบว่าปริมาณนิกเกิลในสัตว์น้ำมีค่าอยู่ในช่วง $<0.0010-0.7035$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ในพื้นที่เหมืองมีการตรวจพบการปนเปื้อนของนิกเกิลในสัตว์น้ำอยู่ในช่วง $<0.0010-2.171$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งตัวอย่างสัตว์น้ำจากพื้นที่ธรรมชาติมีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าจากเหมือง

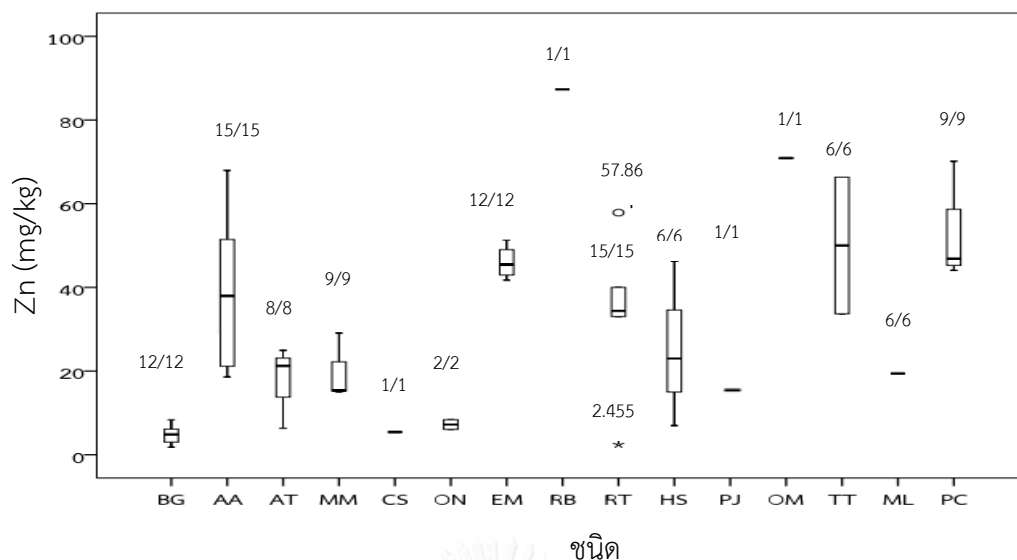


ชนิด

ภาพที่ 4.16 ความเข้มข้นของนิกเกิลในสัตว์น้ำ

5) ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสี (Zn)

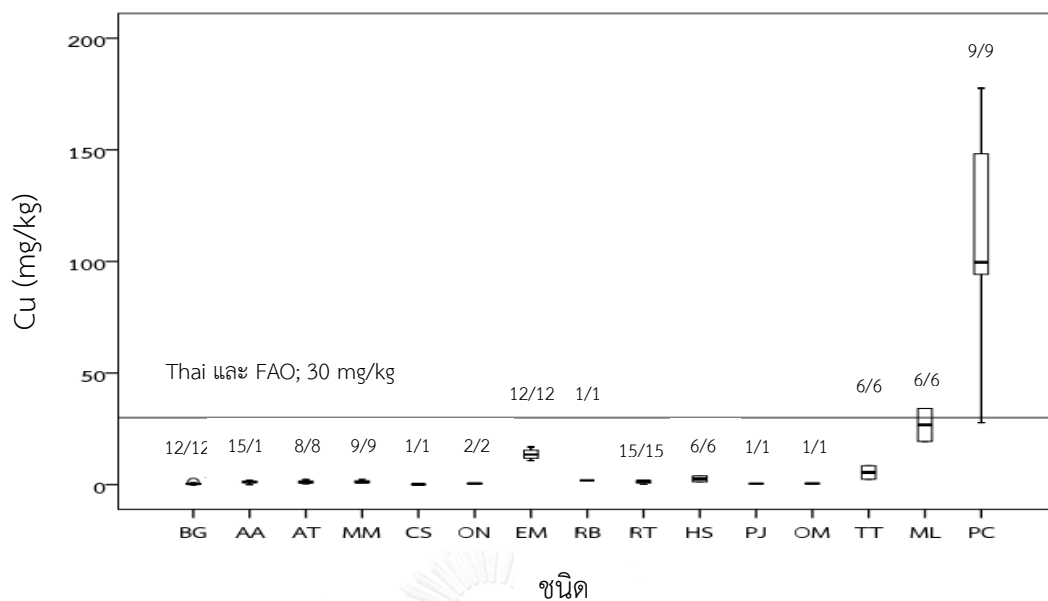
ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีดังภาพที่ 4.17 พบว่า ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณสังกะสีปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ 2.168-87.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของปลาชิวหางแดง (ST02) สำหรับในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณสังกะสีปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ 1.531-47.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของหอยเชอรี่ (ST02) และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณสังกะสีปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ 1.453-70.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของปลานู๋ทราย (ST05) ซึ่งตัวอย่างทั้งหมดมีปริมาณสังกะสีไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนสังกะสีในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2529 และ FAO/WHO (2011) กำหนดว่าต้องมีปริมาณสังกะสีน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การเปรียบเทียบปริมาณสังกะสีจากการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ธรรมชาติ พบว่าปริมาณสังกะสีในสัตว์น้ำมีค่าอยู่ในช่วง 1.254-9.954 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ในพื้นที่เหมืองมีการตรวจพบการปนเปื้อนของสังกะสีในสัตว์น้ำอยู่ในช่วง 1.453-87.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งตัวอย่างสัตว์น้ำจากพื้นที่ธรรมชาติมีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าจากเหมือง



ภาพที่ 4.17 ความเข้มข้นของสังกะสีในสัตว์น้ำ

6) ปริมาณความเข้มข้นของทองแดง (Cu)

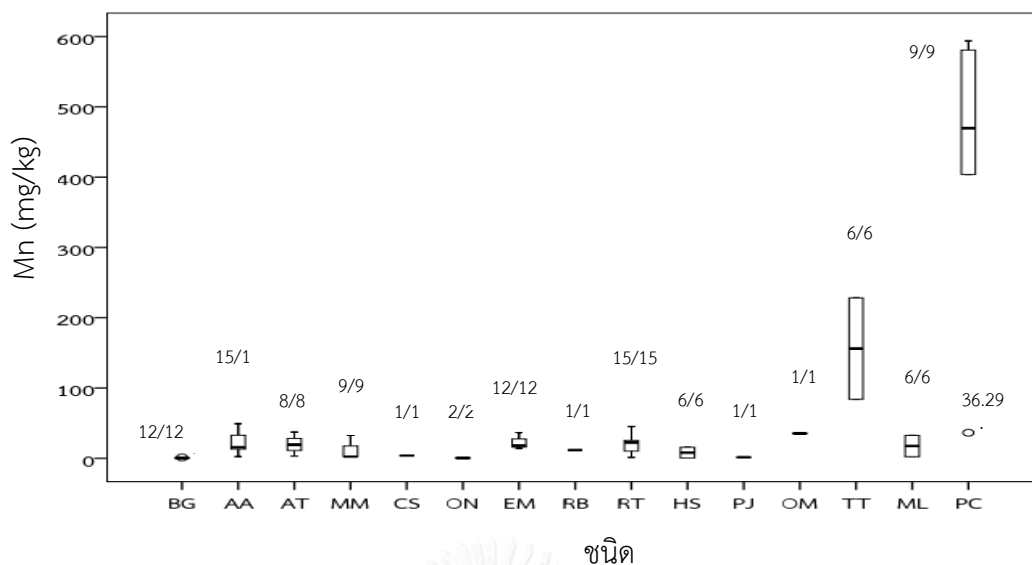
ผลการวิเคราะห์ปริมาณทองแดงดังภาพที่ 4.18 พบว่าในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณทองแดงปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ $0.0003-34.13$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของกุ้งฝอย (ST02) สำหรับในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณทองแดงปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ $0.2413-94.18$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของหอยเชอรี่ (ST02) และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณทองแดงปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ $0.1149-177.6$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของหอยเชอรี่ (ST02) เกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนปรอทในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2529 กำหนดว่าต้องมีปริมาณทองแดงน้อยกว่า 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ FAO/WHO (2011) กำหนดปริมาณทองแดงปนเปื้อนในปลาต้องไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษที่แล้วพบว่าตัวอย่างหอยเชอรี่และกุ้งฝอย (ST02) มีปริมาณของทองแดงเกินเกณฑ์มาตรฐานในทุกครั้งของการเก็บตัวอย่างโดยในการเก็บตัวอย่าง ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 หอยเชอรี่และกุ้งฝอย (ST02) มีค่าเท่ากับ 27.73 และ 34.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตัวอย่างหอยเชอรี่ (ST02) มีค่าเท่ากับ 94.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตัวอย่างหอยเชอรี่ (ST02) มีค่าอยู่ระหว่าง $99.63-177.6$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การเปรียบเทียบปริมาณทองแดงจากการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ธรรมชาติ พบว่าปริมาณทองแดงในสัตว์น้ำมีค่าอยู่ในช่วง $0.0803-3.787$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ในพื้นที่เหมืองมีการตรวจพบการปนเปื้อนของทองแดงในสัตว์น้ำอยู่ในช่วง <math><0.0003-177.6</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งตัวอย่างสัตว์น้ำจากพื้นที่ธรรมชาติมีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าจากเหมืองมาก



ภาพที่ 4.18 ความเข้มข้นของทองแดงในสัตว์น้ำ

7) ปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีส (Mn)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสดังภาพที่ 4.19 พบว่า ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณแมงกานีสปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ 0.1488-49.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของปลาแป้นแก้ว (ST02) สำหรับในเดือนพฤศจิกายน ตรวจพบปริมาณแมงกานีสปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ 0.2714-593.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างหอยเชอรี่ (ST02) และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณแมงกานีสปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ 0.1521-580.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างหอยเชอรี่ (ST02) ทั้งนี้ยังไม่มีข้อกำหนดมาตรฐานการปนเปื้อนในอาหารสำหรับแมงกานีส แต่มีการแนะนำว่าไม่ควรได้รับแมงกานีสเข้าสู่ร่างกายผ่านการบริโภคสูงกว่า 10 มิลลิกรัมต่อวัน (EPA, 1996) การเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสจากการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ธรรมชาติ พบว่าปริมาณแมงกานีสในสัตว์น้ำมีค่าอยู่ในช่วง 1.513-49.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ในพื้นที่เหมืองมีการตรวจพบการปนเปื้อนของแมงกานีสในสัตว์น้ำอยู่ในช่วง 0.1488-593.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งตัวอย่างสัตว์น้ำจากพื้นที่ธรรมชาติมีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าจากเหมืองมาก

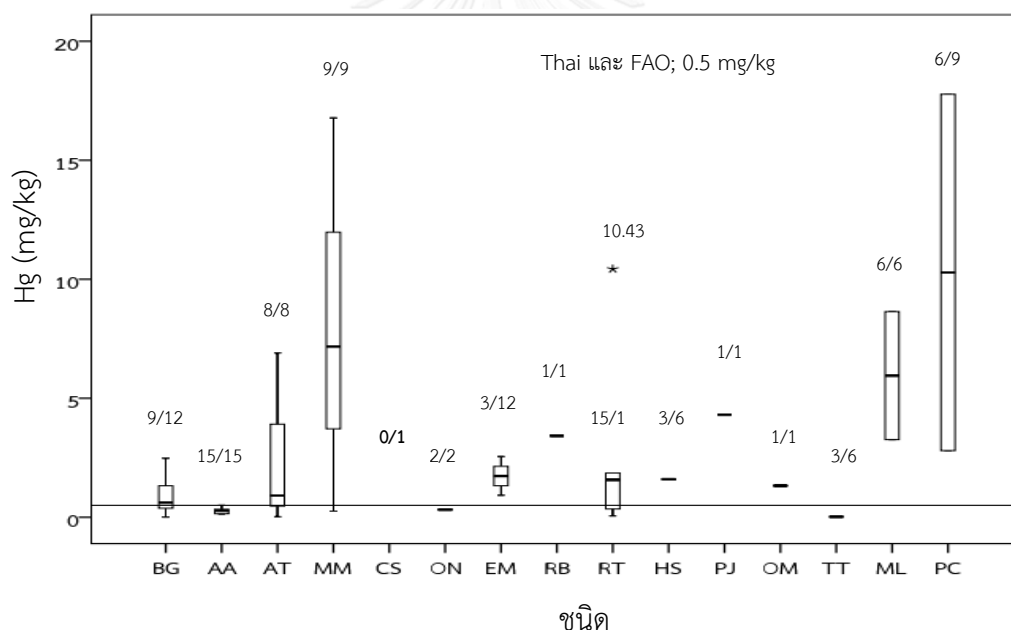


ภาพที่ 4.19 ความเข้มข้นของแมงกานีสในสัตว์น้ำ

8) ปริมาณความเข้มข้นของปรอท (Hg)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทดังภาพที่ 4.20 พบว่า ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณปรอทปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ <math><0.00005-8.640</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของกุ้งฝอย (ST02) สำหรับในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ตรวจพบปริมาณปรอทปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ <math><0.00005-10.43</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของปลาชิวควายแถบดำ (ST04) และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ตรวจพบปริมาณปรอทปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์น้ำในช่วงตั้งแต่ <math><0.00005-16.78</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในตัวอย่างของปลาแขยงข้างลาย (ST04) เกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนปรอทในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2529 และ FAO/WHO (2011) กำหนดว่าต้องมีปริมาณปรอทน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาแล้วพบว่าตัวอย่างที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 เนื้อปลาตะเพียนขาวทั้ง 3 ตัวอย่าง (ST01) มีค่าอยู่ในช่วง 0.6153-2.476 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื้อปลายี่สก (ST01) มีค่าเท่ากับ 4.302 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปลาชิวหางแดงและกุ้งฝอย (ST02) มีค่าเท่ากับ 3.420 และ 8.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปลาชิวหนวดยาว ปลาแขยงข้างลาย ปลาสร้อยขาว ปลาหมอ (ST03) มีค่าเท่ากับ 1.730 7.169 1.595 และ 0.9137 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ปลาชิวหนวดยาวและปลาชิวควายแถบดำ (ST05) มีค่าเท่ากับ 0.9218 และ 1.572 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 เนื้อปลาตะเพียนขาวทั้ง 2 ตัวอย่าง (ST01) มีค่าอยู่ในช่วง 1.090-1.717 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กุ้งฝอยและหอยเชอรี่ (ST02) มีค่าเท่ากับ 3.261 และ

2.798 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปลาแป้นแก้ว (ST03) มีค่าเท่ากับ 0.5048 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาชีวกวายแถบดำ (ST04) มีค่าเท่ากับ 10.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาชีวกวายและปลาชีวกวายแถบดำ (ST05) มีค่าเท่ากับ 2.549 และ 1.857 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 เนื้อปลาตะเพียนขาวทั้ง 1 ตัวอย่าง (ST01) มีค่าเท่ากับ 0.5121 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หอยเชอรี่ (ST02) มีค่าเท่ากับ 17.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาแขยงข้างลาย (ST04) มีค่าเท่ากับ 16.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาหมอและปลานู๋ทราย (ST05) มีค่าเท่ากับ 6.904 และ 1.324 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การเปรียบเทียบปริมาณปรอทจากการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ธรรมชาติ พบว่าปริมาณปรอทในสัตว์น้ำมีค่าอยู่ในช่วง <math><0.00005-2.520</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสูงสุดพบในปลาหมอ แต่ในพื้นที่เหมืองมีการตรวจพบการปนเปื้อนของปรอทในสัตว์น้ำอยู่ในช่วง <math><0.00005-16.78</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งตัวอย่างสัตว์น้ำจากพื้นที่ธรรมชาติมีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าจากเหมืองมีตัวอย่างที่มาจากพื้นที่ธรรมชาติ พบว่าปลาหมอ 1 ตัวอย่าง มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด



ภาพที่ 4.20 ความเข้มข้นของปรอทในสัตว์น้ำ

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า หอยเชอรี่และกุ้งฝอยจะมีปริมาณโลหะหนักสะสมค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ สำหรับหอยเชอรี่และกุ้งฝอยที่พบในการศึกษานี้พบใน ST17 ซึ่งเป็นบ่อที่มีปริมาณ Cu, Mn และ Zn ในตะกอนดินสูงที่สุด การปนเปื้อนของโลหะหนักในหอยเชอรี่สูง เนื่องจากหอยฝาดเดียวเป็นสัตว์ที่อาศัยบริเวณก้นสระและกินอาหารจำพวกตะไคร่น้ำและซากอินทรีย์ในดินตะกอน จึงสามารถรับโลหะหนักต่างๆ เข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อ

