

ผลของอุณหภูมิต่อการชะละลายโลหะหนักในหินทิ้งจากเหมืองแร่ทองคำ



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

EFFECT OF TEMPERATURE ON HEAVY METALS LEACHING IN WASTE ROCKS
FROM GOLD MINE

Miss Tarana Ubolkheaw



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	ผลของอุณหภูมิต่อการชะละลายโลหะหนักในหินทิ้งจากเหมืองแร่ทองคำ
โดย	นางสาวธารณา อุบลเขียว
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุบล โชติพิงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. จักรพันธ์ สุทธิรัตน์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเนตร ชุตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุบล โชติพิงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. จักรพันธ์ สุทธิรัตน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีเลิศ โชติพันธ์รัตน์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. จุฬาลักษณ์ ชาญกุล)

ธารณา อุบลเขียว : ผลของอุณหภูมิต่อการชะละลายโลหะหนักในหินทิ้งจากเหมืองแร่ทองคำ (EFFECT OF TEMPERATURE ON HEAVY METALS LEACHING IN WASTE ROCKS FROM GOLD MINE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. อรุบล โชติพงษ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. ดร. จักรพันธ์ สุทธิรัตน์, 115 หน้า.

การศึกษากการชะละลายของโลหะ โคโรเมียม แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว นิกเกิล แมงกานีส ปรอท สังกะสี และ สารหนู จากหินทิ้ง 4 ประเภท (ทรายแป้ง หินกอสแซน หินสการ์น และหินซิลไฟด์เนื้อแน่น) ในกองหินทิ้งทั้ง 3 กอง (กอง ออกไซด์ กองทรานซิชัน และกองซิลไฟด์) จากเหมืองทองภูทับฟ้า อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ประเทศไทย ด้วยวิธี SW-846 EPA Method 1312 (Synthetic Precipitation Leaching Procedure; SPLP) ที่พีเอช 2 และ 4 และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่า ทองแดงมีค่าการชะละลายสูงสุด รองลงมาคือ แมงกานีส นิกเกิล สังกะสี โคโรเมียม สารหนู ตะกั่ว และปรอท ตามลำดับ แต่ไม่พบการชะละลายของแคดเมียม โดยการชะละลายของทองแดง โคโรเมียม ปรอท และ แมงกานีส มีค่าสูงกว่าทั้งมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน และมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งอุตสาหกรรม ส่วนสารหนู ตะกั่ว และ นิกเกิล มีค่าสูงเกินมาตรฐานเฉพาะคุณภาพน้ำผิวดิน ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักและการชะละลาย พบได้เฉพาะในบางโลหะและหินทิ้งบางประเภทเท่านั้น แสดงว่าโครงสร้างและรูปแบบของการจับตัวของโลหะหนักในหินทิ้ง แต่ละประเภทมีความสำคัญต่อการชะละลายมากกว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในหินทิ้ง

การประเมินผลของพีเอชต่อการชะละลายของโลหะหนัก โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Science) และทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี T-test พบว่ามี 52 เปอร์เซ็นต์ของ ตัวอย่างจากหินทิ้งทั้งหมดที่มีความแตกต่างของความเข้มข้นของโลหะหนักทุกชนิดระหว่างพีเอช 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อแยกตามชนิดโลหะ พบว่าทองแดงมีความแตกต่างเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมด รองลงมาคือ ปรอท ตะกั่ว และโคโรเมียม มีค่าความแตกต่างเท่ากับ 60, 57 และ 54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ในทำนองเดียวกันผลของอุณหภูมิต่อการชะละลายโลหะ ซึ่งทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี One-way ANOVA พบว่ามี 57 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างจากหินทิ้งทั้งหมดที่มีความแตกต่างของความเข้มข้นของโลหะทุกชนิดระหว่างอุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยหรือสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) มากกว่า 0.6 เมื่อแยกตามชนิดโลหะ พบว่าทองแดงมีความแตกต่างเท่ากับ 79 เปอร์เซ็นต์ของ ตัวอย่างทั้งหมด รองลงมาคือ ปรอท นิกเกิล โคโรเมียม สารหนู และแมงกานีส ที่ 78, 69, 63, 55 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

นอกจากนี้ประเภทหินทิ้งก็มีผลต่อการชะละลายโลหะหนักเช่นกัน พบหินซิลไฟด์เนื้อแน่นมีการชะละลายของ โลหะน้อย เนื่องจากมีส่วนประกอบหลัก คือแร่ซิลไฟด์ซึ่งมีความเสถียร ทำให้ชะละลายโลหะหนักออกมาได้น้อยแม้ในสภาวะ ที่เป็นกรด ส่วนหินสการ์นและหินทรายแป้งมีองค์ประกอบที่ทำให้ค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น โดยในหินสการ์นมีแคลเซียม คาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบที่สามารถสะเทินกรดในน้ำชะจนทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้นได้เป็นผลให้ค่าการชะละลายต่ำลง ใน ทำนองเดียวกันหินทรายแป้งมีแร่ซิลิเกตเป็นส่วนประกอบหลัก จึงทำให้เกิดสภาวะการสะเทินน้ำชะได้เช่นกัน

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5687127420 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: LEACHING; HEAVY METAL; WASTE ROCK; TEMPERATURE

TARANA UBOLKHEAW: EFFECT OF TEMPERATURE ON HEAVY METALS LEACHING IN WASTE ROCKS FROM GOLD MINE. ADVISOR: ASST. PROF. ARUBOL CHOTIPONG, Ph.D., CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. CHAKKAPHAN SUTTHIRAT, Ph.D., 115 pp.

This study aims to investigate the leaching of heavy metals including chromium, cadmium, copper, lead, nickel, manganese, mercury, zinc, and arsenic from 4 types of waste rock (siltstone, gossan, skarn, and massive sulfide) in 3 waste rock piles (oxide, transition, and sulfide waste rock piles) of Phutubpha gold mine, Wungsapung District, Loie province, Thailand. The leaching test followed the standard method of SW-846 EPA Method 1312 (Synthetic Precipitation Leaching Procedure; SPLP) at pH 2 and 4 under 30, 40, and 50°C. The results showed that the leaching values were in the following order: copper > manganese > nickel > zinc > chromium > arsenic > lead > mercury. However, the leaching of cadmium was not found. The leaching of copper, chromium, mercury, and manganese exceeded the surface water quality standards and the industrial effluent standards whereas the leaching of arsenic, lead, and nickel exceeded only the surface water quality standards.

In addition, the total concentration of heavy metals and their leaching solution was found to be related only in some metals of some waste rocks. This referred to the structure and formation of heavy metals in each type of waste rocks played more important roles on the leaching compared to the concentration of heavy metals in waste rock.

The evaluation of leaching affected by pH was conducted using statistical analysis of Statistical Package for the Social Science (SPSS) via analysis of variance (T-test) at $p < 0.05$ to estimate the difference of metal concentration between pH 2 and 4. The results showed that 52% of all samples including all metals of all waste rocks had the significant difference. For the specific metals, it indicated that the percentages of difference of copper, mercury, lead, and chromium were 90, 60, 57, and 54, respectively.

In the same way, the One-way ANOVA leaching test affected by temperature at 30, 40, and 50°C provided 57% of all samples including all metals of all waste rocks with the significant correlation of heavy metal concentrations and more than 0.6 of the coefficient of determination. For the specific metal, their percentages of difference were found as copper 79%, mercury 78%, nickel 69%, chromium 63%, arsenic 55%, and manganese 50%.

Besides, the leaching was also affected by types of rock. The massive sulfide had low leaching of heavy metals even under acidic condition due to the stability of metal sulfide formation. For skarn and siltstone, they had the composition that could increase the pH of leaching solution. Calcium carbonate and potassium being the main compositions for skarn and siltstone, respectively, could neutralize the acidic solution to become higher pH solution resulting in low leaching of heavy metals.

Field of Study: Environmental Science

Academic Year: 2016

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุบล โชติพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และ ดร.ศิวารุช ดำรงศิริ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และข้อคิดเห็นต่างๆ เกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ มาโดยตลอด จึงกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ และอาจารย์ ดร. จุฬาลักษณ์ ชาญกุล ที่กรุณาสละเวลาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะ ตลอดจนรายละเอียดต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.) สำหรับทุนอุดหนุนโปรแกรมวิจัย และขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม และศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อำนวยความสะดวกและสนับสนุนในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์อันเป็นประโยชน์ต่อความสำเร็จของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณศิริพร สิงห์ทอง ผู้อำนวยการศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการและพิษวิทยา และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการเครื่องมือ ICP-MS และให้คำแนะนำในด้านต่าง ๆ

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และน้องสาวที่คอยให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจและสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างเสมอมา และขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ หลักรัฐบาล สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่คอยให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจที่ดีมา โดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เหมืองแร่ทองคำทับฟ้า จังหวัดเลย	3
2.1.1 กระบวนการและวิธีการทำเหมืองแร่ทองคำ บริษัท ทุงคำ จำกัด	3
2.1.2 ชนิดของสินแร่.....	4
2.1.3 มูลดินหินหรือหินทิ้ง.....	5
2.1.4 การเก็บกองมูลดินหินหรือหินทิ้ง.....	6
2.1.5 ลักษณะทางธรณีวิทยาโดยทั่วไป.....	7
2.1.6 น้ำชะจากเหมืองที่เป็นกรด	10
2.1.7 ผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า	13
2.1.8 การแพร่กระจายโลหะหนักโดยรอบเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า.....	15

2.2 การชะละลาย.....	16
2.2.1 กลไกการเกิดการชะละลาย.....	16
2.2.2 การทดสอบการชะละลาย.....	16
2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการชะละลาย	18
2.3 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับโลหะหนักต่าง ๆ	23
2.3.1 โครเมียม.....	23
2.3.2 แคดเมียม	23
2.3.3 ตะกั่ว.....	24
2.3.4 ทองแดง.....	24
2.3.5 นิกเกิล	25
2.3.6 ปรอท	25
2.3.7 แมงกานีส	26
2.3.8 สังกะสี.....	26
2.3.9 สารหนู	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	28
3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย.....	28
3.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย	28
3.2.1 การคัดเลือกตัวอย่างหินทิ้งเพื่อศึกษาการชะละลาย	28
3.2.2 อุณหภูมิของการชะละลาย.....	29
3.2.3 โลหะหนักที่ศึกษา	29
3.2.4 ความเป็นกรด - ต่าง.....	29
3.2.5 จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ศึกษา	29
3.2.6 การเตรียมตัวอย่างหินทิ้ง	30

3.2.7 การย่อยตัวอย่างเพื่อหาความเข้มข้นของโลหะหนัก ด้วย Method 3052 (MICROWAVE ASSISTED ACID DIGESTION OF SILICEOUS AND ORGANICALLY BASED MATRICES).....	31
3.2.8 การศึกษาการชะละลายด้วยวิธี SW-846 EPA Method 1312 (Synthetic Precipitation Leaching Procedure; SPLP)	32
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	33
3.3.1 เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน	33
3.3.2 วิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	34
บทที่ 4 ผลและอภิปรายผลการทดลอง.....	35
4.1 ผลความเข้มข้นของโลหะหนักในหินทิ้งและการชะละลายของโลหะหนักแต่ละชนิดในหิน ทิ้ง	35
4.2 เปรียบเทียบกับค่าการชะละลายของโลหะหนักจากเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า ด้วยวิธี TCLP.....	61
4.3 เปรียบเทียบกับความเข้มข้นโลหะหนักในน้ำผิวดินโดยรอบเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า.....	62
4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการชะละลาย	62
4.4.1 ประเภทหินทิ้งต่อความเข้มข้นจากการชะละลายโลหะหนัก	62
4.4.2 ผลของพีเอชต่อความเข้มข้นจากการชะละลายโลหะหนักในหินทิ้ง	67
4.4.3 ผลของอุณหภูมิต่อความเข้มข้นการชะละลายโลหะหนักในหินทิ้ง	77
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	87
5.1 ความเข้มข้นของโลหะ	87
5.1.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดในหินทิ้ง.....	87
5.1.2 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้ง	87
5.1.3 สัดส่วนการชะละลายของโลหะหนัก	87
5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการชะละลาย	88

5.2.1 ชนิดของหิน	88
5.2.2 พีเอส	88
5.2.3 อุณหภูมิ.....	89
5.3 ข้อเสนอแนะ	89
รายการอ้างอิง	90
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก	96
ภาคผนวก ข	99
ภาคผนวก ค	101
ภาคผนวก ง.....	111
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	115



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ปริมาณมูลดินหินหรือหินทิ้งที่เกิดจากการทำเหมือง.....	6
ตารางที่ 2.2 การจำแนกศักยภาพในการก่อให้เกิดสภาพเป็นกรดของหินทิ้งของเหมืองแร่ทองคำ ภูทับฟ้า.....	12
ตารางที่ 2.3 ข้อร้องเรียน และปัญหาที่เกิดขึ้น.....	14
ตารางที่ 2.4 การศึกษาการชะละลายของหินทิ้งจากเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า	17
ตารางที่ 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับปัจจัยพีเอชส่งต่อการชะละลายของโลหะหนัก	21
ตารางที่ 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวกับปัจจัยอุณหภูมิส่งต่อการชะละลายของโลหะหนัก	22
ตารางที่ 3.1 ชนิดตัวอย่างหินทิ้งที่ศึกษา.....	28
ตารางที่ 3.2 สรุปลักษณะตัวอย่างหินทิ้งทั้งหมดที่ศึกษา	30
ตารางที่ 3.3 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และ มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินของ โลหะหนักต่างๆ.....	33
ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียมจากการชะ ละลาย (มก./ล.) ในหินทิ้งทุกประเภท.....	38
ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วจากการชะ ละลาย (มก./ล.) ในหินทิ้งทุกประเภท.....	41
ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดงจากการชะ ละลาย (มก./ล.) ในหินทิ้งทุกประเภท.....	44
ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของนิกเกิลจากการชะ ละลาย (มก./ล.) ในหินทิ้งทุกประเภท.....	47
ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทจากการชะ ละลาย (มก./ล.) ในหินทิ้งทุกประเภท.....	50
ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสจากการ ชะละลาย (มก./ล.) ในหินทิ้งทุกประเภท.....	53

ตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีจากการชะละลาย (มก./ล.) ในหินทิ้งทุกประเภท.....	56
ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูจากการชะละลาย (มก./ล.) ในหินทิ้งทุกประเภท.....	59
ตารางที่ 4.9 พีเอชน้ำชะก่อนและหลังเขย่าของหินทิ้งแต่ละประเภท.....	63
ตารางที่ 4.10 ตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นโลหะหนักระหว่างพีเอช 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ (เปอร์เซ็นต์) และชนิดหินที่พบความเข้มข้นจากการชะละลายเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินในทุกสภาวะ แต่ละโลหะหนัก.....	76
ตารางที่ 4.11 ตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนักระหว่างพีเอช 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ.....	76
ตารางที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นของ โลหะหนัก ระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยอย่างมีนัยสำคัญ.....	86
ตารางที่ 4.13 ตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างกันของอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยอย่างมีนัยสำคัญแต่ละชนิดหิน.....	86

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 ลักษณะของหน้าเหมือง ซึ่งใช้วิธีเหมืองทาบ	4
รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางแสดงรูปร่างสายแร่ทองคำของเหมืองภูทับฟ้า.....	4
รูปที่ 2.3 พื้นที่ทิ้งมูลดินหินหรือหินทิ้งจากชั้นออกไซด์ ชั้นทรานซิชัน และชั้นซัลไฟด์	7
รูปที่ 3.1 (ก) เครื่องย่อยจอร์จเซอร์ (ข) ขนาดตัวอย่างหลังย่อย.....	30
รูปที่ 3.2 (ก) เครื่องย่อยดิส์กมิลล์ (ข) ตัวอย่างละเอียดขนาด 60 ไมโครเมตร	31
รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของโครเมียมในหินทิ้ง	36
รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของโครเมียมจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50.....	37
รูปที่ 4.3 สัดส่วนการชะละลายของโครเมียมในหินทิ้ง	38
รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของตะกั่วในหินทิ้ง	39
รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50.....	40
รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การชะละลายของตะกั่วในหินทิ้ง	41
รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของทองแดงในหินทิ้ง	42
รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของทองแดงจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50.....	43
รูปที่ 4.9 สัดส่วนการชะละลายของทองแดงในหินทิ้ง	44
รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของนิกเกิลในหินทิ้ง	45
รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นของนิกเกิลจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50.....	46
รูปที่ 4.12 สัดส่วนการชะละลายของนิกเกิลในหินทิ้ง	47
รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นของปรอทในหินทิ้ง	48
รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นของปรอทจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50	49
รูปที่ 4.15 สัดส่วนการชะละลายของปรอทในหินทิ้ง.....	50
รูปที่ 4.16 ความเข้มข้นของแมงกานีสในหินทิ้ง	51
รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นของแมงกานีสจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50.....	52

รูปที่ 4.18 สัดส่วนการชะละลายของแมงกานีสในหินทิ้ง.....	53
รูปที่ 4.19 ความเข้มข้นของสังกะสีในหินทิ้ง.....	54
รูปที่ 4.20 ความเข้มข้นของสังกะสีจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50.....	55
รูปที่ 4.21 สัดส่วนการชะละลายของสังกะสีในหินทิ้ง.....	56
รูปที่ 4.22 ความเข้มข้นของสารหนูในหินทิ้ง.....	57
รูปที่ 4.23 ความเข้มข้นของสารหนูจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50.....	58
รูปที่ 4.24 สัดส่วนการชะละลายของสารหนูในหินทิ้ง.....	59
รูปที่ 4.25 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้ง (ก) โลหะหนักทุกชนิด (ข) ปรอท ตะกั่ว สารหนู โครเมียม สังกะสี และนิกเกิล.....	60
รูปที่ 4.26 สัดส่วนการชะละลายของโลหะหนักทุกชนิดในหินทิ้งทุกประเภท.....	61
รูปที่ 4.27 ความเข้มข้นของโครเมียมจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4.....	68
รูปที่ 4.28 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4.....	69
รูปที่ 4.29 ความเข้มข้นของทองแดงจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4.....	70
รูปที่ 4.30 ความเข้มข้นของนิกเกิลจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4.....	71
รูปที่ 4.31 ความเข้มข้นของปรอทจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4.....	72
รูปที่ 4.32 ความเข้มข้นของแมงกานีสจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4.....	73
รูปที่ 4.33 ความเข้มข้นของสังกะสีจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4.....	74
รูปที่ 4.34 ความเข้มข้นของสารหนูจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4.....	75
รูปที่ 4.35 ความเข้มข้นของโครเมียมจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4.....	78
รูปที่ 4.36 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4.....	79
รูปที่ 4.37 ความเข้มข้นของทองแดงจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4.....	80
รูปที่ 4.38 ความเข้มข้นของนิกเกิลจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4.....	81
รูปที่ 4.39 ความเข้มข้นของปรอทจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4.....	82
รูปที่ 4.40 ความเข้มข้นของแมงกานีสจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4.....	83

รูปที่ 4.41 ความเข้มข้นของสังกะสีจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4..... 84

รูปที่ 4.42 ความเข้มข้นของสารหนูจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4..... 85



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การปนเปื้อนของโลหะหนักจากการทำเหมืองแร่ทองคำมาจากกระบวนการที่มีการระเบิดหินเพื่อนำสินแร่ไปถลุง โดยหินรอบข้างที่ไม่มีสินแร่เรียกว่าหินทิ้ง ซึ่งมีปริมาณมากกว่าสินแร่หลายเท่า และอาจมีโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ปะปนอยู่ เช่น ทองแดง เหล็ก เงิน สังกะสี พรอท สารหนู ตะกั่ว แมงกานีส และแคดเมียม เป็นต้น หินเหล่านี้ถูกคัดแยกออกไปกองทิ้งยังบริเวณที่เตรียมไว้ และหากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสม โลหะหนักดังกล่าวอาจถูกชะละลายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้เนื่องจากในหินทิ้งและกากแร่จากกระบวนการทำเหมืองมีแร่ซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบ เมื่อแร่ได้สัมผัสกับอากาศและน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่งผลให้เกิดกรดซัลฟิวริก ทำให้น้ำที่ไหลผ่านกองหินทิ้งจะมีค่าความเป็นกรดสูง สามารถชะละลายโลหะหนักออกมาจากหินทิ้ง และไหลไปกับน้ำผิวดินตลอดจนซึมลงสู่ใต้ดินได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมโดยรอบได้

เหมืองแร่ทองคำทับฟ้ามีลักษณะภูมิประเทศที่ตั้งอยู่ในหุบเขา ล้อมรอบโดยห้วยน้ำเหล็กและห้วยผูก และไหลผ่านหมู่บ้านต่าง ๆ ที่อยู่รอบเหมือง จึงมีโอกาสน้ำจากเหมืองที่มีโลหะหนักปนเปื้อนจะไหลปะปนกับแหล่งน้ำธรรมชาติที่ชาวบ้านใช้ประโยชน์ทางด้านอุปโภค บริโภค เป็นเหตุให้ชาวบ้านที่ใช้น้ำเกิดอาการเจ็บป่วยได้ โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 เป็นต้นมา มีการร้องเรียนของประชาชนบริเวณใกล้เคียงเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ถึงผลกระทบที่ประชาชนได้รับ เช่นพบว่าสารหนู แคดเมียม และแมงกานีส มีค่าเกินค่ามาตรฐานจากบ่อน้ำต้นและบ่อน้ำบาดาลมาบริโภค เป็นต้น (สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม 2555)

การชะละลายของวัตถุจะได้รับอิทธิพลจากลักษณะของวัตถุ และปัจจัยต่าง ๆ ทางด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการชะละลาย มีทั้งกลไกทางเคมีพื้นฐานและกลไกการเคลื่อนที่พื้นฐาน รูปแบบทางเคมีของสารประกอบในวัตถุ สารประกอบทั้งหมดของวัตถุ ส่วนประกอบของของเหลวรอบวัตถุและความแรงไอออน สารอินทรีย์และสารคาร์บอนอินทรีย์ละลาย ขนาดของอนุภาค ความพรุนหรือช่องว่าง ความไวต่อการกักต้อน ชนิดของกรดและปริมาณของกรดที่ใช้ในการชะละลาย การรับ-จ่ายอิเล็กตรอนของวัตถุหรือของสิ่งแวดล้อม เวลาในการชะละลาย ค่าความเป็นกรดต่าง (ธัญชนก ภากรกุล 2551)

อุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการชะละลายโลหะหนัก ซึ่งอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา ความลึก สถานที่ และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการชะละลายส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน ดังนั้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นการชะละลายก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งส่งผลทำให้

เกิดปฏิกิริยาเคมีเพิ่มขึ้น และยังทำให้มีการแพร่กระจายเพิ่มขึ้นอีกด้วย (พีรพัฒน์ อันโต 2549, ชูวิทย์ นานาเพี้ย 2554) และจากการเกิดสภาวะน้ำชะจากเหมืองที่เป็นกรด ที่อาจนำไปสู่การชะละลายโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ จึงต้องมีการตรวจสอบการชะละลาย โดยการทดสอบการชะละลาย คือ การตรวจสอบโอกาสความเป็นไปได้ของของเสียที่สามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม และนำผลเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ (พีรพัฒน์ อันโต 2549) โดยการทดสอบการชะละลายที่นิยม นั้นมีอยู่ 2 วิธี คือ วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) (EPA Method 1311) และ วิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) (EPA Method 1312) ซึ่งในการศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธี SPLP สำหรับศึกษาการชะละลายของหินทิ้งของเหมืองทองที่อุณหภูมิต่างๆ เนื่องจากมีความเหมาะสมกับสภาวะที่เกิดในธรรมชาติ คือน้ำฝนเป็นกรด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีผลต่อการชะละลายโลหะหนักในหินทิ้ง

1.3 สมมติฐานการวิจัย

อุณหภูมิทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้งเพิ่มขึ้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหินทิ้งจากเหมืองแร่ทองภูทับฟ้า ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธี SPLP ในการย่อยสลายหินทิ้งและตรวจวัดด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) เพื่อหาปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในหินทิ้งและเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน โดยมีการควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส พีเอช 2 และ 4 และทดสอบโลหะหนักทั้งหมด 9 ชนิด คือ แมงกานีส สารหนู ตะกั่ว ทองแดง นิกเกิล สังกะสี โครเมียม แคดเมียม และปรอท

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบปริมาณของโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกมาจากหินทิ้งเหมืองแร่ทองคำที่จะออกไปสู่สิ่งแวดล้อม

1.5.2 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดการสิ่งแวดล้อมบริเวณเหมืองแร่ทองคำ

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เมืองแร่ทองคำทับฟ้า จังหวัดเลย

บริษัท ฟุ่งคำ จำกัด มีผู้ถือหุ้นรายใหญ่ คือ บริษัท ฟุ่งคำฮาเบอร์ จำกัด (มหาชน) ได้รับสิทธิสำรวจแร่และทำเหมืองแร่ทองคำในเขตพื้นที่ที่กระทรวงอุตสาหกรรมประกาศให้เป็นพื้นที่เพื่อการพัฒนาเมืองแร่ทองคำเป็นโครงการใหญ่แปลงที่ 4 พื้นที่น้ำคิ้ว - ภูซุ่มทอง ที่ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับลงวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2532 ซึ่งต่อมาบริษัท ฟุ่งคำ จำกัด ได้ยื่นคำขอประทานบัตรเหมืองแร่จำนวน 6 แปลง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 (คำขอประทานบัตรที่ 62-67/2538) และได้จัดทำแผนผังโครงการทำเหมืองเสนอต่อกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร. หรือ กรมทรัพยากรธรณีเดิม) เมื่อวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2538 พร้อมทั้งได้ว่าจ้างให้บริษัทที่ปรึกษา (บริษัท เอส.พี.เอส. คอนซัลติ้งเซอร์วิส จำกัด) เป็นผู้จัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม เสนอต่อสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้รับความเห็นชอบเมื่อวันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2541 และได้รับอนุญาตเป็นประทานบัตรทำเหมืองแร่ทองคำ จำนวน 6 แปลง ในพื้นที่ดังกล่าว เนื้อที่ประมาณ 1,290 ไร่ ประทานบัตรมีอายุ 25 ปี โดยประทานบัตร 3 แปลงมีอายุตั้งแต่วันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2546 ถึง 26 กันยายน พ.ศ. 2570 และอีก 3 แปลงมีอายุตั้งแต่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 ถึง 22 มกราคม พ.ศ. 2571 บริษัท ฟุ่งคำ จำกัด ได้รับอนุญาตให้เปิดการทำเหมืองและประกอบโลหกรรมแร่ทองคำตั้งแต่วันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2549 เป็นต้นมา (อนุ กัลลประวัติ 2557)

2.1.1 กระบวนการและวิธีการทำเหมืองแร่ทองคำ บริษัท ฟุ่งคำ จำกัด

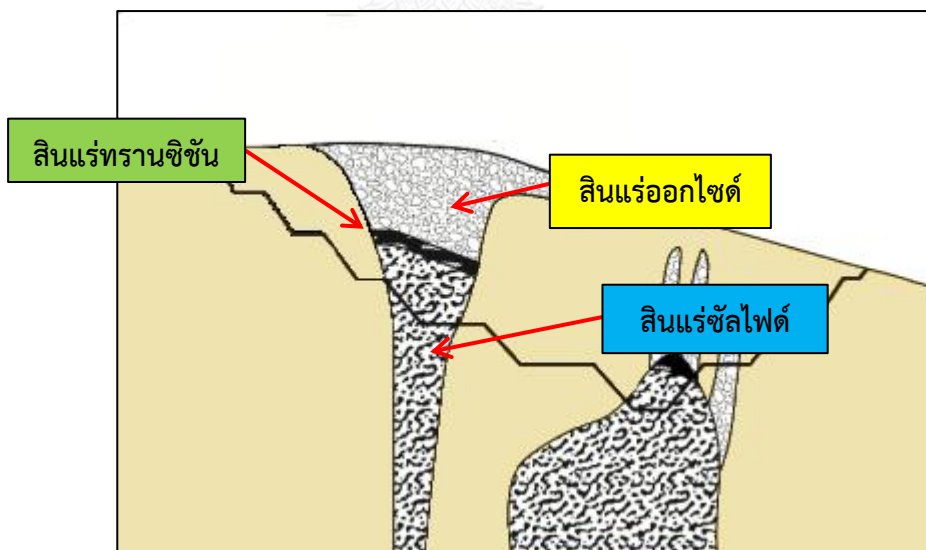
กระบวนการทำเหมืองของบริษัท ฟุ่งคำ จำกัด เป็นการทำเหมืองด้วยวิธีเหมืองหาบ (Open Pit) ซึ่งวิธีการทำเหมืองจะใช้รถขุดตักสินแร่ออกไซด์ใส่รถบรรทุกไปกองไว้บริเวณกองสินแร่เพื่อทำการประกอบโลหกรรมต่อไป ไม่จำเป็นต้องมีการระเบิดเปิดหน้าเหมือง เนื่องจากแหล่งแร่อยู่ในระดับตื้น ความลึกสูงสุดประมาณ 3.5 เมตร ส่วนใหญ่สินแร่ที่พบ ได้แก่ สินแร่ออกไซด์ (Oxide Ores) สินแร่ทรานซิชัน (Transition Ores) และสินแร่ซัลไฟด์ (Sulphide Ores) โดยเปิดขุมเหมืองเป็นแนวยาวไปตามแนวสายแร่ เป็นช่องยาวแคบตัดเข้าไปในตัวเขา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2552) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของหน้าเหมือง ซึ่งใช้วิธีเหมืองทาบ
ที่มา : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม (2555)

2.1.2 ชนิดของสินแร่

ชนิดสินแร่ในบริเวณพื้นที่ประทานบัตร แบ่งตามสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้เป็น 3 ชนิด ดังรูปที่ 2.2 (มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2552) และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางแสดงรูปร่างสายแร่ทองคำของเหมืองภูทับฟ้า
ที่มา : (Assawincharoenkij, Hauenberger et al.)