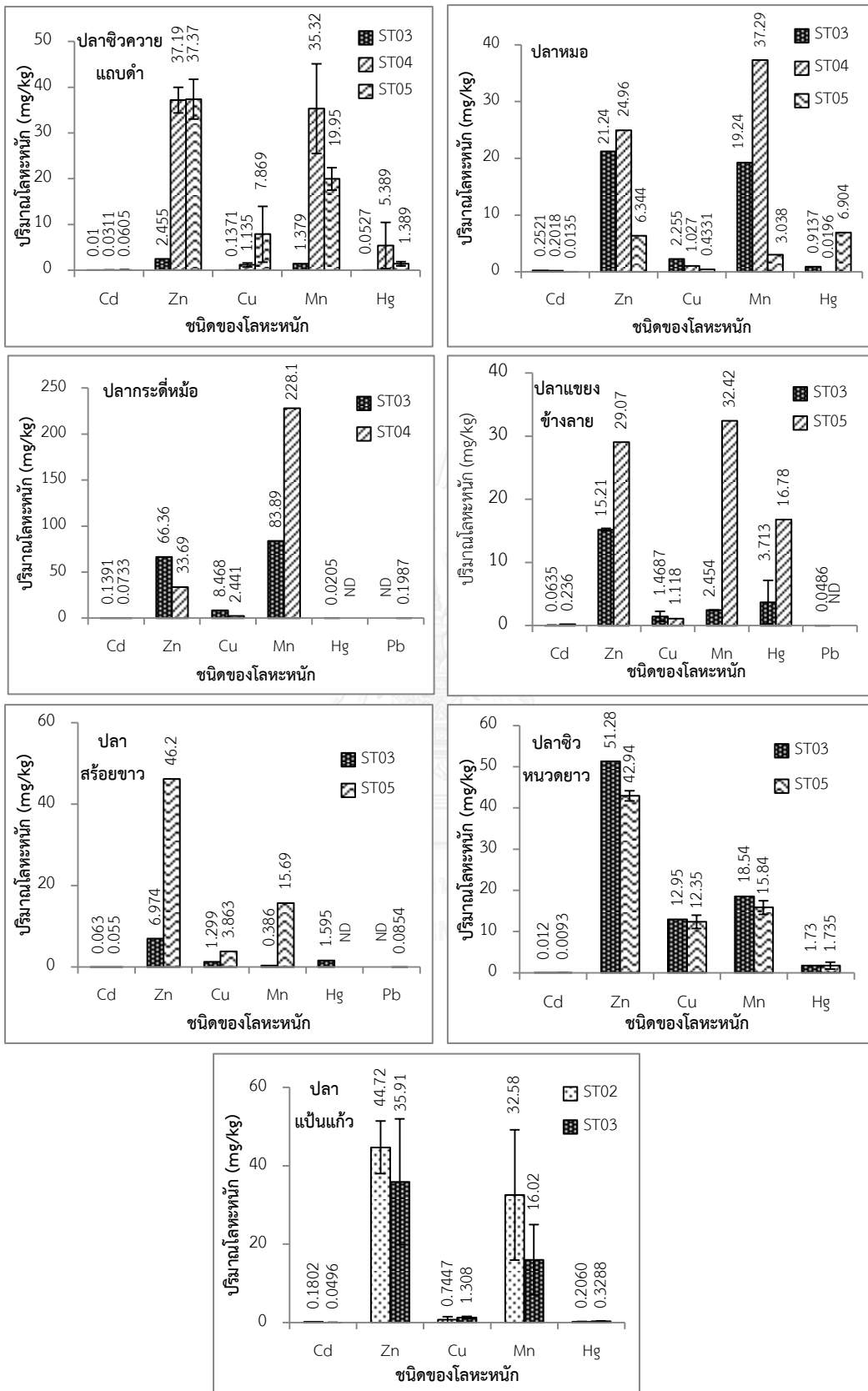
ได้ในปริมาณสูง อีกทั้งการที่พบปริมาณของสังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) สะสมในสัตว์น้ำสูง เพราะสังกะสีและทองแดงเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อปฏิกิริยาทางชีวเคมีของกระบวนการเมตาโบลิซึม โดยเฉพาะทองแดงที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ haemocyanin ในเลือดของสัตว์น้ำพวกกุ้ง และหอย (แหวดตา ทองระอาและคณะ, 2557 อ้างถึง Olmedo et al., 2013) และปริมาณของแมงกานีส (Mn) ที่ส่วนใหญ่มักเกิดจากการผุพังและการกัดเซาะของแร่เฟอร์โรแมงกานีส แร่ดินเหนียว แร่ซิลไฟด์ และวัสดุต่างๆ (Laar et al., 2011) เช่นเดียวกับการศึกษาของสุพรรณษา เกียรติสยามภู และสุนิสา ชายเกลี้ยง (2555) ศึกษาการปนเปื้อนตะกั่วในตัวอย่างปลาชนิด ปลาดุกเพียน หอยขม และหอยเชอรี่ จากบริเวณแหล่งประมงหนองน้ำล้น พบว่า 30% และ 10% ของตัวอย่างหอยขมมีความเข้มข้นของตะกั่วสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข (1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และของประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ (2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ และความเข้มข้นของตะกั่วในหอยเชอรี่มีค่าสูงสุดที่ 0.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับปลาดุกและปลาดุกเพียนมีความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุดเท่ากับ 0.07 และ 0.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ แหวดตา ทองระอา และคณะ (2557) ได้ศึกษาปริมาณโลหะหนักในอาหารทะเล บริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง และพบความเข้มข้นโลหะหนักที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานเรียงตามลำดับ คือ ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม คิดเป็นร้อยละ 8.4 4.1 และ 2.7 ตามลำดับ ซึ่งส่วนใหญ่พบในตัวอย่างของกุ้ง หอย และหมีกบางชนิด และในตัวอย่างหอยจะมีความเข้มข้นของสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม สูงสุด เช่นเดียวกับการศึกษาของ Olmedo et al. (2013) ซึ่งได้ศึกษาปริมาณโลหะที่เป็นประโยชน์ในอาหารทะเลสด อาหารกระป๋องและอาหารแช่แข็ง ของประเทศสเปน และพบการสะสมสังกะสีสูงสุดในหอย

การปนเปื้อนของโลหะหนักส่วนใหญ่มีความเข้มข้นของโลหะหนักสูงในบ่อตกตะกอนที่ 2 (ST01) และบ่อรับน้ำฉุกเฉินของ TSF1 (ST02) ซึ่งความเข้มข้นของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำอาจเกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆ ของเหมืองแร่ทองคำ และปริมาณของโลหะหนักทุกชนิดมีค่าอยู่ในช่วงที่สูงกว่าสัตว์น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ สำหรับตัวอย่างปลาที่พบในการศึกษานี้มักบริโภคทั้งพืชและสัตว์อาจทำให้เกิดการสะสมของโลหะหนักจากการบริโภคตามห่วงโซ่อาหารหรือการดูดซึมผ่านทางเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำได้ ซึ่งการสะสมของโลหะหนักส่วนใหญ่มักพบสูงอยู่ในปลาขนาดใหญ่กว่าปลาขนาดเล็ก เช่น ปลาดุกเพียนขาวมีความเข้มข้นของ Pb และ Ni สูงสุดในบางเดือน เช่นเดียวกับการศึกษาของพัชริมา จินหมั่น (2552) พบว่าปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อปลากับน้ำหนักตัวมีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) และในปลาชนิดเดียวกัน ปลาที่มีขนาดใหญ่จะมีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าปลาที่มีขนาดเล็กกว่า ดังนั้นเมื่อปลาที่มีอายุมากขึ้นหรือตัวโตขึ้น จะมีการสะสมเพิ่มมากขึ้น และถ้าเป็นปลาผู้ล่าที่อยู่ในลำดับขั้นของการบริโภคสูงจะมีการสะสมสูงขึ้นด้วย

การศึกษานี้ไม่พบการปนเปื้อนของสารหนูในตะกอนดิน แต่พบในตัวอย่าง หอยเชอรี่อาจเนื่องจากเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ คือ เทคนิค Flame Atomic Absorption Spectrometry ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูควรใช้เทคนิค Hydride Generation Atomic Absorption Spectroscopy

4.4.4 การเปรียบเทียบโลหะหนักในปลาชนิดเดียวกันในแต่ละสถานี

จากผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4.21 พบว่าปลาหมอ (ST04) ปลาชิวควายแถบดำ (ST04) และปลาชิวหนวดยาว (ST03) เป็นตัวอย่างจากบ่อดกตะกอนภายในเหมืองแร่ทองคำ พบว่า ส่วนใหญ่มีปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักมากกว่าที่มาจาก ST05 ซึ่งเป็นบ่อน้ำที่ไม่เกี่ยวข้องกับ กิจกรรมของเหมืองแร่ทองคำ เมื่อเปรียบเทียบปลาที่มาจากบ่อดกตะกอนเช่นเดียวกันระหว่าง ST03 และ ST27 พบว่าปริมาณของโลหะหนักในปลาหมอ ปลาชิวควายแถบดำ ปลากระดี่ และปลาแขยง ข้างลายของ ST27 มีปริมาณสูงกว่า ST20 และเมื่อเปรียบเทียบปลาแบนแก้วจาก ST02 กับ ST03 พบว่าโลหะหนักที่ปนเปื้อนในปลาแบนแก้วของ ST02 มีปริมาณมากกว่า ST03 ยกเว้น Hg แต่ก็มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่ง ST02 เป็นบ่อที่ใช้สำหรับรองรับกากแร่ และน้ำที่ได้จากกิจกรรมต่างๆ ของเหมืองแร่ทองคำ ซึ่งส่วนใหญ่ปริมาณโลหะหนักในน้ำและตะกอนดินก็มีปริมาณสูงกว่า ST03 ดังนั้นอาจส่งผลให้เกิดการสะสมของโลหะหนักในปลา แบนแก้วได้มากกว่าใน ST03 ได้ แสดงให้เห็นว่าบ่อน้ำที่ เกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆ ของเหมืองแร่ทองคำทำให้เกิดการสะสมของโลหะหนักในปลาปริมาณที่ แตกต่างกัน แต่ปริมาณที่สะสมในปลาทั้งบ่อดกตะกอนและบ่อรองรับน้ำฉุกเฉิน TSF1 มีปริมาณของ โลหะหนักที่สะสมส่วนใหญ่มากกว่าปลาที่อยู่ในบ่อที่ไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเหมืองแร่ทองคำ ดังนั้นกิจกรรมต่างๆ ของเหมืองแร่ทองคำอาจส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำมากขึ้นได้ ทั้งนี้ปลาแต่ละชนิดที่อาศัยอยู่ในบ่อที่แตกต่างกันมีแนวโน้มการสะสมของโลหะหนักไม่เหมือนกัน อาจเนื่องจากปลาที่อาศัยอยู่ในบ่อบางส่วนเป็นปลาที่พนักงานภายในเหมืองนำมาปล่อยแล้วจับเพื่อนำไปบริโภคเป็นระยะ และน้ำภายในเหมืองมีการสูบน้ำตลอดเวลา ดังนั้นการสะสมโลหะหนักในปลา อาจยังไม่สามารถบ่งชี้ถึงการสะสมของโลหะหนักแต่ละบ่อได้



ภาพที่ 4.21 ปริมาณโลหะหนักในปลาชนิดเดียวกันแต่ละสถานี

4.4.5 การเปรียบเทียบโลหะหนักในเนื้อส่วนต่างๆ ของปลาตะเพียนขาวและปลายี่สก

ตัวอย่างปลาตะเพียนขาวทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 3 ตัว เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 จำนวน 5 ตัว และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 จำนวน 4 ตัว ความเข้มข้นของสารหนูในเนื้อทุกส่วนมีค่าต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ ($<2.2 \times 10^{-6}$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ความเข้มข้นของแคดเมียมในเนื้อส่วนหลัง ส่วนท้อง ตับ และไขปลามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0060 ± 0.0025 , 0.0094 ± 0.0017 , 0.3404 ± 0.0764 และ 0.0787 ± 0.0306 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นของตะกั่วในเนื้อส่วนหลัง ส่วนท้อง ตับ และไขปลามีค่าอยู่ในช่วง 0.1137 ± 0.1131 , N.D., 0.2315 ± 0.0782 และ 0.0263 ± 0.0256 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นของนิกเกิลในเนื้อส่วนหลัง ส่วนท้อง ตับ และไขปลามีค่าอยู่ในช่วง 0.2383 ± 0.1301 , 0.1686 ± 0.1450 , 0.4503 ± 0.3352 และ 0.4021 ± 0.2033 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นของสังกะสีในเนื้อส่วนหลัง ส่วนท้อง ตับ และไขปลามีค่าอยู่ในช่วง 4.845 ± 0.5955 , 6.459 ± 1.230 , 25.98 ± 2.759 และ 23.47 ± 1.203 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นของทองแดงในเนื้อส่วนหลัง ส่วนท้อง ตับ และไขปลามีค่าอยู่ในช่วง 0.4284 ± 0.0951 , 0.4787 ± 0.0893 , 118.3 ± 43.22 และ 1.858 ± 0.6743 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นของแมงกานีสในเนื้อส่วนหลัง ส่วนท้อง ตับ และไขปลามีค่าอยู่ในช่วง 0.4959 ± 0.0862 , 0.5867 ± 0.1770 , 19.60 ± 7.348 และ 1.897 ± 0.9354 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นของปรอทในเนื้อส่วนหลัง ส่วนท้อง ตับ และไขปลามีค่าอยู่ในช่วง 0.6791 ± 0.2347 , 0.3438 ± 0.1757 , 0.5002 ± 0.3842 และ 0.6383 ± 0.3980 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ตัวอย่างปลายี่สก พบในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 1 ตัวอย่าง ความเข้มข้นของสารหนูในเนื้อทุกส่วนมีค่าต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ ($<2.2 \times 10^{-6}$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ความเข้มข้นของแคดเมียมในเนื้อส่วนหลังและท้องส่วนท้องมีค่าต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ ($<.000009$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และตับมีค่าเท่ากับ 0.6475 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความเข้มข้นของตะกั่วในเนื้อทุกส่วนมีค่าต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ ($<.000061$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ความเข้มข้นของนิกเกิลในเนื้อส่วนหลังและท้องส่วนท้องมีค่าต่ำกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ ($<.00012$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และตับมีค่าเท่ากับ 0.2037 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความเข้มข้นของสังกะสีในเนื้อส่วนหลัง ส่วนท้อง และตับมีค่าเท่ากับ 15.41 , 5.735 และ 52.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นของทองแดงในเนื้อส่วนหลัง ส่วนท้อง และตับ มีค่าเท่ากับ 0.4431 , 1.435 และ 246.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นของแมงกานีสในเนื้อส่วนหลัง ส่วนท้อง และตับมีค่าเท่ากับ 1.397 , 0.4189 และ 85.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นของปรอทในเนื้อส่วนหลัง ส่วนท้อง และตับ มีค่าเท่ากับ 4.302 , 0.6610 และ 1.735 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4

ผลจากการวิเคราะห์ส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างดับของปลาที่มีปริมาณโลหะหนักสะสมค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อส่วนอื่น ยกเว้นปรอท ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการทำงานของดับที่มีหน้าที่ช่วยในการเก็บและกำจัดสารพิษ โดยดับจะช่วยเก็บของเสียที่มาจากน้ำดี เช่นเดียวกับการศึกษาของ สุรียพร หอมวิเศษวงศา และคณะ (2558) ศึกษาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และปรอทในปลาสด จังหวัดสมุทรปราการ พบว่ามีการปนเปื้อนไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของกองควบคุมตรวจสอบผลิตภัณฑ์และการแปรรูปสัตว์ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยการปนเปื้อนโลหะทั้ง 3 ชนิดจะพบในเครื่องในปลามากกว่าเนื้อปลา เนื่องจากปลาสดเป็นปลากินพืชและแพลงตอนเป็นอาหาร ซึ่งทั้งในแพลงตอนพืชและสัตว์เป็นแหล่งที่มีการสะสมโลหะหนัก เมื่อปลากินพืชหรือแพลงตอนเหล่านี้เข้าไปทำให้เกิดการสะสมของโลหะหนักและสารพิษไว้ในส่วนต่างๆ ของเนื้อเยื่อของปลาสด ซึ่งดับมีหน้าที่กักเก็บหรือกำจัดสารพิษ จึงส่งผลให้เกิดการสะสมมากกว่าเนื้อเยื่อส่วนอื่น เช่น กระจาอาหาร ลำไส้ เนื้อของปลา เช่นเดียวกับการศึกษาของเพ็ญศิริ นภีรงค์ และวิภารัตน์ เชื้อชวด ชัยสิทธิ์ (2556) ที่ได้รายงานหาปริมาณทองแดงและตะกั่วที่สะสมในตับปลาตะเพียนขาว บริเวณอ่างเก็บน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่ มีค่าสูงกว่าการสะสมในเนื้อและปริมาณตะกั่วที่พบในเนื้อเยื่อดับมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน (1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) การสะสมปริมาณโลหะหนักในดับปลาที่สูงกว่าในเนื้อปลานั้นยังสอดคล้องกับการศึกษาของ วีระวงศ์ ตางาม (2543) ศึกษาโลหะหนักสังกะสี ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว ในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของปลาในแม่น้ำและคลองรอบเกาะเมืองพระนครศรีอยุธยา พบว่าความเข้มข้นโลหะหนักในดับของปลาแขยงมีความเข้มข้นทองแดงสูงสุดและความเข้มข้นโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ในปลาตะเพียนขาวมีปริมาณสูงสุดในดับ และมีความเข้มข้นต่ำในส่วนของเนื้อปลา และการศึกษาของ Edward et al. (2013) ศึกษาปริมาณโลหะหนักในปลาประเทศไนจีเรีย พบปริมาณสังกะสี แมงกานีส ทองแดง ตะกั่ว และแคดเมียมในกล้ามเนื้อปลามีค่าเท่ากับ 0.75, 0.49, 0.38, 0.05 และ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าที่ตรวจพบในดับปลามีปริมาณสังกะสี แมงกานีส ทองแดง ตะกั่ว และแคดเมียม เท่ากับ 0.86, 0.74, 0.64, 0.09 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในเนื้อแต่ละส่วนของปลาตะเพียนขาวและปลากี่สีก (mg/kg wet weight)

	ชนิดของเนื้อ	As	Cd	Pb	Ni	Zn	Cu	Mn	Hg
ปลาตะเพียน ขาว(Avg±SE) (n=12)	กล้ามเนื้อส่วนหลัง	<2.2×10 ⁻⁶	0.0060±0.0025 (<0.0001-0.0286)	0.1137±0.1131 (<0.0006-1.358)	0.2383±0.1301 (<0.001-1.243)	4.845±0.5955 (1.824-8.364)	0.4284±0.0951 (<0.0003-1.231)	0.4959±0.0862 (0.1521-1.219)	0.6791±0.2347 (<0.00005-2.476)
	กล้ามเนื้อส่วนท้อง	<2.2×10 ⁻⁶	0.0094±0.0017 (<0.0001-0.0217)	<0.001	0.1686±0.1450 (<0.001-1.808)	6.459±1.230 (1.531-15.64)	0.4787±0.0893 (0.1236-1.106)	0.5867±0.1770 (0.1488-2.176)	0.3438±0.1757 (<0.00005-1.836)
	ตับ	<2.2×10 ⁻⁶	0.3404±0.0764 (<0.0001-0.9889)	0.2315±0.0782 (<0.0006-0.7195)	0.4503±0.3352 (<0.001-3.864)	25.98±2.759 (1.453-39.06)	118.3±43.22 (4.236-534.9)	19.60±7.348 (2.580-89.02)	0.5002±0.3842 (<0.00005-0.8293)
	ไข่ (n=6)	<2.2×10 ⁻⁶	0.0787±0.0306 (<0.0001-0.2156)	0.0263±0.0256 (<0.0006-0.1545)	0.4021±0.2033 (<0.001-1.493)	23.47±1.203 (18.72-27.03)	1.858±0.6743 (0.3092-2.015)	1.897±0.9354 (0.6727-6.527)	0.6383±0.3980 (<0.00005-2.413)
ปลากี่สีก (n=1)	กล้ามเนื้อส่วนหลัง	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	<0.001	<0.001	15.41	0.4431	1.397	4.302
	กล้ามเนื้อส่วนท้อง	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	<0.001	<0.001	5.735	1.435	0.4189	0.6610
	ตับ	<2.2×10 ⁻⁶	0.6475	<0.001	0.2037	52.89	246.3	85.37	1.735

4.4.6 การเปรียบเทียบโลหะหนักของสัตว์น้ำกับพื้นที่อื่น

จากตารางที่ 2.8 การศึกษานี้พบปริมาณของ Cd, Zn, Cu, Pb, Mn, Ni, As และ Hg มีค่าอยู่ในช่วง $<2.2 \times 10^{-6}$ -0.6024, 1.453-87.32, <0.0004 -177.6, <0.001 -1.358, 0.1488-593.9, <0.001 -2.171, <0.0001 -0.6981 และ <0.0005 -16.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเปียก ตามลำดับ ปริมาณ Cd, Zn, Cu, Pb และ As มีค่าสูงสุดต่ำกว่าพื้นที่อื่น ยกเว้น Mn Ni และ Hg ของพื้นที่อื่นที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.0001-88.0, 0.11-0.32 และ <0.00001 -0.625 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

4.4.7 ปัจจัยการสะสมทางชีวภาพ

ปัจจัยการสะสมทางชีวภาพ (BAF) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 เป็นค่าที่แสดงถึงการสะสมทางชีวภาพของสัตว์น้ำที่มีการสะสมโลหะหนักจากน้ำ เมื่อเปรียบเทียบค่า BAF ของสัตว์น้ำแต่ละชนิด พบว่าส่วนใหญ่หอยเชอรรีมีการสะสมของโลหะหนักสูงสุด โดยการสะสม Cu สูงสุดพบในหอยเชอรรี มีค่าเท่ากับ 39179 และการสะสมสูงรองลงมา คือ กุ้งฝอย (26318) การสะสม Hg สูงสุดพบในกุ้งฝอย มีค่าเท่ากับ 3217867 และการสะสมสูงรองลงมา คือ ปลาแขยงข้างลาย (2548942) ปลาชิวควายแถบดำ (2115872) ปลายี่สก (1955455) หอยเชอรรี (1583868) และปลาชิวหางแดง (1554545) เช่นกัน การสะสม Mn สูงสุดพบในหอยเชอรรี มีค่าเท่ากับ 4501 การสะสม Mn สูงรองลงมาคือกระดี่หม้อ (3491) การสะสม Zn พบสูงสุดในปลาชิวหางแดง มีค่าเท่ากับ 12474 และการสะสมสูงรองลงมา คือ ปลากระดี่หม้อ (3954) ปลาแป้นแก้ว (3818) หอยเชอรรี (3813) และปลายี่สก (3082)

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า BAF ของสัตว์น้ำที่มีการสะสมโลหะหนักจากดินตะกอน เมื่อเปรียบเทียบค่า BAF ของสัตว์น้ำแต่ละชนิด พบว่าส่วนใหญ่หอยเชอรรีมีการสะสมของโลหะหนักสูงสุดเช่นเดียวกับการสะสมจากน้ำ โดยการสะสม Cu Hg และ Mn สูงสุดพบในหอยเชอรรี มีค่าเท่ากับ 2.851 48.88 และ 0.8941 ตามลำดับ ยังมีการสะสม Hg ในปลาแขยงข้างลาย (40.48) สูงเช่นกัน การสะสม Zn สูงสุดพบในปลาชิวหนวดยาว มีค่าเท่ากับ 1.802 และการสะสมรองลงมา คือ ปลานู๋ทราย (1.573) ปลากระดี่หม้อ (1.453) ปลาแป้นแก้ว (1.175) หอยเชอรรี (1.126) และปลาสร้อยขาว (1.025)

จากผลการวิเคราะห์ พบว่าส่วนใหญ่สัตว์น้ำที่บริโภคทั้งพืชและสัตว์ (Omnivore) และบริโภคซากอินทรีย์ (Scavenger) มีค่า BAF สูงที่สุด สัตว์น้ำที่บริโภคทั้งพืชและสัตว์เป็นสัตว์น้ำที่อยู่ในผู้บริโภคลำดับที่สูง ดังนั้นสัตว์น้ำที่อยู่ในลำดับห่วงโซ่อาหารที่ต่ำกว่าได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกาย โลหะหนักไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการสร้างพลังงาน จึงสะสมอยู่ภายในเซลล์ของสัตว์น้ำแล้วถ่ายทอดมายังลำดับของผู้บริโภคที่อยู่สูงกว่า (จิราภรณ์ คชเสนี, 2544) ดังนั้นยิ่งลำดับของผู้บริโภคสูงขึ้นยิ่งทำให้เกิดการสะสมของโลหะหนักสูงขึ้น การศึกษานี้ พบว่าสัตว์น้ำส่วนใหญ่มีการสะสมของ

ปรอทสูง เนื่องมาจากปรอทที่ตกค้างอยู่ในธรรมชาติส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของปรอทอินทรีย์เมื่อเข้าสู่ร่างกายของสัตว์น้ำจะสะสมอยู่ในรูปของ methylmercury (CH_3Hg^+) ซึ่งเป็นปรอทอินทรีย์ที่มีความคงตัวสูง ดังนั้นจึงพบค่า BAF ของปรอทในสัตว์น้ำสูงด้วย

เมื่อเปรียบเทียบ BAF ในหอยเชอรี่จากพื้นที่เมืองและพื้นที่ธรรมชาติ พบว่าการสะสมโลหะหนักจากน้ำของหอยเชอรี่มีค่า BAF ของ Cu Hg Mn และ Zn เท่ากับ 39179, 1583868, 4501 และ 3813 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับภายนอกเมืองมีค่า BAF ของ Cu Hg Mn และ Zn เท่ากับ 2599, 63900, 43.35 และ 41.11 ตามลำดับ การสะสมโลหะหนักจากตะกอนดินภายในเมืองของหอยเชอรี่มีค่า BAF ของ Cu Hg Mn และ Zn เท่ากับ 2.851, 48.88, 0.8941 และ 1.126 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับภายนอกเมืองมีค่า BAF ของ Cu Hg Mn และ Zn เท่ากับ 0.4481, 1.114, 3.019 และ 0.1276 ตามลำดับ เช่นเดียวกับปลาหมอและปลากะตักที่สะสมโลหะหนักทั้งจากน้ำและดินตะกอน ซึ่งพบค่า BAF จากภายในเมืองมากกว่าภายนอกเมือง

เมื่อเปรียบเทียบการสะสมของโลหะหนักของตัวอย่างสัตว์น้ำจากเมืองแร่ทองคำกับตัวอย่างสัตว์น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ พบว่า Zn พบการสะสมสูงสุดในปลากะตัก และหอยเชอรี่มีการสะสม Cu Hg และ Mn ทั้งจากน้ำและดินตะกอนสูงสุด ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าหอยเชอรี่เมื่อได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายตามชีวิตประจำวันทั้งการอยู่อาศัยและการบริโภคตามบริเวณตะกอนดินมีโอกาสที่สะสมโลหะหนักได้สูงกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่น ดังนั้นควรระวังการบริโภคหอยเชอรี่ของมนุษย์ในปริมาณมาก

ตารางที่ 4.5 ปัจจัยการสะสมทางชีวภาพระหว่างสัตว์น้ำกับน้ำ

สัตว์น้ำจากพื้นที่ในเมือง								
ชนิด	Cu		Hg		Mn		Zn	
Herbivore								
	BAF	SE	BAF	SE	BAF	SE	BAF	SE
ปลาตะเพียน	444	282	444376	222050	26.6	25.8	421	332
ปลานิล	38.6	0.7	6277	37.6	0.22	0.04	0.22	0.17
Carnivore								
ปลาแป้นแก้ว	443	140	152375	54613	309	120	3818	1302
ปลาหมอ	534	252	199284	134293	416	311	1343	1102
ปลากระดี่หม้อ	3896	2153	798	N/A	3491	2775	3954	3419
ปลาช่อน	47.9	N/A	N/A	N/A	28.3	N/A	82.3	N/A
ปลาบู๋ทราย	38.8	N/A	26166	N/A	17.0	N/A	1043	N/A
Omnivore								
ปลาชี่สก	443	N/A	1955455	N/A	116	N/A	3082	N/A
ปลาชิวหนวดยาว	6106	2392	897246	247753	119	44.9	3800	1864
ปลาชิวควายแถบดำ	772	252	2115872	1655398	1827	1599	1317	451
ปลาชิวหางแดง	2730	N/A	1554545	N/A	183	N/A	12474	N/A
ปลาแขยงข้างลาย	648	169	2548942	1197989	340.5	276	2097	843
ปลาสร้อยขาว	388	93.1	797500	N/A	6.0	1.6	921	242
Scavenger								
กุ่มฝอย	26318	22440	3217867	709405	276	241	1562	1213
หอยเชอรี่	39179	11622	1583868	568440	4501	2594	3813	3103
สัตว์น้ำจากพื้นที่นอกเมือง								
Carnivore								
ปลาหมอ	237	N/A	N/A	N/A	2.5	N/A	94.5	N/A
ปลากระดี่หม้อ	87.4	N/A	N/A	N/A	2.4	N/A	326	N/A
Scavenger								
หอยเชอรี่	2599	N/A	63900	N/A	43.4	N/A	41.1	N/A

หมายเหตุ: BAF = Bioaccumulation Factor, S.E. = Standard error และ N/A= Not Available

ตารางที่ 4.6 ปัจจัยการสะสมทางชีวภาพระหว่างสัตว์น้ำกับตะกอนดิน

สัตว์น้ำจากพื้นที่ในเหมือง								
ชนิด	Cu		Hg		Mn		Zn	
Herbivore								
	BAF	SE	BAF	SE	BAF	SE	BAF	SE
ปลาตะเพียน	0.22	0.21	3.0	2.1	0.01	0.01	0.77	0.64
ปลานิล	0.01	0.0002	1.5	0.01	0.002	0.0001	0.16	0.03
Carnivore								
ปลาแป้นแก้ว	0.05	0.02	1.5	0.5	0.03	0.01	1.2	0.5
ปลาหมอ	0.03	0.02	16.5	1.5	0.05	0.03	0.3	0.3
ปลากระดี่หม้อ	0.2	0.1	0.1	N/A	N/A	N/A	1.5	0.6
ปลาช่อน	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ปลานุ่ทราย	0.01	N/A	6.3	N/A	0.15	N/A	1.6	N/A
Omnivore								
ปลาชี่สีก	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ปลาชิวหนวดยาว	0.33	0.04	12.1	N/A	0.12	0.04	1.8	0.76
ปลาชิวควายแถบดำ	0.05	0.02	19.6	15.2	0.07	0.03	1.0	0.4
ปลาชิวหางแดง	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ปลาแขยงข้างลาย	0.05	0.02	40.5	39.3	0.04	0.03	0.53	0.21
ปลาสร้อยขาว	0.1	0.01	N/A	N/A	0.07	N/A	1.0	N/A
Scavenger								
กึ่งฝอย	0.44	N/A	15.5	N/A	0.07	N/A	N/A	N/A
หอยเชอรี่	2.9	0.73	48.9	35.6	0.89	0.34	1.1	0.2
สัตว์น้ำจากพื้นที่นอกเหมือง								
Carnivore								
ปลาหมอ	0.41	N/A	N/A	N/A	0.17	N/A	0.29	N/A
ปลากระดี่หม้อ	0.02	N/A	N/A	N/A	0.17	N/A	1.0	N/A
Scavenger								
หอยเชอรี่	0.45	N/A	1.1	N/A	3.0	N/A	0.13	N/A

หมายเหตุ: BAF = Bioaccumulation Factor, S.E. = Standard error และ N/A= Not Available

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลจากการทำแบบสอบถามพนักงานภายในพื้นที่เหมือง

	จำนวน/ปริมาณ	
เพศ (คน)		
-ชาย	11	
-หญิง	20	
รวม	31	
น้ำหนักเฉลี่ย (kg)	60±8.72 (46-68)	
อายุการทำงานเฉลี่ย (ปี)	6.38±3.45 (0.75-15)	
อัตราการบริโภคสัตว์น้ำ (g/meal)	เพศ	
	ชาย	หญิง
- ปลาช่อน	0.15±0.01	0.19±0.04
- ปลาหมอ	0.11±0.06	0.13±0.06
- ปลานิล	0.12±0.67	0.12±0.81
- ปลาตะเพียนขาว	0.90±0.06	0.11±0.02
- หอยเชอรี่	0.08±0.12	0.12±0.22
- ปลาแขยงข้างลาย	0.07±0.05	0.13±0.11
- ปลาชิว	0.08±0.05	0.12±0.03
- กุ้งฝอย	0.05±0.03	0.12±0.01
- ปลากระดี่หม้อ	0.06±0.04	0.08±0.06
- ปลาสร้อยขาว	0.02±0.04	0.12±0.02
- ปลายี่สก	0.04±0.38	0.04±0.29
- ปลาแป้นแก้ว	0.01±0.02	0.02±0.05
- ปลาบู่ทราย	0.01±0.002	0.03±0.001

4.5.1 ปริมาณการรับสัมผัสสิ่งคุกคามจากการบริโภคสัตว์น้ำ

ปริมาณการรับสัมผัสผ่านการบริโภคสัตว์น้ำ (Average daily dose, ADD หรือ Acceptable daily intake, ADI ในกรณีสารไม่ก่อมะเร็ง และ chronic daily intake, CDI ในกรณีสารก่อมะเร็ง) กรณีสารไม่ก่อมะเร็งพบว่าสารหนูมีค่า ADD เฉลี่ย (ADD_{mean}) ในการบริโภคหอยเชอรี่ เท่ากับ 8.7×10^{-4} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน แคดเมียมพบค่า ADD_{mean} สูงสุดในปลาแขยงมีค่าเท่ากับ 2.8×10^{-4} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ตะกั่วพบค่า ADD_{mean} สูงสุดในปลาชิวมีค่าเท่ากับ 2.6×10^{-4}

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน สังกะสีพบค่า ADD_{mean} สูงสุดในปลากระดี่หม้อมีค่าเท่ากับ 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน นิกเกิล ทองแดง แมงกานีส และปรอทพบค่า ADD_{mean} สูงสุดในหอยเชอรี่มีค่าเท่ากับ 1.4×10^{-3} 0.05 0.22 และ 6.83×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.8

กรณีสารก่อมะเร็งพบว่าสารหนูมีค่า CDI เฉลี่ย (CDI_{mean}) ในการบริโภคหอยเชอรี่เท่ากับ 3.43×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน และตะกั่วพบค่า CDI_{mean} สูงสุดในปลาชิวมีค่าเท่ากับ 3.6×10^{-5} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ดังตารางที่ 4.9



ตารางที่ 4.8 ปริมาณสารปนเปื้อนที่มนุษย์ได้รับจากการบริโภคสัตว์น้ำต่อวัน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน) กรณีเป็นสารไม่ก่อมะเร็ง