(1) แร่ออกไซด์ เป็นแร่ที่ผ่านกระบวนการผุพังตามธรรมชาติของหินเดิม ลักษณะของแร่ออกไซด์ส่วนใหญ่ประกอบด้วย

- หินกอสแซนที่เกิดจากการผุพังทางเคมีของแร่ซิลไฟด์ ซึ่งหินกอสแซนจะมีสีน้ำตาลแดงไปจนถึงสีน้ำตาลดำ มีลักษณะเป็นรูพรุน หรือเนื้อแน่น ไปจนถึงลักษณะคล้ายดินเหนียว ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยแร่เหล็กออกไซด์ชนิดลิโมนีต์ และฮีมาไทต์ เป็นหลัก และมีแมกนีไทต์ กับ ทองแดงออกไซด์ปะปนอยู่เล็กน้อย ในบางแห่งยังพบสายแร่ควอตซ์ขนาดเล็กแทรกอยู่ในหินกอสแซนด้วย

- หินสการ์นที่ถูกออกซิไดซ์ จะมีสีน้ำตาลเข้ม

- ดินตะกอนที่มีแร่เหล็กออกไซด์ เกิดจากการผุสลายของหินตะกอนที่มีเหล็กออกไซด์แทรกในรอยแตก หรือเกิดเป็นจุดประกระจัดกระจาย มักพบอยู่ตามขอบของสายแร่เล็กน้อย

(2) แร่ซิลไฟด์ เป็นแร่ที่ยังไม่มีการผุพังสลายตัวตามธรรมชาติกล่าวคือยังไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจึงไม่มีส่วนประกอบของสินแร่ออกไซด์ ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลง ประกอบด้วย

- หินสการ์นชนิดคาร์เนต-ไพรอกซีน มีสีน้ำตาลเข้ม เขียว และเขียวปนเทา

- หินสการ์นชนิดพิไรโทต์ หรือมวลแร่ซิลไฟด์เนื้อแน่นที่ยังไม่ผุสลาย มีลักษณะเป็นชั้นหรือเป็นเลนส์ที่มีปริมาณแร่ซิลไฟด์ห่อตัวรวมกันเป็นก้อน ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยแร่ซิลไฟด์ ชนิดพิไรโทต์ เกิดร่วมกับแร่ซิลไฟด์ชนิดอื่น ได้แก่ ไพไรต์ ซาลโคไพไรต์ และบอร์ไนต์ เป็นต้น

- มวลแร่ซิลไฟด์แบบฝังประ จะมปริมาณแร่ซิลไฟด์น้อย ซึ่งมวลแร่ซิลไฟด์แบบฝังประนี้จะมอยู่ในหินสการ์น และหินตะกอนที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง

- หินสการ์นที่บางส่วนมีการเปลี่ยนแปลงแบบถดถอยสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของแร่คาร์เนตสีแดง แมกนีไทต์ ไปเป็นคาร์เนตสีเขียว แอมฟีโบล และอีพิโดท

(3) แร่ทรานซิซัน เป็นชั้นแร่ที่อยู่บริเวณรอยต่อของชั้นแร่ออกไซด์ และชั้นแร่ซิลไฟด์ ซึ่งการผุพังทางกายภาพและทางเคมียังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นแร่ชนิดนี้จึงมีลักษณะส่วนผสมของสินแร่ ออกไซด์และแร่ซิลไฟด์เกิดปะปนกันในอัตราส่วนที่ไม่แน่นอน

2.1.3 มุลดินหินหรือหินทิ้ง

มูลดินหินหรือหินทิ้ง คือ หินที่ไม่มีทอง หรือมีทองปริมาณน้อยเกินกว่าที่จะนำไปเข้ากระบวนการถลุงแร่ได้ ซึ่งมูลดินหินหรือหินทิ้งจะได้รับการเปิดเหมือง และถูกนำไปไว้ในบริเวณที่ทิ้ง มูลดินหินหรือหินทิ้งที่เตรียมไว้ (The superpit. 2009)

ปริมาณมูลดินหินหรือหินทิ้งในเมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า ทั้งหมดมีอยู่ 3,935,276 เมตริกตัน โดยอยู่ในชั้นแร่ออกไซด์ ชั้นแร่ทรานซิชั่น และชั้นแร่ซัลไฟด์ เท่ากับ 76.3, 10.3 และ 13.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของข้อมูลดินหินหรือหินทิ้งทั้งหมด ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2.1 (มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2552)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณมูลดินหินหรือหินทิ้งที่เกิดจากการทำเหมือง

บริเวณที่ทำเหมือง	มูลดินหินหรือหินทิ้ง จากชั้นแร่ออกไซด์		มูลดินหินหรือหินทิ้ง จากชั้นแร่ทรานซิชั่น		มูลดินหินหรือหินทิ้ง จากชั้นแร่ซัลไฟด์	
	เมตริกตัน	ลบ.ม.	เมตริกตัน	ลบ.ม.	เมตริกตัน	ลบ.ม.
26971/15558	1,658,910	674,450	382,830	140,380	510,430	182,450
26972/15559						
26973/15560	1,342,249	545,708	20,816	7,633	20,041	7,146
รวม	3,001,159	1,220,158	403,646	148,013	530,471	189,596
เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	76.3		10.3		13.5	
รวมทั้งหมด	3,935,276 เมตริกตัน หรือ 1,557,785 ลบ.ม.					

ที่มา : มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2552)

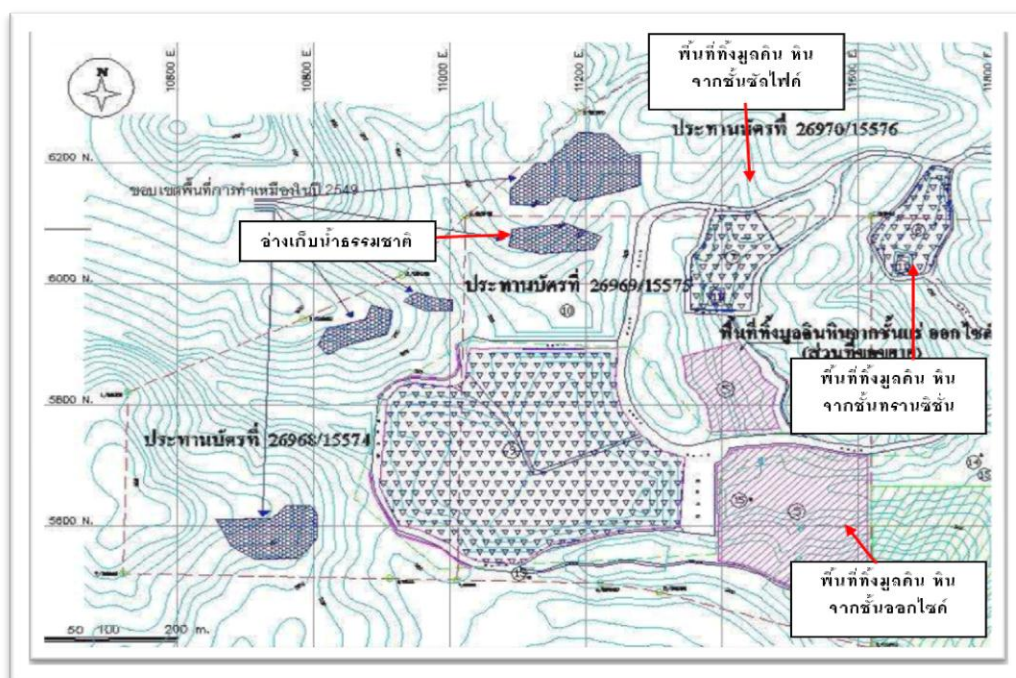
2.1.4 การเก็บกองมูลดินหินหรือหินทิ้ง

การเก็บกองมูลดินหินหรือหินทิ้งจะแบ่งเป็น 3 กอง ตามชนิดแร่ คือ มูลดินหินหรือหินทิ้งจากชั้นแร่ออกไซด์ มูลดินหินหรือหินทิ้งจากชั้นแร่ทรานซิชั่น และมูลดินหินหรือหินทิ้งจากชั้นแร่ซัลไฟด์ แสดงดังรูปที่ 2.3 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) มูลดินหินหรือหินทิ้งจากชั้นแร่ออกไซด์ เก็บกองในพื้นที่ที่อยู่ถัดจากบ่อกักเก็บกากแร่มาทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ปลายน้ำ มีความยาวประมาณ 250 เมตร กว้างประมาณ 200 เมตร ความจุของพื้นที่สำหรับเก็บกองมูลดินหินหรือหินทิ้งจากชั้นแร่ออกไซด์อยู่ที่ 1,830,237 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเพียงพอสำหรับปริมาณมูลดินหินหรือหินทิ้งทั้งหมดจากชั้นแร่ออกไซด์จำนวน 1,220,158 ลูกบาศก์เมตร

(2) มูลดินหินหรือหินทิ้งจากชั้นแร่ทรานซิชั่น พื้นที่ที่เตรียมไว้เก็บกองยาว 200 เมตร กว้างประมาณ 120 เมตร มีความจุของพื้นที่สำหรับกองมูลดินหินหรือหินทิ้งจากชั้นแร่ทรานซิชั่นมีค่าประมาณ 242,500 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งสามารถรองรับมูลดินหินหรือหินทิ้งจากการทำเหมืองชั้นแร่ทรานซิชั่นได้เพียงพอ มีจำนวน 148,013 ลูกบาศก์เมตร โดยการเก็บกองจะเริ่มจากด้านในหุบเขาลงมาทางปลายน้ำ ซึ่งเมื่อเก็บกองเสร็จแล้วจะมีความสูงประมาณ 25 - 35 เมตรจากระดับพื้นดินเดิม

(3) มูลดินหินหรือหินทิ้งจากชั้นแร่ซัลไฟด์ พื้นที่ที่เตรียมไว้อยู่ในหุบเขาเหนือพื้นที่เก็บกองมูลดินหินหรือหินทิ้งจากชั้นแร่ออกไซด์ มีความยาวประมาณ 200 เมตร และกว้างประมาณ 130 เมตร ปริมาณความจุสูงสุดของพื้นที่มีค่าประมาณ 520,000 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งพอเพียงที่จะรองรับมูลดินหินหรือหินทิ้งทั้งหมดจากการทำเหมืองในชั้นแร่ซัลไฟด์จำนวน 189,614 ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 2.3 พื้นที่ทิ้งมูลดินหินหรือหินทิ้งจากชั้นออกไซด์ ชั้นทรานซิลิซ และชั้นซัลไฟด์
ที่มา : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม (2555)

2.1.5 ลักษณะทางธรณีวิทยาโดยทั่วไป

ลักษณะทางธรณีวิทยาในเมืองทองคำกู่ทับฟ้า ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย พื้นที่ส่วนใหญ่จะครอบคลุมด้วยหินตะกอนของหน่วยผาเตื่อ ในกลุ่มหินชุดราชนบุรี มีอายุอยู่ในช่วงเพอร์เมียน (มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2552) สามารถแบ่งหินเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1) หินตะกอน ในเมืองทองคำกู่ทับฟ้า จังหวัดเลย ส่วนใหญ่จะเป็นหินตะกอนซึ่งหินตะกอนนี้จะมีการวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และมีมุมเทประมาณ 36 – 90 องศา ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ โดยหินตะกอนที่พบในพื้นที่เมืองทองมี 4 ชนิด ดังนี้

1.1 หินทราย มีสีเทาขาวไปจนถึงสีเทาเข้ม เม็ดแร่มีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดไปจนถึงหยาบ เนื่องจากประกอบด้วยเม็ดทรายขนาดแตกต่างกัน เม็ดแร่ส่วนใหญ่เป็นแร่ควอทซ์ แต่อาจมีแร่อื่นและเศษหินดินปะปนอยู่ด้วย บางพื้นที่หินทรายจะเปลี่ยนองค์ประกอบเป็นหินทรายอาร์โคส โดยจะพบแร่เฟลตสปาร์ และไม้แก้ว ชนิดมัสโคไวท์ เกิดร่วมกับแร่ควอทซ์

1.2 หินทรายแป้ง มีสีเทาไปจนถึงสีเทาดำ เมื่อเทียบกับขนาดของอนุภาคของหินทรายแล้วจะความหยาบมากกว่า ซึ่งในพื้นที่นี้จะเกิดเป็นชั้นที่ไม่หนา

1.3 หินดินดาน มีสีเทาไปจนถึงสีเทาดำ ประกอบด้วยแร่ดินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งในพื้นที่นี้จะเกิดเป็นชั้นที่ไม่หนา

1.4 หินปูน มีสีเทาขาวไปจนถึงสีเทา เป็นหินตะกอนเนื้อแน่น ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ซึ่งในพื้นที่นี้จะเกิดเป็นเลนส์หรือชั้นบางๆ แทรกอยู่ในหินตะกอนชนิดอื่นที่กล่าวมาแล้ว

2) หินอัคนีบาดาล หินอัคนีที่พบเป็นชนิดแกรโนไดโอไรต์ ซึ่งเป็นหินแกรนิตชนิดหนึ่ง ซึ่งผ่านการผุพังจนปรากฏเป็นลักษณะภูมิประเทศแบบเนินเขาเตี้ยคล้ายลูกคลื่น มีสีเทาเขียวไปจนถึงสีเทา เม็ดแร่มีลักษณะหยาบปานกลาง ประกอบด้วย ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ ฮอर्นเบลนด์ เป็นส่วนใหญ่ และในบางครั้งยังพบไบโอไทต์ - แกรโนไดโอไรต์ ซึ่งมีธาตุเหล็กและแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และเกิดเป็นลำหินอัคนี ซึ่งมีลักษณะกลม เนื่องจากหินอัคนีชนิดนี้ได้แทรกตัวเข้ามาอยู่ในชั้นหินตะกอน นอกจากนี้ยังพบหินอัคนีแทรกซ้อนเนื้อดอก ขนาดเล็กแทรกอยู่ในชั้นหินตะกอน ซึ่งมีสีเทาเขียวไปจนถึงสีม่วงปนเขียว หินอัคนีชนิดนี้มักแสดงลักษณะเนื้อดอก โดยสังเกตได้จากผลึกดอก ซึ่งประกอบด้วยแร่แพลจิโอเคลส และฮอ์นเบลนด์

3) หินแปร หินแปรที่พบเป็นชนิดสการ์น มีสีเขียวและน้ำตาล เม็ดแร่มีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดถึงหยาบ หนัก เนื้อแน่น เกิดจากการแทรกดันตัวของหินอัคนีแทรกซ้อนที่อุณหภูมิสูง มาสัมผัสกับพวกหินคาร์บอเนต เรียกว่ากระบวนการ Contact Metamorphism หรือ Metasomatism ดังนั้นจึงมักเกิดในบริเวณที่หินแกรโนไดโอไรต์สัมผัสกับหินตะกอน ซึ่งชนิดสการ์นที่พบจะเป็น Calcic Skarn เกิดจากการแทนที่หินปูนแล้วให้แร่พวกที่มีธาตุแคลเซียมเหล็กสูง เช่น การ์เน็ต และไพรอกซีน

4) หินเหล็กออกไซด์ หินเหล็กออกไซด์ที่พบเป็นชนิดกอสแซนมีสีน้ำตาลปนเหลือง เหลือง น้ำตาลปนแดงไปจนถึงน้ำตาลดำ เนื้อหินมีลักษณะเนื้อพรุนไปจนถึงเนื้อแน่นละเอียด เป็นผลผลิตจากจากการบวนการผุพังทางเคมีของแร่ชนิดซิลิเฟตซึ่งเกิดแบบฝังประและเป็นสายแร่เล็กๆไปจนถึงมวลเนื้อแน่นอยู่ในหินเดิม กระบวนการผุพังเกิดจากแร่ซิลิเฟตถูกออกซิไดส์ทำให้กำมะถันและโลหะอื่นถูกซึมชะละลายออกไป เหลือเพียงสารประกอบจำพวกเหล็กออกไซด์ แร่ประกอบหินที่สำคัญได้แก่ แร่ออกไซด์ชนิดลิโมนต์, ฮีมาไทต์ และมีแร่แมกนีไทต์ ปะปนอยู่เล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบเศษหินชนิดอื่นอยู่ในเนื้อหินกอสแซนด้วย

โดยในการศึกษานี้ ศึกษาหินทั้งอยู่ 4 ประเภท คือ หินทรายแป้ง หินกอสแซน หินสการ์น และหินซิลิเฟตเนื้อแน่น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) หินทรายแป้ง เป็นหินตะกอน ซึ่งเกิดจากการผุพังของหินต่างๆ ที่ผิวโลก โดยเกิดการพัดพา ทับถม และอัดตัวกันของกรวด ทราย เศษหิน และดิน มีวัตถุประสงค์ในธรรมชาติ เช่น

ซิลิกา เหล็กออกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) หินทรายแบ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยอนุภาคของไมกา แร่ดินที่เป็นแผ่นคล้ายไมกา แร่โคลไรท์ และแร่เฟลด์สปาร์ (เกิดในธรรมชาติมีอยู่ 3 ชนิด คือ โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (KAlSi_3O_8), โซเดียมเฟลด์สปาร์ ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) และแคลเซียมเฟลด์สปาร์ ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)) อาจพบบ้าง (ชัยวัฒน์ สถาอานันท์ และ อุบลรัตน์ ศิริยุวศักดิ์ 2552)

(2) หินกอสแซน เป็นหินเหล็กออกไซด์ เกิดจากการผุพังทางเคมีของแร่ชนิดซิลไฟด์ซึ่งเกิดแบบฝังประ และเป็นสายแร่เล็ก ๆ ไปจนถึงมวลเนื้อแน่น โดยกระบวนการผุพังเกิดจากแร่ซิลไฟด์ถูกออกซิไดส์ ทำให้กำมะถันและโลหะอื่นถูกซึมชะละลายออกไป เหลือสารประกอบพวกเหล็กออกไซด์ แร่ประกอบหินที่สำคัญ ได้แก่ แร่ออกไซด์ ชนิดลิโมนาइट ($\text{FeO}(\text{OH})\text{nH}_2\text{O}$ กับ $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{nH}_2\text{O}$) และฮีมาไทต์ (Fe_2O_3) เป็นหลัก และมีแร่แมกนีไทต์ (Fe_3O_4 , อาจมีแมงกานีสปนเล็กน้อย) กับทองแดงออกไซด์ (Cu_2O) ปะปนอยู่เล็กน้อย (ชัยวัฒน์ สถาอานันท์ และ อุบลรัตน์ ศิริยุวศักดิ์ 2552)

หินกอสแซน เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแร่ชนิดซิลไฟด์ ประกอบด้วยแร่เหล็กออกไซด์ชนิดเกอไทท์ ($\text{FeO}(\text{OH})$) และแมกนีไทท์ (Fe_3O_4) (สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม, 2555) และอาจมีแร่รองคือมาลาไคท์ ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) และไพโรลูไซต์ (MnO_2) เกิดรวมอยู่ด้วย (Atapour and Aftabi 2007)

(3) หินสการ์น เป็นหินแปร ที่เกิดจากการแทรกดันตัวของหินอัคนีแทรกซอนที่อุณหภูมิสูง มาสัมผัสกับพวกหินคาร์บอเนต (หินปูน หินอ่อน ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญคือ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)) ซึ่งชนิดสการ์นที่พบเป็น Calcic Skarn เกิดจากการแทนที่หินปูน แล้วให้แร่ที่มีธาตุแคลเซียม และเหล็กสูง เช่น การ์เน็ต และไพรอกซีน

ซึ่งการ์เน็ตประกอบด้วย ไพโรป ($\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, อัลมันไดท์ ($\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, สเปนเซอร์ไทท์ ($\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, กรอสซูลาไรท์ ($\text{Ca}_3\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_3$, แอนดราไท์ ($\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$ และยูวาโรไวท์ ($\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$ ส่วนไพรอกซีนประกอบด้วยฟอร์สเตอไรต์ ($\text{Mg}_2(\text{SiO}_4)$) และฟายาไลต์ ($\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)$) (ชัยวัฒน์ สถาอานันท์ และ อุบลรัตน์ ศิริยุวศักดิ์ 2552)

หินสการ์น เกิดจากสารละลายร้อนแทรกเข้าไปในหินปูน ทำให้หินปูนบางส่วนจะทำปฏิกิริยาเคมีกับสารละลายร้อน และแปรสภาพเป็นหินแปร มีแร่การ์เน็ต (garnet) ไพรอกซีน (pyroxene) และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เป็นส่วนประกอบหลัก (สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม 2555)

(4) หินซิลไฟด์เนื้อแน่นหรือมวลแร่ซิลไฟด์เนื้อแน่น มีลักษณะเป็นชั้นหรือเลนส์ที่มีปริมาณแร่ซิลไฟด์ห่อตัวรวมกันเป็นก้อน ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ซิลไฟด์ (แร่ซิลไฟด์มักเกิดในลักษณะที่เป็นสายแร่จากกากหินหนืดที่อุณหภูมิต่างๆ กัน) ชนิดพิโรไทต์ (Fe_{1-x}S) เกิดร่วมกับแร่ซิลไฟด์ชนิดอื่น ได้แก่ ไพไรต์ (FeS_2 มี Fe 46.5 เปอร์เซ็นต์ อาจมีสารหนู ทองแดง นิกเกิล โคบอลต์

และทองคำ ปนอยู่เล็กน้อย), ซาลโคไพไรต์ (CuFeS_2) และบอร์ไนต์ (Cu_5FeS_4) (ชัยวัฒน์ สถาอานันท์ และ อุบลรัตน์ ศิริยุวศักดิ์ 2552)

2.1.6 น้ำชะจากเหมืองที่เป็นกรด

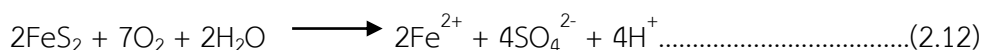
น้ำชะจากเหมืองที่เป็นกรด (Acid Mine Drainage, AMD) คือ น้ำทิ้งที่มีฤทธิ์เป็นกรด เกิดจากการทำเหมืองแร่ เกิดขึ้นเมื่อหินทิ้งและกากแร่จากกระบวนการทำเหมืองสัมผัสกับอากาศและน้ำ ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่งผลให้เกิดกรดซัลฟิวริก ทำให้น้ำที่ไหลผ่านกองหินทิ้งหรือกากแร่ มีค่าความเป็นกรดสูงสามารถชะละลายโลหะหนักออกมาและไหลไปกับน้ำผิวดิน ตลอดจนซึมลงสู่ น้ำใต้ดินก่อให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนัก ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

2.1.6.1 การเกิดน้ำชะจากเหมืองที่เป็นกรด

น้ำชะจากเหมืองที่เป็นกรดเกิดขึ้นจากแร่ซัลไฟด์ในชั้นดินและหินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยแร่ซัลไฟด์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น ไพไรต์ (FeS_2), ไพริโรไทต์ (Fe_{1-x}S), อีนาร์ไจต์ (Cu_3AsS_4), มาร์คาไซต์ (FeS_2), อาซิโนไพไรต์ ($\text{FeS}_2\cdot\text{FeAs}_2$), เทตตระฮิโดรต์ ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) และ ออร์พิเมนต์ (As_2S_3) เป็นต้น แต่ ไพริโรไทต์, ไพไรต์ และ มาร์คาไซต์ ซึ่งเรียกรวมว่า Pyritic Mineral เป็นแร่ที่มักพบในถ่านหิน และเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดน้ำชะจากเหมืองที่เป็นกรด เมื่อแร่ซัลไฟด์ที่ฝังอยู่ในพื้นดินที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำถูกขุดขึ้นมากองบนพื้นผิวดินจากการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การทำเหมืองแร่ถ่านหิน แร่ทองแดง แร่ทองคำ แร่เงิน แร่สังกะสี แร่ตะกั่ว และแร่ยูเรเนียม การก่อสร้างทางหลวง กิจกรรมอื่น ๆ ที่ต้องมีการขุดดินปริมาณมากขึ้นมา ทำให้แร่ซัลไฟด์มีโอกาสสัมผัสกับบรรยากาศบนพื้นผิวดิน ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนสูง ยิ่งไปกว่านั้นการกองแร่ดังกล่าวบนพื้นผิวดินยังทำให้ได้สัมผัสกับน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเป็นสารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ทำให้น้ำที่ไหลผ่านบริเวณกองแร่มีค่าความเป็นกรดสูง และยังสามารถชะละลายเอาโลหะหนักต่าง ๆ รวมถึงซัลเฟตซึ่งเป็นองค์ประกอบในกองดินและหินละลายออกมาด้วย หากไม่มีการป้องกัน หรือดำเนินการบำบัดและกำจัดที่ผิดวิธี อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้

2.1.6.2 ปฏิกิริยาการเกิดน้ำชะจากเหมืองที่เป็นกรด

เนื่องจากแร่ไพไรต์จัดเป็นแร่ซัลไฟด์หลักที่ทำให้เกิดปัญหาน้ำชะจากเหมืองที่เป็นกรด ดังนั้นปฏิกิริยาเคมีของการเกิดน้ำชะจากเหมืองที่เป็นกรดจึงจะกล่าวถึงเฉพาะแร่ไพไรต์โดยถือเป็นตัวแทนของแร่ซัลไฟด์ ซึ่งปกติการเกิดน้ำชะจากเหมืองที่เป็นกรดจะเกิดจากการสึกกร่อนและสลายตัวของแร่ทั้งทางกายภาพและเคมี การสลายตัวทางกายภาพ เช่น การบดย่อยแร่ มีผลทำให้แร่มีขนาดเล็กลง เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวแร่ในการสัมผัสกับน้ำและอากาศ จากนั้นจะเกิดการสลายตัวทางเคมี คือ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแร่ไพไรต์ แสดงดังสมการ (2.12)



ปฏิกิริยาเคมีของการเกิดน้ำชะจากเหมืองที่เป็นกรด เกิดจากการสลายตัวของแร่ไฟโรต์ โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของแร่ไฟโรต์ด้วยออกซิเจน ทำให้ซัลเฟอร์ (S) ถูกออกซิไดส์กลายเป็นซัลเฟต (SO_4^{2-}) และเหล็ก (II) (Fe^{2+}) จะถูกปล่อยให้เป็นอิสระ จากปฏิกิริยาดังกล่าว ซัลเฟต (SO_4^{2-}) กับโมเลกุลของกรด (H^+) จะทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสารละลายกรดซัลฟิวริก ซึ่งสามารถชะละลายโลหะหนักที่มีอยู่ในดินหรือหินที่ออกมา เมื่อมีฝนตกหรือมีน้ำไหลผ่านบริเวณดินหรือหินที่ส่งสู่สิ่งแวดล้อมได้ (ตรีเทศ กุลวงศ์ 2555)

2.1.6.3 ศักยภาพของหินที่ทำให้เกิดน้ำชะจากเหมืองที่เป็นกรด

จากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของหินที่เป็นมูลดินหินหรือหินทิ้งในแร่ชั้นต่าง ๆ ในตารางที่ 2.1 โดย มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2552) สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) ประเภทที่ไม่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดสภาพเป็นกรด (Non-Acid forming, NAF) อาจจะมีหรืออาจไม่มีปริมาณซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบ แต่ส่วนผสมนั้นเมื่อทำปฏิกิริยากับคาร์บอนเนตในตัวแล้วสามารถหักล้างกรดที่เกิดขึ้นได้หมด โดยไม่หลงเหลือความเป็นกรดที่เป็นผลจากการออกซิไดซ์ของซัลเฟอร์ ได้แก่ ส่วนในชั้นแร่ออกไซด์ทั้งหมด

(2) ประเภทที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดสภาพเป็นกรด (Potential acid forming, PAF) วัสดุที่มีซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบชัดเจน โดยกรดที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากเกินไปจนเกิดความสามารถในการทำให้เป็นกลางของคาร์บอนเนตที่มีอยู่ในวัตถุนั้น ส่งผลให้วัตถุนั้นมีความเสี่ยงในการที่ก่อให้เกิดกรดในน้ำชะได้เมื่อเกิดการออกซิไดซ์กับอากาศ ได้แก่ มูลดินหินหรือหินทิ้งของ กอสแซน สการ์น และซัลไฟต์ ในชั้นแร่ทรานซิชั่น (403,646 เมตริกตัน) และมูลดินหินหรือหินทิ้งของ สการ์น และซัลไฟต์ ในชั้นแร่ซัลไฟต์ (530,471 เมตริกตัน)

ดังนั้นปริมาณมูลดินหินหรือหินทิ้งในเหมืองแร่ทองคำ โดย บริษัท ทุ่งคำ จำกัด ที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดสภาพเป็นกรดจะมีอยู่ 934,117 เมตริกตัน หรือประมาณ 23.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยสำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้เสนอแนะให้แยกเก็บกองมูลดินหินหรือหินทิ้งจากชั้นแร่ออกไซด์ ชั้นแร่ทรานซิชั่น และชั้นแร่ซัลไฟต์ออกจากกัน

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม (2555) ได้ทำการศึกษาศักยภาพในการก่อให้เกิดสภาพเป็นกรด ของหินตัวอย่างจากเหมืองทองคำภูทับฟ้า โดยทดสอบ 2 วิธี คือ วิธี Acid/Base Account (ABA หรือ NAPP) และ วิธี Net Acid Generation (NAG) มีรายละเอียดดังนี้ และผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2.2

(1) วิธี Acid/Base Account (ABA หรือ NAPP) เป็นการทดสอบเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการเกิดน้ำจากเหมืองเป็นกรดประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

- ค่าความสามารถในการสะเทินกรด (Acid Neutralization Capacity, ANC)
- ค่าศักยภาพความเป็นกรดสูงสุด (Maximum Potential Acidity, MPA)

- ค่าศักยภาพการผลิตกรดสุทธิ (Net Acid Producing Potential, NAPP) คำนวณได้จาก นำค่า MPA และ ANC มาหักลบกัน ซึ่งเกณฑ์จำแนกศักยภาพความเป็นกรดของหินทิ้งด้วยวิธี ABA เสนอโดย Hutchison and Ellison (1992) กำหนดไว้ว่า ค่า NAPP มากกว่า 20 มีศักยภาพในการก่อให้เกิดกรด ถ้าน้อยกว่า -20 ไม่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดกรด และถ้ามีค่าอยู่ระหว่าง -20 ถึง 20 ไม่สามารถแบ่งประเภทได้

(2) วิธี Net Acid Generation (NAG) เป็นการวัดศักยภาพการเกิดกรดซัลฟิวริก ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งเกณฑ์จำแนกศักยภาพความเป็นกรดของหินทิ้งด้วยวิธี NAG เสนอโดย Environmental Geochemistry International (EGI) (2002) กำหนดไว้ว่าค่าพีเอชสุดท้ายเกินกว่า 4.5 เป็นวัตถุที่ไม่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดกรด แต่ถ้าหากพีเอชสุดท้ายต่ำกว่า 4.5 เป็นวัตถุที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดกรด

ตารางที่ 2.2 การจำแนกศักยภาพในการก่อให้เกิดสภาพเป็นกรดของหินทิ้งของเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า

วิธี	หินทิ้ง	กอง	การจำแนกประเภท
Acid/Base Account (ABA หรือ NAPP)	ทรายแป้ง	ออกไซด์	UC
		ทรานซิชัน	PAF, NAF
		ซัลไฟด์	UC
	กอสแซน	ออกไซด์	UC, PAF
		ทรานซิชัน	UC
	สการ์น	ทรานซิชัน	NAF
		ซัลไฟด์	UC, NAF
	ซัลไฟด์เนื้อแน่น	ทรานซิชัน	PAF
		ซัลไฟด์	PAF

ที่มา: สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม (2555)

หมายเหตุ: PAF หมายถึง มีศักยภาพในการทำให้เกิดกรด

NAF หมายถึง ไม่มีศักยภาพในการทำให้เกิดกรด

UC หมายถึง ไม่สามารถแบ่งประเภทได้

ตารางที่ 2.2 การจำแนกศักยภาพในการก่อให้เกิดสภาพเป็นกรดของหินทิ้งของเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า (ต่อ)

วิธี	หินทิ้ง	กอง	การจำแนกประเภท
Net Acid Generation (NAG)	ทรายแป้ง	ออกไซด์	PAF
		ทรานซิชัน	PAF, NAF
		ซัลไฟด์	PAF
	กอสแซน	ออกไซด์	NAF, PAF
		ทรานซิชัน	PAF
	สการ์น	ทรานซิชัน	NAF
		ซัลไฟด์	NAF
	ซัลไฟด์เนื้อแน่น	ทรานซิชัน	PAF
		ซัลไฟด์	PAF