ชนิด	As		Cd		Pb		Ni		Zn		Cu		Mn		Hg	
	ADD _{min} ⁻ ADD _{max} (95% CI)	ADD _z (95% CI)	ADD _{min} ⁻ ADD _{max} (95% CI)	ADD _z (95% CI)	ADD _{min} ⁻ ADD _{max} (95% CI)	ADD _z (95% CI)	ADD _{min} ⁻ ADD _{max} (95% CI)	ADD _z (95% CI)	ADD _{min} ⁻ ADD _{max} (95% CI)	ADD _z (95% CI)	ADD _{min} ⁻ ADD _{max} (95% CI)	ADD _z (95% CI)	ADD _{min} ⁻ ADD _{max} (95% CI)	ADD _z (95% CI)	ADD _{min} ⁻ ADD _{max} (95% CI)	ADD _z (95% CI)
ปลาตะเพียน	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	2.6-7.0x10 ⁻⁶	4.7x10 ⁻⁵	<0.0006	<0.0006	2.4-7.7x10 ⁻⁵	5.1x10 ⁻⁵	2.7-7.8x10 ⁻⁴	5.2x10 ⁻⁴	0.39-2.4x10 ⁻⁴	1.4x10 ⁻⁴	0.71-5.5x10 ⁻⁴	2.4x10 ⁻⁴	0.8-2.4x10 ⁻⁴	1.6x10 ⁻⁴
ปลากรายหัวโต	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.46-2.3x10 ⁻⁴	1.4x10 ⁻⁴	0.03-1.5x10 ⁻⁴	1.0x10 ⁻⁴	<0.0012	<0.0012	0.02-0.06	0.04	1.9-6.3x10 ⁻³	4.08x10 ⁻³	0.05-0.18	0.12	<0.0020	<0.00005
ปลาสลิดขาว	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	1.0-3.1x10 ⁻⁵	2.0x10 ⁻⁵	0.7-1.7x10 ⁻⁵	1.2x10 ⁻⁴	<0.0012	<0.0012	3.7-7.4x10 ⁻³	0.01	3.7-6.8x10 ⁻⁴	5.3x10 ⁻⁴	1.2-2.8x10 ⁻³	2.0x10 ⁻³	<0.0020	<0.00005
กุ้งฝอย	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.56-1.8x10 ⁻⁴	1.2x10 ⁻⁴	1.0-3.4x10 ⁻⁵	2.1x10 ⁻⁵	<0.0012	<0.0012	3.7-8.9x10 ⁻³	6.3x10 ⁻³	0.46-1.1x10 ⁻²	8.0x10 ⁻³	2.4-8.0x10 ⁻³	5.2x10 ⁻³	1.0-2.6x10 ⁻³	1.8x10 ⁻³
ปลาช่อน	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	1.7-4.0x10 ⁻⁴	2.8x10 ⁻⁴	0.6-1.5x10 ⁻⁵	1.1x10 ⁻⁵	<0.0012	<0.0012	0.52-1.7x10 ⁻²	0.01	0.32-1.2x10 ⁻²	7.4x10 ⁻⁴	0.27-1.4x10 ⁻²	8.1x10 ⁻³	4.5-7.4x10 ⁻³	4.5x10 ⁻³
ปลานิล	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.1-3.1x10 ⁻⁶	1.6x10 ⁻⁶	<0.0006	<0.0006	<0.0012	<0.0012	0.4-1.1x10 ⁻²	7.8x10 ⁻³	0.84-2.4x10 ⁻⁴	1.6x10 ⁻⁴	2.8-8.1x10 ⁻³	5.5x10 ⁻³	<0.0020	<0.00005
ปลาชุก	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	3.5-8.3x10 ⁻⁶	6.0x10 ⁻⁶	<0.0006	<0.0006	<0.0012	<0.0012	2.4-4.6x10 ⁻³	3.6x10 ⁻³	1.7-3.3x10 ⁻⁴	2.5x10 ⁻⁴	1.6-3.0x10 ⁻⁴	2.3x10 ⁻⁴	2.0-2.1x10 ⁻⁴	1.6x10 ⁻⁴
ปลาชุก	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	2.2-8.2x10 ⁻⁵	5.2x10 ⁻⁵	<0.0006	<0.0006	<0.0012	<0.0012	1.1-4.1x10 ⁻³	1.5x10 ⁻³	0.8-3.0x10 ⁻⁵	1.1x10 ⁻⁵	5.4-6.7x10 ⁻³	6.4x10 ⁻⁴	2.0-2.5x10 ⁻⁴	2.4x10 ⁻⁵
ปลาชุก	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.83-7.8x10 ⁻⁵	3.5x10 ⁻⁵	0.13-5.1x10 ⁻⁴	2.6x10 ⁻⁴	<0.0012	<0.0012	0.25-6.0x10 ⁻²	0.03	0.01-1.1x10 ⁻²	5.4x10 ⁻³	0.10-2.9x10 ⁻²	0.02	0.13-6.2x10 ⁻³	3.0x10 ⁻³
ปลาชุก	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.68-1.1x10 ⁻³	2.2x10 ⁻⁶	<0.0006	<0.0006	<0.0012	<0.0012	0.13-1.1x10 ⁻³	6.2x10 ⁻⁴	1.0-4.1x10 ⁻⁴	1.4x10 ⁻⁴	0.53-1.9x10 ⁻³	6.2x10 ⁻⁴	0.3-3.3x10 ⁻⁴	1.8x10 ⁻⁴
ปลาชุก	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.03-1.2x10 ⁻⁴	5.7x10 ⁻⁵	0.42-1.7x10 ⁻⁵	1.1x10 ⁻⁵	<0.0012	<0.0012	0.311.2x10 ⁻²	7.3x10 ⁻³	0.8-4.0x10 ⁻⁴	2.4x10 ⁻⁴	0.20-1.0x10 ⁻²	6.2x10 ⁻³	0.78-1.2x10 ⁻⁴	7.7x10 ⁻⁴
ปลาชุก	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.26-4.1x10 ⁻⁴	2.2x10 ⁻⁴	<0.0006	<0.0006	<0.0012	<0.0012	0.03-0.06	0.03	1.1-4.5x10 ⁻³	2.8x10 ⁻³	0.03-0.09	0.06	0.68-1.2x10 ⁻²	6.8x10 ⁻³
หอยเชอร์รี่	0.42-1.3x10 ⁻³	8.7x10 ⁻⁴	0.11-3.8x10 ⁻⁴	1.8x10 ⁻⁴	1.0-8.7x10 ⁻⁵	4.8x10 ⁻⁵	0.77-2.0x10 ⁻³	1.4x10 ⁻³	0.01-0.05	0.03	0.02-0.09	0.05	0.06-0.39	0.22	0.1-1.0x10 ⁻²	6.83x10 ⁻³

ตารางที่ 4.9 ปริมาณสารปนเปื้อนที่มนุษย์ได้รับจากการบริโภคสัตว์น้ำต่อวัน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน) กรณีเป็นสารก่อมะเร็ง

ชนิด	As		Pb	
	CDI _{min} -CDI _{max} (95% CI)	CDI _{x̄} (95% CI)	CDI _{min} -CDI _{max} (95% CI)	CDI _{x̄} (95% CI)
ปลาตะเพียน	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	<0.0006	<0.0006
ปลากระดี่หม้อ	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	$0.4-1.8 \times 10^{-5}$	1.1×10^{-5}
ปลาสร้อยขาว	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	$1.0-2.4 \times 10^{-6}$	1.7×10^{-6}
กุ้งฝอย	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	$0.1-4.3 \times 10^{-6}$	2.8×10^{-6}
ปลาแขยง	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	$1.0-2.5 \times 10^{-6}$	1.8×10^{-6}
ปลาช่อน	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	<0.0006	<0.0006
ปลานิล	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	<0.0006	<0.0006
ปลานุ้	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	<0.0006	<0.0006
ปลาชิว	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	$0.2-7.0 \times 10^{-5}$	3.6×10^{-5}
ปลาอีสก	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	<0.0006	<0.0006
ปลาแป้นแก้ว	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	$0.7-3.0 \times 10^{-6}$	1.9×10^{-6}
ปลาหมอ	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	<0.0006	<0.0006
หอยเชอรี่	$0.46-7.3 \times 10^{-3}$	3.43×10^{-3}	$0.2-1.2 \times 10^{-5}$	7.1×10^{-6}

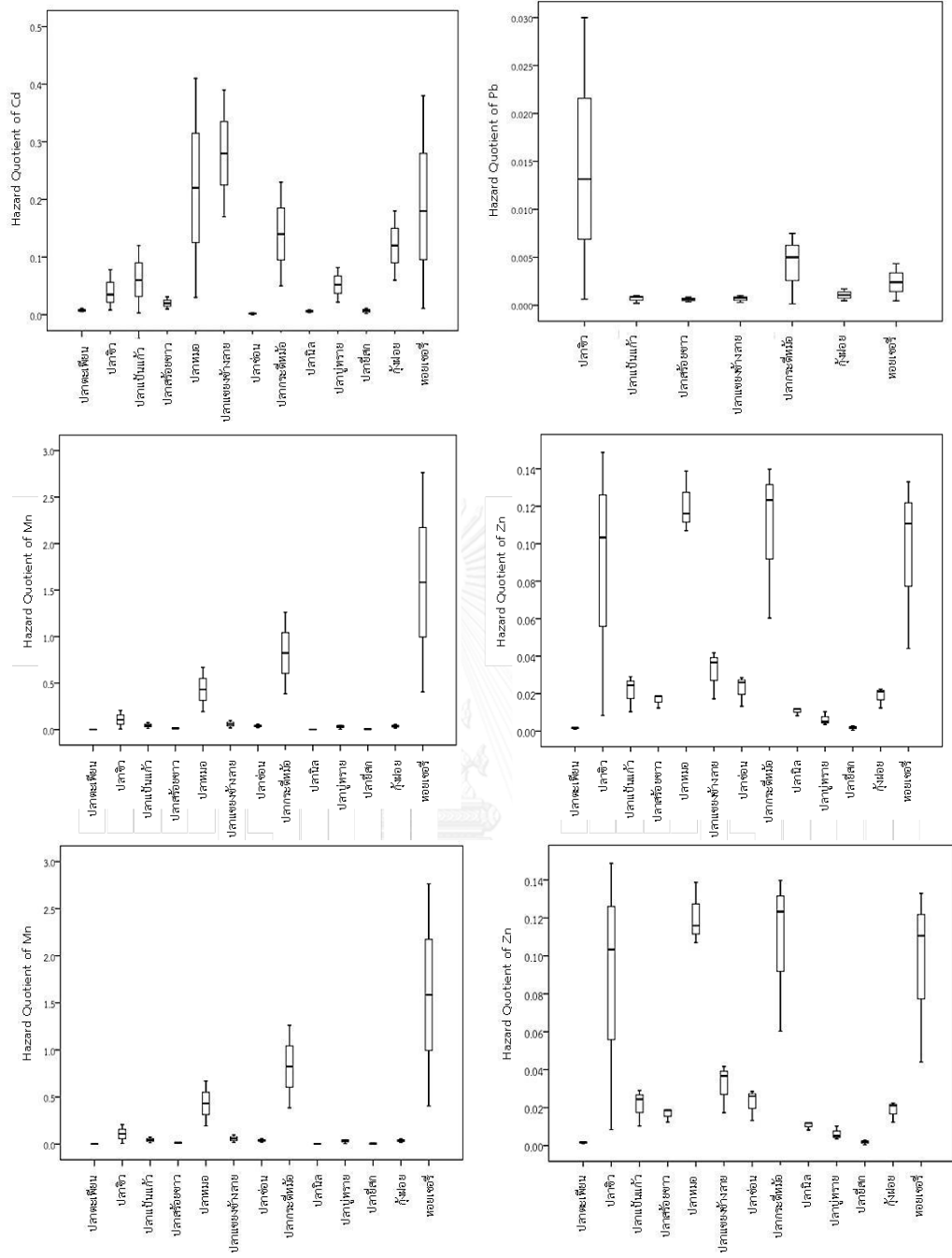
4.5.2 การอธิบายถึงลักษณะความเสี่ยง (risk characterization)

ตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.23 แสดงความเสี่ยงในการรับสัมผัสผ่านการบริโภคสัตว์น้ำปริมาณน้อยเป็นระยะเวลานาน โดยใช้ค่า Hazard Quotient (HQ) สำหรับสารที่ไม่ก่อมะเร็ง และ Cancer Risk (CR) สำหรับสารก่อมะเร็ง พบว่าค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่มีค่า $HQ < 1$ แสดงว่าสัตว์น้ำส่วนใหญ่มีความปลอดภัยในการบริโภค ยกเว้นผู้บริโภคอาจมีความเสี่ยงสูงต่อการได้รับสารหนู ทองแดง และแมงกานีสจากการบริโภคหอยเชอรี่โดยมีค่า HQ_{mean} เท่ากับ 2.8 1.4 และ 1.58 ตามลำดับ และมีความเสี่ยงสูงต่อการได้รับปรอทจากการบริโภคกุ้งฝอย ปลาแขยงข้างลาย ปลาชิว ปลาหมอ และหอยเชอรี่ มีค่า HQ_{mean} เท่ากับ 1.78 4.45 3.02 6.8 และ 6.83 ตามลำดับ ทั้งนี้ ทองแดงและแมงกานีสเป็นโลหะหนักที่เป็นประโยชน์ อาจไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์มากเมื่อเทียบกับโลหะหนักชนิดอื่น แต่ถ้าหากค่าความเสี่ยงสำหรับโลหะหนักที่เป็นประโยชน์ เช่น

ทองแดง และสังกะสี มีค่ามากกว่า 10 อาจเป็นสัญญาณต่อการเสี่ยงของสุขภาพผู้บริโภคได้ (PEAMSEA, 2001)

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งโดยทำการประเมินความเสี่ยงรวม (Hazard index; HI) ของโลหะทุกชนิดจากการบริโภคปลาแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 4.11 ผลการศึกษาพบว่าค่าความเสี่ยงรวมเฉลี่ยสูงสุดในหอยเชอร์รี่ มีค่า HI เท่ากับ 13.0 นอกจากนี้ยังมี ปลาหมอบ ปลาแขยง ปลาชิว กุ้งฝอย ที่มีค่า HI เท่ากับ 7.63 4.84 3.41 และ 2.16 ตามลำดับ ซึ่งมีค่า HI มากกว่า 1 ดังนั้นอาจมีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับโลหะหนักที่ปนเปื้อนเมื่อบริโภคสัตว์น้ำเหล่านี้เป็นระยะเวลานาน แต่สำหรับปลาตะเพียน ปลากระตี่หม้อ ปลาสวายขาว ปลาช่อน ปลานิล ปลาน้ำจืด ปลาบู่ ปลาช่อน และปลาแป้นแก้ว ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ($HI < 1$) แสดงว่ายังมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคหากได้รับเป็นระยะเวลานาน

การประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็ง มีโลหะหนัก 2 ชนิดที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งได้หากได้รับสัมผัสเป็นระยะเวลานาน ได้แก่ สารหนูและตะกั่ว จากการประเมินความเสี่ยงพบว่าค่า Cancer Risk พบว่าค่าเฉลี่ย CR_{mean} ของตะกั่วจากการบริโภคสัตว์น้ำมีค่าน้อยกว่า 1×10^{-6} ซึ่งมีความปลอดภัย ค่าสูงสุดคือ ปลาชิวมีค่าเท่ากับ 3.0×10^{-7} แต่อาจมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากสารหนูหากบริโภคหอยเชอร์รี่เป็นระยะเวลานาน เนื่องจากมีค่า CR_{mean} เท่ากับ 5.15×10^{-5} ดังตารางที่ 4.12



ภาพที่ 4.23 Hazard Quotient

ตารางที่ 4.11 การประเมินขนาดสัมพัทธ์กับการตอบสนองของกรณีเป็นสารไม่ก่อมะเร็ง (Hazard Quotient)

ชนิด	As		Cd		Pb		Ni		Zn		Cu		Mn		Hg	
	HQ _{min} (95% CI)	HQ _z (95% CI)	HQ _{min} -HQ _{max} (95% CI)	HQ _z (95% CI)	HQ _{min} -HQ _{max} (95% CI)	HQ _z (95% CI)	HQ _{min} -HQ _{max} (95% CI)	HQ _z (95% CI)	HQ _{min} -HQ _{max} (95% CI)	HQ _z (95% CI)	HQ _{min} -HQ _{max} (95% CI)	HQ _z (95% CI)	HQ _{min} -HQ _{max} (95% CI)	HQ _z (95% CI)	HQ _{min} -HQ _{max} (95% CI)	HQ _z (95% CI)
ปลาตะเพียน	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.007-0.011	0.005	<0.0006	<0.0006	0.001-0.004	0.003	0.9-1.9x10 ⁻³	0.002	0.001-0.006	0.003	0.5-3.9x10 ⁻³	1.7x10 ⁻³	0.08-0.24	0.16
ปลากะตักหน่อ	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.05-0.23	0.14	0.15-7.5x10 ⁻³	0.005	<0.0012	<0.0012	0.06-0.13	0.12	0.05-0.16	0.10	0.39-1.26	0.80	<0.0020	<0.00005
ปลาสร้อยขาว	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.01-0.03	0.02	3.6-8.5x10 ⁻⁴	0.001	<0.0012	<0.0012	0.01-0.02	0.02	0.01-0.02	0.01	0.01-0.02	0.01	<0.0020	<0.00005
กุ้งฝอย	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.06-0.18	0.12	0.48-1.7x10 ⁻³	0.001	<0.0012	<0.0012	0.01-0.02	0.02	0.11-0.29	0.20	0.02-0.06	0.04	0.98-2.57	1.78
ปลาแซลมอน	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.17-0.39	0.28	3.0-7.5x10 ⁻⁴	0.001	<0.0012	<0.0012	0.02-0.04	0.04	0.01-0.03	0.02	0.02-0.10	0.06	3.47-7.41	4.45
ปลาช่อน	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.01-3.0x10 ⁻⁵	0.002	<0.0006	<0.0006	<0.0012	<0.0012	0.01-0.03	0.03	0.002-0.01	0.004	0.02-0.06	0.04	<0.0020	<0.00005
ปลานิล	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.004-0.01	0.006	<0.0006	<0.0006	<0.0012	<0.0012	0.008-0.01	0.01	0.004-0.01	0.006	0.001-0.002	0.002	0.11-0.21	0.16
ปลาน้ำจืด	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.02-0.08	0.05	<0.0006	<0.0006	<0.0012	<0.0012	0.003-0.01	0.005	2.0-7.5x10 ⁻⁴	2.8x10 ⁻⁴	0.04-0.05	0.005	0.2-0.25	0.02
ปลาชิว	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.008-0.08	0.03	6.4x10 ⁻⁴ -0.03	0.01	<0.0012	<0.0012	0.008-0.15	0.10	0.003-0.3	0.13	0.01-0.21	0.11	0.13-6.2	3.02
ปลาชุก	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.006-0.011	0.002	<0.0006	<0.0006	<0.0012	<0.0012	0.43-2.8x10 ⁻³	0.002	0.003-0.01	0.004	0.004-0.01	0.004	0.03-0.33	0.18
ปลาแป้นแก้ว	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.003-0.12	0.06	2.1-8.5x10 ⁻⁴	0.001	<0.0012	<0.0012	0.01-0.03	0.02	0.002-0.01	0.01	0.01-0.07	0.04	0.08-0.12	0.01
ปลาหมอ	<2.2x10 ⁻⁶	<2.2x10 ⁻⁶	0.03-0.41	0.22	<0.0006	<0.0006	<0.0012	<0.0012	0.11-0.14	0.12	0.03-0.11	0.07	0.19-0.67	0.43	4.8-11.8	6.8
พวยเขड़ी	1.4-4.3	2.8	0.001-0.38	0.18	0.47-4.4x10 ⁻³	0.002	0.04-0.10	0.07	0.04-0.13	0.11	0.45-2.3	1.4	0.41-2.76	1.58	1.99-11.7	6.83

ตารางที่ 4.12 ดัชนีแสดงค่าความเสี่ยงของ As Pb Cd Cu Zn Ni Mn และ Hg กรณีเป็นสารไม่ก่อมะเร็งโดยรวม (Hazard Index)

ชนิด	$HI_{\min}-HI_{\max}$ (95% CI)	$HI_{\bar{x}}$ (95% CI)
ปลาตะเพียน	0.02-0.10	0.17
ปลากระดี่หม้อ	0.26-2.02	0.37
ปลาสร้อยขาว	0.04-0.09	0.07
กึ่งฝอย	1.18-3.12	2.16
ปลาแขยงข้างลาย	3.68-7.97	4.84
ปลาช่อน	0.04-0.10	0.07
ปลานิล	0.13-0.24	0.18
ปลานุ่	0.26-0.39	0.09
ปลาชิว	0.15-6.92	3.41
ปลาอีสก	0.04-0.37	0.19
ปลาแป้นแก้ว	0.11-0.35	0.21
ปลาหมอ	7.16-13.1	7.63
หอยเชอร์รี่	4.35-21.7	13.0

ตารางที่ 4.13 การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนองต่อ As และ Pb ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

ชนิด	As		Pb	
	CR _{min} -CR _{max} (95% CI)	CR _x ⁻ (95% CI)	CR _{min} -CR _{max} (95% CI)	CR _x ⁻ (95% CI)
ปลาตะเพียน	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	<0.0006	<0.0006
ปลากระดี่หม้อ	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	$0.34-1.5 \times 10^{-7}$	9.3×10^{-7}
ปลาสร้อยขาว	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	$0.82-2.0 \times 10^{-8}$	1.4×10^{-8}
กุ้งฝอย	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	$1.1-3.6 \times 10^{-8}$	2.4×10^{-8}
ปลาแขยง	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	$0.83-2.1 \times 10^{-8}$	1.5×10^{-8}
ปลาช่อน	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	<0.0006	<0.0006
ปลานิล	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	<0.0006	<0.0006
ปลานู๋	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	<0.0006	<0.0006
ปลาชิว	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	$0.17-5.9 \times 10^{-7}$	3.0×10^{-7}
ปลาอีสก	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	<0.0006	<0.0006
ปลาแป้นแก้ว	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	$0.60-2.6 \times 10^{-8}$	1.6×10^{-8}
ปลาหมอ	$<2 \times 10^{-6}$	$<2 \times 10^{-6}$	<0.0006	<0.0006
หอยเชอรี่	$0.06-1.1 \times 10^{-5}$	5.15×10^{-5}	$0.20-1.0 \times 10^{-7}$	6.1×10^{-7}

4.5.3 ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์

ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคต่อสัปดาห์ (PTWI) ของสัตว์น้ำทั้งหมด 10 ชนิด จากบริเวณพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ สำหรับพนักงานภายในเมืองที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 60 กิโลกรัม พบว่า เพื่อให้ผู้บริโภคไม่ได้รับโลหะหนักเกินเกณฑ์ที่กำหนด ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคปลา ตะเพียนขาวต้องไม่เกิน 0.16 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ (เพื่อไม่ให้ได้รับ Hg เกินมาตรฐาน) ปลาชิวต้องไม่เกิน 0.04 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ (เพื่อไม่ให้ได้รับ Hg เกินมาตรฐาน) ปลาแบนแก้วต้องไม่เกิน 0.35 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ (เพื่อไม่ให้ได้รับ Hg เกินมาตรฐาน) หอยเชอรี่ต้องไม่เกิน 0.01 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ (เพื่อไม่ให้ได้รับ Hg เกินมาตรฐาน) กุ้งฝอยต้องไม่เกิน 0.02 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ (เพื่อไม่ให้ได้รับ Hg เกินมาตรฐาน) ปลาสร้อยขาวต้องไม่เกิน 0.06 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ (เพื่อไม่ให้ได้รับ Hg เกินมาตรฐาน) ปลาหมอต้องไม่เกิน 0.04 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ (เพื่อไม่ให้ได้รับ Hg เกินมาตรฐาน) ปลาแขยงข้างลาย ต้องไม่เกิน 0.01 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ (เพื่อไม่ให้ได้รับ Hg เกินมาตรฐาน) ปลากระดี่หม้อต้องไม่เกิน 0.20 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ (เพื่อไม่ให้ได้รับ Mn เกินมาตรฐาน) ปลานิลต้องไม่เกิน 0.30 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ (เพื่อไม่ให้ได้รับ Hg เกินมาตรฐาน) ทั้งนี้ตัวอย่างปลาเยือก ปลาช่อน และปลานูทรายพบเพียง 1 ตัวอย่าง ดังนั้นจึงไม่นำมาทำการคำนวณ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 ปริมาณของโลหะหนักในน้ำผิวดินจากพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ

ตัวอย่างน้ำผิวดินทั้งหมด 5 สถานี เก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ได้แก่ เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 และ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 พบว่าปริมาณสารหนู แคดเมียม และ นิกเกิลมีค่า $<2 \times 10^{-6}$, <0.0001 และ <0.0012 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส มีค่าสูงสุดในสระน้ำหลังศูนย์เพาะชำ (ST05) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0037 ± 0.001 , 0.0630 ± 0.0130 , 0.0014 ± 0.0002 และ 2.079 ± 0.1953 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปริมาณปรอทพบสูงสุดใน บ่อตกตะกอน 2 (ST01) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 18.2×10^{-6} มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักทุกชนิดในตัวอย่างน้ำผิวดินพบว่าไม่มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนปรอทในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ของกรมควบคุมมลพิษ (2552) ยกเว้น Mn เท่านั้นที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดในบ่อตกตะกอน 2 (ST01) และสระน้ำหลังศูนย์เพาะชำ (ST05) ตัวอย่างน้ำผิวดินของสระน้ำหลังศูนย์เพาะชำ (ST05) เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่ไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆ ของเหมืองแร่ทองคำ แต่อยู่ติดกับพื้นที่ที่มีกิจกรรมของเหมืองแร่ทองคำส่วนใหญ่พบปริมาณโลหะหนักสูงสุด แสดงให้เห็นว่าโลหะหนักของบริเวณเดิมที่มีการทำเหมืองแร่ทองคำมีปริมาณโลหะหนักปริมาณมาก

5.2 ปริมาณของโลหะหนักในตะกอนดินจากพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ

ตัวอย่างน้ำผิวดินทั้งหมด 5 สถานี เก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ได้แก่ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 และ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 พบว่าปริมาณสารหนู แคดเมียม และนิกเกิล มีค่า $<2 \times 10^{-6}$, <0.0001 และ <0.0012 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณตะกั่ว สังกะสี และแมงกานีส มีค่าสูงสุดในบ่อรองรับน้ำฉุกเฉิน TSF1 (ST02) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.544 ± 0.3566 47.83 ± 5.572 และ 874.1 ± 17.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ปริมาณทองแดงพบสูงสุดในสระน้ำหลังศูนย์เพาะชำ (ST05) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 45.35 ± 11.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง และปริมาณนิกเกิลพบสูงสุดในบ่อตกตะกอนข้างคลังระเบิด (ST03) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 18.89 ± 2.780 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง และปริมาณปรอทพบสูงสุดในบ่อตกตะกอน 2 (ST01) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.8387 ± 0.2456 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักทุกชนิดในตัวอย่างตะกอนดินกับเกณฑ์ที่แนะนำของ Canadian Council of Ministers of the

Environment (2007) พบว่าปริมาณนิกเกิล ทองแดง แมงกานีส และปรอทในตัวอย่างบางสถานีเกินเกณฑ์ที่แนะนำ

5.3 การศึกษาปริมาณของโลหะหนักในสัตว์น้ำจากพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ

5.3.1 ปริมาณของโลหะหนักในสัตว์น้ำ

ตัวอย่างสัตว์น้ำทั้งหมด 15 ชนิด พบว่าปริมาณสารหนูในตัวอย่างหอยเชอร์รี่ (ST02) เท่านั้น มีค่าเท่ากับ 0.6981 ± 0.3901 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ปริมาณพบแคดเมียม นิกเกิล ทองแดง และแมงกานีสพบสูงสุดในหอยเชอร์รี่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.6024 ± 0.0173 2.171 ± 0.1521 177.6 ± 35.70 และ 593.9 ± 4.812 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก สำหรับปริมาณสังกะสีพบสูงสุดในปลาชิวหางแดง (ST02) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 87.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก และปริมาณปรอทพบสูงสุดในปลาแขยงข้างลาย (ST03) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.78 ± 0.2712 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักทุกชนิดในตัวอย่างสัตว์น้ำกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดพบว่าแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดงและปรอท ในตัวอย่างบางชนิดมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด สำหรับตัวอย่างหอยเชอร์รี่มีโลหะหนักสะสมมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ สำหรับหอยเชอร์รี่และกุ้งฝอยที่พบในการศึกษานี้พบใน ST17 เท่านั้นซึ่งเป็นบ่อที่มีปริมาณ Cu, Mn และ Zn ในตะกอนดินสูงที่สุดเช่นเดียวกัน

5.3.2 การเปรียบเทียบโลหะหนักในเนื้อส่วนต่างๆ ของปลาตะเพียนขาวและปลายี่สก

ตัวอย่างปลาตะเพียนขาวทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 3 ตัว เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 จำนวน 5 ตัว และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 จำนวน 4 ตัว ความเข้มข้นของสารหนูในเนื้อทุกส่วนมีค่า $< 2 \times 10^{-6}$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว นิกเกิล สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส พบปริมาณสูงสุดในตัวอย่างของตับทั้งปลาตะเพียนขาวและปลายี่สก ส่วนปริมาณปรอทพบสูงสุดในเนื้อเยื่อส่วนหลังของปลาตะเพียนขาวและปลายี่สก

5.3.3 ปัจจัยการสะสมทางชีวภาพ (Bioaccumulation factor; BAF)

ค่า BAF ของสัตว์น้ำที่มีการสะสมโลหะหนักจากน้ำ เมื่อเปรียบเทียบค่า BAF ของสัตว์น้ำแต่ละชนิด พบว่า BAF ของ Cu Hg และ Mn สูงสุดในหอยเชอร์รี่ เมื่อเปรียบเทียบค่า BAF ในหอยเชอร์รี่จากพื้นที่เหมืองและพื้นที่ธรรมชาติ พบว่าการสะสมโลหะหนักจากน้ำของหอยเชอร์รี่มีค่า BAF ของ Cu Hg และ Mn สูงสุดเช่นเดียวกัน และค่า BAF จากตัวอย่างสัตว์น้ำภายนอกเหมืองมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างภายในเหมือง และส่วนใหญ่สัตว์น้ำที่บริโภคทั้งพืชและสัตว์ (Omnivore) และบริโภคซากอินทรีย์ (Scavenger) มีค่า BAF สูงที่สุด

5.3.4 การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ

ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient; HQ) ของการได้รับโลหะหนักจากการบริโภคสัตว์น้ำทั้ง 15 ชนิด จากพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ พบว่าค่า HQ ของการได้รับแคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง แมงกานีส และปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 0.002-0.28 0.001-0.01 0.002-0.12 0.0003-1.4 0.002-1.58 และ 0.01-6.83 ตามลำดับ ค่า HQ ของการได้รับสารหนูและนิเกิลที่พบในหอยเชอริเท่านั้นมีค่าเท่ากับ 2.8 และ 0.07 ตามลำดับ ค่า HQ ของการได้รับสารหนู ทองแดง แมงกานีส และปรอทของหอยเชอริพบว่ามีค่า $HQ > 1$ และค่า HQ ของการได้รับปรอทของกุ้งฝอย ปลาแขยงข้างลาย ปลาชิว และปลาหมอมีค่า HQ เท่ากับ 1.78 4.45 3.02 6.8 และ 6.8 ตามลำดับ ซึ่งค่า $HQ > 1$ ดังนั้นจึงอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงจากการได้รับโลหะหนักต่อสุขภาพของผู้บริโภค

การประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งพบว่าค่า Cancer Risk พบว่าค่าเฉลี่ย CR_{mean} ของตะกั่วจากการบริโภคสัตว์น้ำมีค่าน้อยกว่า 1×10^{-6} ซึ่งมีความปลอดภัย แต่อาจมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากสารหนูหากบริโภคหอยเชอริเป็นระยะเวลาสั้น เนื่องจากมีค่า CR_{mean} เท่ากับ 5.15×10^{-5} ซึ่งมีค่ามากกว่า 1×10^{-6}

การประเมินค่าความเสี่ยงของสารไม่ก่อมะเร็งโดยรวม (Hazard Index; HI) กรณีเป็นสารไม่ก่อมะเร็ง พบว่าหอยเชอริ มีค่า HI เท่ากับ 13.0 นอกจากนี้ยังมี ปลาหมอ ปลาแขยง ปลาชิว กุ้งฝอย ที่มีค่า HI เท่ากับ 7.63 4.84 3.41 และ 2.16 ตามลำดับ ซึ่งมีค่า HI มากกว่า 1 ดังนั้นอาจมีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับโลหะหนักที่ปนเปื้อนเมื่อบริโภคสัตว์น้ำเหล่านี้เป็นระยะเวลาสั้น

5.3.5 ปริมาณที่ปลอดภัยในการบริโภคสัตว์น้ำจากพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ

จากค่า PTWI ของสัตว์น้ำทั้ง 13 ชนิด สำหรับพนักงานภายในเหมืองมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 60 กิโลกรัม สัตว์น้ำที่มี PTWI หรือสามารถบริโภคได้มากที่สุด คือ ปลาแป้นแก้ว (0.34 กิโลกรัมต่อสัปดาห์) และบริโภคได้น้อยที่สุด คือ หอยเชอริและปลาแขยงข้างลาย (0.01 กิโลกรัมต่อสัปดาห์)

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาปริมาณสารหนู (As) ควรใช้เทคนิค Hydride Generation Atomic Absorption Spectroscopy ซึ่งเหมาะสมมากกว่าเทคนิค Flame Atomic Absorption Spectrometry ที่ใช้ในการศึกษานี้
2. การศึกษาปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสัตว์น้ำ ควรเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำทุกชนิดให้ได้ปริมาณที่เท่ากัน
3. ไม่ควรบริโภคหอยเชอริในปริมาณมากเป็นระยะเวลานาน เนื่องจากพบปริมาณของโลหะหนักสะสมสูงกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ได้

รายการอ้างอิง

- Alagarsamy, R. (2006). Distribution and seasonal variation of trace metals in surface sediments of the Mandovi estuary, west coast of India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67(1), 333-339.
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis of the Association of official Analytical Chemists* (15th ed ed.). Arlington: Virginia modified.
- Benoit, J., Gilmour, C., and Mason, R. (2001). The influence of sulfide on solid-phase mercury bioavailability for methylation by pure cultures of *Desulfobulbus propionicus*. *Environmental Science & Technology*, 35(1), 127-132.
- Bryan, G., and Langston, W. (1992). Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: a review. *Environmental pollution*, 76(2), 89-131.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (2007). *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Summary Tables*. Canada: Canadian environmental guidelines; Canadian Council of Ministers of the Environment : Winnipeg, MB.
- Clarkson, T. W., and Magos, L. (2006). The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Critical reviews in toxicology*, 36(8), 609-662.
- Edokpayi, J. N., Odiyo, J. O., Popoola, O. E., & Msagati, T. A. (2016). Assessment of Trace Metals Contamination of Surface Water and Sediment: A Case Study of Mvudi River, South Africa. *Sustainability*, 8(2), 135.
- FAO/WHO. (2011). *Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Contaminants in Foods, Food CF/5 INF/1, Fifth Session*. The Netherlands: The Hague.
- Florida Department of Environmental Protection. (1997). *Recommended Standard for Wastewater Facilities*. New York: Health Research.
- Food Safety and Standards Authority of India. (2012). *Manual of methods of analysis of foods (Metals)*. Retrieved from http://old.fssai.gov.in/Portals/0/Pdf/Draft_

ความเป็นพิษเฉียบพลันและการกลายพันธุ์จากสารมลพิษรวมในน้ำและตะกอนดินกรณีศึกษา
 คลองชาดหมั่นManuals/METALS.pdf

- Harada, M. (1995). Minamata disease: methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution. *Critical reviews in toxicology*, 25(1), 1-24.
- Ikingura, J., & Akagi, H. (1996). Monitoring of fish and human exposure to mercury due to gold mining in the Lake Victoria goldfields, Tanzania. *Science of the Total Environment*, 191(1-2), 59-68.
- Karadede, H., & Ünlü, E. (2000). Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Chemosphere*, 41(9), 1371-1376.
- Lee, J.S., Chon, H.T., and Kim, K.W. (2005). Human risk assessment of As, Cd, Cu and Zn in the abandoned metal mine site. *Environmental Geochemistry and Health*, 27(2), 185-191.
- Mackay, D., & Fraser, A. (2000). Bioaccumulation of persistent organic chemicals: mechanisms and models. *Environmental pollution*, 110(3), 375-391.
- Md, J. S., Kanungo, I., Tanmay, M., and Md, P. S. (2016). A Study on the Determination of Heavy Metals in Sediment of Fish Farms in Bangladesh. *Fish Aquac J*, 7(159), 2.
- Miller, J., & Tyler, G. (2007). *Living in The Environment: Principle, Connection and Solutions*. Singapore: Thompson Brooks/Cole. 832 pages.
- Olmedo, P., Hernández, A., Pla, A., Femia, P., Navas-Acien, A., & Gil, F. (2013). Determination of essential elements (copper, manganese, selenium and zinc) in fish and shellfish samples. Risk and nutritional assessment and mercury-selenium balance. *Food and Chemical Toxicology*, 62, 299-307.
- Ozturk, M., Özözen, G., Minareci, O., & Minareci, E. (2009). Determination of heavy metals in fish, water and sediments of Avsar Dam Lake in Turkey. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 6(2), 73-80.
- Saeed, S. M., and Shaker, I. M. (2008, 12 October). Assessment of heavy metals pollution in water and sediments and their effect on *Oreochromis niloticus* in the northern delta lakes, Egypt. Paper presented at the 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture.