ที่มา: สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม (2555)

หมายเหตุ: PAF หมายถึง มีศักยภาพในการทำให้เกิดกรด

NAF หมายถึง ไม่มีศักยภาพในการทำให้เกิดกรด

UC หมายถึง ไม่สามารถแบ่งประเภทได้

2.1.7 ผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า

จากกระบวนการทำเหมืองต้องมีการระเบิด และการย่อยหิน หรือการทำงานของเครื่องจักรกล จึงทำให้เกิดเสียงรบกวน ซึ่งส่งผลกระทบต่อารได้ยิน และยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อจิตใจของประชาชนที่อยู่โดยรอบ และการระเบิดหินก็ยังสามารถทำให้เกิดฝุ่นละอองกระจายตัวอยู่ในบรรยากาศ ส่งผลกระทบต่อประชาชน ทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวข้องทางเดินหายใจได้ด้วย ในการขนส่งและขนย้ายหินเกิดแรงสั่นสะเทือนจากรถบรรทุก ทำให้ถนนเสียหายเร็วก่อนกำหนด ส่งผลกระทบต่อคมนาคม และอาจเกิดอุบัติเหตุได้ นอกจากนี้การกองหินทิ้งไว้ เมื่อเกิดฝนตกอาจทำให้มีการชะละลายของโลหะและแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ ทั้งทางดิน น้ำ น้ำใต้ดิน และอากาศ ส่งผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ (นาฎเทวี ศรีนครหงส์ 2551)

ตั้งแต่เหมืองแร่ทองคำทับฟ้าของบริษัท ทูมคำ จำกัด ได้รับอนุญาตให้เปิดทำเหมืองเมื่อวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2549 มีการร้องเรียนจากประชาชนเกี่ยวกับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า ดังตารางที่ 2.3 (สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม 2555)

ตารางที่ 2.3 ข้อร้องเรียน และปัญหาที่เกิดขึ้น

เดือน/ปี	รายละเอียด
กุมภาพันธ์ 2550	พบสารไฮยาโนดปนเปื้อนในแหล่งน้ำใกล้กับเหมืองแร่ทองคำ และกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) ได้ติดตามตรวจสอบพบสารไฮยาโนดเจือปนในกากแร่สูงถึง 62 มก./ล. (EIA กำหนดไว้ ไม่เกิน 2 มก./ล.) ก่อนนำไปกักเก็บในบ่อกักเก็บกากแร่
กุมภาพันธ์ 2552	หน่วยงานที่เกี่ยวข้องประชุมชี้แจงผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำบริเวณรอบเหมืองแร่ทองคำกัทับฟ้า และแจ้งให้ประชาชนทราบว่าไม่ให้นำน้ำจากบ่อน้ำตื้นและบ่อน้ำบาดาลมาบริโภค เนื่องจากมีสารหนู แคดเมียม และแมงกานีส มีค่าเกินมาตรฐาน
มกราคม 2553	กลุ่มคนรักบ้านเกิดหมู่ที่ 3 บ้านนาหนองบง ได้มีหนังสือร้องเรียนต่อนายกรัฐมนตรี เกี่ยวกับผลกระทบจากเหมืองแร่ทองคำของบริษัท ฟุ่งคำ จำกัด ว่าราษฎรบริเวณใกล้เคียงจำนวน 6 หมู่บ้าน ได้รับความเดือดร้อนในเรื่องน้ำอุปโภคบริโภค การเกษตรรวมทั้งฝุ่นละอองจากการขุดแร่ และเสียงดังจากการระเบิดสินแร่
มีนาคม 2553	ราษฎร ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย รวม 6 หมู่บ้าน ยื่นเรื่องร้องเรียนกับผู้ว่าราชการจังหวัดเลย เนื่องจากได้รับความเดือดร้อนจากการดำเนินกิจการเหมืองแร่ทองคำของบริษัท ฟุ่งคำ จำกัด มีการละเมิดสิทธิชุมชน ทำลายทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่เดิม และในเดือนเดียวกัน เจ้าหน้าที่จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) กรมควบคุมมลพิษ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9 สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเลย) พร้อมด้วยองค์การบริหารส่วนตำบลเขาหลวง ร่วมกับประชาชน ได้เก็บตัวอย่างน้ำบริเวณใกล้บ่อกักตะกอนกากแร่ ซึ่งชาวบ้านได้ร้องเรียนว่ามีน้ำซึมไหลออกมาปนเปื้อนกับแหล่งน้ำบริเวณต้นน้ำห้วยเหล็ก และอีกหลายจุดในหมู่บ้าน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสารปนเปื้อน
พฤศจิกายน 2555	ชาวบ้านวังสะพุง จังหวัดเลย ร้องเรียนต่อผู้ว่าราชการจังหวัดเลย เรื่องคันดินบ่อเก็บกากแร่เหมืองแร่ทองคำพังทลาย
ธันวาคม 2555	ชาวบ้านวังสะพุง จังหวัดเลย คัดค้านการทำประชาพิจารณ์เรื่องการขอประทานบัตรแปลงที่ 104/2538 ภูเหล็ก ของบริษัท ฟุ่งคำ จำกัด
กันยายน 2556	ชาวบ้านวังสะพุง จังหวัดเลย คัดค้านการทำประชาพิจารณ์เรื่องการขอประทานบัตรแปลงที่ 76/2539 ตำบลนาโป่ง อำเภอเมือง จังหวัดเลย ของบริษัท ฟุ่งคำ จำกัด
พฤษภาคม 2557	ชาวบ้านได้ทำการปิดล้อมเหมืองแร่ทองคำกัทับฟ้า เพื่อไม่ให้ทางเหมืองทำการขนย้ายแร่ออกจากพื้นที่เหมือง และได้มีกลุ่มชายฉกรรจ์เข้าจับกุมชาวบ้าน ทำให้มีความรุนแรงเกิดขึ้น มีชาวบ้านได้รับบาดเจ็บ ซึ่งจากเหตุการณ์นี้จึงนำไปสู่การปิดเหมืองจากนั้นเป็นต้นมา

ที่มา : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม (2555)

2.1.8 การแพร่กระจายโลหะหนักโดยรอบเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม (2555) ได้ทำการวิเคราะห์โลหะหนักในแหล่งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน ตะกอนท้องน้ำ และในดิน

1) วิเคราะห์โลหะหนักในแหล่งน้ำผิวดิน 30 จุด ใน 3 กลุ่มน้ำ ได้แก่ กลุ่มน้ำห้วยเหล็ก กลุ่มน้ำห้วยผูก และกลุ่มน้ำฮวย บริเวณเหมืองทองคำ และรอบเหมืองทองคำ ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย โดยเก็บตัวอย่าง 2 ฤดู คือ ฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ 2555) และฤดูฝน (พฤษภาคม 2555) มีการวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว แมงกานีส พรอท แคดเมียม และทองแดง

จากการสำรวจพบว่า ความเข้มข้นสารหนูเกินมาตรฐาน 6 จุด ได้แก่ ในเหมืองบริเวณ Tailings storage facility จุดที่ 2 ในเหมืองบริเวณ Sulphide dump ในฤดูแล้ง และ ห้วยน้ำขนาดเล็กอยู่ทางทิศใต้ของเหมือง ต้นน้ำของห้วยน้ำฮวยที่อยู่ติดเหมืองทางทิศเหนือ ในฤดูฝน ส่วนในเหมืองบริเวณ Tailings storage facility จุดที่ 1 เกินมาตรฐานทั้ง 2 ฤดู

ส่วนความเข้มข้นแมงกานีสเกินมาตรฐาน 9 จุด ได้แก่ ต้นน้ำห้วยน้ำฮวยที่ไหลมาจากทิศตะวันตก ห้วยน้ำฮวยสายหลักอยู่ทางตอนใต้ของเหมืองบริเวณห้วยน้ำฮวยสายหลักที่ไหลผ่านเหมือง กลางของห้วยน้ำฮวยสายหลักไหลจากทางฝั่งตะวันตกไปออก ปลายลำน้ำสาขาของห้วยน้ำฮวยสาขาย่อยที่ไหลผ่านเหมืองอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของเหมือง ในฤดูแล้ง และจุดเก็บน้ำผิวดินในเหมืองบริเวณ Transition dump ในฤดูฝน ส่วนจุดเก็บน้ำผิวดินในเหมืองบริเวณ Sulphide dump บริเวณห้วยน้ำฮวยสาขาย่อยที่อยู่ทางทิศตะวันออกของเหมือง ต้นน้ำของห้วยน้ำฮวยสายหลักไหลจากทิศตะวันออก เกินมาตรฐานทั้ง 2 ฤดู

นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นทองแดงเกินมาตรฐาน 2 จุด ได้แก่ จุดเก็บน้ำผิวดินในเหมืองบริเวณ Transition dump ในฤดูฝน ส่วนในเหมืองบริเวณ Tailings storage facility จุดที่ 1 เกินมาตรฐานทั้ง 2 ฤดู

2) การวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำใต้ดิน มีการวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว แมงกานีส พรอท แคดเมียม และทองแดง พบว่าความเข้มข้นสารหนูเกินค่ามาตรฐาน 2 จุด ความเข้มข้นตะกั่วเกินค่ามาตรฐาน 3 จุด ความเข้มข้นแมงกานีสเกินค่ามาตรฐาน 3 จุด และความเข้มข้นแคดเมียมเกินค่ามาตรฐานเพียง 1 จุด

3) การวิเคราะห์โลหะหนักในตะกอนท้องน้ำ 30 จุด โดยจุดเก็บตัวอย่างอยู่ในเหมืองและนอกพื้นที่เหมืองทั้ง 3 กลุ่มน้ำ (กลุ่มน้ำฮวย กลุ่มน้ำห้วยเหล็ก และกลุ่มน้ำห้วยผูก) มีการวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว แมงกานีส พรอท แคดเมียม และทองแดง พบสารหนูเพียงชนิดเดียวที่มีค่าความเข้มข้นสูงเกินมาตรฐาน 23 จุด และอยู่บริเวณที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในการทำการเกษตร ประเภทนาข้าว ยางพารา ข้าวโพด และอื่น ๆ

4) การวิเคราะห์โลหะหนักในดิน ทั้งหมด 75 จุด โดยจุดเก็บตัวอย่างอยู่ในเหมือง และนอกพื้นที่เหมืองทั้ง 3 กลุ่มน้ำ (กลุ่มน้ำฮวย กลุ่มน้ำห้วยเหล็ก และกลุ่มน้ำห้วยผุก) มีการวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว แมงกานีส ปรอท แคดเมียม และทองแดง พบว่าความเข้มข้นสารหนูมีค่าเกินมาตรฐาน 12 จุด และความเข้มข้นแมงกานีสเกินมาตรฐาน 1 จุด ซึ่งเป็นจุดที่อยู่นอกพื้นที่เหมือง บริเวณกลุ่มน้ำห้วยเหล็ก เป็นพื้นที่ปลูกยางพารา และมีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นตะกอนทางน้ำใกล้แนวภูเขาไฟ

2.2 การชะละลาย

การชะละลายเกิดจากการสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลวที่เป็นน้ำชะ ทำให้องค์ประกอบภายในของแข็งเกิดการรั่วไหล และมีการแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ (ชุตินา คล่องสำราญ 2557)

2.2.1 กลไกการเกิดการชะละลาย

การชะละลายจะแบ่งวัตถุที่เกิดการชะละลายได้เป็น 2 ชนิด คือ วัตถุที่มีลักษณะเป็นก้อนแข็ง และวัสดุที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ ในวัสดุที่เป็นก้อนแข็งจะมีกลไกการแพร่เป็นตัวควบคุมการชะละลาย นั่นคือการชะละลายเกิดจากการแพร่ ส่วนวัสดุที่เป็นเม็ดเล็ก ๆ จะมีการไหลผ่านของของเหลวที่เป็นตัวควบคุมการชะละลาย นั่นคือชะละลายออกมาเนื่องจากน้ำที่ไหลผ่านวัตถุ ซึ่งการชะละลายของวัตถุทั้งสองชนิดจะได้รับอิทธิพลจากลักษณะของวัตถุ และปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม (ธัญชนก ภากรกุล 2551)

กระบวนการทางเคมีและทางกายภาพ เกิดจากการชะละลายของสารประกอบในวัตถุลงไปสู่น้ำ โดยมีกลไกที่คอยควบคุมกระบวนการชะละลาย คือ

- 1) กระบวนการทางเคมี ได้แก่ การแตกตัวของธาตุ การดูดซับ การมีอยู่ของอนุภาคที่ละลายได้
- 2) กระบวนการทางกายภาพ ได้แก่ การพา การชะล้างที่ผิวสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว และการแพร่

2.2.2 การทดสอบการชะละลาย

การทดสอบการชะละลายเป็นการวัดความได้ของของเสียที่สามารถปล่อยสารเจือปนออกสู่สิ่งแวดล้อม จากการทดสอบทั้งหมดของจะถูกให้หลุดออกมาสู่น้ำชะ และปริมาณสารเจือปนในน้ำชะหรือน้ำสกัด นำมาวัดและเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ (พีรพัฒน์ อันโต 2549)

การทดสอบการชะละลายที่นิยมนั้นมีอยู่ 2 วิธี คือ วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) (EPA Method 1311) และ วิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) (EPA Method 1312) มีรายละเอียด ดังนี้

1) วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) (EPA Method 1311) เป็นวิธีการทดสอบตามกฎหมายประเทศสหรัฐอเมริกา ทดสอบหาปริมาณสารอินทรีย์ หรือ สารอนินทรีย์ที่ถูกชะละลายออกมาจากตัวอย่างของเสีย ใช้กรดอะซิติกเป็นสารชะละลาย และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน RCRA (Resource Conservation and Recovery Act) ภายหลังมีการวิจารณ์เกิดขึ้น เนื่องจากในขณะทดสอบได้มีการบดตัวอย่างเป็นชิ้นเล็ก ๆ ซึ่งมีแนวโน้มการชะละลายออกมาไม่เหมือนสภาพจริง และยังมีการใช้กรดเข้มข้นไปสกัดซึ่งไม่ตรงกับสภาพจริงในพื้นที่ฝังกลบ ทำให้สารปนเปื้อนถูกชะละลายออกมาเกินจริง ดังนั้นจึงมีการเสนอวิธีทดสอบใหม่ คือ วิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) (EPA Method 1312) โดยมีหลักการเดิม เพียงแต่เปลี่ยนสารชะละลายที่ลดความรุนแรงลง (มัลลิกา ปัญญาคะโป 2551)

2) วิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP) (EPA Method 1312) เป็นวิธีการทดสอบเพื่อประเมินความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนที่อยู่ในดินที่เกิดขึ้น เนื่องจากฝนตกชะสารเหล่านี้ออกมา น้ำสกัดที่ใช้คือกรดซัลฟิวริกผสมกับกรดไนตริกด้วยอัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก ใส่ลงในน้ำปราศจากไอออนแล้วปรับพีเอชเท่ากับ 4.2 การทดสอบนี้ใช้สำหรับตัวอย่างเป็นของแข็ง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีขนาดไม่เกิน 9.5 มิลลิเมตร และใช้ตัวอย่างของแข็งต่อน้ำสกัดในอัตราส่วน 1:20 (ตัวอย่างของแข็ง 1 กรัมต่อน้ำสกัด 20 มิลลิลิตร) นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองผ่านแผ่นกรองใยแก้วขนาด 0.4 ไมโครเมตร แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 0.1 นอร์มัล ให้มีพีเอชน้อยกว่า 2 และนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารปนเปื้อนต่อไป (ตรีเทศ กุลวงศ์ 2555)

สำหรับหินทิ้งในบริเวณเหมืองทองภูทับฟ้าได้มีการทดสอบการชะละลายโลหะหนักจากหินทิ้งไว้ก่อนแล้ว ซึ่งให้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 การศึกษาการชะละลายของหินทิ้งจากเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า

วิธี	สถานที่	ผลการศึกษา	อ้างอิง
Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)	หินทิ้งจากเหมืองทองคำ ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย	- แมงกานีส ทองแดง และสารหนู มีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน - สารหนู และทองแดงมีค่าเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม (2555)

ตารางที่ 2.4 การศึกษาการชะละลายของหินทิ้งจากเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า (ต่อ)

วิธี	สถานที่	ผลการศึกษา	อ้างอิง
Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP)	หินทิ้งจาก เหมืองทองคำ ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย	<p>กองออกไซด์</p> <ul style="list-style-type: none"> - พบโครเมียม ทองแดง สารหนู โปรท และตะกั่ว มีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ยกเว้น นิกเกิลที่ pH 2 เท่านั้น - พบแมงกานีส มีค่าเกินทั้งมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และ มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม <p>กองทรานซิชัน</p> <ul style="list-style-type: none"> - พบทองแดง นิกเกิล แคดเมียม และตะกั่ว มีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่ pH 2 ยกเว้น สารหนูเกินทุก pH - พบแมงกานีส และทองแดง มีค่าเกินทั้งมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และ มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม <p>กองซัลไฟต์</p> <ul style="list-style-type: none"> - พบแมงกานีส นิกเกิล และตะกั่ว มีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ที่ pH 2 ยกเว้น ทองแดง สารหนู และโปรท มีค่าเกินทุก pH 	ชุตินา คล่อง สำราญ (2557)

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการชะละลาย

1) กลไกทางเคมีพื้นฐาน มีกลไกทางเคมี 3 ตัวที่คอยควบคุมการชะละลายของสารปนเปื้อน ได้แก่ การแตกตัวของธาตุ (ควบคุมโดยการละลาย) กระบวนการดูดซับ (ควบคุมโดยการดูดซับ) และการมีอยู่ของอนุภาคที่ละลายได้ในวัตถุ เช่น ออกไซด์ของสังกะสีในโครงสร้างของสารปนเปื้อนบางตัวที่จะมีแรงดึงดูดของการดูดซับ ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าประจุบวกของโลหะหนัก ไม่ได้ควบคุมด้วยการแตกตัวของธาตุ แต่จะถูกควบคุมด้วยการดูดซับโดยประจุลบที่ผิวหน้าของวัตถุ เช่น สารอินทรีย์ และปริมาณออกไซด์ที่ผิว เป็นต้น

จำนวนของสารประกอบอินทรีย์จะทำให้เกิดปฏิกิริยา และไม่ได้ถูกควบคุมโดยการละลาย และการดูดซับ คือ เกลือที่ละลายได้ เช่น โซเดียมคลอไรด์ เมื่อสัมผัสกับน้ำจะละลายทันที และสามารถวัดปริมาณได้ โดยการชะละลายจะถูกควบคุมโดยการมีอยู่ของอนุภาคที่ละลายได้

2) กลไกการเคลื่อนที่พื้นฐาน นอกจากกระบวนการทางเคมีแล้ว กระบวนการเคลื่อนที่ทางกายภาพจะใช้หากการเคลื่อนที่ของสารประกอบจากวัตถุของเหลวรอบวัตถุ กลไกพื้นฐาน 3 ข้อ

สามารถบอกความแตกต่างได้พอสังเขป ดังนี้ กระบวนการที่สารประกอบเมื่อสัมผัสกับน้ำ (ฝน) โดยมีการไหลผ่านวัตถุจะเรียกว่าการพา น้ำที่ไหลผ่านวัตถุเป็นประจำจะมีสาเหตุมาจากการที่ฝนตก และเกิดการชะละลายจนมีผลกระทบต่อดิน และน้ำใต้ดิน เนื่องจากการแพร่ของสารประกอบ การไหลผ่านวัตถุจะเป็นไปได้เฉพาะวัตถุที่มีรูพรุนเท่านั้น เช่น วัตถุที่เป็นเม็ดเล็ก ๆ

การแพร่ คือการเคลื่อนที่ของสารประกอบ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในขณะที่ไม่มีการไหล นี่คือคุณสมบัติทั่วไปของวัตถุที่มีการอัดและมีความสามารถในการซึมผ่าน และมีความพรุนต่ำมาก (น้ำในรูพรุนจะหยุดนิ่งไม่มีการเคลื่อนที่) เมื่อเกิดการชะละลาย และเป็นการเคลื่อนที่แบบการแพร่ ภายใต้สถานการณ์การแพร่อาจจะถูกจำกัดการเคลื่อนที่ ก่อนที่สารประกอบจะสามารถรวมตัวเพื่อเกิดการพา อัตราของการแพร่จะขึ้นกับเกรเดียนท์ขององค์ประกอบระหว่างวัตถุ และส่วนที่สัมผัสกับของเหลว และขึ้นกับเวลา การชะล้างที่ผิวสัมผัสจะใช้หาการชะล้างของสารละลายบนผิวภายนอกของวัตถุที่เป็นก้อนแข็ง ภายหลังจากการชะล้างที่ผิวสัมผัส การแพร่คือกลไกการเคลื่อนที่หลักของวัตถุที่เป็นก้อนแข็ง

3) รูปแบบทางเคมีของสารประกอบในวัตถุ นอกเหนือจากกลไกทางเคมีพื้นฐานแล้ว รูปแบบทางเคมีของสารประกอบจะทำให้หาคุณลักษณะของพฤติกรรมของการชะละลาย สารปนเปื้อนอาจอยู่ในรูปตัวออกซิไดส์หรือรีดิวซ์ (เช่น โครเมียม อาจอยู่ในรูป CrO_4^{2-} หรือ Cr^{3+} ซึ่งเป็นตัวที่มีความสำคัญในการชะละลาย โลหะหนักที่มีรูปแบบโครงสร้างที่ซับซ้อนกับสารอินทรีย์ในธรรมชาติ ในแหล่งน้ำธรรมชาติ ในดิน และในวัสดุจากธรรมชาติ เช่น ไม้ รูปแบบที่ซับซ้อนของโลหะหนักโดยทั่วไปจะมีความสามารถในการละลายสูง และจะชะละลายออกมาได้เร็วกว่ารูปแบบที่ไม่ซับซ้อน (Organic matter)

4) สารประกอบทั้งหมดของวัตถุ สารประกอบทั้งหมดในรูปมิลลิกรัมของธาตุต่อกิโลกรัมของวัตถุ จะมีข้อจำกัดของการชะละลายของธาตุส่วนใหญ่ ยกเว้นเกลือละลายที่ไม่ทำปฏิกิริยา ปริมาณที่ชะละลายออกมาได้สูงสุดต่อเวลาก็คือปริมาณสารประกอบที่มีอยู่ในวัตถุ ในเบื้องต้นการชะละลายของธาตุอื่น ๆ จะมีสาเหตุมาจากกลไกทางเคมีธรณี และปัจจัยทางกายภาพ และด้วยเหตุนี้ปริมาณที่ชะละลายออกมาจึงแทบไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณทั้งหมด

5) ส่วนประกอบของของเหลอรอบวัตถุ และความแรงไอออน เกลือที่อยู่ในสารละลายในวัตถุหรือในสิ่งแวดล้อม มีอิทธิพลต่อการละลายของสารประกอบ โดยทั่วไปปริมาณที่สูงของเกลือจะทำให้สารปนเปื้อนชะละลายออกมาได้มากขึ้น ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ในสารละลายอาจจะเป็นสาเหตุในการปรับปรุงการชะละลายจากการเกิดสารที่ซับซ้อน เช่น โลหะเชิงซ้อนกับคลอไรด์หรือคาร์บอเนต

6) สารอินทรีย์และสารคาร์บอนอินทรีย์ละลาย ของแข็งและสารอินทรีย์ละลายน้ำหรือสารอินทรีย์ มักนิยมใช้คำว่า DOC (Dissolved Organic Carbon) ประกอบไปด้วยโมเลกุลที่

ซับซ้อนที่มีแรงดึงดูดอย่างแรงกับโลหะหนัก การเกิดคาร์บอนอินทรีย์ละลายสามารถปรับปรุงการชะละลายได้ เนื่องจากจะเกิดการรวมตัวระหว่างคาร์บอนอินทรีย์ละลายและโลหะหรือโลหะอิสระ สารคาร์บอนอินทรีย์ละลายจะพบในวัตถุที่ใช้ในวัตถุที่ใช้ในการก่อสร้างที่มาจากธรรมชาติ เช่น ไม้ ส่วนสารอินทรีย์มักพบอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นปริมาณมาก เช่น ดิน ตะกอน แม้แต่คอนกรีตจะมีคาร์บอนอินทรีย์ละลายอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่มาจากสารเติม คือสารหน่วงการก่อตัว

7) ขนาดของอนุภาค สำหรับวัตถุที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ จะใช้ขนาดของอนุภาคในการหาระยะทางต่อสารปนเปื้อนที่ต้องเคลื่อนที่จากจุดศูนย์กลางของอนุภาคไปสู่ของเหลวรอบการเกิดปฏิกิริยาและการเคลื่อนที่ที่เร็วในอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะถูกจำกัดการเคลื่อนที่ โดยมีแนวโน้มที่จะเกิดการแพร่ได้มากกว่า ส่วนวัตถุที่เป็นก้อนแข็ง ปริมาณของสารที่ชะละลายออกมาจากวัตถุโดยการแพร่ จะขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะรูปร่างของวัตถุ ปัจจัยนี้มีผลโดยตรงกับปริมาณพื้นที่ผิวของวัตถุ โดยเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการแพร่ การแพร่จะเกิดได้เร็วในวัตถุที่มีค่าพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักมีค่าสูง การทดสอบการแพร่และเกณฑ์การแพร่จะอยู่บนพื้นฐานของคุณลักษณะของตัวอย่างวัตถุก้อนแข็ง คือต้องมีความหนาพอที่จะเก็บความเข้มข้นของสารภายในกึ่งกลางของก้อนตัวอย่างให้อยู่ในระดับเริ่มต้น ทันทึที่ที่แกนกลางของตัวอย่างมีระดับของสารประกอบลดลงหรือหมดลง จะมีผลกระทบต่อผลการทดสอบ

8) ความพรุน หรือช่องว่าง คือปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเคลื่อนที่ของสารประกอบไปสู่ของเหลวรอบ ทั้งวัตถุที่เป็นก้อนแข็ง และวัตถุที่เป็นเม็ดเล็ก ๆ การเคลื่อนที่ของน้ำในตัวกลางที่มีความพรุนต่ำกว่า ดังนั้นถ้าวัตถุมีความพรุนมากก็ยิ่งชะละลายออกมาได้มากเช่นกัน

9) ความไวต่อการกัดกร่อน สำหรับวัตถุที่เป็นก้อนแข็ง การกัดกร่อนและการสึกกร่อนจากอิทธิพลของน้ำและการแข็งตัว จะมีผลต่อการชะละลายเพิ่มขึ้นเนื่องจากสองปัจจัย ปัจจัยแรกคือการกัดกร่อนจะทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น ปัจจัยที่สองคือพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจะทำให้เกรเดียนต์ของความเข้มข้นของสารปนเปื้อนเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำให้การชะละลายเพิ่มมากขึ้น (ธัญชนก ภากรกุล 2551)

10) ชนิดของกรด และปริมาณของกรดที่ใช้ในการชะละลาย กรดที่ใช้ในการละลาย ได้แก่ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) กรดไนตริก (HNO_3) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ซึ่งเป็นกรดที่ชะละลายโลหะหนักได้ดีกว่ากรดอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากเป็นกรดที่แตกตัวได้ 100 เปอร์เซ็นต์ (ชุติมา คล่องสำราญ 2557)

11) การรับ-จ่ายอิเล็กตรอน ของวัตถุหรือของสิ่งแวดล้อม มีอิทธิพลต่อรูปแบบทางเคมีของสารปนเปื้อน สำหรับโลหะหนักการเกิดออกซิเดชัน ในขั้นแรกจะลดประสิทธิภาพในการชะละลาย ในขณะที่การเกิดรีดักชันจะให้ผลในทางตรงกันข้าม (ธัญชนก ภากรกุล 2551)

12) เวลา เป็นปัจจัยสำคัญต่อการชะละลาย คืออัตราของปฏิกิริยาที่กำลังดำเนินการอยู่จะมีข้อจำกัดในการชะละลาย ในกรณีที่ปฏิกิริยาดำเนินไปได้ช้าหรือเกิดการแพร่ช้า นั่นก็คือธาตุมี

การแตกตัวได้ช้า และอาจจะไม่ยอมให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้สำเร็จ ดังนั้นเวลาในการชะละลายอาจจะใช้ระยะเวลาานานมาก การเปลี่ยนคุณสมบัติของวัตถุหรือการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมเมื่อเวลาผ่านไป ตัวอย่างคือการเกิดคาร์บอนชั้นของวัตถุที่มีความเป็นต่าง หรือการเพิ่มของพื้นที่ผิวของวัตถุที่เป็นก้อนแข็งเนื่องจากการกัดกร่อน (ธนัญชนก ภากรกุล 2551) เวลาในการชะละลายขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายชนิด เช่น ค่าความเป็นกรด-เบส ชนิดของโลหะ เป็นต้น พบว่าค่าที่ยอมรับได้เกือบทุกสถานการณ์ คือ 24 ชั่วโมง วิธีการทดสอบส่วนใหญ่ใช้ค่านี้เป็นมาตรฐาน แต่ปัจจุบัน EPA ดัดแปลงระยะเวลาสำหรับวิธีทดสอบ TCLP และ SPLP โดยลดเวลาในการทดสอบเป็น 18 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าไม่มีผลกระทบต่อการศึกษามากนัก (ซูวิทย์ นาเฟีย 2554, ชูติมา คล่องสำราญ 2557)

13) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ค่าพีเอชของวัตถุและค่าพีเอชของสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญมากในการหาการชะละลายของสารประกอบ ค่าพีเอชของของเหลวที่อยู่รอบ ๆ ตัวอย่างจะใช้หาความเข้มข้นสูงสุดของของเหลวรอบวัตถุที่มีค่าพีเอชนั้น ๆ และแต่ละวัตถุจะมีค่าพีเอชที่มีผลต่อการชะละลาย โดยรูปแบบของการชะละลายจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละกลุ่มของธาตุ คือ กลุ่มที่มีประจุบวก ประจุลบ และเกลือ (ธนัญชนก ภากรกุล 2551) โดยความสามารถในการชะละลายจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีค่าพีเอชลดลง การควบคุมความเป็นกรดต่างมีความสำคัญมากในการประเมินความสามารถในการชะละลาย โดยเฉพาะโลหะหนัก ควรมีการจดบันทึกค่าพีเอชสุดท้ายของการชะละลายเมื่อสิ้นสุดการทดสอบเสมอ (ซูวิทย์ นาเฟีย 2554) ผลของความเป็นกรดต่างต่อการชะละลายของหินทิ้งบริเวณเหมืองทองคำภูทับฟ้า ได้มีการศึกษาและได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับปัจจัยพีเอชส่งต่อการชะละลายของโลหะหนัก