- Saha, P., and Hossain, M. (2011, 6 April). Assessment of heavy metal contamination and sediment quality in the Buriganga River, Bangladesh. Paper presented at the 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, IPCBEE, Singapore.
- Salah, E. A. M., Zaidan, T. A., and Al-Rawi, A. S. (2012). Assessment of heavy metals pollution in the sediments of Euphrates River, Iraq. *Journal of Water Resource and Protection*, 4(12), 1009.
- Squadrone, S., Burioli, E., Monaco, G., Koya, M., Prearo, M., Gennero, S., & Abete, M. (2016). Human exposure to metals due to consumption of fish from an artificial lake basin close to an active mining area in Katanga (DR Congo). *Science of The Total Environment*, 568, 679-684.
- Stephens, C., & Ahern, M. (2001). Worker and community health impacts related to mining operations internationally: a rapid review of the literature. London: London School of Hygiene & Tropical Medicine.
- Ubalua, A., Chijioke, U., and Ezeronye, O. (2007). Determination and assessment of heavy metal content in fish and shellfish in Aba River, Abia State, Nigeria. *KMITL Sci Tech J*, 7(1), 16-23.
- The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). (2014). Evaluations of the Joint FAO / WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Retrieved from <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/search.aspx>
- US-EPA. (2001). Appendix to Method 1631 Total Mercury in Tissue, Sludge, Sediment, and Soil by Acid Digestion and BrCl Oxidation: Based on a standard operating procedure provided by Frontier Geosciences, Inc. (สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2559).
- USEPA. (1984). Health Assessment Document for Inorganic Arsenic (EPA/540/1-86/020). Retrieved from Office of Health and Environmental Assessment:
- USEPA. (1986). Health Assessment Document for Nickel. Washington DC: Office of Research and Development. (สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2559).
- USEPA. (1989). Risk-assessment guidance for Superfund. Volume 1. Human Health Evaluation Manual. Part A. Interim report (Final). (สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2559).

- USEPA. (1994). Determination of Metals and Trace Elements in Water and Waste by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. Ohio: Office of Research and Development. (สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2559).
- USEPA. (1997). Mercury Study Report to Congress. Washington, DC: Office of Air Quality Planning and Standards and Office of Research and Development.
- USEPA. (1999). Integrated Risk Information System (IRIS) on Manganese. Retrieved from Office of Research and Development: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0373_summary.pdf
- USEPA. (2003). Toxicological Review of Zinc and Compounds. EPA/635/R-05/002. Retrieved from file:///C:/Users/Administrator/Downloads/TOX_REVIEW_FOR_ZINC_EXT_REVIEW_DRAFT.PDF
- USEPA. (2007). Method 3051A Microwave assisted acid digestion of sediments, sludged, soils, and oils. (สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2559).
- USFDA. (2003). Food Safety Policy and Regulation in the United States. Retrieved from [www.europarl.europa.eu/RegData/.../IPOL_STU\(2015\)536324_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/.../IPOL_STU(2015)536324_EN.pdf)
- Wu, B., Wang, G., Wu, J., Fu, Q., and Liu, C. (2014). Sources of heavy metals in surface sediments and an ecological risk assessment from two adjacent plateau reservoirs. PloS one, 9(7), e102101.
- Yilmaz, F., Özdemir, N., Demirak, A., and Tuna, A. L. (2007). Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. Food Chemistry, 100(2), 830-835.
- Yoshida, F., Hata, A., & Tonegawa, H. (1999). Itai-Itai disease and the countermeasures against cadmium pollution by the Kamioka mine. Environmental Economics and policy studies, 2(3), 215-229.
- กชพรรณ วงศ์เจริญ และ ศิริพันธ์ ยุบลศิริ. (2555). การศึกษาปริมาณตะกั่ว และ แคดเมียมใน ปลากระมัง ปลาดอง ปลาเนื้ออ่อน ปลาบู่ ปลาเกะ และกุ้ง บริเวณเขื่อนลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์, 2(1), 42-46.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2537). ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2554). โครงการศึกษาการปนเปื้อนและการวางเครือข่ายเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน ในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร และอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์.
- กรมอนามัย. (2544). แนวทางการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพโครงการเหมืองแร่. นนทบุรี: บริษัท โอ-วิทย์ (ประเทศไทย) จำกัด.
- กระทรวงสาธารณสุข. (2529). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. Retrieved from http://food.fda.moph.go.th/law/data/announ_moph/P98.pdf
- กระทรวงสาธารณสุข. (2558). แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยง กรณีเหมืองแร่ทองคำ (พิมพ์ครั้งที่ 2 ed.). นนทบุรี: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- จิดนธรรม ทารเทา. (2552). ระดับของปรอทที่ปนเปื้อนในทรัพยากรประมงจากอ่าวเบงกอลและทะเลอันดามัน (น่านน้ำพม่า) และการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จุฑารัตน์ พุกกะวัน จันท์ฉาย ต๊ะเทียน และ ปิยะดา วชิระวงศกร. (2557). การประเมินคุณภาพน้ำผิวดินและน้ำบาดาลในพื้นที่บริเวณใกล้เหมืองแร่ทองคำ กรณีศึกษา: จังหวัดพิจิตร เพชรบูรณ์ และพิษณุโลก รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52 (pp. 405-411). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิราภรณ์ คชเสนี. (2544). หลักนิเวศวิทยา (Vol. 3). กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐวิจิตร พลเวียง และ ศรัณย์ เกียรติมาลีสถิต. (2557). ปริมาณของสารหนูในตะกอนดิน และหอยฝาเดียวในห้วยเหล็ก บริเวณใกล้กับเหมืองแร่ทองคำ อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พงศ์เทพ วิวรรณเดชะ. (2547). การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ Health Risk Assessment. กรุงเทพมหานคร: ไชเบอร์เพรส.
- พรพรรณ ศิลารัตน์ สุขาย วรชนะนันท์ ภาสิณี วรชนะนันท์ และ นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ. (2557). การแพร่กระจายของโลหะหนักในดินตะกอน บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง และบริเวณข้างเคียง. รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52. สาขาวิทยาศาสตร์ สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 419-423.
- พลยุทธ์ สุขุมิตี และวิวัฒน์ ไตรธิกุล. (2546). รายงานคุณภาพสิ่งแวดล้อมบริเวณหมู่เหมืองทองคำของบริษัท อัคราไมนิ่ง จำกัด อ.ทับคล้อ จ.พิจิตร และอ.วังโป่ง จ.เพชรบูรณ์. สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต: กรุงเทพมหานคร.

- พลยุทธ์ ศุขมิตติ และ วิวัฒน์ โตธิรกุล. (2549). คุณภาพน้ำบริเวณพื้นที่เหมืองแร่ทองคำของบริษัท อัคราไมนิ่ง จำกัด และพื้นที่ใกล้เคียงบริเวณรอยต่อระหว่าง จ.พิจิตร จ.พิษณุโลก และจ.เพชรบูรณ์. สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต: กรุงเทพมหานคร.
- พลยุทธ์ ศุขมิตติ และ วิวัฒน์ โตธิรกุล. (2551). รายงานคุณภาพสิ่งแวดล้อมบริเวณหมู่เหมืองทองคำของบริษัท อัคราไมนิ่ง จำกัด อ.ทับคล้อ จ.พิจิตร และอ.วังโป่ง จ.เพชรบูรณ์. สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต: กรุงเทพมหานคร.
- พัชวิมา จินหมั่น. (2552). ระดับของแคดเมียมในทรัพยากรประมงจากทะเลอันดามันและทะเลเซลเบสและการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- รัตติยา สิงห์. (2549). การหาปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกัวนพะเยา รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 180-187.
- วรรณวิมล ภัทรสิริวงศ์ พนมพร วงษ์ปาน และ วิชาญ แก้วประสม. (2547). การศึกษาชนิดและระดับของสารหนูในผลิตภัณฑ์เกษตรในพื้นที่ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- วรางคณา วิเศษมณี และกาญจนา หริ่มเพ็ง. (2554). ความเป็นพิษเฉียบพลันและการกลายพันธุ์จากสารมลพิษรวมในน้ำและตะกอนดินกรณีศึกษา คลองชวดหมัน จังหวัดสมุทรปราการ วารสารของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติวิชาการ ฉบับที่ 153. (28):153-173.
- แววตา ทองระอา ฉลอย มุสิกะ วันชัย วงสุวรรณ และ อาวุธ หมั่นหาผล. (2557). การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ในการได้รับโลหะหนักจากการบริโภคอาหารทะเลบริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 19(2), 39-54.
- สุพาร์ตน์ สุขพันธ์. (2550). ปริมาณปรอทในเนื้อเยื่อสัตว์น้ำในทะเลสาบสงขลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุทธิณี มีสุข. (2554). มลพิษของโลหะหนัก. Retrieved from http://reo13.go.th/KM_reo13/data_know/54-06-02_metal.pdf. (สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2559).
- สุพรรณษา เกียรติสมมฤ และสุนิสา ชายเกลี้ยง. (2552). การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคสัตว์น้ำที่มีการปนเปื้อนสารตะกั่วบริเวณแหล่งประมงหนองน้ำล้น. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 17(14):671-686.

อานนท์ นนทโส. (2554). สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนโดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว กรุงเทพมหานคร: โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนโดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว.

อนางนาฏ ศรีประโชติ. (2557). Soil texture and soil structure. Retrieved from [https://ag2.kku.ac.th/eLearning/132351/Doc/132351%20Lec4%20SoilTexture&Structure57\(Dr.Anongnat\).pdf](https://ag2.kku.ac.th/eLearning/132351/Doc/132351%20Lec4%20SoilTexture&Structure57(Dr.Anongnat).pdf). (สืบค้นเมื่อ 14 กรกฎาคม 2559).



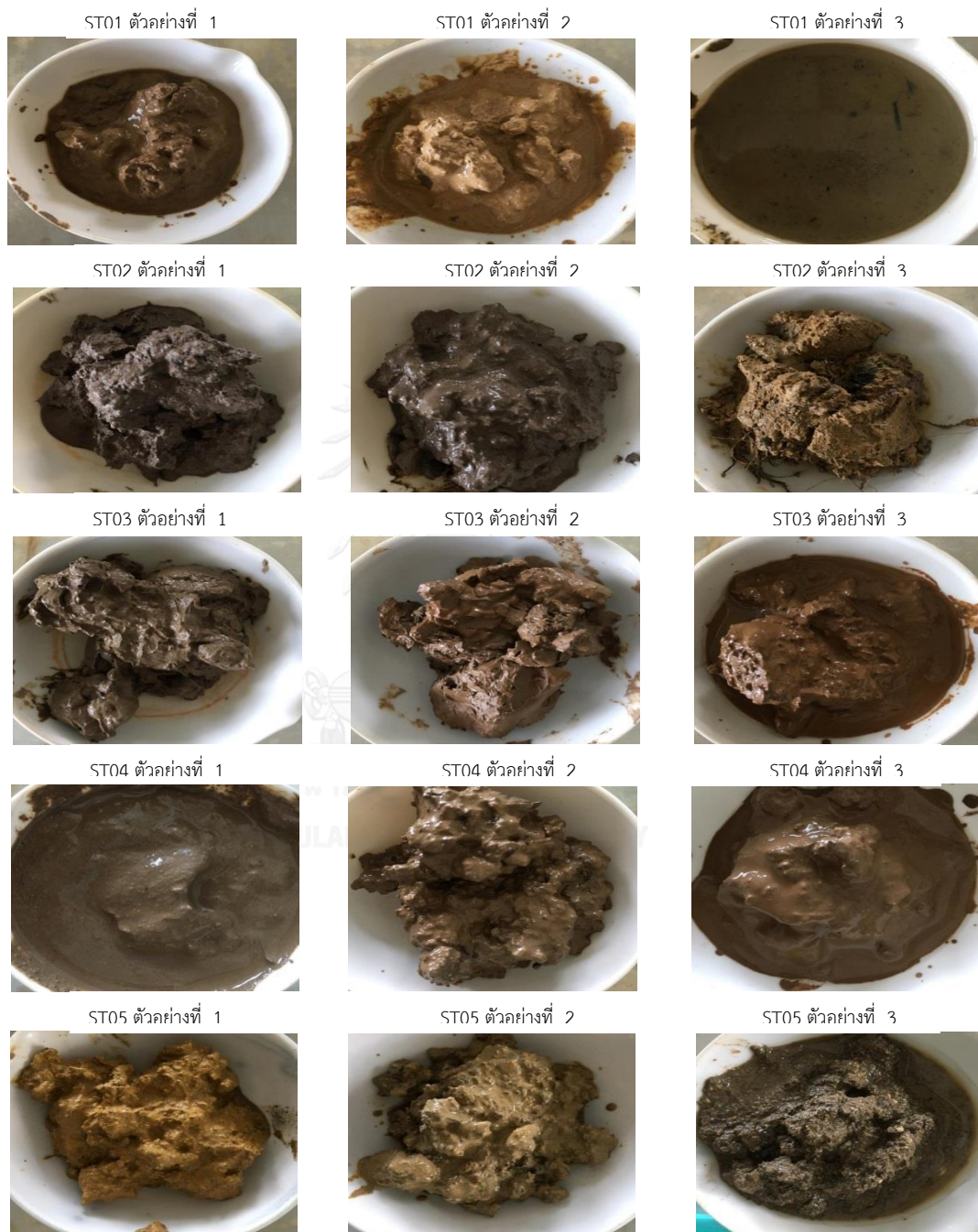


ภาคผนวก ก
ปริมาณโลหะหนักในน้ำ

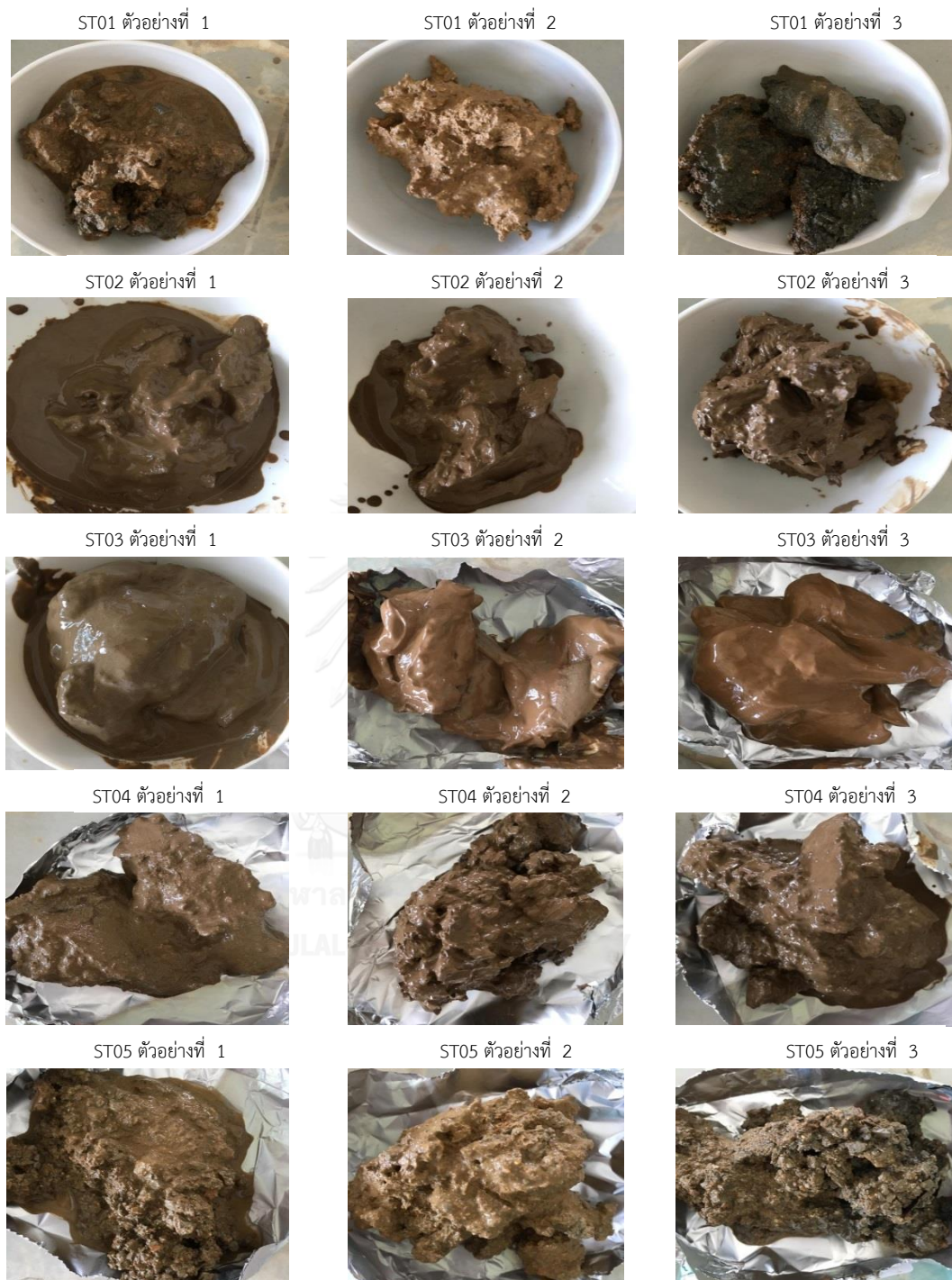
ตารางที่ ก.1 ปริมาณโลหะหนักของน้ำผิวดิน (mg/L)

เดือน	สถานี	As	Cd	Pb	Ni	Zn	Cu	Mn	Hg*
สิงหาคม 2558	ST01	<0.0001	<0.0001	0.0016±0.0001	<0.0012	0.0050±0.0003	0.0010±0.0003	0.0120±0.0016	2.18×10 ⁻⁶
	ST02	<0.0001	<0.0001	0.0013±0.0001	<0.0012	0.0070±0.0008	0.0007±0.0001	0.0640±0.0029	2.21×10 ⁻⁶
	ST03	<0.0001	<0.0001	0.0005±0.0001	<0.0012	0.0060±0.0002	0.0027±0.0004	0.0870±0.0062	2.04×10 ⁻⁶
	ST05	<0.0001	<0.0001	0.0025±0.0001	<0.0012	0.0210±0.0016	0.0011±0.0001	0.1010±0.0050	1.86×10 ⁻⁶
พฤศจิกายน 2558	ST01								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0036±0.0001	<0.0012	0.0667±0.0050	0.0006±0.0001	0.2259±0.0203	
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0039±0.0003	<0.0012	0.0541±0.0027	0.0026±0.0001	0.2734±0.0078	
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0024±0.0007	<0.0012	0.0517±0.0139	0.0021±0.0006	0.2281±0.0509	
	Average±S.E.			0.0033±0.0008		0.0575±0.0081	0.0018±0.0010	0.2425±0.0268	1.63×10 ⁻⁶
	ST02								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0012±0.0003	<0.0012	0.0525±0.0025	0.0051±0.0006	0.0577±0.0117	
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0029±0.0004	<0.0012	0.0844±0.0215	0.0062±0.0017	0.0741±0.0138	
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0016±0.0001	<0.0012	0.0609±0.0040	0.0036±0.0002	0.0578±0.0065	
	Average±S.E.			0.0019±0.0009		0.0659±0.0166	0.0050±0.0013	0.0632±0.0094	1.32×10 ⁻⁶
	ST03								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0014±0.0001	<0.0012	0.0046±0.0012	0.0010±0.0002	0.0323±0.0012	
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0009±0.0005	<0.0012	0.0021±0.0006	0.0006±0.0001	0.0257±0.0024	
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0010±0.0001	<0.0012	0.0070±0.0014	0.0049±0.0006	0.0115±0.0014	
	Average±S.E.			0.0011±0.0003		0.0046±0.0024	0.0022±0.0024	0.0238±0.0109	1.60×10 ⁻⁶
	ST04								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0010±0.00003	<0.0012	0.0763±0.0159	0.0044±0.0005	0.0067±0.0006	
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0004±0.00004	<0.0012	0.0608±0.0156	0.0012±0.0002	0.0054±0.0003	
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0009±0.0001	<0.0012	0.0513±0.0064	0.0011±0.0001	0.0045±0.0003	
	Average±S.E.			0.0007±0.0003		0.0628±0.0126	0.0022±0.0018	0.0055±0.0011	
ST05									
-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0053±0.0003	<0.0012	0.0627±0.0033	0.0017±0.0003	0.2102±0.0712		
-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0031±0.0001	<0.0012	0.0431±0.0093	0.0020±0.0007	0.1948±0.0203		
-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0028±0.0005	<0.0012	0.0470±0.0022	0.0020±0.0001	0.1727±0.0191		
Average±S.E.			0.0037±0.0001		0.0510±0.0104	0.0019±0.0001	0.1926±0.0188	1.91×10 ⁻⁶	
กุมภาพันธ์ 2559	ST01								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0001±0.00001	<0.0012	0.0723±0.0002	0.0027±0.00003	1.629±0.1133	18.2×10 ⁻⁶
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0003±0.0001	<0.0012	0.0340±0.0058	0.0014±0.0001	1.855±0.2608	
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0002±0.0001	<0.0012	0.0374±0.0009	0.0030±0.0001	1.673±0.0761	
	Average±S.E.			0.0002±0.0001		0.0479±0.0210	0.0024±0.0008	1.719±0.1199	
	ST02								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0009±0.0003	<0.0012	0.0522±0.0028	0.0041±0.0035	0.2254±0.1226	
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0014±0.0003	<0.0012	0.0844±0.0215	0.0019±0.0004	0.1148±0.0237	
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0009±0.0001	<0.0012	0.0609±0.0040	0.0013±0.0002	0.0708±0.0097	
	Average±S.E.			0.0011±0.0003		0.0660±0.0170	0.0024±0.0015	0.1370±0.0800	17.5×10 ⁻⁶
	ST03								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0015±0.0003	<0.0012	0.0046±0.0012	0.0016±0.0009	0.0298±0.0060	
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0011±0.0006	<0.0012	0.0120±0.0177	0.0015±0.0007	0.0411±0.0247	
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0004±0.00004	<0.0012	0.0101±0.0066	0.0010±0.0011	0.2806±0.0129	
	Average±S.E.			0.0010±0.0006		0.0090±0.0040	0.0014±0.0003	0.1172±0.1417	25.7×10 ⁻⁶
	ST04								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0005±0.00005	<0.0012	0.0763±0.0159	0.0015±0.0001	0.0026±0.0003	
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0003±0.00003	<0.0012	0.0608±0.0156	0.0015±0.0001	0.0653±0.0048	
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0009±0.0002	<0.0012	0.0513±0.0064	0.0012±0.0005	0.0415±0.0346	
	Average±S.E.			0.0006±0.0003		0.0630±0.0130	0.0014±0.0002	0.0364±0.0317	4.30×10 ⁻⁶
ST05									
-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0022±0.00003	<0.0012	0.0611±0.0041	0.0079±0.0073	1.993±0.1734		
-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0010±0.00003	<0.0012	0.0603±0.0050	0.0141±0.0002	1.941±0.0722		
-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0020±0.0003	<0.0012	0.0820±0.0159	0.0173±0.0020	2.302±0.2680		
Average±S.E.			0.0017±0.0006		0.0680±0.0123	0.0131±0.0048	2.079±0.1953	50.6×10 ⁻⁶	
พฤศจิกายน 2559	ST06	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	<0.0006	<0.0012	0.0047±0.0003	0.0036±0.0002	0.1456±0.0050	1.81×10 ⁻⁶
	ST07	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	<0.0006	<0.0012	0.0142±0.0181	0.0007±0.0004	0.1079±0.0036	2.52×10 ⁻⁶
	ST08	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	<0.0006	<0.0012	0.0305±0.0014	0.0016±0.0004	1.142±0.0857	1.99×10 ⁻⁶

ภาคผนวก ข
ลักษณะทางกายภาพของตะกอนดิน



ภาพที่ ข.1 ลักษณะของตะกอนดินเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558



ภาพที่ ข.2 ลักษณะของตะกอนดินเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

ตารางที่ ข.3 ประเภทของเนื้อดินเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558

สถานี	%Sand	%Silt	%Clay	ประเภทของเนื้อดิน
ST01				
-01	28.2	53.8	11.4	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
-02	28.9	55.1	15.6	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
-03	23.6	59.7	16.4	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
เฉลี่ย	26.3±3.8	56.2±3.1	14.5±2.7	
ST02				
-01	11.5	42.7	46.1	ดินเหนียวปนตะกอน (silty clay)
-02	10.3	47.7	39.5	ดินเหนียวปนตะกอน (silty clay)
-03	12.1	47.2	40.6	ดินเหนียวปนตะกอน (silty clay)
เฉลี่ย	11.3±0.9	45.9±2.8	42.1±3.5	
ST03				
-01	15.7	43.3	40.6	ดินเหนียวปนตะกอน (silty clay)
-02	14.3	41.1	44.3	ดินเหนียวปนตะกอน (silty clay)
-03	13.0	43.5	42.5	ดินเหนียวปนตะกอน (silty clay)
เฉลี่ย	14.3±1.4	42.6±1.3	42.5±1.9	
ST04				
-01	29.1	54.0	15.8	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
-02	27.3	59.5	13.0	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
-03	27.0	56.1	16.8	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
เฉลี่ย	27.8±1.1	56.5±2.8	15.2±2.0	
ST05				
-01	28.2	59.5	11.3	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
-02	22.7	65.9	10.5	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
-03	27.0	59.2	12.8	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
เฉลี่ย	26.0±2.9	61.5±3.8	11.5±1.2	

ตารางที่ ข.4 ประเภทของเนื้อดินเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

สถานี	%Sand	%Silt	%Clay	ประเภทของเนื้อดิน
ST01				
-01	30.2	52.4	15.9	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
-02	25.6	61.1	13.3	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
-03	27.7	55.1	10.3	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
เฉลี่ย	27.8±2.3	56.2±4.5	13.2±2.8	
ST02				
-01	14.3	40.1	44.8	ดินเหนียวปนตะกอน (silty clay)
-02	11.4	45.2	42.6	ดินเหนียวปนตะกอน (silty clay)
-03	11.8	47.2	40.5	ดินเหนียวปนตะกอน (silty clay)
เฉลี่ย	12.5±1.6	44.2±3.7	42.6±2.2	
ST03				
-01	16.6	42.5	41.2	ดินเหนียวปนตะกอน (silty clay)
-02	12.5	41.8	45.5	ดินเหนียวปนตะกอน (silty clay)
-03	15.2	39.9	44.7	ดินเหนียวปนตะกอน (silty clay)
เฉลี่ย	14.8±2.1	41.4±1.3	43.8±2.3	
ST04				
-01	25.1	60.1	15.6	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
-02	28.8	57.8	13.0	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
-03	22.5	59.4	18.0	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
เฉลี่ย	25.5±3.2	59.1±1.2	15.5±2.5	
ST05				
-01	23.1	61.5	15.2	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
-02	25.6	60.1	14.2	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
-03	26.4	59.8	14.0	ดินร่วนปนตะกอน (silty loam)
เฉลี่ย	25.0±1.7	60.5±0.9	14.5±0.6	

ตารางที่ ข.5 ปริมาณโลหะหนักในตะกอนดิน (mg/kg dry weight)

เดือน	สถานี	As	Cd	Pb	Ni	Zn	Cu	Mn	Hg
พฤศจิกายน 2558	ST01								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.1525±0.0014	0.4691±0.0707	4.707±0.5000	35.81±1.279	17.66±0.1955	0.2117±0.0016
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.1899±0.0411	0.3846±0.0117	3.859±0.1404	48.46±2.226	16.18±0.4917	0.3282±0.0346
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.1572±0.0053	0.2621±0.0339	1.095±0.1340	31.13±0.5677	12.12±2.218	0.0913±0.0015
	Average±S.E.			0.1665±0.0204	0.3719±0.1041	3.221±1.889	38.47±8.963	15.32±2.867	0.2104±0.1185
	ST02								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.1756±0.0024	4.810±0.4908	37.93±0.4915	32.29±0.2875	497.2±28.59	0.2492±0.0105
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0885±0.0120	3.127±0.4462	36.13±0.9352	42.06±0.8929	483.1±12.57	0.1931±0.0340
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.0865±0.0030	9.283±0.4460	36.95±0.6519	37.55±0.5832	463.9±12.03	0.4347±0.0161
	Average±S.E.			0.1169±0.0509	5.740±3.182	37.00±0.9037	39.64±2.287	481.4±16.69	0.4863±0.1019
	ST03								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	3.459±0.0371	10.39±0.2332	43.46±1.593	24.11±1.040	358.3±54.61	0.4101±0.0664
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	2.412±0.0520	9.597±0.6134	44.30±0.6875	26.43±0.3172	387.7±5.828	0.6020±0.0204
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	3.376±0.0329	12.10±0.6358	51.69±1.238	25.94±0.1553	400.5±5.828	0.4466±0.0107
	Average±S.E.			3.082±0.5816	10.69±1.277	46.48±4.529	25.50±1.225	382.2±21.63	0.2529±0.0585
	ST04								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	2.714±0.0522	6.155±0.7431	40.03±1.903	18.98±0.3011	413.5±10.20	0.2728±0.2999
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	4.406±0.0820	8.635±0.2424	40.63±0.8292	16.99±1.089	437.4±40.03	0.1870±0.0007
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	2.730±0.0935	5.674±0.3688	23.00±0.4060	16.87±1.023	438.8±3.618	0.2989±0.0462
	Average±S.E.			3.283±0.9725	6.822±1.589	34.56±10.01	17.62±1.185	429.9±14.21	0.2924±0.1264
	ST05								
-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	4.749±0.0944	8.107±0.4123	49.93±1.606	49.86±0.2503	163.8±16.25	0.1272±0.1169	
-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	4.536±0.2077	9.204±0.5965	44.64±3.737	54.10±1.032	191.1±4.008	0.0775±0.0870	
-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	4.778±0.0835	8.969±0.3186	40.66±1.286	32.01±1.609	162.8±6.795	0.0461±0.0040	
Average±S.E.			4.688±0.1321	8.760±0.5774	45.08±4.647	45.35±11.67	172.5±16.04	0.0836±0.0409	
กุมภาพันธ์ 2559	ST01								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	3.651±0.8454	8.908±1.235	48.57±1.199	1.169±0.2601	465.0±54.91	1.113±0.1124
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	3.790±0.0112	6.480±0.4335	36.44±0.3873	0.9685±0.0108	554.2±34.96	0.7631±0.0504
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	4.323±0.7783	5.678±0.1803	17.52±0.5537	0.7117±0.1364	492.5±5.012	0.6397±0.0595
	Average±S.E.			3.921±0.3546	7.022±1.682	34.18±15.64	0.9499±0.2294	503.9±45.67	0.8387±0.2456
	ST02								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	6.581±0.0020	19.65±2.650	53.57±1.954	45.43±1.950	871.8±8.073	0.4731±0.0265
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	6.880±0.1211	20.43±0.4082	42.45±1.711	42.49±0.5087	892.9±0.9609	0.3527±0.0908
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	6.170±0.1098	15.82±0.1966	47.47±1.550	45.12±0.7133	857.7±1.054	0.2263±0.0494
	Average±S.E.			6.544±0.3566	18.64±2.467	47.83±5.572	44.34±1.612	874.1±17.73	0.5444±0.0946
	ST03								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	2.712±0.1011	19.96±0.8483	20.83±0.1604	25.13±0.3849	766.0±10.20	0.6460±0.0086
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	2.437±0.0518	15.74±0.3530	30.65±0.5781	13.51±0.6819	713.9±3.001	0.4588±0.1120
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	4.487±0.0392	20.98±0.2512	45.75±0.9764	27.53±0.3316	759.5±15.02	0.5284±0.0427
	Average±S.E.			3.212±1.1128	18.89±2.779	32.41±12.56	22.06±7.495	746.4±28.39	0.0571±0.0225
	ST04								
	-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	3.247±0.1305	11.51±1.573	38.93±1.092	14.77±0.8333	412.2±2.970	0.0480±0.0070
	-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	2.943±0.0723	9.447±0.6470	37.67±0.4807	18.44±0.3271	497.6±2.248	0.0404±0.0051
	-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	3.080±0.1572	9.047±0.4761	40.99±0.3044	10.16±0.0128	492.0±8.887	0.0827±0.0087
	Average±S.E.			3.090±0.1519	10.00±1.320	39.20±1.678	14.46±4.149	467.3±47.79	0.3507±0.1234
	ST05								
-01	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	5.268±0.0778	9.438±0.1087	14.87±0.9364	44.21±2.156	202.8±2.663	0.4411±0.0150	
-02	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	6.329±0.3412	8.487±1.801	18.23±0.3118	20.01±4.229	240.2±1.172	0.3560±0.0086	
-03	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	5.685±1.229	14.84±1.167	18.53±0.1973	29.81±4.213	256.1±1.710	0.4379±0.0357	
Average±S.E.			5.760±0.5345	10.92±3.428	17.21±2.032	38.01±7.404	233.0±27.35	0.4117±0.0482	
พฤศจิกายน 2559	ST06	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	<0.0006	3.613±0.0552	7.655±0.5108	1.173±0.2737	27.78±2.212	<0.00005
	ST07	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	<0.0006	1.811±0.1862	13.22±1.625	4.491±0.0423	19.20±0.6552	<0.00005
	ST08	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	<0.0006	2.991±0.1555	9.279±0.6377	9.830±0.4532	16.40±1.286	0.1147±0.0053

ภาคผนวก ค
ตัวอย่างสัตว์น้ำในการศึกษานี้

ชื่อสามัญ : ปลาตะเพียนขาว

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Barbonymus gonionotus*



ชื่อสามัญ : ปลานิล

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Oreochromis niloticus*



ชื่อสามัญ : ปลากระดี่หม้อ

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Trichopodus trichopterus*



ชื่อสามัญ : ปลาแป้นแก้ว

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Ambassis apogonoides*



ชื่อสามัญ : ปลาชีวกวายนแถบดำ

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Rosbora tornieri*



ชื่อสามัญ : ปลาบุ่ทราย

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Oxyeleotris marmorata*



ภาพที่ ค.1 ชื่อวิทยาศาสตร์และลักษณะของสัตว์น้ำ

ชื่อสามัญ : ปลายี่สก

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Probarbus jullieni*



ชื่อสามัญ : ปลาหมอ

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Anabas testudineus*



ชื่อสามัญ : หอยเชอร์รี่

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Pomacea canaliculata*



ชื่อสามัญ : กุ้งฝอย

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Macrobrachium lanchesteri*



ชื่อสามัญ : ปลาสร้อยขาว

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Henicorhynchus siamensis*



ชื่อสามัญ : ปลาชีวนวดยาว

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Esomus metallicus*



ภาพที่ ค.1 ชื่อวิทยาศาสตร์และลักษณะของสัตว์น้ำ (ต่อ)

ชื่อสามัญ : ปลาช่อน

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Channa striata*



ชื่อสามัญ : ปลาแขยงข้างลาย

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Mystus multiradiatus*



ชื่อสามัญ : ปลาชีวหางแดง

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Rasbora borapetensis*



ภาพที่ ค.1 ชื่อวิทยาศาสตร์และลักษณะของสัตว์น้ำ (ต่อ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ง
ปริมาณโลหะหนักในสัตว์น้ำ