วิธี	สถานที่	ผลการศึกษา	อ้างอิง
SW 486 method 1312 (SPLP) ที่พีเอช 2, 4 และ 6.5	เหมือง ทองคำอัครา จ. พิจิตร	ความเข้มข้นของโลหะในน้ำชะมีค่าลดลงจากพีเอช 2, 4 และ 6.5 ตามลำดับ พบว่าตะกั่วเป็นโลหะที่มีปัญหามากที่สุดเพราะสามารถหลุดออกมาจากค่ามาตรฐานในทุก พีเอชแม้แต่สภาพเป็นกลางและแมงกานีสสามารถหลุดออกมาตามมาตรฐานน้ำผิวดินทุกพีเอช	จุฬาลักษณ์ ชาญกุล (2551)
SW 486 method 1312 (SPLP) ที่พีเอช 2, 4 และ 6.4	หินทิ้ง บริเวณ เหมืองแร่ทองคำ ภูทับฟ้า จ.เลย	การชะละลายของโลหะหนักส่วนใหญ่มีการชะละลายออกมามากที่สุดที่พีเอช 2 รองลงมาคือ พีเอช 4 และ 6.4 ตามลำดับ	ชูติมา คล่อง สำราญ (2557)

14) อุณหภูมิ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการชะละลาย โดยอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา ความลึก สถานที่ และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการชะละลายส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นการชะละลายก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพิ่มขึ้น และยังทำให้มีการแพร่กระจายเพิ่มขึ้นอีกด้วย (พีรพัฒน์ อันโต 2549, ชูวิทย์ นานาเพี้ย 2554)

ในการเพิ่มอุณหภูมิเป็นสภาวะที่สามารถเพิ่มการชนของอนุภาคได้ เพราะเมื่อเพิ่มอุณหภูมิหรือให้ความร้อนกับสารในปฏิกิริยา อนุภาคจะมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการเคลื่อนที่เร็วขึ้น มีการชนกันมากขึ้น เมื่อเกิดปฏิกิริยามากขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ปฏิกิริยาเคมีโดยทั่วไปเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น (สถาบันนวัตกรรมกรรมการเรียนรู้ 2558)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของอุณหภูมิต่อการชะละลายมีการศึกษาไว้แล้วดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยอุณหภูมิส่งต่อการชะละลายของโลหะหนัก

วิธี	สถานที่	ผลการศึกษา	อ้างอิง
Carbonation	ถ้ำหนักในเตาเผา ขยะมูลฝอยเทศบาล เมืองแพลนเดอส์ ใน ประเทศเบลเยียม	<u>อุณหภูมิสูงขึ้นการชะละลายกลับลดลง</u> เรื่อย ๆ (เนื่องจากกระบวนการCarbonation เป็นการสลายตัวของหินปูนให้กลายเป็นเกลือปูน ดังนั้นในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นที่อุณหภูมิสูง จะมี การชะละลายออกมาได้มาก แต่เมื่อเวลาผ่านไป จะมีค่าลดลง เพราะมีปริมาณของเกลือปูนเยอะ จึงส่งต่อการชะละลายของโลหะด้วย)	Van Gerven, Van Keer et al. (2005)
Schematics of the apparatus for the alkaline leaching experimen	ฝุ่นของเตาอาร์ก ไฟฟ้า ของบริษัท Turkish ในประเทศตุรกี	<u>อุณหภูมิสูงขึ้นการชะละลายของสังกะสี</u> จะมีค่าเพิ่มขึ้น	Orhan (2005)
ชะละลายด้วยกรด ($\text{HNO}_3/\text{HClO}_4/\text{HF}/\text{HCl}$)	กากแร่เหมือง คอปเปอร์ ในประเทศจีน	อุณหภูมิสูงขึ้นการชะละลายของได้แก่ สังกะสี ทองแดง เหล็ก และแมงกานีสก็จะมีค่า เพิ่มขึ้น	Guo, Huang et al. (2013)
Tessier et al.	จากตะกอนดินจาก แม่น้ำ Ell-Ren ในประเทศไต้หวัน	- อุณหภูมิสูงขึ้นการชะละลายของตะกั่วมีค่า เพิ่มขึ้นเช่นกัน ในขณะที่นิกเกิล สังกะสี โคบอลต์ ทองแดง และโครเมียมกลับมีค่าลดลง	Tsai, Yu et al. (2003)

2.3 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับโลหะหนักต่าง ๆ

ปัจจุบันมีการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ มีการพัฒนาเทคโนโลยี และมีการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม จึงทำให้มีการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมเกินขีดจำกัด ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีความรุนแรงและยากต่อการแก้ไข หนึ่งในผลกระทบนั้นคือการรั่วไหลปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม โลหะหนักส่วนใหญ่เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม Transition metals ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต โลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการทางธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน ในแหล่งน้ำ รวมถึงการสะสมอยู่ในสัตว์น้ำ

โลหะหนักเป็นวัตถุอันตรายที่นำมาใช้ในหลายภาคส่วน เช่น ด้านอุตสาหกรรม เราใช้โลหะหนักในการผลิตพลาสติก พีวีซี สี ถ่านไฟฉาย สำหรับทางด้านการเกษตร โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและปุ๋ยขณะเดียวกันทางการแพทย์ใช้โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยา อุปกรณ์ทางการแพทย์ และเครื่องสำอาง น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเหล่านี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในการดำรงชีพ โดยเฉพาะชุมชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณโรงงานที่ขาดจิตสำนึก ซึ่งมักจะลักลอบปล่อยของเสียลงสู่สิ่งแวดล้อม มีการกำจัดกากของเสียอย่างผิดวิธี ทั้งนี้เนื่องจากต้องการลดรายจ่ายชุมชนโดยรอบ จึงมีความเสี่ยงต่อการนำโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายผ่านทางกรับบริโภคอาหาร หรือดื่มน้ำที่มีสารเหล่านี้ปนเปื้อนอยู่ (พรพรรณ พนาปวุฒิกุล 2549)

2.3.1 โครเมียม

โครเมียมเป็นธาตุลำดับที่ 24 สัญลักษณ์ Cr มีสถานะเป็นของแข็ง จัดเป็นธาตุโลหะทรานซิชันมวลอะตอม 51.996 จุดหลอมเหลวที่ 1907 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 2671 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 7.19 เป็นโลหะสีขาวปนน้ำเงิน แข็งแต่เปราะ (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ 2552) โครเมียมมีเลขออกซิเดชัน -2 ถึง +6 โดยรูปแบบที่พบมากคือ +2 +3 และ +6 ส่วน -1 และ -2 พบน้อย ซึ่ง Cr^{6+} เป็นสารที่ละลายน้ำได้ จึงก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาวะแวดล้อมได้ ส่วน Cr^{3+} เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ

โครเมียมทำให้เป็นแผลที่ผิวหนัง ผิวหนังอักเสบ เกิดแผลที่จมูกและคอ ผื่นคันจมูก มีอาการไอและการเกร็งของหลอดลม (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช 2538)

2.3.2 แคดเมียม

แคดเมียมเป็นธาตุลำดับที่ 48 สัญลักษณ์ Cd มีสถานะเป็นของแข็ง จัดเป็นธาตุโลหะมวลอะตอม 112.40 จุดหลอมเหลวที่ 321 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 767 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 8.65 มีเนื้ออ่อน แคดเมียมจะความเสถียรในอากาศแห้ง แต่ถ้าทิ้งไว้ในอากาศชื้นจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผิว เกิดเป็น CdO เคลือบอยู่ที่ผิว ทำหน้าที่ปกป้องโลหะที่อยู่ข้างในไม่ให้

ออกซิไดซ์ ละลายได้ในกรดอินทรีย์ทุกชนิดและกรดอินทรีย์บางชนิด แต่ไม่ละลายในสารละลายเบส มักพบในรูป Cd^{2+} เมื่ออยู่ในน้ำจะอยู่ในรูป $Cd(H_2O)_6^{2+}$ ในธรรมชาติมักพบในรูป CdS และมักพบร่วมกับสังกะสี ตะกั่ว และทองแดงในรูปสารประกอบซัลไฟด์ (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ 2552)

แคดเมียมทำให้เกิดโรคไต อีไต มีอาการคือ ปวดบริเวณสะโพก แขน ขา บริเวณพันติดกับเหงือกจะมีวงแหวนแคดเมียม ปวดกระดูกตามข้อ กระดูกเชิงกราน และหัวหน้าว เดินถ่างขา คล้ายเป็ด ร่างกายเตี้ยค่อม กินไม่ได้ นอนไม่หลับ เบื่ออาหาร น้ำหนักลดอ่อนเพลีย หดแรง และเสียชีวิต (วิชาญ มุงคุณ 2551)

2.3.3 ตะกั่ว

ตะกั่ว เป็นโลหะในหมู่ที่ 4 คาบที่ 6 ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 82 มวลอะตอม 207.2 ความหนาแน่น 11.4 กรัม/ซม.³ จุดหลอมเหลว 327.4 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 1,725 องศาเซลเซียส ตะกั่วเกิดขึ้นตามธรรมชาติ มักพบเป็นแร่ธาตุรวมกับองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น กำมะถัน (PbS , $PbSO_4$) หรือ ออกซิเจน ($PbCO_3$) (Wuana and Okieimen 2011)

ตะกั่วเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มีจะนำไปใช้ในการผลิตสินค้าอุปโภคบริโภคหลากหลายชนิดที่มนุษย์ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น สีทาบ้าน สีป้องกันสนิม แบตเตอรี่รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า บัดกรี ฯลฯ แต่เนื่องจากตะกั่วเป็นสารที่ส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อมนุษย์ การสัมผัส การสูดดม การรับรส หรือการใช้ สิ้นค้าต่าง ๆ ที่มีตะกั่วเจือปนอยู่ ทำให้มนุษย์ต้องเสี่ยงกับการได้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกายทั้งทางตรงและทางอ้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ตะกั่วจะไม่แสดงความเป็นพิษต่อมนุษย์ในทันทีทันใด มนุษย์จึงไม่รู้สึกรู้ว่าได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายแล้ว แต่ตะกั่วจะสะสมอยู่ในร่างกายและจะแสดงความเป็นพิษออกมา เมื่อตะกั่วได้สะสมอยู่ในร่างกายจนถึงขนาดแล้ว ซึ่งความเป็นพิษของตะกั่วจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์อย่างมากและรุนแรงจากการวิจัยพบว่าหากผู้ใหญ่ได้รับตะกั่วมากเกินไปจะทำให้สมองทำงานบกพร่องและสติปัญญาเสื่อมถอย แต่ถ้าเด็กได้รับสารตะกั่วมากเกินไปจะทำให้สมองไม่พัฒนาร่างกาย (ปราโมทย์ ศรีสุวรรณ และ รินทวัฒน์ สมบัติศิริ 2557)

2.3.4 ทองแดง

ทองแดง เป็นโลหะทรานซิชันในหมู่ที่ 4 คาบ 1B ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 29 มวลอะตอม 63.5 ความหนาแน่น 8.96 กรัม/ซม.³ จุดหลอมเหลว 1,083 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 2,595 องศาเซลเซียส ทองแดงเป็นโลหะที่ใช้มากเป็นอันดับ 3 ของโลก (Wuana and Okieimen 2011) ทองแดงมักพบได้ตามธรรมชาติ ทั้งในดิน หิน น้ำ และอากาศ อาจอยู่ในรูปธาตุอิสระหรือสารประกอบ เช่น Cu_2O , Cu_2S , CuF , $CuSO_4$, $CuFeS_2$ เป็นต้น ทองแดงเป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดีรองจากเงิน ปัจจุบันจึงมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น ใช้ผลิตลวดสายไฟ ท่อน้ำ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเคมีทางการเกษตร สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์รบกวนต่าง ๆ

การทำสีย้อม เป็นต้น ส่งผลให้มีการแพร่กระจายของทองแดงสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งเราอาจได้รับทองแดงจากการหายใจ การดื่มน้ำดื่ม การบริโภคอาหารในชีวิตประจำวัน ทองแดงมีความจำเป็นต่อร่างกายสิ่งมีชีวิต (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา 2548)

ในมนุษย์ทองแดงช่วยผลิตเม็ดเลือดแดง ในพืชทองแดงเป็นสิ่งสำคัญในการผลิตเมล็ดพันธุ์ ช่วยต้านทานโรค และควบคุมน้ำ (Wuana and Okieimen 2011) ถ้าได้รับในปริมาณที่เหมาะสมกับร่างกาย แต่หากได้รับทองแดงในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย คือ คลื่นไส้ อาเจียน เกิดการอักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ ท้องเสีย การทำงานของหัวใจผิดปกติ ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายบกพร่อง และอาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางจิต ส่วนอาการเรื้อรังจากการได้รับติดต่อกันเป็นเวลานาน ตับจะทำหน้าที่บกพร่อง ไม่สามารถขับทองแดงออกจากร่างกายได้ตามปกติ จึงทำให้มีการสะสมอยู่ในร่างกายเป็นปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย หรือกลุ่มอาการ Wilson' Diseases คือ ร่างกายสันอยู่ตลอดเวลา กล้ามเนื้อแข็งเกร็ง มีน้ำมูกน้ำลายไหล ควบคุมการพูดลำบาก (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา 2548)

2.3.5 นิกเกิล

นิกเกิล เป็นโลหะทรานซิชัน มีเลขอะตอม 28 มวลอะตอม 58.69 (Wuana and Okieimen 2011) จุดหลอมเหลว 1,453 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 2,730 องศาเซลเซียส นิกเกิลสกัดได้เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.1751 โดย Cronstedt ในปี ค.ศ.1804 Richter สามารถเตรียมนิกเกิลที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ และได้ศึกษาถึงสมบัติของนิกเกิล และในปี ค.ศ.1870 Fleitmann ได้พบว่าถ้าผสมแมกนีเซียมเล็กน้อยกับนิกเกิล จะสามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ ที่อุณหภูมิห้องมีความเป็นแม่เหล็กสูง สามารถนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี มีความแข็งปานกลาง และเหนียว (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ 2552)

นิกเกิลมีความสามารถในการก่อให้เกิดผื่นแพ้สัมผัสได้มาก และสารประกอบของนิกเกิล ยังก่อให้เกิดมะเร็งปอด มะเร็งโพรงจมูกและไซนัส ได้ด้วย สารประกอบของนิกเกิลที่มีพิษมากที่สุดคือนิกเกิลคาร์บอนิล (Nickel Carbonyl) มีฤทธิ์ทำให้คลื่นไส้ อาเจียน เวียนศีรษะ ปวดศีรษะ และปวดบวมน้ำได้ (สิริวิญญ์ เดชธรรม 2555)

2.3.6 พรอท

พรอท เป็นโลหะทรานซิชันในหมู่ที่ 4 คาบ 1B ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 80 มวลอะตอม 200.6 ความหนาแน่น 13.6 กรัม/ซม.³ จุดหลอมเหลว -13.6 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 357 องศาเซลเซียส (Wuana and Okieimen 2011) พรอทเป็นโลหะสีขาวคล้ายเงิน เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ สามารถทำให้เป็นของแข็งได้ แต่เพราะที่อุณหภูมิปกติ พรอทสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ ทำให้เป็นอันตรายต่อร่างกายได้ง่ายขึ้น พรอทพบได้ทั่วไป มักใช้ประโยชน์ในเทอร์โมมิเตอร์

บารอมิเตอร์ มาโนมิเตอร์ สวิตช์ปรอท พรอทรีเลย์ โพลตวาล์ว สฟีกโมมาโนมิเตอร์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ และอุปกรณ์อื่น ๆ ส่วนใหญ่พบในรูปซินนาบาร์ (เมอร์คิวริกซัลไฟด์) เมอร์คิวริกซัลไฟด์บริสุทธิ์เป็นผงสีแดงชาด ได้จากปฏิกิริยาของปรอท (เกิดจากรีดักชันจากซินนาบาร์) กับกำมะถัน หากสัมผัส สูดดมไอ หรือทานอาหารทะเลที่ปนเปื้อนปรอทที่ละลายน้ำ (เช่น เมอร์คิวริกคลอไรด์ หรือเมธิลเมอร์คิวรี) อาจเกิดความเป็นพิษได้ (จิราภรณ์ อ่ำพันธ์ 2545)

ปรอทเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปทำอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งได้แก่ สมองและไขสันหลัง ทำให้เสียการควบคุมเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของแขนและขา การพูด และยังทำให้ระบบประสาทรับรู้เสียไป เช่น การได้ยิน การมองเห็น ซึ่งอันตรายเหล่านี้ เมื่อเป็นแล้วไม่สามารถรักษาให้กลับคืนดังเดิมได้ อาการที่เป็นพิษมากเกิดจากการหายใจ ปอดอักเสบ มีอาการเจ็บหน้าอก มีไข้ แน่นหน้าอก หายใจไม่ออกและตายได้ (จิราภรณ์ อ่ำพันธ์ 2545)

2.3.7 แมงกานีส

แมงกานีส เป็นโลหะชนิดหนึ่ง พบได้ในดิน หิน ทราย ทั่ว ๆ ไปตามธรรมชาติ จัดว่าเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์บางชนิด ตัวธาตุบริสุทธิ์จะมีลักษณะเป็นผงสีเทาขาว โดยปกติคนจะได้รับแมงกานีสจากธรรมชาติเป็นประจำอยู่แล้วในอาหาร เช่น ธัญพืชที่ไม่ขัดสี ผักใบเขียว ถั่ว และน้ำชา พบว่ามีปริมาณแมงกานีสอยู่มาก อาจทำให้ตรวจพบระดับแมงกานีสในร่างกายสูงได้ น้ำดื่มและอาหารเป็นแหล่งที่มาของแมงกานีสที่คนทั่วไปจะได้รับเข้าสู่ร่างกายมากที่สุด (วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์ 2555)

แมงกานีสสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง ทั้งการสูดดม ทางปาก และทางผิวหนัง มีผลทำลายระบบประสาทส่วนกลาง ปอดบวม เจ็บคอ มีไข้ กล้ามเนื้อไม่มีแรง เบื่ออาหาร (อรพรรณ เมธาติลกุล 2557)

2.3.8 สังกะสี

สังกะสีเป็นธาตุลำดับที่ 30 สัญลักษณ์ Zn มีสถานะเป็นของแข็ง จัดเป็นธาตุโลหะมวลอะตอม 65.37 จุดหลอมเหลวที่ 419.5 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 907 องศาเซลเซียส และความถ่วงจำเพาะ 7.133 สังกะสีบริสุทธิ์เป็นโลหะสีขาวปนน้ำเงินเล็กน้อย เป็นธาตุที่มีแนวโน้มเปลี่ยนจาก Zn^0 เป็น Zn^{2+} สูง (Electropositive) ทนต่อการผุกร่อนในอากาศแห้งได้ดี หากอยู่ในอากาศชื้นจะถูกออกซิไดส์ได้ง่าย และเกิดปฏิกิริยาจะเกิดเร็วขึ้นเมื่อมี CO_2 และ SO_2 อยู่ด้วย และสังกะสีมีสมบัติเป็น Amphoteric คือทำปฏิกิริยากับทั้งกรดและเบสได้ (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ 2552)

สังกะสีทำให้เกิดโรคผิวหนังที่เป็นแผลเรื้อรังหรือผิวหนังไวต่อการแพ้ เกิดความระคายที่ไซนัสและคอ ไอเป็นเลือด หายใจลำบาก หากได้รับในปริมาณมาก ทำให้เกิดน้ำคั่งในปอดและปอดบวม คลื่นไส้ อาเจียน และท้องเสีย (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช 2538)

2.3.9 สารหนู

สารหนู เป็นกึ่งโลหะในหมู่ที่ 4 และคาบ 4A ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 33 มวลอะตอม 75 ความหนาแน่น 5.72 กรัม/ซม.³ จุดหลอมเหลว 817 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 613 องศาเซลเซียส (Wuana and Okieimen 2011) พบทั่วไปเป็นองค์ประกอบของแร่อาร์ซีโนไฟไรต์ มีปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 0.02 - 0.5 ปริมาณของสารหนูในหินภูเขาไฟอาจพบได้เป็นปริมาณมากถึง 100 มก./กก. หรือในอัตราเฉลี่ย 2 - 3 มก./กก. ส่วนในหินตะกอน เช่น หินภูเขาไฟ หินปูน หินทราย พบสารหนูจํานวนน้อยมาก และในแหล่งแร่แมงกานีส อาจพบมากถึง 15,000 มก./กก. สารประกอบซัลไฟด์ของสารหนูสามารถถูกเติมออกซิเจนได้ง่าย เมื่อสัมผัสกับอากาศจะกลายเป็นเกลืออนินทรีย์ของสารหนู ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี นอกจากจะพบในแร่แล้ว สารหนูยังถูกพบในสิ่งอื่น ๆ เช่น ในน้ำตามธรรมชาติมีอยู่ในอัตราความเข้มข้น 1 - 2 ไมโครกรัม/ลิตร จนถึงมากกว่า 5,000 ไมโครกรัม/ลิตร สารหนูความเข้มข้นสูงจะพบได้มากในน้ำใต้ดินในบางพื้นที่บ่อน้ำใต้ดินไม่สามารถใช้การได้ เนื่องจากความเป็นพิษของสารหนูสูงมาก

การแพร่กระจายของสารหนูในพื้นที่ เกิดจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ ทำให้สารหนูในรูปอาร์ซีโนไฟไรต์ที่ปนอยู่กับสายแร่ถูกขุดออกมาด้วยในกระบวนการแยกแร่ ออก อาร์ซีโนไฟไรต์ถูกแยกออกมากับหางแร่และทิ้งไว้ ทำให้เกิดการออกซิเดชันกับอากาศ และน้ำ ทำให้สารหนูที่อยู่ในแร่แพร่กระจายออกมาสู่แหล่งน้ำ บริเวณที่จัดว่าอยู่ในกลุ่มความเสี่ยง ได้แก่ เหมืองแร่ถ่านหิน ดีบุก ทองคำ ตะกั่ว และเงิน ที่ปิดทำเหมือง และไม่ได้มีการจัดการเหมืองแร่ที่ดี ไม่มีการจัดเก็บกากแร่ มีการปล่อยทิ้งไว้ให้สัมผัสกับน้ำ และอากาศ ซึ่งเร่งให้เกิดการสลายตัวของแร่ที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบหรือโลหะต่าง ๆ เช่น ตะกั่ว พรอท ปนเปื้อน และแพร่กระจายไปตามแหล่งน้ำต่าง ๆ โดยสารหนูสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ทางการหายใจ การดูดซึมของลำไส้ และผ่านผิวหนัง (วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา และนิตินัย ขำมาลัย 2557)

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่อการชะละลายโลหะหนักจากหินทิ้งเหมืองแร่ทองคำ ภูเก็ต เป็นการศึกษาวิจัยแบบงานทดลอง (Experimental research) ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการศึกษา ดังนี้

3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

พื้นที่ที่ทำการศึกษาคือ บริเวณพื้นที่เหมืองแร่ทองคำภูเก็ต ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย โดยเก็บตัวอย่างจากกองหินทิ้งจำนวน 3 กอง คือ กองออกไซด์ กองทรานซิชั่น และกองซัลไฟด์

3.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

3.2.1 การคัดเลือกตัวอย่างหินทิ้งเพื่อศึกษาการชะละลาย

จากลักษณะทางธรณีวิทยาของเหมืองแร่ทองคำภูเก็ต พบหินทรายแบ่งในปริมาณมากบริเวณเหมือง และยังมีศักยภาพในการก่อให้เกิดน้ำเหมืองเป็นกรด (สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม 2555) และจากการศึกษาของ ชูติมา คล่องสำราญ (2557) พบว่ามีเพียงหินทิ้งบางประเภทในกองหินทิ้งทั้ง 3 กอง พบโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบถูกชะละลายออกมาได้ โดยเฉพาะที่พีเอช 2 สามารถชะละลายออกมาได้มากที่สุด ได้แก่ หินกอสแซน หินสการ์น และหินซัลไฟด์เนื้อแน่น และยังมีศักยภาพในการก่อให้เกิดน้ำเหมืองเป็นกรด ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้คัดเลือกตัวอย่างหินทิ้งทั้งหมด 4 ประเภท ในแต่ละกองหิน รวมทั้งหมด 9 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชนิดตัวอย่างหินทิ้งที่ศึกษา

กองหินทิ้ง ประเภทหินทิ้ง	กองออกไซด์	กองทรานซิชั่น	กองซัลไฟด์
1. ทรายแบ่ง	✓	✓	✓
2. กอสแซน	✓	✓	-
3. สการ์น	-	✓	✓
4. ซัลไฟด์เนื้อแน่น	-	✓	✓

3.2.2 อุณหภูมิของการชะละลาย

ในการศึกษานี้เลือกศึกษาอุณหภูมิในการทดลองที่ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาแนวโน้มอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีอิทธิพลต่อการชะละลายของโลหะในหินทิ้ง โดยมีการควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่อง Shaking water bath

3.2.3 โลหะหนักที่ศึกษา

จากการศึกษาของ ชุตติมา คล่องสำราญ (2557) พบว่ามีโลหะหนักชะละลายออกมาจากหินทิ้งทั้งหมด 9 ชนิดคือ ทองแดง สารหนู ตะกั่ว ปรอท แมงกานีส สังกะสี แคดเมียม โครเมียม และนิกเกิล ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงทดสอบโลหะหนักทั้ง 9 ชนิดเช่นกัน

3.2.4 ความเป็นกรด - ด่าง

ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ที่ 2 และ 4 ทำการวัดก่อนและหลังทดสอบการชะละลาย ถ้ามีค่าพีเอชที่ลดลงจะทำให้ความสามารถชะละลายเพิ่มมากขึ้น

3.2.5 จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ศึกษา

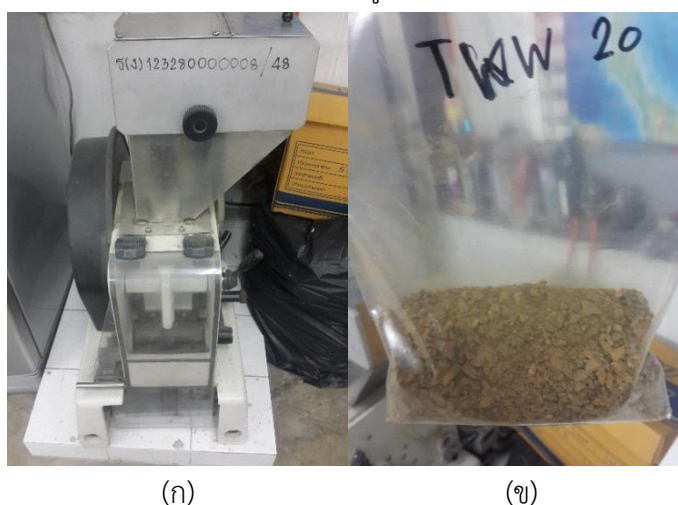
การศึกษานี้ได้ศึกษาหินทิ้งทั้งหมด 4 ชนิดคือ หินทรายแป้ง หินสการ์น หินกอสแซน และหินซิลไฟต์เนื้อแน่น จากทั้ง 3 กองหินหิน คือ กองออกไซด์ กองทรานซิชั่น และกองซิลไฟต์ แล้วนำไปทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ที่ 3 อุณหภูมิ คือ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส และพีเอช 2 และ 4 รวมตัวอย่างทั้งหมดเป็น 162 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 3.2 และในแต่ละตัวอย่างจะมีการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยทำการวัดก่อนและหลังทดสอบการชะละลาย

ตารางที่ 3.2 สรุปจำนวนตัวอย่างหินทิ้งทั้งหมดที่ศึกษา

ชนิดหิน	กองหินทิ้ง	พีเอช 2			พีเอช 4			รวม
		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			
		30	40	50	30	40	50	
ทรายแป้ง	ออกไซด์	3	3	3	3	3	3	18
	ทรานซิชั่น	3	3	3	3	3	3	18
	ซิลไฟต์	3	3	3	3	3	3	18
กอสแซน	ออกไซด์	3	3	3	3	3	3	18
	ทรานซิชั่น	3	3	3	3	3	3	18
สการ์น	ทรานซิชั่น	3	3	3	3	3	3	18
	ซิลไฟต์	3	3	3	3	3	3	18
ซิลไฟต์เนื้อแน่น	ทรานซิชั่น	3	3	3	3	3	3	18
	ซิลไฟต์	3	3	3	3	3	3	18
รวม (ตัวอย่าง)		27	27	27	27	27	27	162

3.2.6 การเตรียมตัวอย่างหินทิ้ง

นำตัวอย่างหินทิ้งที่เก็บมาผ่านการอบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างที่แห้งแล้วมาย่อยด้วยเครื่องย่อยจอร์จเซอร์ (Jaw Crusher) เพื่อย่อยตัวอย่างให้มีขนาดเล็กลง แสดงดังรูปที่ 3.1 แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปบดต่อด้วยเครื่องย่อยดิสก์มิลล์ (Disc Mill) เพื่อบดตัวอย่างให้เป็นผงละเอียดขนาด 60 ไมโครเมตร แสดงดังรูปที่ 3.2 จากนั้นเก็บตัวอย่างไว้ในถุงพลาสติกแบบซิปล็อค และใส่ในโถดูดความชื้น เพื่อนำไปทำการทดสอบต่อไป



รูปที่ 3.1 (ก) เครื่องย่อยจอร์จเซอร์ (ข) ขนาดตัวอย่างหลังย่อย



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.2 (ก) เครื่องย่อยดิสก์มิลล์ (ข) ตัวอย่างละเอียดขนาด 60 ไมโครเมตร

3.2.7 การย่อยตัวอย่างเพื่อหาความเข้มข้นของโลหะหนัก ด้วย Method 3052 (MICROWAVE ASSISTED ACID DIGESTION OF SILICEOUS AND ORGANICALLY BASED MATRICES)

3.2.7.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กรดไนตริก (HNO_3)
2. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
3. น้ำกลั่น

3.2.7.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดพลาสติกขนาด 60 มิลลิลิตร
2. เครื่องชั่ง (Analytical balance)
3. เครื่องดูดควัน (Hood)
4. กรวยกรอง (Funnel)
5. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40 (Fiber filter)
6. บีกเกอร์ (Beaker)
7. ปิเปตต์ (Pipette)
8. ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
9. เครื่อง Microwave Digestion System
10. เครื่อง Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES)
11. เครื่อง Atomic Absorption spectroscopy (AAS)

3.2.7.3 วิธีการทดลอง

ชั่งตัวอย่างหินทิ้งที่เตรียมไว้หนัก 0.5 กรัม แล้วเติมกรดไนตริก 9 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริก 3 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปย่อยด้วยเครื่อง Microwave Digestion System เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 180 ± 5 องศาเซลเซียส แล้วกรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40 แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของปรอท

3.2.8 การศึกษาการชะละลายด้วยวิธี SW-846 EPA Method 1312 (Synthetic Precipitation Leaching Procedure; SPLP)

3.2.8.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก
2. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 95-97 โดยน้ำหนัก
3. น้ำกลั่น

3.2.8.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดพลาสติกขนาด 60 มิลลิลิตร
2. เครื่องชั่ง (Analytical balance)
3. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
4. เครื่อง Shaking water bath
5. เครื่องดูดควัน (Hood)
6. กรวยกรอง (Funnel)
7. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40 (Fiber filter)
8. บีกเกอร์ (Beaker)
9. หลอดหยด (Dropper)
10. ปิเปตต์ (Pipette)
11. เครื่อง Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)

3.2.8.3 วิธีการทดลอง

(1) เตรียมน้ำสกัด

โดยผสมกรดซัลฟิวริกกับกรดไนตริก ในอัตราส่วน 60 ต่อ 40 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปปรับพีเอชน้ำกลั่นจนพีเอชมีค่าคงที่เท่ากับ 2 และ 4

(2) ทดสอบการชะละลาย

ชั่งตัวอย่างหินทิ้งที่ผ่านการบดแล้วหนัก 1 กรัม และเติมน้ำสกัดเตรียมได้ จำนวน 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องหมุนที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40 จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

นำผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และ มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ของโลหะหนักต่างๆ

โลหะหนัก	น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (มก./ล.)	น้ำผิวดิน (มก./ล.)
1. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005	ไม่เกิน 0.002
2. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03	ไม่เกิน 0.005
3. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2	ไม่เกิน 0.05
4. สารหนู (As)	ไม่เกิน 0.25	ไม่เกิน 0.01
5. โครเมียม (Cr^{6+})	ไม่เกิน 0.25	ไม่เกิน 0.05
6. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 0.1
7. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0	ไม่เกิน 0.1
8. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0	ไม่เกิน 1.0
9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0	ไม่เกิน 1.0

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2555)

3.3.2 วิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติทำการทดสอบด้วยโปรแกรม SPSS Version 22 โดยในงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาดังต่อไปนี้

(1) การทดสอบ t-test เป็นเทคนิคการทดสอบสมมติฐานชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับกรณีข้อมูลมีจำนวนน้อย ($n < 30$) (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ 2540) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม (อรุณี อ่อนสวัสดิ์ 2551) ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เพื่อทดสอบความแตกต่างกันของความเข้มข้นโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้งระหว่างพีเอช 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ ก็ต่อเมื่อ $p < 0.05$

(2) การทดสอบ One-way ANOVA (การวิเคราะห์ความแปรปรวน) คือ เทคนิคการวิเคราะห์ที่ใช้เพื่อทดสอบสมมติฐานที่มีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่มากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไป (ตัวแปรอิสระเป็นแบบจัดกลุ่ม ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ) ในการศึกษาครั้งนี้มีตัวแปร 2 ชนิดคือ ตัวแปรอิสระ 1 ตัว คืออุณหภูมิ (30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส) และตัวแปรตาม 1 ตัว คือความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้ง ซึ่งทดสอบความแตกต่างกันของความเข้มข้นโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้งระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ก็ต่อเมื่อ $p < 0.05$

(3) การวิเคราะห์ Regression analysis (การถดถอย) เป็นวิธีทางสถิติที่ใช้ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ประเภท) เพื่อใช้ในการพยากรณ์ตัวแปรตามด้วยค่าความสัมพันธ์ที่เรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination - R^2) เพื่อตรวจสอบตัวแบบหรือสมการพยากรณ์ว่าสามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องหรือใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุดนั้น ดังนั้นค่า R^2 เป็นค่าบ่งบอกว่าตัวแปรอิสระมีผลทำให้ตัวแปรตามเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเพียงใด มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ $R^2 > 0.600$ (Neil J. Salkind. 2015) ถือว่าความเข้มข้นโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 50 มากกว่า 40 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 4

ผลและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้ง จากเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ซึ่งมีกองหินทิ้งทั้งหมด 3 กอง ได้แก่ กองออกไซด์ กองทรานซิชัน และกองซัลไฟด์ และหินทิ้ง 4 ประเภท คือ หินทรายแป้ง หินกอสแซน หินสการ์น และหินซัลไฟด์เนื้อแน่น โดยวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก คือ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว ทองแดง นิกเกิล พรอท แมงกานีส สังกะสี และสารหนู

4.1 ผลความเข้มข้นของโลหะหนักในหินทิ้งและการชะละลายของโลหะหนักแต่ละชนิดในหินทิ้ง

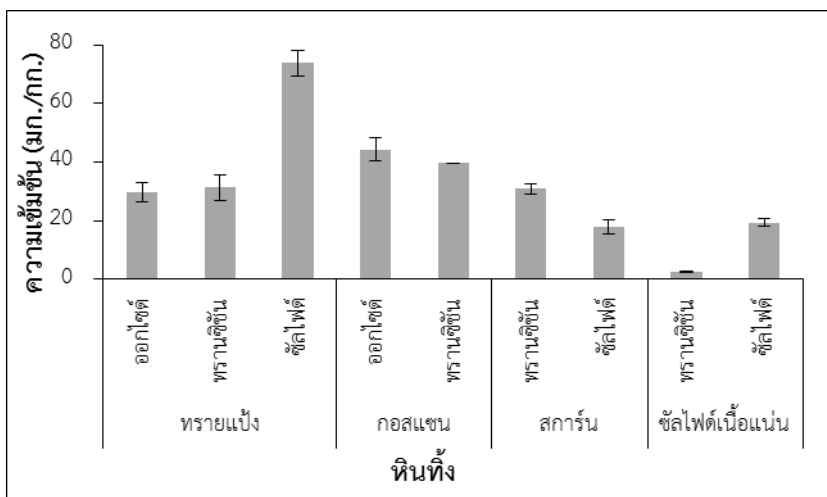
เพื่อศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดในหินทิ้งจึงได้ทำการย่อยตัวอย่างด้วย Method 3052 ผลความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดในหินทิ้ง แสดงดังตารางที่ ก.1 (ภาคผนวก ก) และหาความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้ง โดยการชะละลายด้วยวิธี SW-846 EPA Method 1312 (SPLP) ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส และที่พีเอช 2 และ 4 ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทำการตัดค่าความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้งที่อาจเกิดการแปรปรวนออกจากผลการวิเคราะห์ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ ข.1 (ภาคผนวก ข) และผลความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้ง แสดงดังตารางที่ ค.1 - ค.9 (ภาคผนวก ค) และค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) และค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539)

นอกจากนี้ยังศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้งกับความเข้มข้นของโลหะหนักในหินทิ้ง พร้อมทั้งแสดงถึงสัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้งต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในหินทิ้ง (เปอร์เซ็นต์) ซึ่งบ่งบอกถึงรูปแบบของโลหะหนักที่สามารถชะละลายออกมาได้ โดยกรดไนตริก (HNO_3) และกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

ผลของความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมด ความเข้มข้นจากการชะละลาย ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้งกับความเข้มข้นของโลหะหนักในหินทิ้ง รวมทั้งเปอร์เซ็นต์การชะละลายของโลหะแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) โครเมียม

ความเข้มข้นในหินทิ้ง ความเข้มข้นของโครเมียมในหินทิ้งแต่ละประเภท มีค่าอยู่ระหว่าง 2.44 - 77.90 มก./กก. แสดงดังรูปที่ 4.1 และพบมากที่สุดที่หินทรายแป้งในกองซัลไฟด์



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของโครเมียมในหินทิ้ง

ความเข้มข้นจากการชะละลาย ความเข้มข้นของโครเมียมจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท แสดงดังรูปที่ 4.2 และมีรายละเอียด ดังนี้

พีเอช 2 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.07 - 0.25 มก./ล.

พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.07 - 0.30 มก./ล.

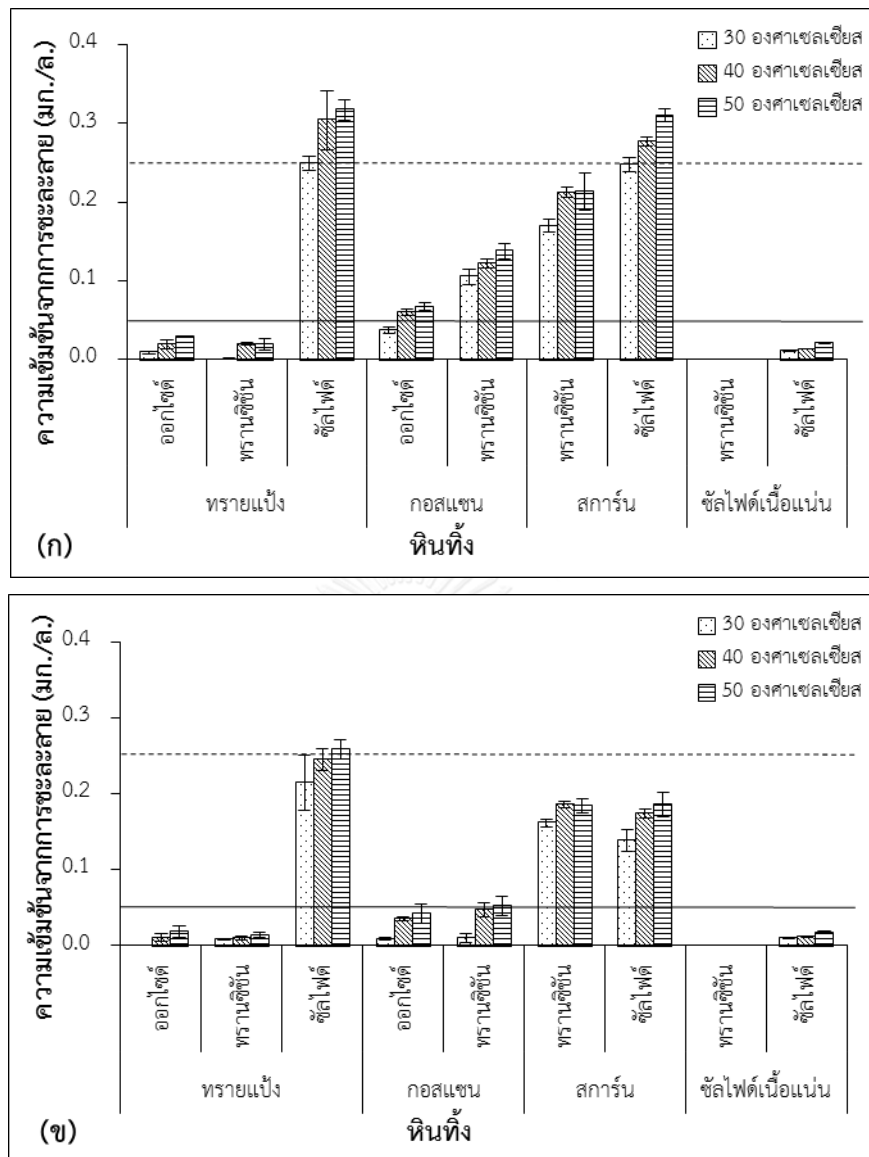
พีเอช 2 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.07 - 0.26 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.07 - 0.21 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.07 - 0.25 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.07 - 0.26 มก./ล.

การเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (0.05 มก./ล.) พบหินทรายแป้งในกองซัลไฟด์ หินสกปรกในกองทรานซิชั่นและกองซัลไฟด์ มีค่าเกินมาตรฐานในทุกพีเอชและทุกอุณหภูมิ ส่วนหินกอสแซนในกองออกไซด์ ที่พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และหินกอสแซนในกองทรานซิชั่น ที่พีเอช 2 ทุกอุณหภูมิ ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (0.25 มก./ล.) พบตัวอย่างมีค่าเกินมาตรฐาน คือ หินทรายแป้งในกองออกไซด์ในทุกพีเอชและทุกอุณหภูมิ และหินสกปรกในกองซัลไฟด์ ที่พีเอช 2 ทุกอุณหภูมิ

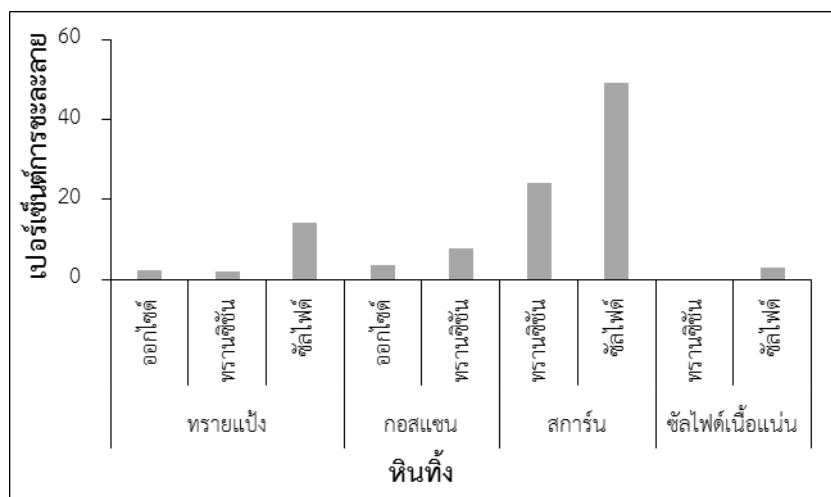


— มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน - - - - มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม
รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของโครเมียมจากการชะละลายในดินที่อุณหภูมิตั้ง 30 40 และ 50

องศาเซลเซียส (ก) พีเอช 2 (ข) พีเอช 4

สัดส่วนการชะละลายของโครเมียมในดินที่ พบว่าดินสการ์นมีการชะละลายออกมาได้มากกว่าดินที่ประเภทอื่น คือมีสัดส่วนการชะละลายเท่ากับ 24 และ 49 เปอร์เซ็นต์ ในกองพรวนซีซันและซัลไฟด์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.3 ทั้งนี้เนื่องจากในดินสการ์นประกอบด้วยแร่การ์เนตและไพรอกซีน (Assawincharoenkij, Hauenberger et al.) ซึ่งมีธาตุโครเมียมเป็นส่วนประกอบ (ชัยวัฒน์ สถาอานันท์ และ อุบลรัตน์ ศิริยุวศักดิ์ 2552) จึงสามารถชะละลายออกมาได้ และนอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของโครเมียมจากการชะละลายมีแนวโน้มแปรผันตามกับความ

เข้มข้นของโครเมียมในหินทิ้ง แสดงดังตารางที่ 4.1 ยกเว้น หินสการ์นและหินกอสแซน ซึ่งมีความเข้มข้นของโครเมียมในหินทิ้งแตกต่างกันแต่มีความเข้มข้นจากการชะละลายใกล้เคียงกัน



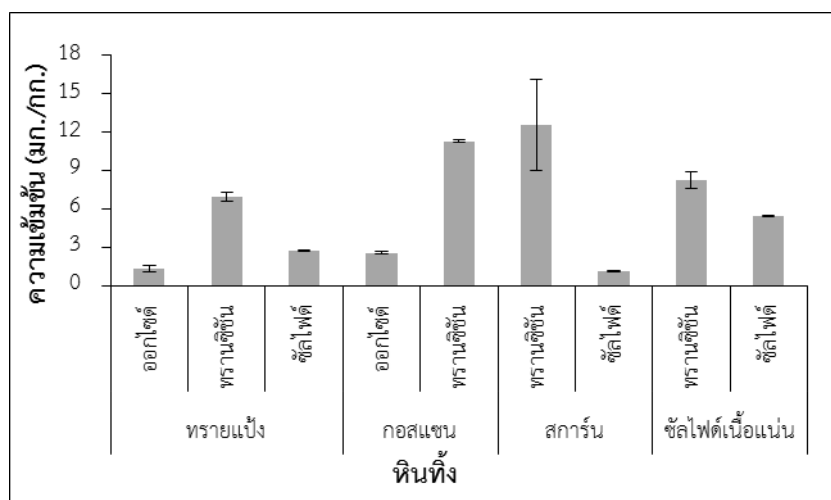
รูปที่ 4.3 สัดส่วนการชะละลายของโครเมียมในหินทิ้ง

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียมจากการชะละลาย (มก./ล.) ในหินทิ้งทุกประเภท

ประเภทหินทิ้ง	กองหินทิ้ง	ความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียมทั้งหมดในหินทิ้ง (มก./กก.)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียมจากการชะละลายจากหินทิ้ง (มก./ล.)
ทรายแป้ง	ซิลไฟต์	73.86 ± 4.42	0.26 ± 0.04
กอสแซน	ออกไซด์	44.38 ± 4.01	0.04 ± 0.02
กอสแซน	ทรานซิชั่น	39.67 ± 0.05	0.08 ± 0.05
ทรายแป้ง	ทรานซิชั่น	31.33 ± 4.45	0.01 ± 0.005
สการ์น	ทรานซิชั่น	30.81 ± 1.85	0.19 ± 0.02
ทรายแป้ง	ออกไซด์	29.68 ± 3.48	0.02 ± 0.008
ซิลไฟต์เนื้อแน่น	ซิลไฟต์	19.27 ± 1.32	0.01 ± 0.004
สการ์น	ซิลไฟต์	17.98 ± 2.45	0.22 ± 0.07
ซิลไฟต์เนื้อแน่น	ทรานซิชั่น	2.54 ± 0.09	< 0.007

2) ตะกั่ว

ความเข้มข้นในหินทิ้ง ความเข้มข้นของตะกั่วในหินทิ้งแต่ละประเภท มีค่าอยู่ระหว่าง 1.05 - 16.26 มก./กก. แสดงดังรูปที่ 4.4 และพบมากที่สุดหินสการ์นในกองทรานซิชั่น และหินกอสแซนในกองทรานซิชั่น



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของตะกั่วในหินทิ้ง

ความเข้มข้นจากการชะละลาย ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท แสดงดังรูปที่ 4.5 และมีรายละเอียด ดังนี้

พีเอช 2 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.006 - 0.08 มก./ล.

พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.006 - 0.09 มก./ล.

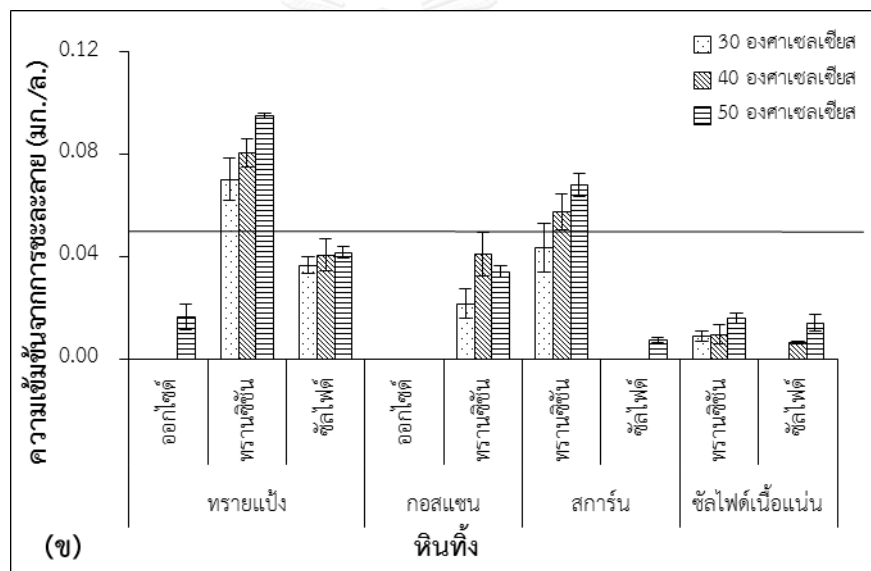
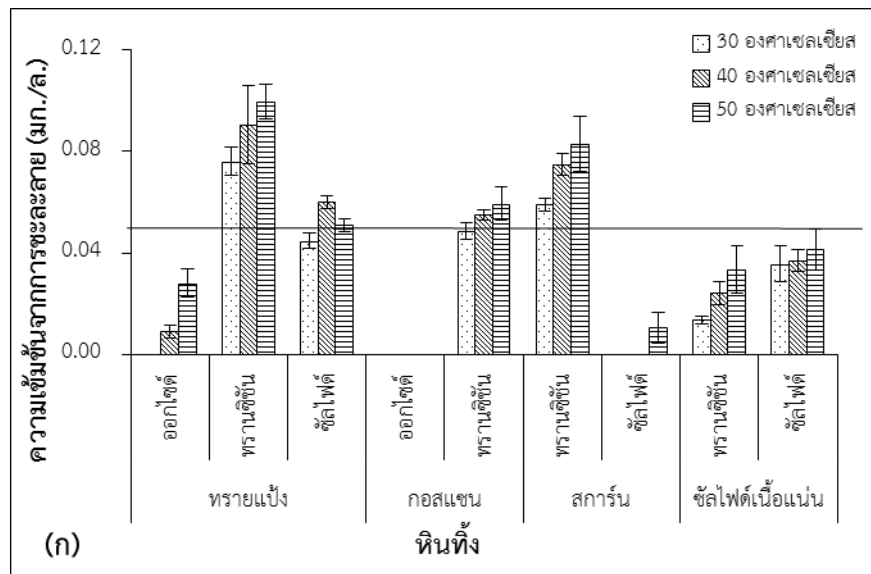
พีเอช 2 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.006 - 0.10 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.006 - 0.07 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.006 - 0.08 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.006 - 0.10 มก./ล.

การเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (0.05 มก./ล.) พบว่าหินทรายแป้งในกองทรานซิชั่น และหินสการ์นในกองทรานซิชั่น มีค่าเกินมาตรฐานในทุกพีเอชและทุกอุณหภูมิ ส่วนหินกอสแซนในกองทรานซิชั่น ที่พีเอช 2 ทุกอุณหภูมิ และหินทรายแป้งในกองซัลไฟด์ ที่พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (0.2 มก./ล.) ไม่พบตัวอย่างมีค่าเกินมาตรฐาน

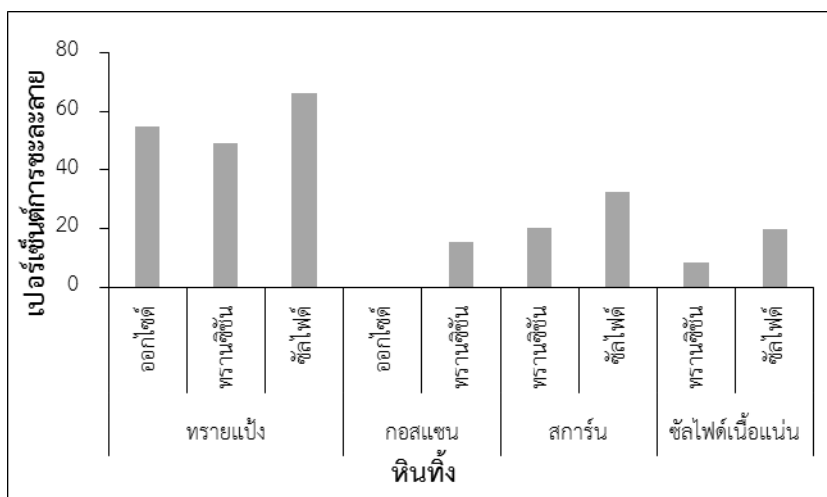


— มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส (ก) พีเอช 2 (ข) พีเอช 4

สัดส่วนการชะละลายของตะกั่วในหินทิ้ง พบว่าหินทรายแป้งมีการชะละลายออกมาได้มากกว่าหินทิ้งประเภทอื่น คือ มีสัดส่วนการชะละลายเท่ากับ 55, 49 และ 66 เปอร์เซ็นต์ ในกองออกไซด์ ทรานซิชัน และซัลไฟด์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.6 เนื่องจากหินทรายแป้งมีความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมดน้อยกว่าหินทิ้งประเภทอื่น แต่พบการชะละลายสูงกว่าหินทิ้งประเภทอื่น ซึ่งในหินทรายแป้งไม่มีแร่ที่มีโลหะตะกั่วเป็นส่วนประกอบ แต่อาจมีการปนเปื้อนมาจากการสัมผัสหินทิ้งประเภทอื่นจึงชะออกมาได้ง่าย และนอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายมี

แนวโน้มแปรผันตามกับความเข้มข้นของตะกั่วในหินทิ้ง แสดงดังตารางที่ 4.2 ยกเว้น หินซัลไฟด์เนื้อแน่น ซึ่งมีความเข้มข้นของตะกั่วในหินทิ้งแตกต่างกันแต่มีความเข้มข้นจากการชะละลายใกล้เคียงกัน



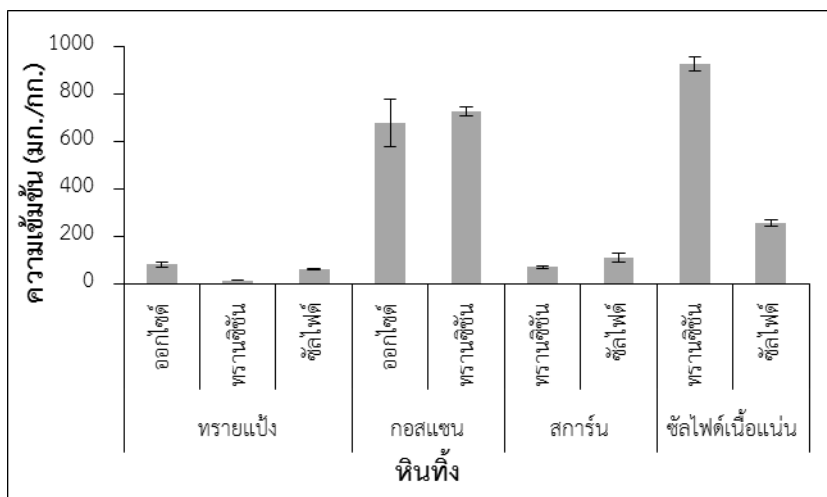
รูปที่ 4.6 เปอร์เซนต์การชะละลายของตะกั่วในหินทิ้ง

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วจากการชะละลาย (มก./ล.) ในหินทิ้งทุกประเภท

ประเภทหินทิ้ง	กองหินทิ้ง	ความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วทั้งหมดในหินทิ้ง (มก./กก.)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วจากการชะละลายจากหินทิ้ง (มก./ล.)
สการ์น	ทรานซิชั่น	12.60 ± 3.58	0.06 ± 0.01
กอสนแซน	ทรานซิชั่น	11.28 ± 0.11	0.04 ± 0.01
ซัลไฟด์เนื้อแน่น	ทรานซิชั่น	8.27 ± 0.63	0.02 ± 0.01
หวายแป้ง	ทรานซิชั่น	6.94 ± 0.33	0.09 ± 0.01
ซัลไฟด์เนื้อแน่น	ซัลไฟด์	5.42 ± 0.06	0.03 ± 0.02
หวายแป้ง	ซัลไฟด์	2.76 ± 0.05	0.05 ± 0.01
กอสนแซน	ออกไซด์	2.56 ± 0.08	< 0.006
หวายแป้ง	ออกไซด์	1.30 ± 0.25	0.02 ± 0.01
สการ์น	ซัลไฟด์	1.10 ± 0.05	0.01 ± 0.002

3) ทองแดง

ความเข้มข้นในหินทิ้ง ความเข้มข้นของทองแดงในหินทิ้งแต่ละประเภท มีค่าอยู่ระหว่าง 55.66 - 957.96 มก./กก. แสดงดังรูปที่ 4.7 และพบมากที่สุดที่หินซัลไฟด์เนื้อแน่นในกองทรานซิชั่น



รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของทองแดงในหินทิ้ง

ความเข้มข้นจากการชะละลาย ความเข้มข้นของทองแดงจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท แสดงดังรูปที่ 4.8 และมีรายละเอียด ดังนี้

พีเอช 2 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.191 - 32.53 มก./ล.

พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.191 - 35.72 มก./ล.

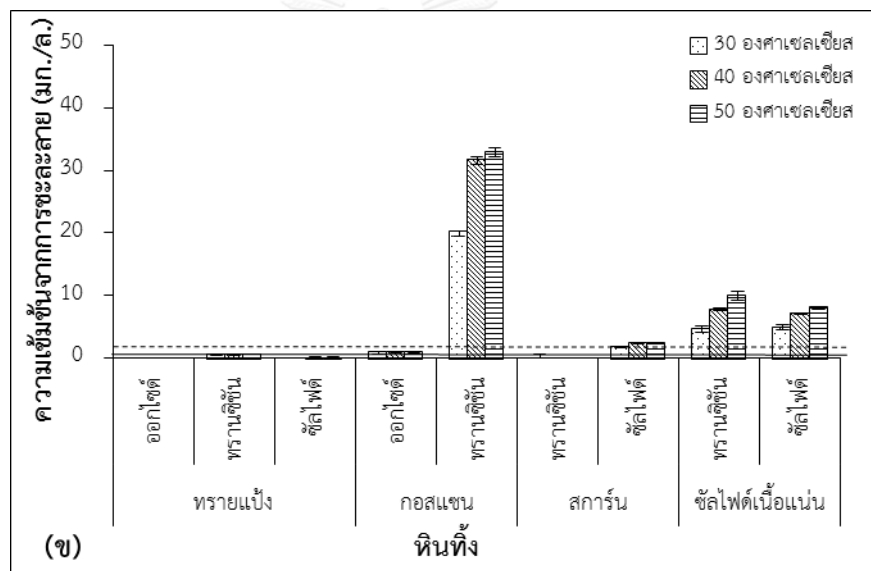
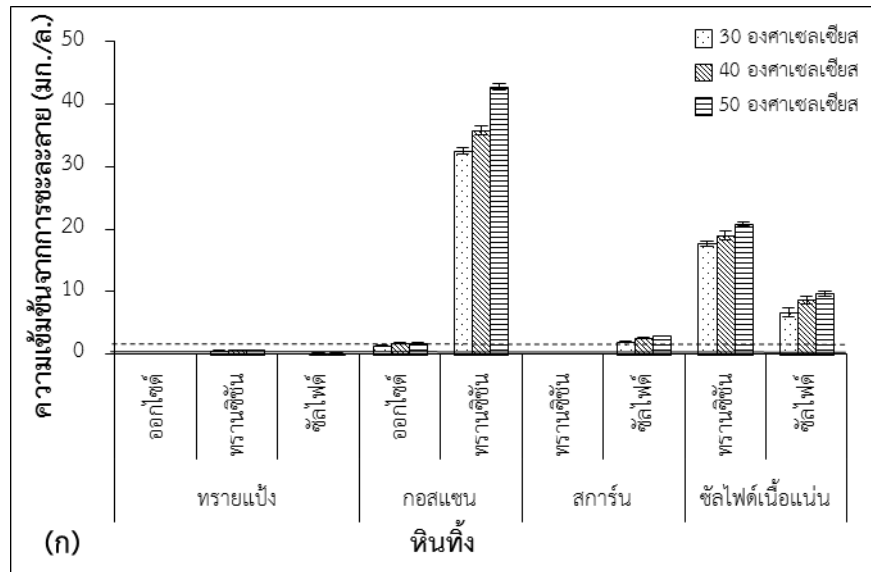
พีเอช 2 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.191 - 42.77 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.191 - 20.19 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.191 - 31.60 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.191 - 32.88 มก./ล.