ตารางที่ ง.1 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างสัตว์น้ำ (mg/kg wet weight) จากพื้นที่ภายในเมือง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2558

สถานี	ชนิดของสัตว์น้ำ	As	Cd	Pb	Ni	Zn	Cu	Mn	Hg
ST01	ปลาตะเพียนขาว -เนื้อ -ท้อง -ตับ -ไข่	<2.2x10 ⁻⁶	0.0058±0.0038 (0.0015-0.0089)	<0.0006	1.243±0.081 (<0.0012-1.243)	5.422±3.028 (2.168-8.156)	1.004±0.3207 (0.7775-1.231)	0.9376±0.2437 (0.7946-1.219)	1.472±0.9390 (0.6153-2.476)
		<2.2x10 ⁻⁶	0.0082±0.0047 (0.0028-0.0116)	<0.0006	1.808±0.52 (<0.0012-1.808)	6.177±2.845 (2.953-8.338)	0.5217±0.3094 (0.1701-0.7521)	0.5819±0.0567 (0.1488-1.368)	1.178±0.7793 (0.3176-1.836)
		<2.2x10 ⁻⁶	0.3496±0.2882 (N.D.-0.5534)	<0.0006	1.493±0.19 (<0.0012-1.493)	25.52±3.610 (22.21-29.37)	52.63±26.41 (26.65-79.45)	45.33±38.49 (16.42-89.02)	0.692±0.0417 (0.0291-0.1124)
		<2.2x10 ⁻⁶	0.1405±0.1062 (0.0654-0.2156)	<0.0006	1.215±0.54 (<0.0012-1.215)	21.90±4.497 (18.72-25.08)	1.005±0.9834 (0.3092-1.700)	3.980±0.6027 (1.432-6.527)	0.2449±0.0050 (0.2413-0.2484)
		ปลาอีตัก -เนื้อ -ท้อง -ตับ	<2.2x10 ⁻⁶	<0.0001 <0.0001	<0.0006 <0.0006	<0.0012 <0.0012	15.41±2.6311 5.735±1.882	1.435±1.810 246.3±0.5481	1.397±0.0341 0.4189±5.762
ST02	ปลาชิวทงแดง ปลาแป้นแก้ว หอยเชอรี่ กุ้งฝอย	<2.2x10 ⁻⁶	0.0397±0.007	<0.0006	<0.0012	87.32±2.62	1.911±1.54	11.68±0.226	3.420±0.135
		<2.2x10 ⁻⁶	0.2130±0.227	<0.0006	<0.0012	51.45±1.48	0.0033±0.001	49.22±0.809	0.1388±0.011
		0.6981±0.3901	0.0317±0.015	<0.0006	2.171±0.15	70.13±3.68	27.73±1.81	36.29±0.452	<0.00005
		<2.2x10 ⁻⁶	0.4166±0.075	<0.0006	<0.0012	19.42±0.919	34.13±0.701	2.264±0.056	8.640±0.683
ST03	ปลาชิวทงแดง ปลาแป้นแก้ว ปลาแดงข้างลาย ปลาสร้อยขาว ปลาหมอ	<2.2x10 ⁻⁶	0.0120±0.005	<0.0006	<0.0012	51.28±1.71	12.95±0.662	18.54±3.27	1.730±0.012
		<2.2x10 ⁻⁶	0.0636±0.024	<0.0006	<0.0012	21.17±0.351	1.231±0.631	12.89±0.137	0.335±0.041
		<2.2x10 ⁻⁶	0.0099±0.001	<0.0006	<0.0012	15.39±3.31	2.256±0.991	2.472±2.99	7.169±0.359
		<2.2x10 ⁻⁶	0.0630±0.010	<0.0006	<0.0012	6.974±2.20	1.299±0.933	0.3860±0.086	1.595±0.045
		<2.2x10 ⁻⁶	0.2521±0.009	<0.0006	<0.0012	21.24±0.286	2.255±0.728	19.24±0.925	0.9137±0.124
ST05	ปลาชิวทงแดง ปลาชิวทงแดงดำ	<2.2x10 ⁻⁶	0.0163±0.006	<0.0006	<0.0012	41.72±0.720	13.97±1.46	17.51±0.728	0.9218±0.124
		<2.2x10 ⁻⁶	0.0902±0.004	<0.0006	<0.0012	57.86±1.91	1.778±0.174	10.13±0.768	1.572±0.095

ตารางที่ ๓.๒ ปริมาณโลหะหนักในตัวอยางสดร้มน้ (mg/kg wet weight) จากพื้นที่ภายในเหมือง เตือน พฤติจิกายน พ.ศ. 2558

สถานี	ชนิดของสัตว์ร้มน้	As	Cd	Pb	Ni	Zn	Cu	Mn	Hg
ST01	ปลาตะเพียนขาว	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	1.358±0.097 (<0.0006-1.358)	0.5355±0.5047 (<0.0012-1.1180)	4.564±1.493 (2.668-6.332)	0.4115±0.1818 (0.2916-0.7308)	0.3712±0.0679 (0.2714-0.4473)	1.062±0.6699 (<0.00005-1.717)
	-หน้	<2.2×10 ⁻⁶	0.0110±0.0033 (0.0066-0.0145)	<0.0006	<0.0012	4.484±2.537 (1.531-7.458)	0.6524±0.3245 (0.2413-1.106)	0.3989±0.0651 (0.3187-0.4647)	0.1366±0.1170 (<0.00005-0.2983)
	-ทอง	<2.2×10 ⁻⁶	0.2263±0.1090 (0.1071-0.3824)	0.3664±0.3193 (0.0207-0.7195)	<0.0012	29.61±6.494 (19.96-37.92)	107.1±94.06 (4.236-272.2)	15.62±6.182 (2.58-45.98)	0.2240±0.0402 (0.0378-0.8293)
	-ตับ	<2.2×10 ⁻⁶	<0.0001	0.1545±0.0079	<0.0012	25.10±1.261	5.004±0.5991	1.293±0.003	0.0174±0.003
	-ไข่	<2.2×10 ⁻⁶	0.3804±0.033 1.881±0.0380	0.1242±0.017 0.0495±0.007	<0.0012 <0.0012	23.01±0.527 47.77±2.16	19.39±1.26 94.18±3.12	32.66±1.56 593.9±4.81	3.261±0.554 2.798±0.322
ST02	กุ้งฝอย	<2.2×10 ⁻⁶	0.6024±0.017	0.0660±0.006	<0.0012	37.98±2.33	1.486±0.017	15.93±0.876	0.2731±0.058
	หอยเชอร์	<2.2×10 ⁻⁶	0.1473±0.006	<0.0006	<0.0012	18.60±2.02	1.803±0.091	2.295±0.027	0.5048±0.016
ST03	ปลาเป็นแก้ว	<2.2×10 ⁻⁶	0.1170±0.018	0.0486±0.0081	<0.0012	15.02±1.68	0.6813±0.084	2.435±0.251	0.2560±0.046
ST04	ปลาเขยงข้างลาย	<2.2×10 ⁻⁶	0.0152±0.016	<0.0006	<0.0012	34.39±0.990	1.558±0.1576	45.12±0.934	10.43±0.431
ST05	ปลาชิวทวยดขาว	<2.2×10 ⁻⁶	0.0022±0.003	<0.0006	<0.0012	44.16±1.74	10.72±0.185	14.17±0.900	2.549±0.235
	ปลาชิวทวยแถบดำ	<2.2×10 ⁻⁶	0.1046±0.003	<0.0006	<0.0012	33.01±2.84	1.767±0.068	22.39±0.984	1.857±0.088

ตารางที่ ๓.3 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างสัตว์น้ำ (mg/kg wet weight) จากพื้นที่ภายในเมือง เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.

สถานี	ชนิดของสัตว์น้ำ	As	Cd	Pb	Ni	Zn	Cu	Mn	Hg
ST01	ปลาตะเพียนขาว	<2.2×10 ⁻⁶	0.0180±0.0092 (N.D.-0.0286)	<0.0006	<0.0012	4.763±2.711 (1.824-8.364)	0.2687±0.0543 (0.2293-0.3478)	0.3204±0.1376 (0.1521-0.4888)	0.1825±0.0139 (<0.00005-0.5121)
	-หัว	<2.2×10 ⁻⁶	0.0114±0.0081 (0.0019-0.0217)	<0.0006	<0.0012	8.717±4.954 (4.869-15.64)	0.2292±0.1088 (0.1236-0.3779)	1.100±0.9686 (0.00005-2.176)	<0.00005
	-ตัว	<2.2×10 ⁻⁶	0.5634±0.2944 (0.3140-0.9889)	0.3145±0.1932 (<0.0006-0.4341)	<0.0012	21.78±15.88 (1.453-39.06)	181.5±38.23 (38.90-534.9)	5.270±1.925 (3.982-8.111)	<0.00005
	-ไข่	<2.2×10 ⁻⁶	0.0638±0.0346 (0.0309-0.0999)	<0.0006	<0.0012	23.98±3.322 (20.44-27.03)	1.379±0.5605 (0.9585-2.015)	0.7096±0.0425 (0.6727-0.7560)	<0.00005
	ปลาช่อน	<2.2×10 ⁻⁶	0.0055±0.001	<0.0006	<0.0012	5.431±0.046	0.1149±0.011	3.874±0.435	<0.00005
ST02	-หัว	<2.2×10 ⁻⁶	0.0085±0.002	<0.0006	<0.0012	17.38±1.09	0.1653±0.013	4.496±0.391	<0.00005
	หอยเชอรี่	<2.2×10 ⁻⁶	0.0239±0.022 (0.0064-0.0560)	0.1392±0.013 (N.D.-0.1392)	<0.0012	45.92±1.65 (42.62-47.91)	141.8±35.70 (90.46-178.69)	484.6±89.51 (393.9-585.0)	17.77±2.29
	ปลาชิวหวานแถบดำ	<2.2×10 ⁻⁶	0.0100±0.001 (0.0091-0.011)	<0.0006	<0.0012	2.455±0.248 (2.195-2.690)	0.1371±0.002 (1.359-1.395)	1.379±0.187 (1.223-1.586)	0.0527±0.043
	ปลาเป็นแก้ว	<2.2×10 ⁻⁶	0.0601±0.004 (0.0570-0.0644)	<0.0006	<0.0012	67.96±1.58 (66.27-69.41)	0.8899±0.038 (0.8666-0.9338)	32.86±2.79 (30.51-35.95)	0.1467±0.026
	ปลากะต๋น	<2.2×10 ⁻⁶	0.1391±0.020 (0.1226-0.1608)	<0.0006	<0.0012	66.36±0.359 (66.06-68.11)	8.468±7.23 (12.33-13.82)	83.89±1.780 (82.14-85.70)	0.0205±0.006
ST04	ปลาชิวหวานแถบดำ	<2.2×10 ⁻⁶	0.0469±0.004	<0.0006	<0.0012	39.99±2.046	0.7126±0.087	25.52±1.89	0.3479±0.075
	ปลากะต๋น	<2.2×10 ⁻⁶	22.57±18.29 (21.02-28.1)	0.1987±0.1041 (<0.0006-0.1987)	<0.0012	33.69±3.684 (17.69-37.93)	2.441±0.541 (0.8375-3.066)	228.1±15.8 (210.6-241.4)	<0.00005
	ปลาหมอ	<2.2×10 ⁻⁶	0.2018±0.057 (0.1627-0.2668)	<0.0006	<0.0012	24.96±1.157 (23.27-26.26)	1.027±0.046 (0.9736-1.061)	37.29±1.91 (35.32-39.13)	0.0196±0.016
	ปลาเขยงข้างลาย	<2.2×10 ⁻⁶	0.0569±0.0123 (0.0428-0.0632)	<0.0006	<0.0012	29.07±2.789 (16.86-36.98)	1.118±0.456 (0.5627-1.558)	32.42±2.50 (12.38-35.12)	16.78±0.271
	ปลาสร้อยขาว	<2.2×10 ⁻⁶	0.0553±0.0458 (0.0065-0.116)	0.0854±0.0352 (0.0479-0.1165)	<0.0012	46.20±10.9 (37.06-58.21)	3.863±0.409 (3.467-4.284)	15.69±5.13 (12.07-21.56)	<0.00005
ST05	ปลาชิวหวาน	<2.2×10 ⁻⁶	0.0204±0.0015 (0.0186-0.0219)	0.5496±0.0361 (0.5442-0.5883)	<0.0012	46.76±1.80 (44.72-48.12)	16.86±2.00 (15.62-19.17)	36.56±4.49 (31.04-40.48)	<0.00005
	ปลานิล	<2.2×10 ⁻⁶	0.0096±0.0044 (0.0065-0.0127)	<0.0006	<0.0012	7.226±1.636 (6.069-8.383)	0.5055±0.0130 (0.4963-0.5147)	0.4578±0.1545 (0.3485-0.5670)	0.3176±0.0027 (0.3157-0.3195)
	-หัว	<2.2×10 ⁻⁶	0.0098±0.0054 (0.0059-0.0136)	<0.0006	<0.0012	12.32±6.398 (7.792-16.84)	0.7474±0.2925 (0.5404-0.9542)	1.790±0.8560 (0.4771-3.102)	0.0052±0.0031 (<0.00002-0.0052)
	-ไข่	<2.2×10 ⁻⁶	0.0088±0.0036 (0.0062-0.0113)	<0.0006	<0.0012	41.08±4.045 (38.22-43.94)	3.991±1.518 (2.917-5.064)	6.557±0.1541 (6.448-6.666)	0.1418±0.014 (0.0203-0.2663)
	ปลาหมอ	<2.2×10 ⁻⁶	0.0135±0.0030 (0.0115-0.0168)	<0.0006	<0.0012	6.344±0.177 (6.167-6.521)	0.4331±0.014 (0.4174-1.061)	3.122±0.1180 (3.039-3.206)	6.904±0.290 (1.324±0.158)
ปลาบุพราย	<2.2×10 ⁻⁶	0.1094±0.0815	<0.0006	<0.0012	70.91±2.45	0.5079±0.027	35.41±2.793	1.324±0.158	

ตารางที่ ง.4 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างสัตว์น้ำ (mg/kg wet weight) จากพื้นที่ภายนอก
เหมือง

สถานี	ชนิดของสัตว์น้ำ	As	Cd	Pb	Ni	Zn	Cu	Mn	Hg
ตลาด	ปลาช่อน	<2.2×10 ⁻⁶	0.0100±0.0066	<0.0006	0.1660±0.0979	5.005±2.816	0.0803±0.0157	2.742±0.6110	<0.00005
	-เนื้อ		(0.0021-0.0155)						
	-ท้อง	<2.2×10 ⁻⁶	0.0055±0.0021	<0.0006	<0.0012	2.627±0.6230	0.1372±0.0707	0.9406±0.6124	<0.00005
		(0.0004-0.0170)			(1.775-5.274)	(0.0794-0.2459)	(0.0210-1.622)		
	ปลาคูก	<2.2×10 ⁻⁶	0.0106±0.0058	<0.0006	<0.0012	4.382±3.651	0.2628±0.0862	1.891±0.1708	0.8690±0.1026
	-เนื้อ		(0.0047-0.0108)						
	-ท้อง	<2.2×10 ⁻⁶	0.0486±0.0177	<0.0006	<0.0012	6.167±4.201	0.4383±0.1445	2.306±0.4341	1.185±0.1098
		(0.0283-0.0602)			(3.005-10.93)	(0.3260-0.6014)	(0.6213-1.235)		
ปลาหมอ	<2.2×10 ⁻⁶	0.1225±0.0207	<0.0006	<0.0012	2.982±0.2045	2.536±0.1575	1.972±0.0389	2.520±0.3645	
นา	ปลาช่อน	<2.2×10 ⁻⁶	0.0012±0.0011	<0.0006	<0.0012	1.847±0.8132	1.414±0.8020	1.513±0.4853	<0.00005
	-เนื้อ		(N.D.-0.0019)						
	-ท้อง	<2.2×10 ⁻⁶	0.0186±0.0177	<0.0006	<0.0012	9.610±2.565	0.5144±0.3180	8.323±2.761	<0.00005
		(0.0042-0.0494)			(1.264-14.64)	(0.0760-1.351)	(5.846-12.40)		
	ปลาคูก	<2.2×10 ⁻⁶	0.0020±0.0004	<0.0006	<0.0012	6.149±4.071	0.3201±0.0205	1.707±1.523	<0.00005
	-เนื้อ		(0.0017-0.0023)						
	-ท้อง	<2.2×10 ⁻⁶	0.0056±0.0012	<0.0006	<0.0012	20.45±10.01	0.6477±0.3588	3.114±0.1442	<0.00005
		(0.0048-0.0065)			(13.37-27.52)	(0.3940-0.9013)	(3.012-3.216)		
ปลาหมอ	<2.2×10 ⁻⁶	0.1804±0.0012	<0.0006	0.7035±0.0436	2.883±0.0554	3.787±0.4167	2.845±0.4175	<0.00005	
ปลากรรตี	<2.2×10 ⁻⁶	0.02035±0.0022	<0.0006	0.3843±0.1204	9.954±2.231	0.1398±0.0135	2.766±0.1696	<0.00005	
หอยเชอรี่	<2.2×10 ⁻⁶	0.0108±0.0009	<0.0006	<0.0012	1.254±0.0251	4.158±1.242	49.51±4.771	0.1278±0.0056	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอัชญา วงษ์ทองดี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2556 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทบัณฑิต ในหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2557

ผลงานทางวิชาการ

นำเสนอผลงานในเรื่อง “Accumulation of Cd, Zn and Pb in Freshwater Fishes at Phichit Province and Their Potential Risk from Ingestion Exposure” ในงานประชุมวิชาการชื่อ “The 42nd Congress on Science and Technology of Thailand (STT 42)” จัดขึ้น ณ Centara Grand at Central Plaza Ladprao, Bangkok ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-2 ธันวาคม 2559