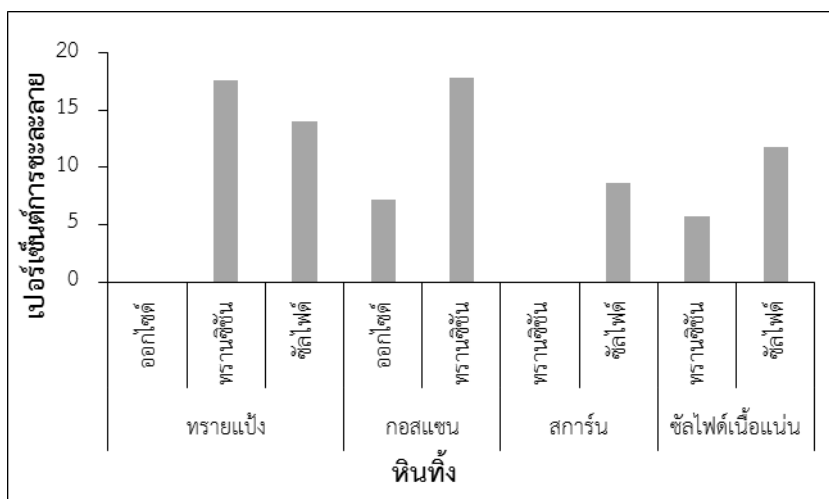
การเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (0.1 มก./ล.) พบว่าตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าเกินมาตรฐานในทุกพีเอชและทุกอุณหภูมิ ยกเว้นหินทรายแป้งในกองออกไซด์ และหินสการ์นในกองทรานซิชั่นที่มีค่าไม่เกินมาตรฐาน และพบหินทรายแป้งในกองซัลไฟด์ มีค่าเกินมาตรฐานที่ทุกพีเอช อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (2.0 มก./ล.) พบ 3 ตัวอย่าง มีค่าเกินมาตรฐานในทุกพีเอชและทุกอุณหภูมิ คือ หินกอสแซนในกองทรานซิชั่น หินซัลไฟด์เนื้อแน่นในกองทรานซิชั่นและกองซัลไฟด์ ส่วนหินสการ์นในกองซัลไฟด์ที่พีเอช 2 ทุกอุณหภูมิ ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส



มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม
รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของทองแดงจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50
องศาเซลเซียส (ก) พีเอช 2 (ข) พีเอช 4

สัดส่วนการชะละลายของทองแดงในหินทิ้ง พบว่าหินทิ้งทุกประเภทมีเปอร์เซ็นต์การชะละลายใกล้เคียงกันมากกว่าโลหะประเภทอื่น แสดงดังรูปที่ 4.9 ซึ่งความเข้มข้นของทองแดงจากการชะละลายมีแนวโน้มแปรผันตามกับความเข้มข้นของทองแดงในหินทิ้ง แสดงดังตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าในหินกอสแชนเมื่อมีความเข้มข้นทั้งหมดสูงขึ้นก็สามารถชะละลายออกมามากด้วยเช่นกัน เนื่องจากหินกอสแชนประกอบด้วยแร่เกอไทท์ ซึ่งมีทองแดงเป็นส่วนประกอบ (Assawincharoenkij, Hauzenberger et al.) ในทางกลับกันสำหรับหินซัลไฟต์เนื้อแน่น พบว่าเมื่อความเข้มข้นทั้งหมด

สูงขึ้น แต่กลับมีความเข้มข้นจากการชะละลายไม่แตกต่างกัน เนื่องจากมีแร่ซาลโคไพไรต์เป็นองค์ประกอบ(Assawincharoenkij, Hauzenberger et al.) และแร่ซาลโคไพไรต์เป็นแร่ซัลไฟด์ซึ่งมีความเสถียร (Hawkes and J. S. Webb. 1962) จึงทำให้โลหะหนักชะละลายออกมาได้น้อย



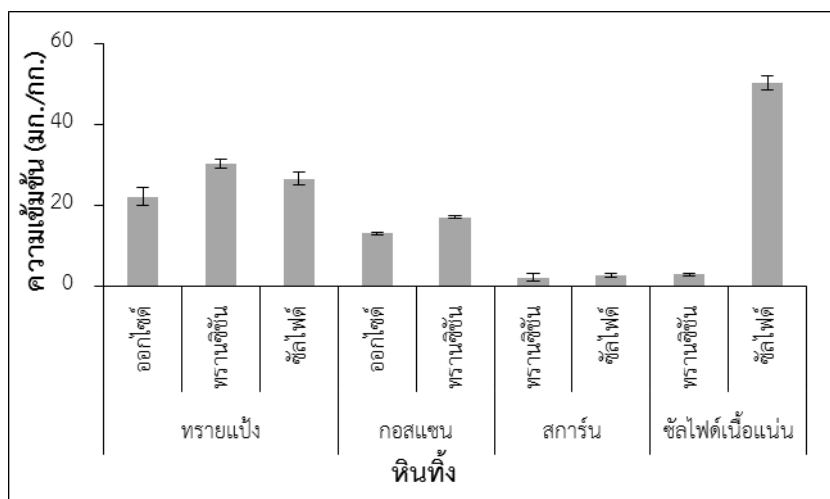
รูปที่ 4.9 สัดส่วนการชะละลายของทองแดงในหินทิ้ง

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดงจากการชะละลาย (มก./ล.) ในหินทิ้งทุกประเภท

ประเภทหินทิ้ง	กองหินทิ้ง	ความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดงทั้งหมดในหินทิ้ง (มก./กก.)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดงจากการชะละลายจากหินทิ้ง (มก./ล.)
ซัลไฟด์เนื้อแน่น	ทรานซิชั่น	9267.55 ± 302.23	13.30 ± 6.69
กอสแซน	ทรานซิชั่น	7260.26 ± 182.92	32.62 ± 7.32
ซัลไฟด์เนื้อแน่น	ซัลไฟด์	2538.72 ± 126.56	7.50 ± 1.65
สการ์น	ซัลไฟด์	1069.29 ± 191.14	2.32 ± 0.41
กอสแซน	ออกไซด์	678.08 ± 102.41	1.23 ± 0.40
ทรายแป้ง	ทรานซิชั่น	133.00 ± 3.20	0.59 ± 0.06
ทรายแป้ง	ออกไซด์	80.93 ± 10.20	< 0.191
สการ์น	ทรานซิชั่น	69.01 ± 3.92	< 0.191
ทรายแป้ง	ซัลไฟด์	58.93 ± 2.97	0.21 ± 0.01

4) นิกเกิล

ความเข้มข้นในหินทิ้ง ความเข้มข้นของนิกเกิลในหินทิ้งแต่ละประเภท มีค่าอยู่ระหว่าง 1.51 - 52.11 มก./กก. แสดงดังรูปที่ 4.10 และพบมากที่สุดในการหินซัลไฟด์เนื้อแน่นในกองซัลไฟด์



รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของนิกเกิลในหินทิ้ง

ความเข้มข้นจากการชะละลาย ความเข้มข้นของนิกเกิลจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท แสดงดังรูปที่ 4.11 และมีรายละเอียด ดังนี้

พีเอช 2 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.008 - 0.57 มก./ล.

พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.008 - 0.74 มก./ล.

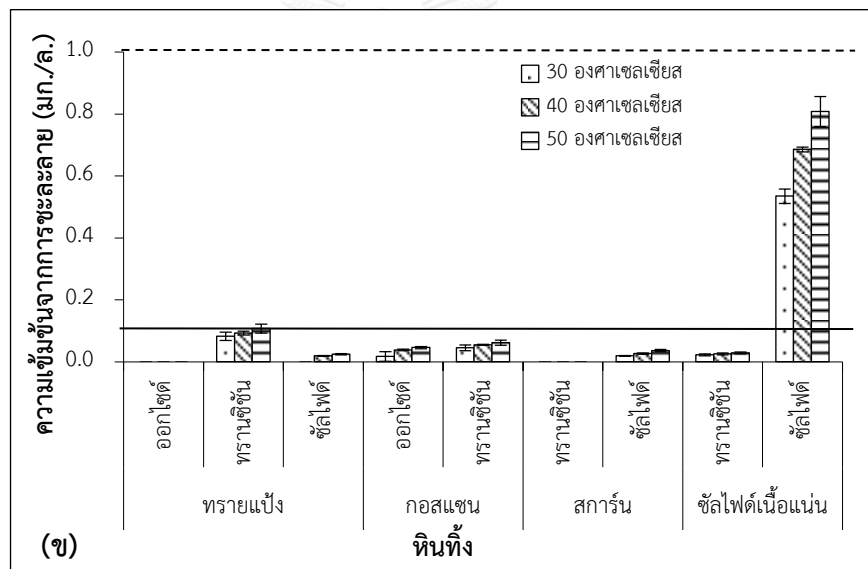
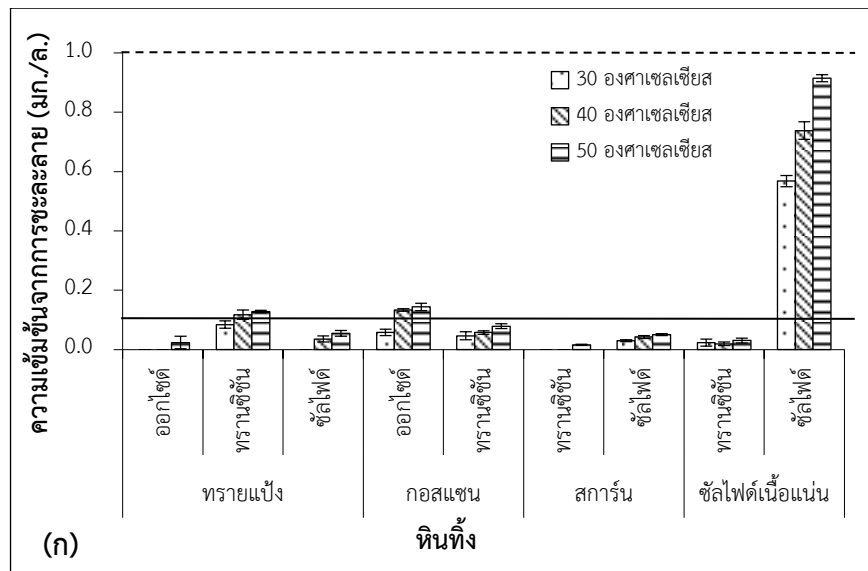
พีเอช 2 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.020 - 0.91 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.008 - 0.53 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.008 - 0.69 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.008 - 0.81 มก./ล.

การเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (0.1 มก./ล.) พบหินซัลไฟด์เนื้อแน่นในกองซัลไฟด์มีค่าเกินมาตรฐานในทุกพีเอชและทุกอุณหภูมิ ส่วนหินทรายแป้งในกองทรานซิชันมีค่าเกินมาตรฐาน ที่พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และหินกอสแซนในกองออกไซด์ ที่พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม (1.0 มก./ล.) ไม่พบตัวอย่างมีค่าเกินมาตรฐาน



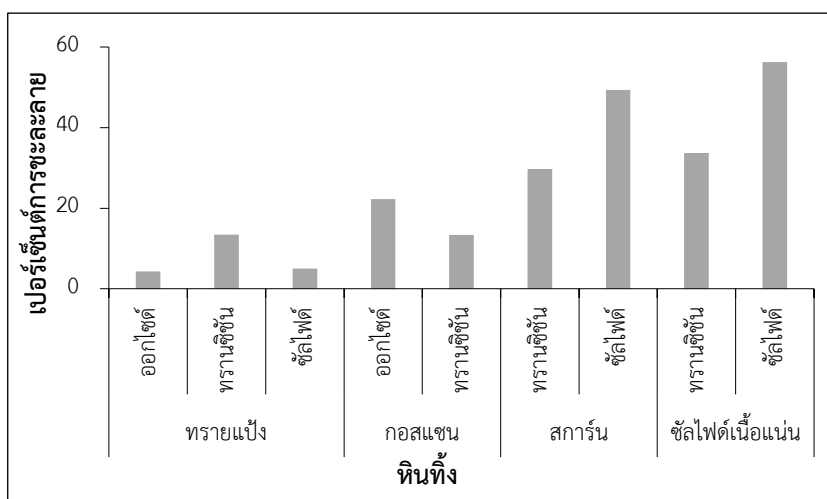
— มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ----- มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นของนิกเกิลจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50

องศาเซลเซียส (ก) พีเอช 2 (ข) พีเอช 4

สัดส่วนการชะละลายของนิกเกิลในหินทิ้งทั้งหมด พบว่าหินสการ์น และหินชัลไฟต์เนื้อแน่นมีการชะละลายออกมาได้มากกว่าหินทิ้งประเภทอื่น แสดงดังรูปที่ 4.12 ซึ่งพบหินสการ์นมีสัดส่วนการชะละลายเท่ากับ 30 และ 49 เปอร์เซ็นต์ ในกองทรานซิชัน และชัลไฟต์ ตามลำดับ ส่วนหินชัลไฟต์เนื้อแน่นมีสัดส่วนการชะละลายเท่ากับ 34 และ 56 เปอร์เซ็นต์ ในกองทรานซิชัน และชัลไฟต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากพบแร่ซาลโคไฟไรต์เป็นส่วนประกอบในหินสการ์นและหินชัลไฟต์เนื้อแน่น (Assawincharoenkij, Hauzenberger et al.) ซึ่งในแร่ซาลโคไฟไรต์มีนิกเกิลเป็นธาตุ

ร่องรอย (Minor and trace element substitution) (Lottermoser 2003) จึงสามารถชะละลายออกมาได้ง่าย ทำให้พบความเข้มข้นของนิกเกิลในหินสการ์นและหินซิลไฟต์เนื้อแน่นมากกว่าหินชนิดอื่น ๆ และนอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของนิกเกิลจากการชะละลายมีแนวโน้มแปรผันตามกับความเข้มข้นของนิกเกิลในหินทิ้ง แสดงดังตารางที่ 4.4



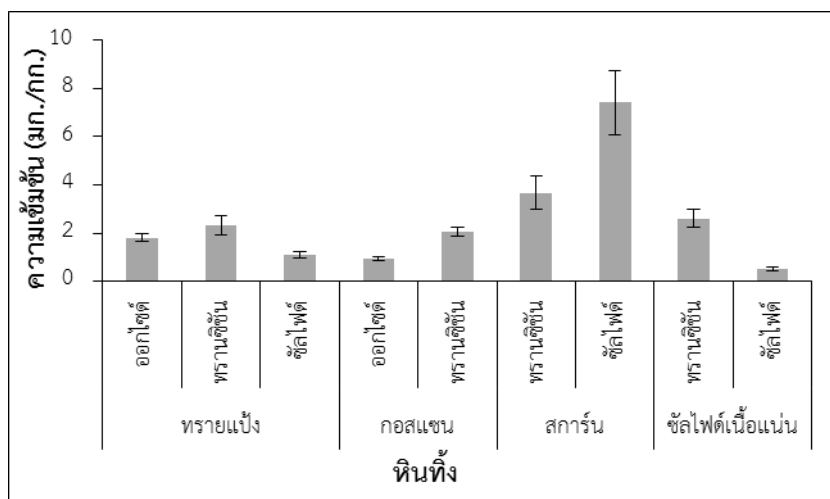
รูปที่ 4.12 สัดส่วนการชะละลายของนิกเกิลในหินทิ้ง

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของนิกเกิลจากการชะละลาย (มก./ล.) ในหินทิ้งทุกประเภท

ประเภทหินทิ้ง	กองหินทิ้ง	ความเข้มข้นเฉลี่ยของนิกเกิลทั้งหมดในหินทิ้ง (มก./กก.)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของนิกเกิลจากการชะละลายจากหินทิ้ง (มก./ล.)
ซิลไฟต์เนื้อแน่น	ซิลไฟต์	50.22 ± 1.83	0.71 ± 0.14
ทรายแป้ง	ทรานซิชั่น	30.30 ± 1.05	0.10 ± 0.02
ทรายแป้ง	ซิลไฟต์	26.54 ± 1.56	0.03 ± 0.02
ทรายแป้ง	ออกไซด์	22.05 ± 2.25	0.02 ± 0.00
กอสแซน	ทรานซิชั่น	17.03 ± 0.37	0.06 ± 0.01
กอสแซน	ออกไซด์	13.01 ± 0.43	0.07 ± 0.05
ซิลไฟต์เนื้อแน่น	ทรานซิชั่น	2.92 ± 0.37	0.03 ± 0.004
สการ์น	ซิลไฟต์	2.76 ± 0.44	0.03 ± 0.01
สการ์น	ทรานซิชั่น	2.13 ± 1.03	0.02 ± 0.00

5) ปรอต

ความเข้มข้นในหินทิ้ง ความเข้มข้นของปรอทในหินทิ้งแต่ละประเภท มีค่าอยู่ระหว่าง 1.51 - 52.11 มก./กก. แสดงดังรูปที่ 4.13 และพบมากที่สุดในห้องซัลไฟด์เนื้อแน่นในกองซัลไฟด์



รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นของปรอทในหินทิ้ง

ความเข้มข้นจากการชะละลาย ความเข้มข้นของปรอทจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท แสดงดังรูปที่ 4.14 และมีรายละเอียด ดังนี้

พีเอช 2 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.001 - 0.01 มก./ล.

พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.001 - 0.01 มก./ล.

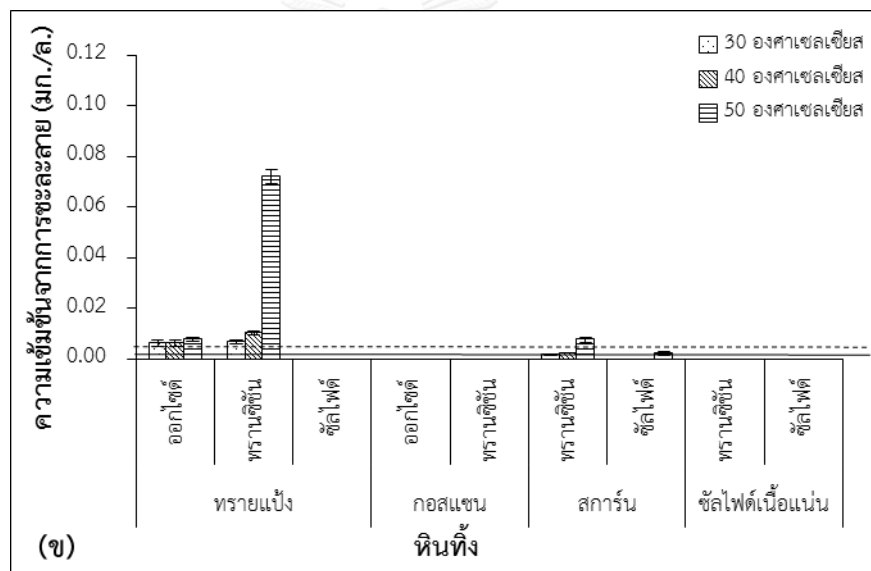
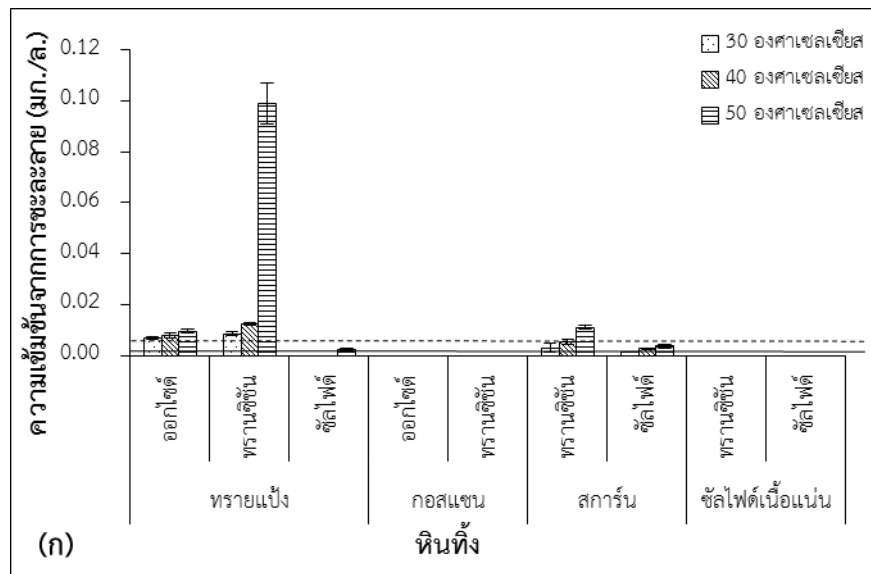
พีเอช 2 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.001 - 0.10 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.001 - 0.01 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.001 - 0.01 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.001 - 0.07 มก./ล.

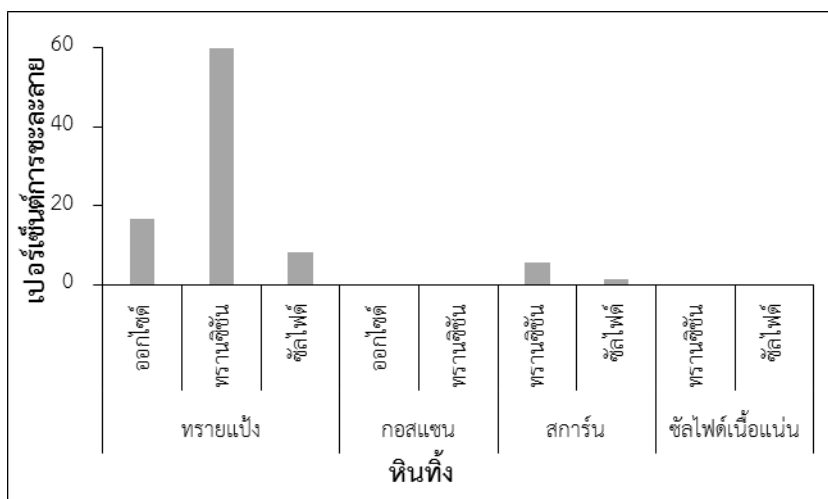
การเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (0.002 มก./ล.) พบหินทรายแป้งในกองออกไซด์และกองทรานซิชัน และหินสการันในกองทรานซิชัน มีค่าเกินมาตรฐาน ในทุกพีเอชและทุกอุณหภูมิ ส่วนหินทรายแป้งในกองซัลไฟด์ ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และหินสการันในกองซัลไฟด์ ที่พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (0.005 มก./ล.) พบหินทรายแป้งในกองออกไซด์และกองทรานซิชันมีค่าเกินมาตรฐานในทุกพีเอชและทุกอุณหภูมิ และหินสการันในกองทรานซิชัน ที่พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าเกินมาตรฐาน



มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม
รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นของปรอทจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50
องศาเซลเซียส (ก) พีเอช 2 (ข) พีเอช 4

สัดส่วนการชะละลายของปรอทในหินทิ้ง พบว่าหินทรายแห้งกองทรานซิชั่นมีการชะละลายออกมาได้มากกว่าหินทิ้งประเภทอื่น แสดงดังรูปที่ 4.15 ซึ่งมีสัดส่วนการชะละลายเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากหินทรายแห้งมีความเข้มข้นของปรอททั้งหมดน้อยกว่าหินทิ้งประเภทอื่น แต่พบการชะละลายสูงกว่าหินทิ้งประเภทอื่น ซึ่งในหินทรายแห้งไม่มีแร่ที่มีโลหะปรอทเป็นส่วนประกอบ แต่อาจมีการปนเปื้อนมาจากการสัมผัสหินทิ้งประเภทอื่นจึงชะออกมาได้ง่าย และนอกจากนี้ยังพบว่า

ความเข้มข้นของปรอทจากการชะละลายมีแนวโน้มแปรผันตามกับความเข้มข้นของปรอทในหินทรายแป้ง แสดงดังตารางที่ 4.5



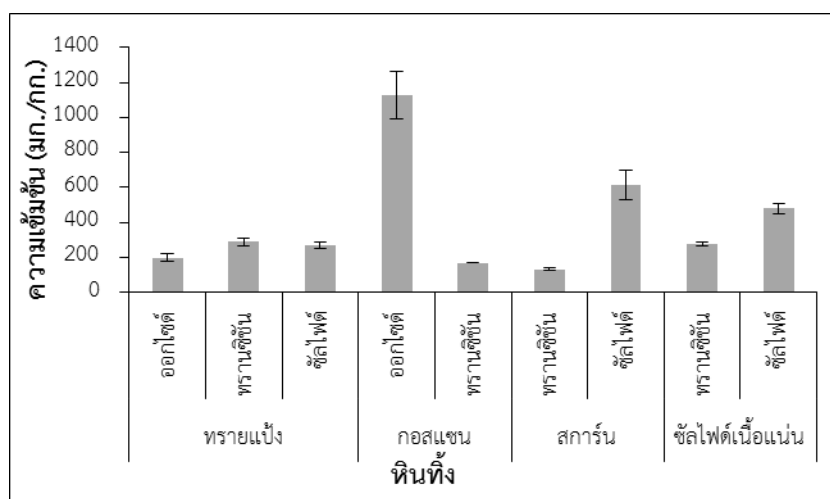
รูปที่ 4.15 สัดส่วนการชะละลายของปรอทในหินทิ้ง

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทจากการชะละลาย (มก./ล.) ในหินทิ้งทุกประเภท

ประเภทหินทิ้ง	กองหินทิ้ง	ความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมดในหินทิ้ง (มก./กก.)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทจากการชะละลายจากหินทิ้ง (มก./ล.)
สการ์น	ซัลไฟด์	7.42 ± 1.32	0.003 ± 0.001
สการ์น	ทรานซิชั่น	3.66 ± 0.70	0.01 ± 0.004
ซัลไฟด์เนื้อแน่น	ทรานซิชั่น	2.60 ± 0.38	< 0.001
ทรายแป้ง	ทรานซิชั่น	2.33 ± 0.41	0.03 ± 0.04
กอสนแซน	ทรานซิชั่น	2.06 ± 0.20	< 0.001
ทรายแป้ง	ออกไซด์	1.80 ± 0.15	0.01 ± 0.001
ทรายแป้ง	ซัลไฟด์	1.10 ± 0.13	0.002 ± 0.00
กอสนแซน	ออกไซด์	0.94 ± 0.05	< 0.001
ซัลไฟด์เนื้อแน่น	ซัลไฟด์	0.50 ± 0.08	< 0.001

6) แอมกานีส

ความเข้มข้นในหินทิ้ง ความเข้มข้นของแอมกานีสในหินทิ้งแต่ละประเภท มีค่าอยู่ระหว่าง 166.67 - 1276.43 มก./กก. แสดงดังรูปที่ 4.16 และพบมากที่สุดที่หินกอสแซนในกองออกไซด์



รูปที่ 4.16 ความเข้มข้นของแอมกานีสในหินทิ้ง

ความเข้มข้นจากการชะละลาย ความเข้มข้นของแอมกานีสจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท แสดงดังรูปที่ 4.17 และมีรายละเอียด ดังนี้

พีเอช 2 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.79 - 12.20 มก./ล.

พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.98 - 14.79 มก./ล.

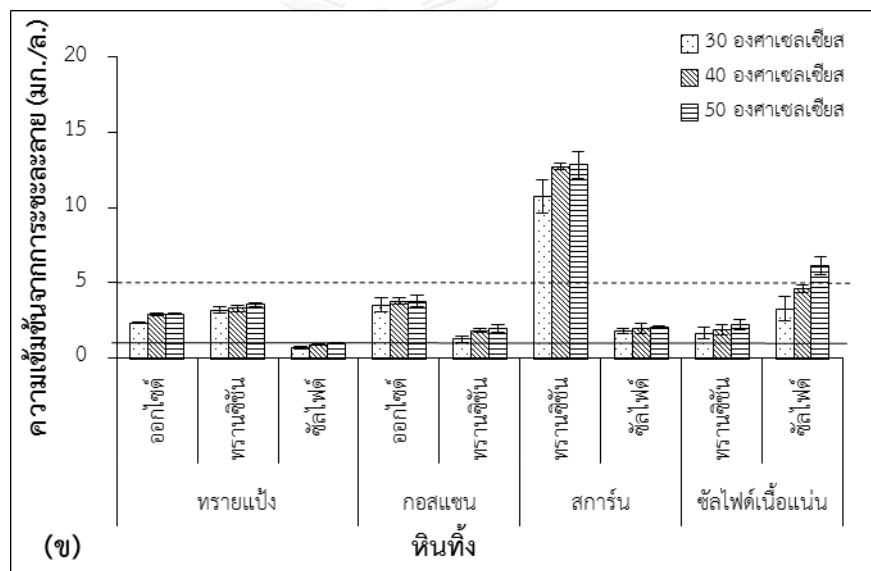
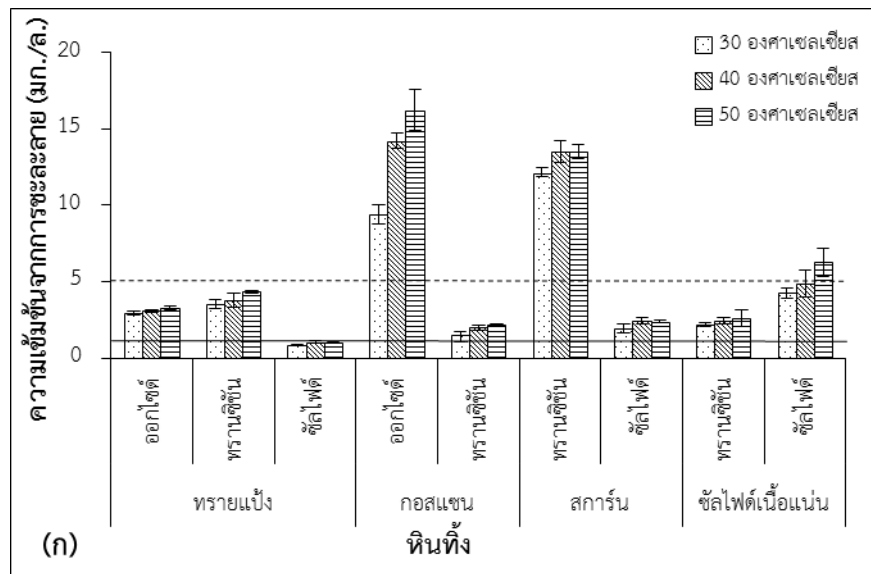
พีเอช 2 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 1.04 - 17.71 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.59 - 12.02 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.85 - 12.95 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.97 - 13.85 มก./ล.

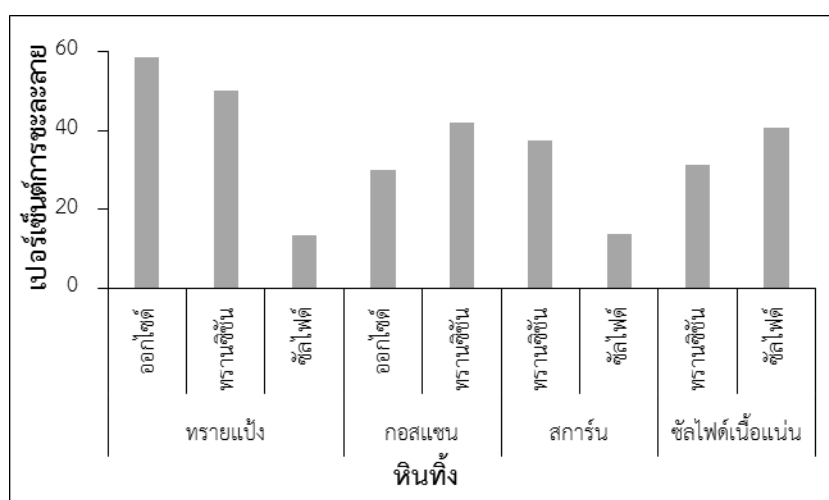
การเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (1.0 มก./ล.) พบว่าตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าเกินมาตรฐานในทุกพีเอชและทุกอุณหภูมิ ยกเว้นหินทรายแป้งในกองซัลไฟด์มีค่าเกินมาตรฐานที่พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (5.0 มก./ล.) พบหินสการ์นในกองทรานซิชั่นมีค่าเกินมาตรฐานในทุกพีเอชและทุกอุณหภูมิ ส่วนหินกอสแซนในกองออกไซด์ ที่พีเอช 2 ทุกอุณหภูมิ และหินซัลไฟด์เนื้อแน่นในกองซัลไฟด์ ที่พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



— มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน - - - - มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม
รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นของแมงกานีสจากการชะละลายในดินที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส (ก) พีเอช 2 (ข) พีเอช 4

สัดส่วนการชะละลายของแมงกานีสในดินที่ พบว่าดินทรายแฉ่งในกองออกไซด์และทรานซิชั่นมีการชะละลายออกมาได้มากกว่าดินที่ประเภทอื่น แสดงดังรูปที่ 4.18 เนื่องจากดินทรายแฉ่งมีความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดน้อยกว่าดินที่ประเภทอื่น แต่พบการชะละลายสูงกว่าดินที่ประเภทอื่น ซึ่งในดินทรายแฉ่งไม่มีแร่ที่มีโลหะแมงกานีสเป็นส่วนประกอบ แต่อาจมีการปนเปื้อนมาจากการสัมผัสดินที่ประเภทอื่นจึงชะออกมาได้ง่าย และนอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของแมงกานีสจากการชะละลายมีแนวโน้มแปรผันตามกับความเข้มข้นของแมงกานีสในดินที่ แสดง

ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งเห็นได้ชัดในหินสการ์น เมื่อมีความเข้มข้นทั้งหมดสูงขึ้น ก็สามารถชะละลายออกมา มากด้วยเช่นกัน เนื่องจากมีแร่โรโดโครไซต์เป็นส่วนประกอบรอง ซึ่งมีแมงกานีสเป็นธาตุหลักในแร่ (Zhou, Yuan et al. 2007) และอยู่ในรูปออกไซด์ จึงสามารถชะละลายออกมาได้ ในทำนองเดียวกัน หินกอสแซน เมื่อมีความเข้มข้นทั้งหมดสูงขึ้น ก็สามารถชะละลายออกมาได้ด้วยเช่นกัน เนื่องจากมี แร่เกอไทท์เป็นส่วนประกอบรอง และในแร่เกอไทท์มีแมงกานีสออกไซด์ปะปนอยู่ ซึ่งแร่ออกไซด์ไม่ เสถียร (Assawincharoenkij, Hauzenberger et al.) จึงสามารถชะละลายออกมาได้เช่นกัน



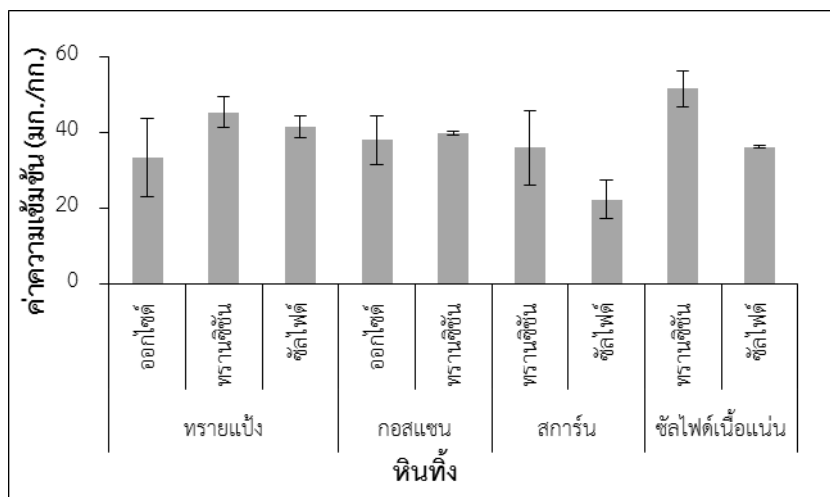
รูปที่ 4.18 สัดส่วนการชะละลายของแมงกานีสในหินที่

ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสจาก การชะละลาย (มก./ล.) ในหินที่ทุกประเภท

ประเภทหินที่	กองหินที่	ความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีส ทั้งหมดในหินที่ (มก./กก.)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสจาก การชะละลายจากหินที่ (มก./ล.)
สการ์น	ทรานซิชั่น	1335 ± 84.39	12.57 ± 1.05
กอสแซน	ออกไซด์	1126 ± 133	8.49 ± 5.69
สการ์น	ซัลไฟด์	613 ± 85.21	2.11 ± 0.24
ซัลไฟด์เนื้อแน่น	ซัลไฟด์	480 ± 30.89	4.91 ± 1.13
หทรายแป้ง	ทรานซิชั่น	289 ± 20.84	3.62 ± 0.42
ซัลไฟด์เนื้อแน่น	ทรานซิชั่น	275 ± 9.14	2.16 ± 0.35
หทรายแป้ง	ซัลไฟด์	269 ± 16.22	0.90 ± 0.15
หทรายแป้ง	ออกไซด์	198 ± 19.65	2.91 ± 0.31
กอสแซน	ทรานซิชั่น	168 ± 1.56	1.79 ± 0.34

7) สังกะสี

ความเข้มข้นในหินทิ้ง ความเข้มข้นของสังกะสีในหินทิ้งแต่ละประเภท อยู่ในช่วง 18.42 - 56.98 มก./กก. แสดงดังรูปที่ 4.19 และพบในทุกตัวอย่างหินทิ้งมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.19 ความเข้มข้นของสังกะสีในหินทิ้ง

ความเข้มข้นจากการชะละลาย ความเข้มข้นของสังกะสีจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท แสดงดังรูปที่ 4.20 และมีรายละเอียด ดังนี้

พีเอช 2 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.07 - 0.33 มก./ล.

พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.12 - 0.39 มก./ล.

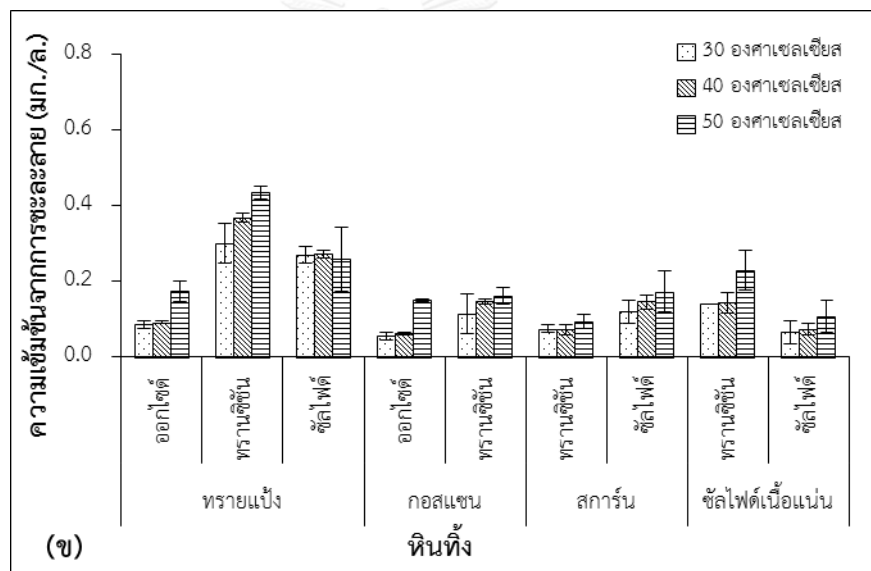
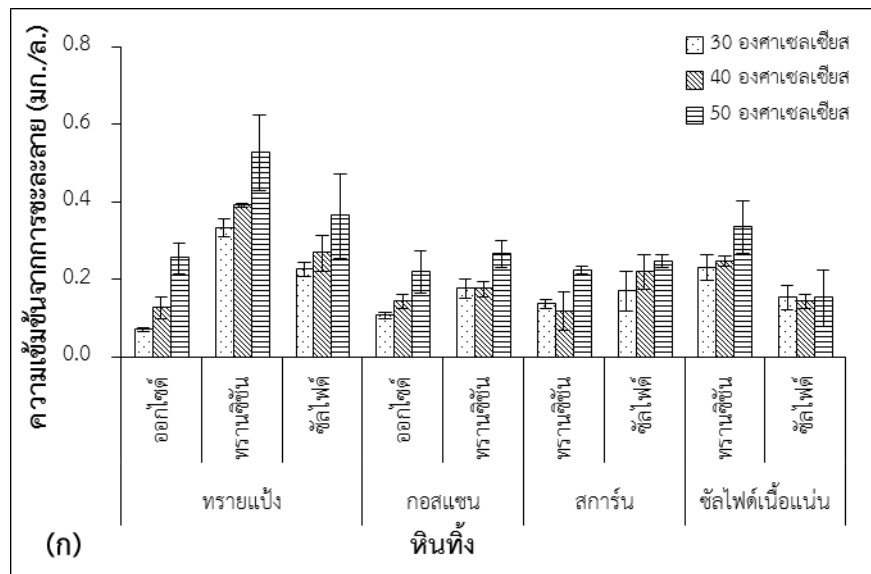
พีเอช 2 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.15 - 0.53 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.06 - 0.30 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.06 - 0.37 มก./ล.

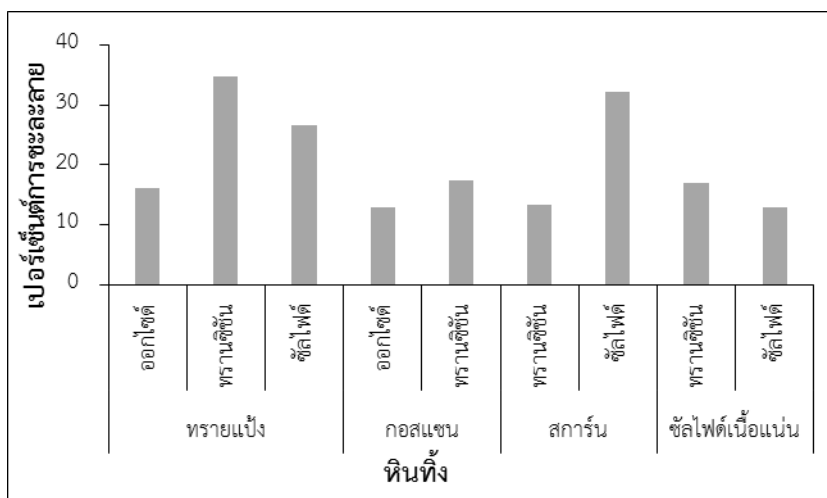
พีเอช 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.10 - 0.44 มก./ล.

การเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (1.0 มก./ล.) และมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (5.0 มก./ล.) ไม่พบตัวอย่างมีค่าเกินมาตรฐานทั้ง 2 มาตรฐาน



รูปที่ 4.20 ความเข้มข้นของสังกะสีจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส (ก) พีเอช 2 (ข) พีเอช 4

สัดส่วนการชะละลายของสังกะสีในหินทิ้ง พบว่าหินทิ้งทุกประเภทมีเปอร์เซ็นต์การชะละลายใกล้เคียงกัน แสดงดังรูปที่ 4.21 และนอกจากนี้พบความเข้มข้นของสังกะสีจากการชะละลายมีแนวโน้มแปรผันตามกับความเข้มข้นของสังกะสีในหินทิ้ง แสดงดังตารางที่ 4.7 ยกเว้น หินสการ์น ซึ่งมีความเข้มข้นของโลหะหนักในหินแตกต่างกันแต่มีความเข้มข้นจากการชะละลายใกล้เคียงกัน



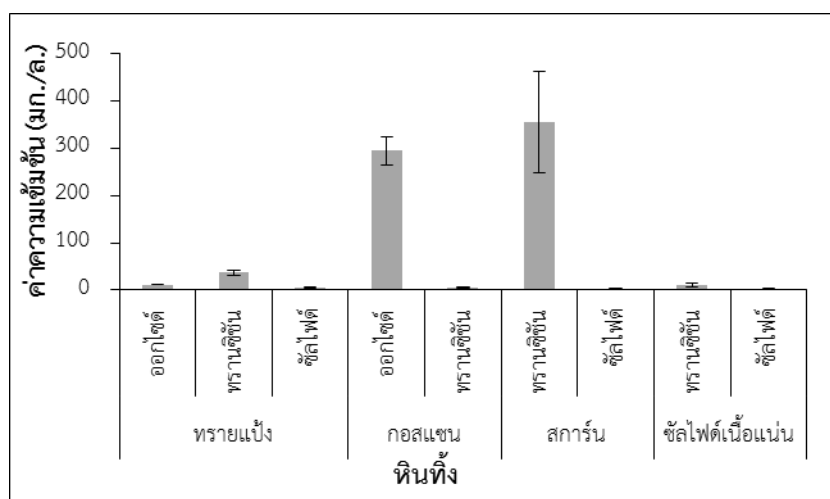
รูปที่ 4.21 สัดส่วนการชะละลายของสังกะสีในอินทิมึง

ตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีจากการชะละลาย (มก./ล.) ในอินทิมึงทุกประเภท

ประเภทอินทิมึง	กองอินทิมึง	ความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีทั้งหมดในอินทิมึง (มก./กก.)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีจากการชะละลายจากอินทิมึง (มก./ล.)
ซัลไฟด์เนื้อแน่น	ทรานซิชั่น	51.53 ± 4.76	0.22 ± 0.07
ทรายแป้ง	ทรานซิชั่น	45.28 ± 4.15	0.39 ± 0.08
ทรายแป้ง	ซัลไฟด์	41.40 ± 2.85	0.28 ± 0.05
กอสนแซน	ทรานซิชั่น	39.79 ± 0.60	0.17 ± 0.05
กอสนแซน	ออกไซด์	37.89 ± 6.42	0.12 ± 0.06
ซัลไฟด์เนื้อแน่น	ซัลไฟด์	36.08 ± 0.41	0.11 ± 0.04
สการ์น	ทรานซิชั่น	35.83 ± 9.86	0.12 ± 0.06
ทรายแป้ง	ออกไซด์	33.26 ± 10.48	0.13 ± 0.07
สการ์น	ซัลไฟด์	22.24 ± 5.07	0.18 ± 0.05

8) สารหนู

ความเข้มข้นในหินทิ้ง ความเข้มข้นของสารหนูในหินทิ้งแต่ละประเภท มีค่าอยู่ระหว่าง 1.71 - 431.56 มก./กก. แสดงดังรูปที่ 4.22 และพบมากที่สุดที่หินสการ์นในกองทรานซีชัน และหินกอสแซนในกองออกไซด์



รูปที่ 4.22 ความเข้มข้นของสารหนูในหินทิ้ง

ความเข้มข้นจากการชะละลาย ความเข้มข้นของสารหนูจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท แสดงดังรูปที่ 4.23 และมีรายละเอียด ดังนี้

พีเอช 2 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.030 - 0.14 มก./ล.

พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.030 - 0.15 มก./ล.

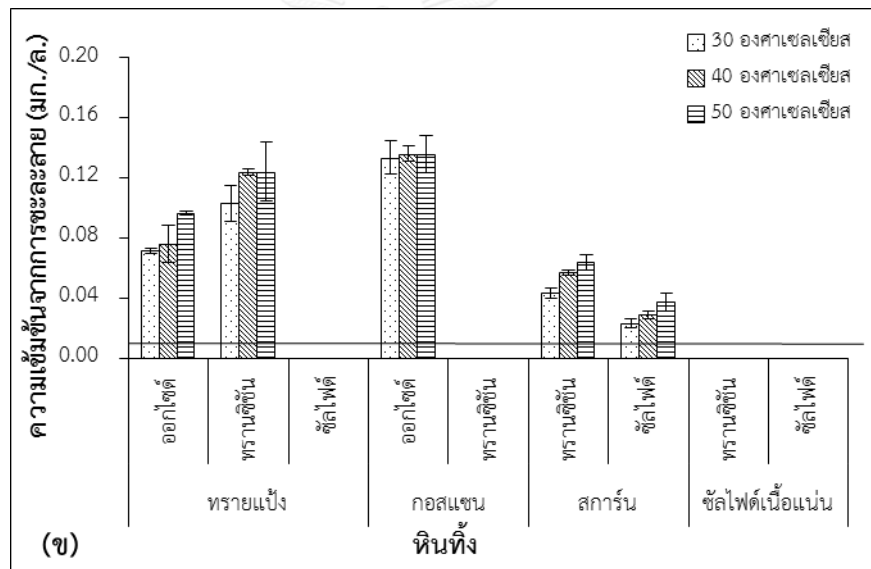
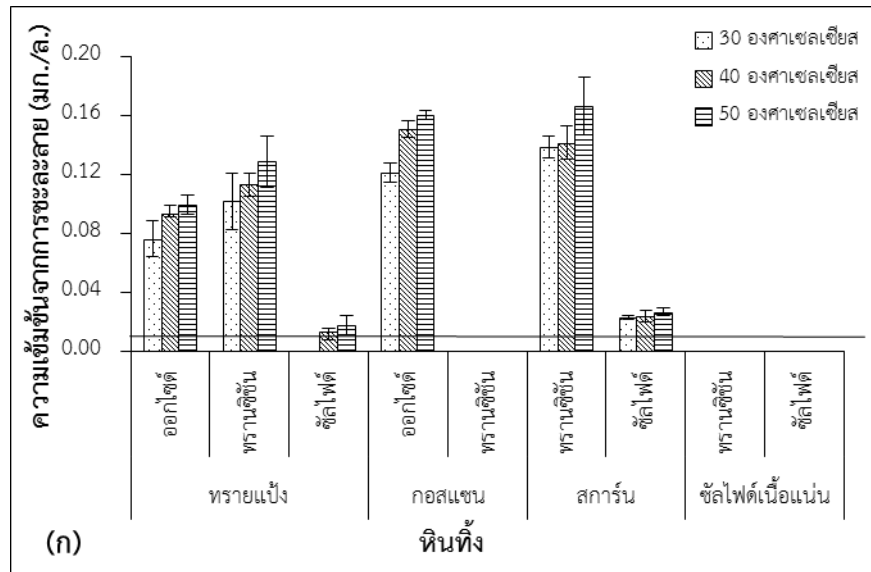
พีเอช 2 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.030 - 0.17 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.030 - 0.13 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.030 - 0.14 มก./ล.

พีเอช 4 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.030 - 0.14 มก./ล.

การเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (0.01 มก./ล.) พบหินทิ้ง 5 ตัวอย่าง มีค่าเกินมาตรฐานในทุกพีเอชและทุกอุณหภูมิ คือ หินทรายแป้งในกองออกไซด์และกองทรานซีชัน หินกอสแซนในกองออกไซด์ และหินสการ์นในกองทรานซีชันและกองซัลไฟด์ ส่วนหินทรายแป้งในกองซัลไฟด์ มีค่าเกินมาตรฐานที่พีเอช 2 อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (0.25 มก./ล.) ไม่พบตัวอย่างมีค่าเกินมาตรฐาน

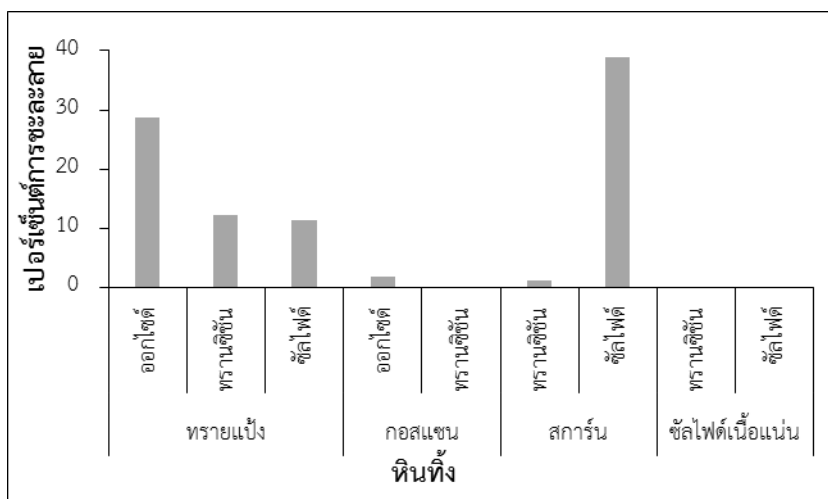


— มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

รูปที่ 4.23 ความเข้มข้นของสารหนูจากการชะละลายในดินทิ้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส (ก) พีเอช 2 (ข) พีเอช 4

สัดส่วนการชะละลายของสารหนูในดินทิ้ง พบว่าดินสการ์นในกองชัลไฟต์มีการชะละลายออกมาได้มากกว่าดินทิ้งประเภทอื่น แสดงดังรูปที่ 4.24 และนอกจากนี้ยังพบความเข้มข้นของสารหนูจากการชะละลายมีแนวโน้มแปรผันตามกับความเข้มข้นของสารหนูในดินทิ้ง แสดงดังตารางที่ 4.8 เห็นได้ชัดในดินกอสแซน เมื่อมีความเข้มข้นทั้งหมดสูงขึ้น ก็สามารถชะละลายออกมาได้ด้วยเช่นกัน เนื่องจากมีแร่เกอไทท์เป็นส่วนประกอบรอง และในแร่เกอไทท์มีสารหนูปะปนอยู่ในทำนอง

เดียวกันหินสการ์น เมื่อมีความเข้มข้นทั้งหมดสูงขึ้น ก็สามารถชะละลายออกมาได้ด้วยเช่นกัน เนื่องจากมีแร่อาร์ซีโนไฟไรต์ ซึ่งมีสารหนูเป็นธาตุหลัก (Assawincharoenkij, Hauzenberger et al.)



รูปที่ 4.24 สัดส่วนการชะละลายของสารหนูในหินที่

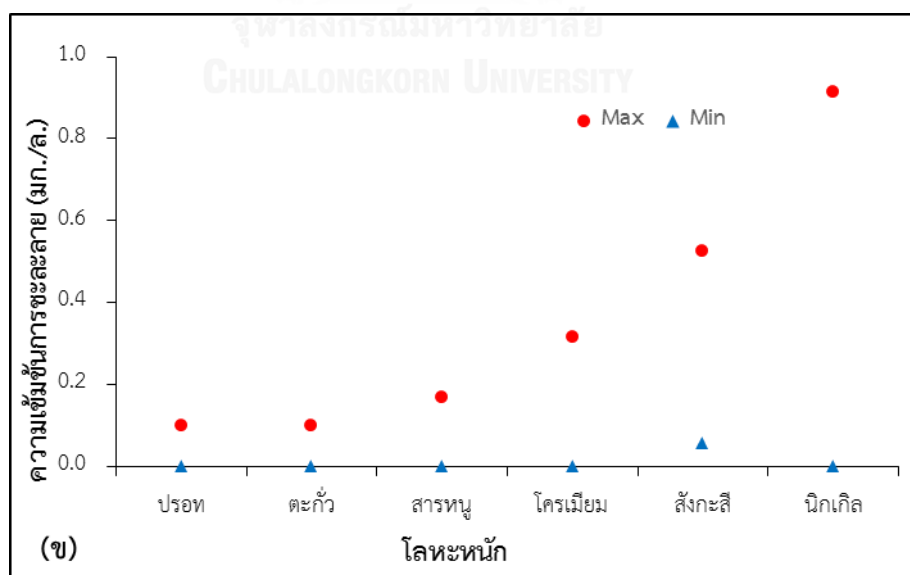
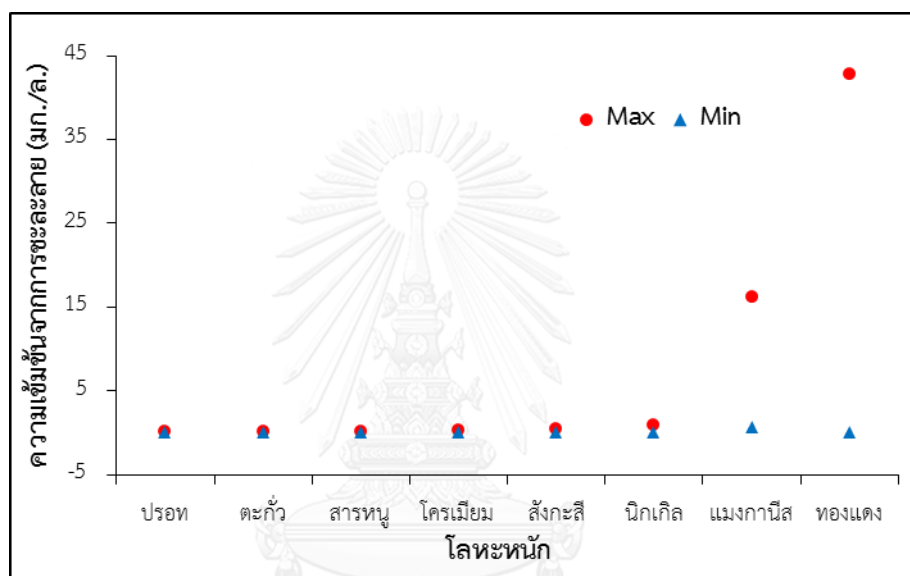
ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมด (มก./กก.) และความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูจากการชะละลาย (มก./ล.) ในหินที่ทุกประเภท

ประเภทหินที่	กองหินที่	ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูทั้งหมดในหินที่ (มก./กก.)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูจากการชะละลายจากหินที่ (มก./ล.)
สการ์น	ทรานซิซีน	355 ± 106	0.10 ± 0.05
กอสแซน	ออกไซด์	294 ± 30.90	0.14 ± 0.01
ทรายแป้ง	ทรานซิซีน	37.50 ± 5.64	0.12 ± 0.01
ทรายแป้ง	ออกไซด์	11.85 ± 0.94	0.09 ± 0.01
ซิลไฟต์เนื้อแน่น	ทรานซิซีน	9.77 ± 3.91	< 0.030
ทรายแป้ง	ซิลไฟต์	5.40 ± 0.39	0.02 ± 0.003
กอสแซน	ทรานซิซีน	4.35 ± 1.42	< 0.030
สการ์น	ซิลไฟต์	2.77 ± 0.17	0.03 ± 0.006
ซิลไฟต์เนื้อแน่น	ซิลไฟต์	2.18 ± 0.40	< 0.030

9) แคดเมียม

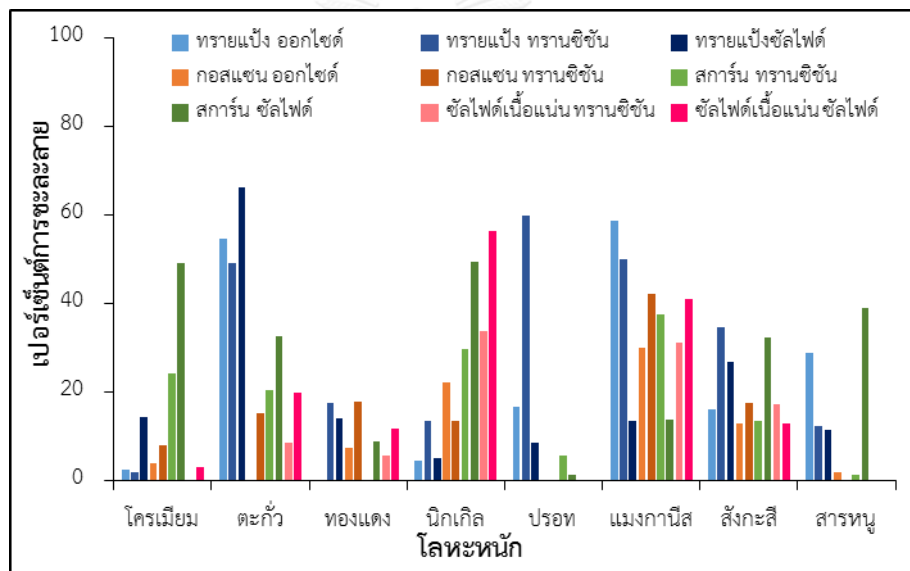
ไม่พบการชะละลายของแคดเมียม เนื่องจากมีค่าต่ำกว่าที่จะวิเคราะห์ได้

จากผลความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายพบทองแดงมีค่าการชะละลายสูงสุด (0.191 – 42.7700 มก./ล.) ตามด้วย แมงกานีสมีค่าการชะละลาย (0.6617 – 16.2233 มก./ล.) นิกเกิลมีค่าการชะละลาย (0.008 – 0.9149 มก./ล.) สังกะสีมีค่าการชะละลาย (0.0560 – 0.5263 มก./ล.) โครเมียมมีค่าการชะละลาย (0.007 – 0.3170 มก./ล.) สารหนูมีค่าการชะละลาย (0.030 – 0.1666 มก./ล.) ตะกั่วมีค่าการชะละลาย (0.006 – 0.0997 มก./ล.) และปรอทมีค่าการชะละลาย (0.001 – 0.0990 มก./ล.) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.25 และไม่พบการชะละลายของแคดเมียม เนื่องจากมีค่าต่ำกว่าที่จะวิเคราะห์ได้



รูปที่ 4.25 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้ง
(ก) โลหะหนักทุกชนิด (ข) ปรอท ตะกั่ว สารหนู โครเมียม สังกะสี และนิกเกิล

และจากผลสัดส่วนการชะละลายของโลหะหนักในหินทิ้งที่กล่าวไปข้างต้นนั้น พบว่า หินชัลไฟด์เนื้อแน่นมีความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายน้อยกว่าหินทิ้งชนิดอื่น ๆ แสดงดังรูปที่ 4.26 ซึ่งเห็นได้ชัดว่าไม่พบการชะละลายของปรอทและสารหนู ส่วนโครเมียม สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง มีสัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในหินชัลไฟด์เนื้อแน่นค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับหินทิ้งประเภทอื่น ๆ แต่พบทองแดงมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน และมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม เนื่องจากมีความเข้มข้นของทองแดงในหินทิ้งสูงมาก (รูปที่ 4.8) ยกเว้นแมงกานีสและนิกเกิลที่มีสัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในหินทิ้งสูง ซึ่งนิกเกิลในหินชัลไฟด์เนื้อแน่นในกองชัลไฟด์มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินด้วย (รูปที่ 4.11) เนื่องจากมีความเข้มข้นของนิกเกิลในหินทิ้งสูงนั่นเอง



รูปที่ 4.26 สัดส่วนการชะละลายของโลหะหนักทุกชนิดในหินทิ้งทุกประเภท

4.2 เปรียบเทียบกับค่าการชะละลายของโลหะหนักจากเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า ด้วยวิธี TCLP

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม (2555) ได้ทำการประเมินการชะละลายของโลหะหนักจากหินทิ้งในบริเวณเหมืองแร่ทองคำ ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ด้วยวิธี TCLP พบโลหะหนักที่มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน คือ ทองแดง และแมงกานีส และไม่พบตัวอย่างมีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ขณะที่การศึกษานี้ ซึ่งทดสอบด้วยวิธี SPLP พบความเข้มข้นจากการชะละลายของทองแดง แมงกานีส โครเมียม และปรอท จากหินทิ้งใน

เหมืองแร่ทองคำทับฟ้า จังหวัดเลย มีค่าเกินทั้งมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน และมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

จะเห็นได้ว่าวิธี SPLP ที่ทดสอบด้วยกรดซัลฟิวริกและกรดไนตริกในการชะละลาย ซึ่งเป็นสภาวะเดียวกับการเกิดน้ำเหมืองที่เป็นกรด ส่งผลให้ความเข้มข้นของโลหะหนักชะละลายออกมา มากกว่า วิธี TCLP

4.3 เปรียบเทียบกับความเข้มข้นโลหะหนักในน้ำผิวดินโดยรอบเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม (2555) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของมลสารในน้ำผิวดินช่วงหลังเปิดเหมือง โดยได้ทำการวิเคราะห์ 2 ครั้ง คือครั้งที่ 1 ในช่วงฤดูแล้ง (ก.พ. 2555) และครั้งที่ 2 ในช่วงฤดูฝน (พ.ค. 2555) พบสารหนูมีค่าเกินมาตรฐานบริเวณนอกเหมืองในช่วงฤดูฝน แมงกานีสมีค่าเกินมาตรฐานบริเวณนอกเหมืองทั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน และทองแดงมีค่าเกินมาตรฐานบริเวณในเหมืองทั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ในขณะที่การศึกษานี้พบว่าการชะละลายของหินทิ้งจากเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า จังหวัดเลย มีความเข้มข้นการชะละลายของทองแดง แมงกานีส โครเมียม และปรอท เกินทั้งมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

ฉะนั้นจะเห็นได้ว่า ผลการชะละลายของทองแดง และแมงกานีสจากหินทิ้งที่เกินมาตรฐานมีความสอดคล้องกับความเข้มข้นของโลหะที่เกินมาตรฐานในน้ำผิวดินตามธรรมชาติ

4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการชะละลาย

4.4.1 ประเภทหินทิ้งต่อความเข้มข้นจากการชะละลายโลหะหนัก

เนื่องจากหินทิ้งแต่ละประเภทมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ฉะนั้นเมื่อนำมาทำการทดสอบการชะละลายจึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำชะเปลี่ยนแปลงไป แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 พีเอชน้ำชะก่อนและหลังเขย่าของหินทิ้งแต่ละประเภท

ชนิดหิน	กองหินทิ้ง	พีเอช	อุณหภูมิ	พีเอชน้ำชะ		หมายเหตุ	ศักยภาพทำให้เกิดกรด	
				ก่อนเขย่า	หลังเขย่า		NAPP	NAGpH
ทรายแป้ง	ออกไซด์	2	30	5.74±0.40	7.39±0.08	เกิดฟองฟู	UC	PAF (pH = 3.14)
			40	5.76±0.09	7.11±0.07	เกิดฟองฟู		
			50	5.80±0.44	7.02±0.12	เกิดฟองฟู		
		4	30	9.06±0.03	8.42±0.14	เกิดฟองฟู		
			40	9.08±0.04	8.72±0.02	เกิดฟองฟู		
			50	9.12±0.08	8.66±0.01	เกิดฟองฟู		
	ทรานซิชั่น	2	30	4.71±1.03	7.24±0.02	เกิดฟองฟู	PAF NAF	PAF (pH = 2.46) NAF (pH = 4.82)
			40	2.27±0.05	3.88±0.24	-		
			50	2.42±0.02	6.44±0.03	-		
		4	30	8.47±0.05	7.96±0.03	เกิดฟองฟู		
			40	8.57±0.05	8.08±0.04	เกิดฟองฟู		
			50	8.62±0.07	7.69±0.15	เกิดฟองฟู		
	ซิลไฟต์	2	30	2.26±0.10	4.08±0.03	-	UC	NAF (pH = 4.56)
			40	2.15±0.04	2.62±0.12	-		
			50	2.25±0.01	3.11±0.02	-		
		4	30	7.07±0.53	7.84±0.14	เกิดฟองฟู		
			40	6.91±0.11	8.25±0.06	เกิดฟองฟู		
			50	7.24±0.05	8.09±0.04	เกิดฟองฟู		
กอสแซน	ออกไซด์	2	30	2.18±0.01	2.33±0.01	-	UC PAF PAF	NAP (pH = 6.47) PAF (pH = 3.97) PAF (pH = 3.06)
			40	2.12±0.01	2.17±0.01	-		
			50	2.20±0.01	2.23±0.02	-		
		4	30	5.02±0.06	5.59±0.20	-		
			40	5.05±0.10	5.38±0.10	-		
			50	4.58±0.21	5.06±0.10	-		

หมายเหตุ: ศักยภาพทำให้เกิดกรด ศึกษาโดยสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม (2555)

NAPP คือ การทดสอบเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการเกิดน้ำจากเหมืองเป็นกรด

NAGpH คือ การวัดศักยภาพการเกิดกรดซิลฟิวริก

PAF หมายถึง มีศักยภาพในการทำให้เกิดกรด

NAF หมายถึง ไม่มีศักยภาพในการทำให้เกิดกรด

UC หมายถึง ไม่สามารถแบ่งประเภทได้

ตารางที่ 4.9 พีเอชน้ำชะก่อนและหลังเขย่าของหินทิ้งแต่ละประเภท (ต่อ)

ชนิดหิน	กองหินทิ้ง	พีเอช	อุณหภูมิ	พีเอชน้ำชะ		หมายเหตุ	ศักยภาพทำให้เกิดกรด		
				ก่อนเขย่า	หลังเขย่า		NAPP	NAPP	
กอสแซน	ทรานซิชั่น	2	30	2.11±0.02	2.12±0.02	-	UC	PAF (pH = 3.16)	
			40	2.08±0.01	2.02±0.01	-			
			50	2.08±0.01	2.01±0.01	-			
		4	30	3.58±0.04	3.28±0.02	-			
			40	3.62±0.04	3.27±0.02	-			
			50	3.56±0.05	3.04±0.02	-			
สการ์น	ทรานซิชั่น	2	30	4.88±1.36	7.04±0.06	เกิดฟองฟู	NAF	NAF (pH = 7.11)	
			40	4.46±1.52	6.86±0.20	เกิดฟองฟู			
			50	4.28±1.26	6.93±0.02	เกิดฟองฟู			
		4	30	8.76±0.09	8.28±0.16	เกิดฟองฟู			
			40	8.89±0.06	8.65±0.11	เกิดฟองฟู			
			50	8.92±0.08	8.63±0.04	เกิดฟองฟู			
	ซิลไฟต์	ซิลไฟต์	2	30	2.16±0.02	2.52±0.04	-	NAF UC	NAF (pH = 6.37) NAF (pH = 6.54)
				40	2.17±0.05	2.38±0.09	-		
				50	2.21±0.02	2.73±0.17	-		
			4	30	8.58±0.07	8.37±0.05	เกิดฟองฟู		
				40	8.07±1.01	8.55±0.03	เกิดฟองฟู		
				50	8.63±0.18	8.33±0.33	เกิดฟองฟู		
ซิลไฟต์ เนื้อแน่น	ทรานซิชั่น	2	30	2.18±0.01	2.58±0.05	-	PAF	PAF (pH = 2.66)	
			40	2.11±0.04	2.54±0.12	-			
			50	2.14±0.01	2.49±0.03	-			
		4	30	3.39±0.04	3.35±0.11	-			
			40	3.42±0.05	3.20±0.02	-			
			50	3.35±0.08	3.10±0.28	-			
	ซิลไฟต์	ซิลไฟต์	2	30	2.24±0.06	3.14±0.11	-	PAF	PAF (pH = 2.54)
				40	2.16±0.07	2.98±0.12	-		
				50	2.23±0.01	3.06±0.02	-		
			4	30	3.98±0.11	4.21±0.06	-		
				40	3.84±0.06	4.15±0.07	-		
				50	3.85±0.02	3.88±0.13	-		

หมายเหตุ: ศักยภาพทำให้เกิดกรด ศึกษาโดยสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม (2555)

NAPP คือ การทดสอบเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการเกิดน้ำจากเหมืองเป็นกรด

NAGpH คือ การวัดศักยภาพการเกิดกรดซิลฟิวริก

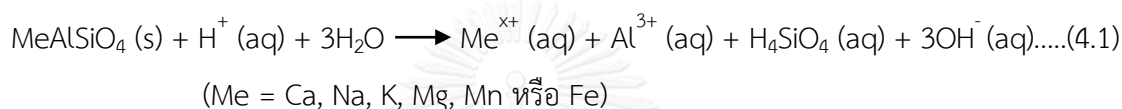
PAF หมายถึง มีศักยภาพในการทำให้เกิดกรด

NAF หมายถึง ไม่มีศักยภาพในการทำให้เกิดกรด

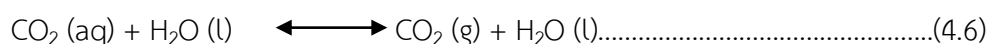
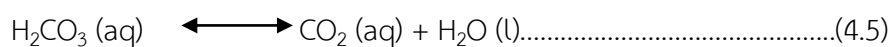
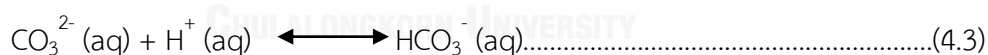
UC หมายถึง ไม่สามารถแบ่งประเภทได้

หินทรายแป้ง

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นว่าหินทรายแป้ง เมื่อทำการทดลองที่พีเอช 2 และ 4 พีเอชของน้ำชะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากในหินทรายแป้งมีแร่กลุ่มซิลิเกตเป็นส่วนประกอบหลัก (ชัยวัฒน์ สถาอานันท์ และ อุบลรัตน์ ศิริยุวศักดิ์ 2552) ซึ่งเมื่อแร่ซิลิเกตทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออน จะได้ไฮดรอกไซด์ (Puura E. and Neretnieks I. 2000) ดังสมการ (4.1) ซึ่งสามารถสะท้อนความเป็นกรดได้ ยกเว้นกองทรานซิชันและกองซัลไฟด์ที่พีเอช 2 ในบางอุณหภูมิที่แสดงค่าความเป็นกรด ทั้งนี้ อาจเกิดจากความเฉพาของหินตั้งแต่ละก้อน ถึงแม้จะเป็นประเภทเดียวกันแต่มีปริมาณซัลไฟด์อยู่มาก จึงมีศักยภาพของการทำให้เกิดกรด จึงทำให้มีความเป็นกรดต่ำอยู่แล้วในธรรมชาติ ค่าพีเอชของน้ำชะจึงไม่เปลี่ยนแปลงไป



นอกจากนี้ในหินทรายแป้งอาจมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบรอง (ชัยวัฒน์ สถาอานันท์ และ อุบลรัตน์ ศิริยุวศักดิ์ 2552) ซึ่งแร่คาร์บอเนตมีผลต่อความสามารถในการทำให้เป็นกลางของน้ำ เนื่องจากการละลายของแคลเซียมทำให้พีเอชในน้ำเพิ่มขึ้น (Brownlow 1996, Langmuir 1997) ดังสมการ (4.2) - (4.4) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใส่น้ำชะลงในตัวอย่างแล้วเกิดฟองฟู่ขึ้น แสดงว่ามีการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Puura E. and Neretnieks I. 2000) แสดงดังสมการที่ (4.6)



หินสการ์น

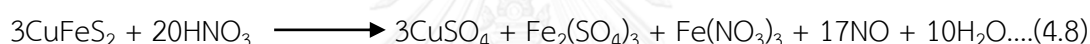
ในทำนองเดียวกันจากตารางที่ 4.9 หินสการ์น พบว่าเมื่อทำการทดลองที่พีเอช 2 และ 4 พีเอชน้ำชะมีค่าเพิ่มขึ้น นั้นเกิดจากในหินสการ์นมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบหลัก (ชัยวัฒน์ สถาอานันท์ และ อุบลรัตน์ ศิริยุวศักดิ์ 2552) ทำให้เกิดการสะท้อนความเป็นกรดในน้ำชะได้ ดังสมการ (4.2) ยกเว้นกองซัลไฟด์ที่พีเอช 2 ซึ่งมีปริมาณซัลไฟด์อยู่มาก และทำให้น้ำชะมีความเป็น

กรดในทำนองเดียวกับหินทรายแป้ง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใส่น้ำชะลงในตัวอย่างแล้วเกิดฟองฟูขึ้น นั่นคือ เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยา ดังสมการ (4.6) เช่นเดียวกับหินทรายแป้ง

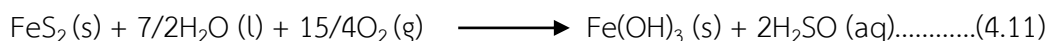
หินกอสแซนและหินซัลไฟด์เนื้อแน่น

จากตารางที่ 4.9 พบว่าพีเอชของน้ำชะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าในหินทั้งทั้ง 2 ประเภทนี้ไม่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสถาบันวิจัยสถานะแวดล้อม (2555) ที่พบว่าหินกอสแซน และหินซัลไฟด์เนื้อแน่นมีศักยภาพทำให้เกิดกรด (PAF)

และนอกจากนี้ยังพบสัดส่วนการชะละลายของโลหะหนักในหินซัลไฟด์เนื้อแน่นมีค่าน้อยกว่าหินทั้งประเภทอื่น ๆ (รูปที่ 4.26) ทั้งนี้เพราะหินซัลไฟด์เนื้อแน่นมีส่วนประกอบหลัก คือ แร่ซัลไฟด์ ซึ่งมีความเสถียร (Hawkes and J. S. Webb. 1962, Peter 1978) จึงทำให้โลหะหนักสามารถชะละลายออกมาได้น้อย แม้ในสภาวะเป็นกรด ดังสมการ (4.7) – 4.10)



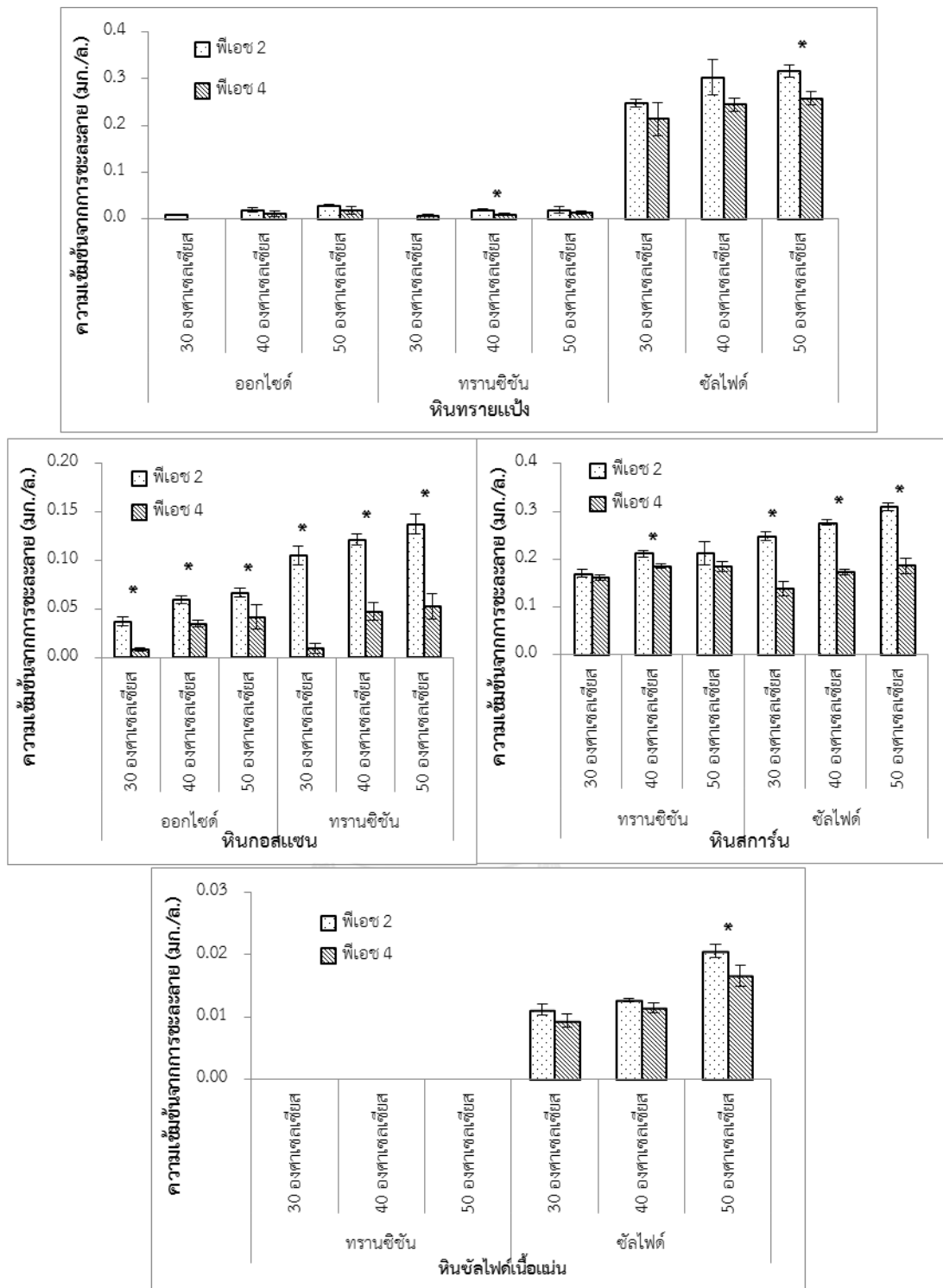
จากสมการข้างต้นเห็นได้ว่า ในการชะละลายโลหะหนักต้องใช้กรดจำนวนมากในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นโลหะหนักที่ถูกชะออกมาจึงมีน้อย แต่หากปล่อยไว้ในที่โล่งโดยไม่มีการจัดการที่ดี แร่ซัลไฟด์ที่อยู่ในหินซัลไฟด์เนื้อแน่นจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดน้ำทิ้งจากเหมืองเป็นกรด และโลหะหนักจะอยู่ในรูปที่ไม่เสถียรสามารถชะละลายออกมาได้ง่ายขึ้น (Nordstrom 1982) ดังสมการ (4.11)



4.4.2 ผลของพีเอชต่อความเข้มข้นจากการชะละลายโลหะหนักในหินทิ้ง

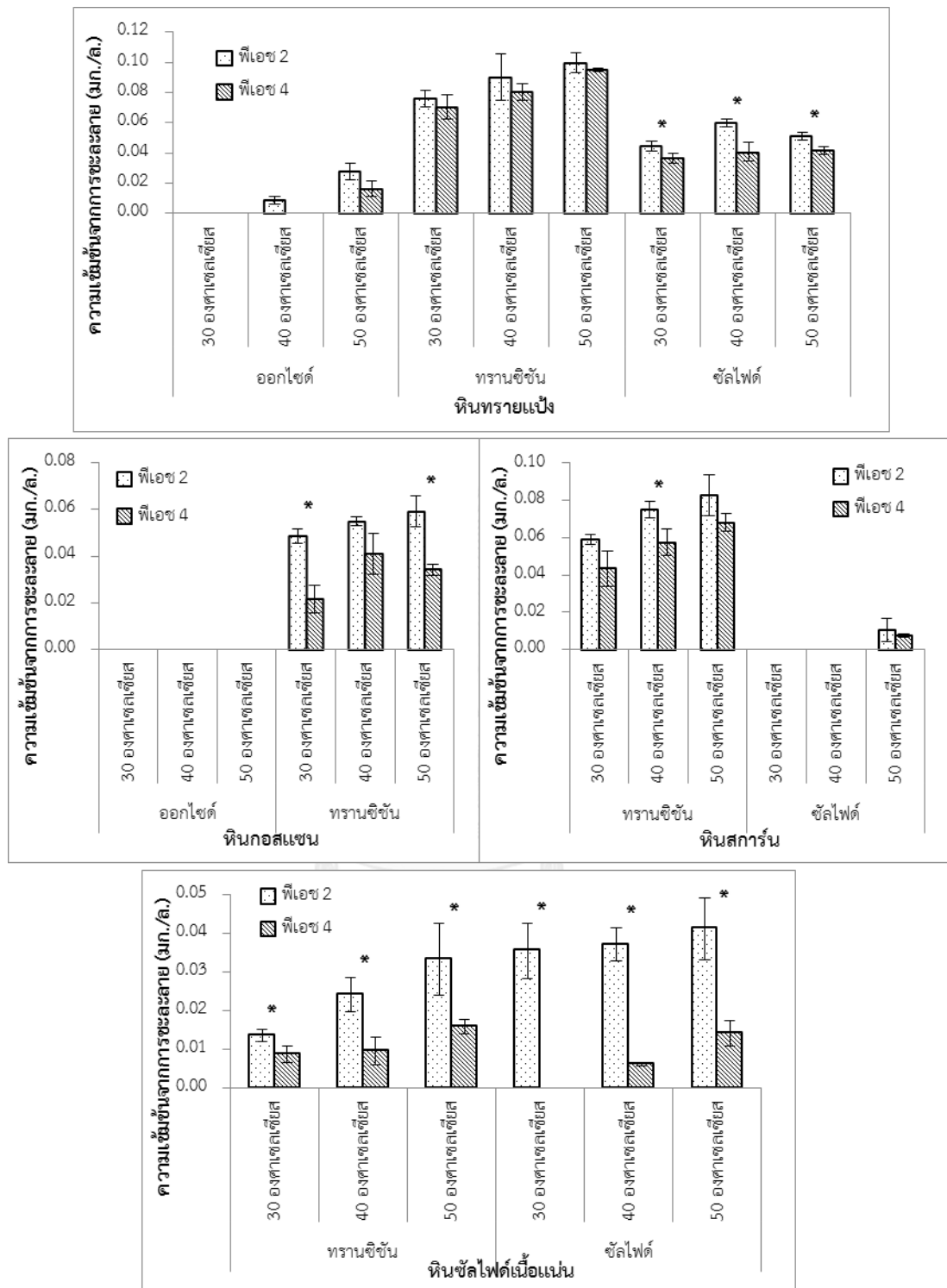
ผลการทดสอบพบว่าส่วนใหญ่ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายที่พีเอช 2 มีค่ามากกว่าที่พีเอช 4 สอดคล้องกับงานวิจัยของจุฬาลักษณ์ ชาญกุล (2551) และชุติมา คล่องสำราญ (2557) โดยพบว่าส่วนใหญ่แล้วความเข้มข้นของโลหะหนักมีค่าความเข้มข้นสูงสุดที่พีเอช 2 รองลงมาคือพีเอช 4 และ 6 ตามลำดับ เนื่องจากความสามารถในการละลายของโลหะหนักมีค่าสูงขึ้นเมื่อพีเอชต่ำลง ทำให้โลหะหนักที่มีอยู่ในหินทิ้งชะละลายออกมาได้มากขึ้นเมื่อค่าพีเอชลดลง (Jang, Townsend et al. 2002, Van der Sloot and Van Zomeren 2012) ซึ่งหินแต่ละก้อนมีปริมาณโลหะหนักไม่เท่ากัน แม้จะเป็นหินชนิดเดียวกัน เกิดในบริเวณเดียวกันทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงในแต่ละธาตุ

เมื่อนำผลการวิเคราะห์มาทดสอบความแตกต่างกันของความเข้มข้นโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้งระหว่างพีเอช 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญด้วยวิธีทางสถิติแบบ t-test โดยกำหนดให้ ความเข้มข้นโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้งที่พีเอช 2 มีความแตกต่างกับพีเอช 4 อย่างมีนัยสำคัญก็ต่อเมื่อ $p < 0.05$ แสดงดังรูปที่ 4.27 – 4.34 และรายละเอียดค่าความแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ ง.1 (ภาคผนวก ง) จากผลการทดสอบจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 216 ตัวอย่าง มี 52 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนักระหว่างพีเอช 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อมีพีเอชลดลงส่งผลให้ความเข้มข้นโลหะหนักจากการชะละลายเพิ่มขึ้น



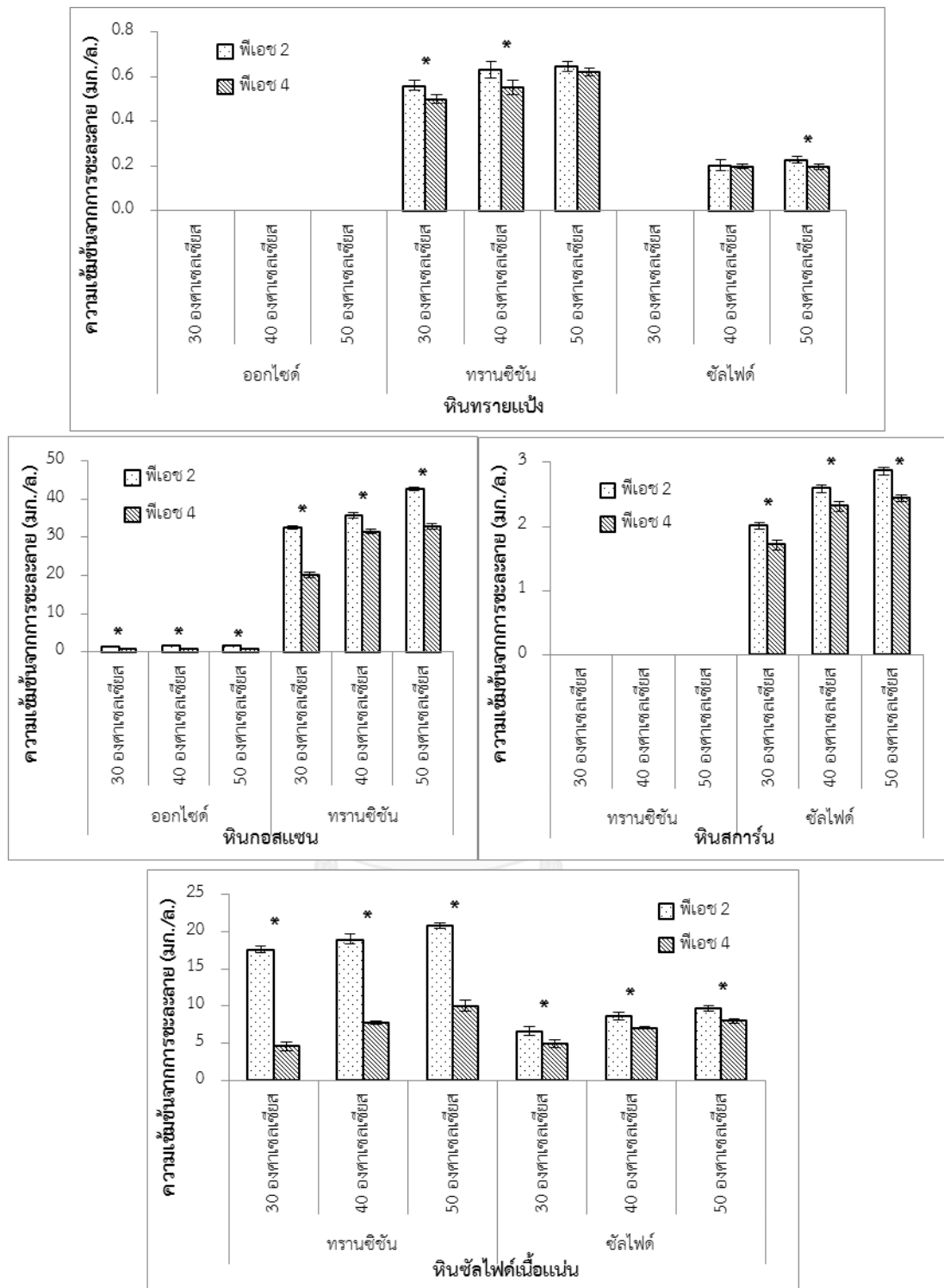
รูปที่ 4.27 ความเข้มข้นของโครเมียมจากการชะละลายในดินทั้งทุกประเภท ที่พีไอช 2 และ 4 และที่อุณหภูมิตั้งแต่ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ: * บนคราพระหว่างพีไอช 2 และ 4 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



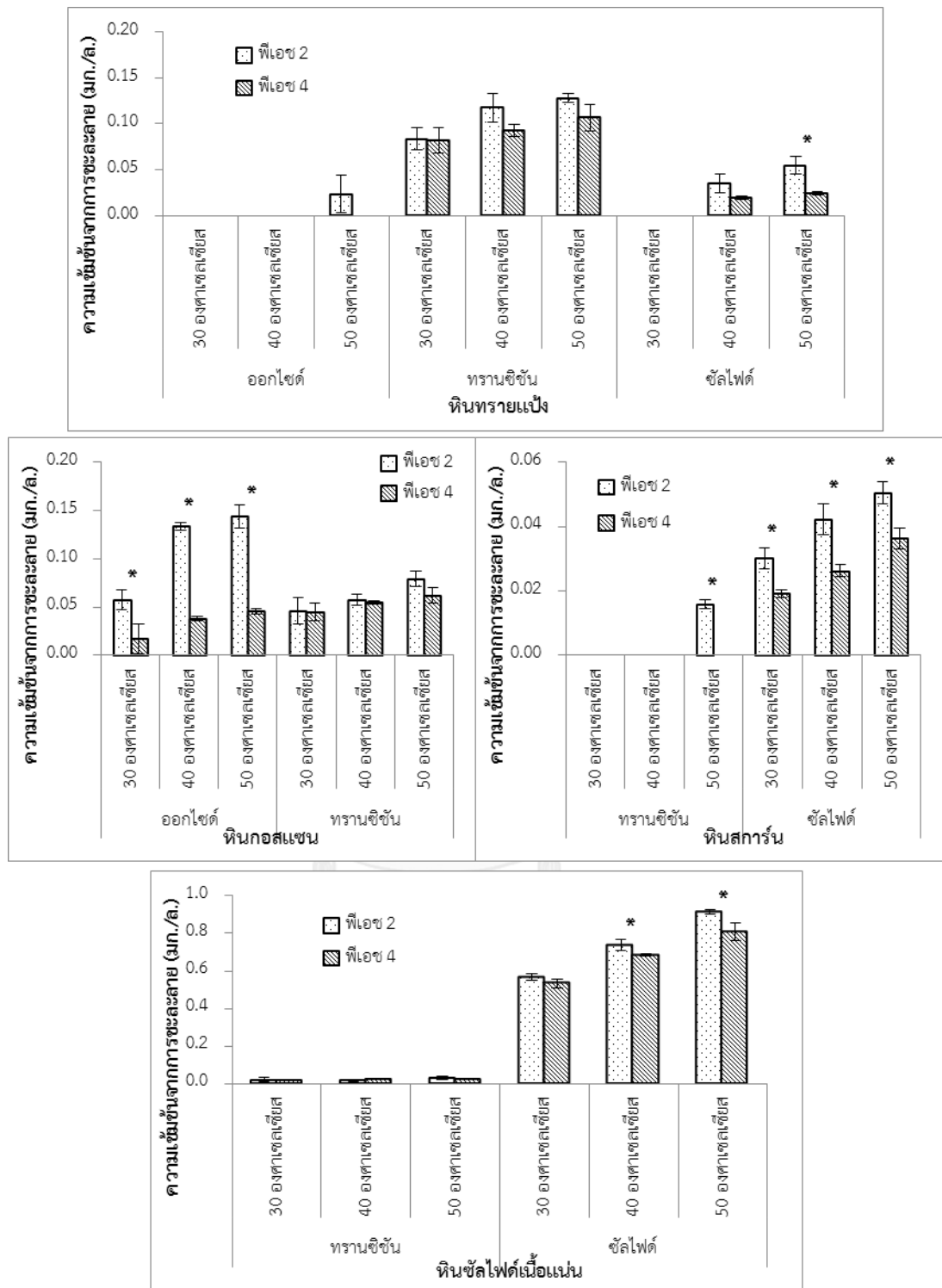
รูปที่ 4.28 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4 และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ: * บนกราฟระหว่างพีเอช 2 และ 4 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



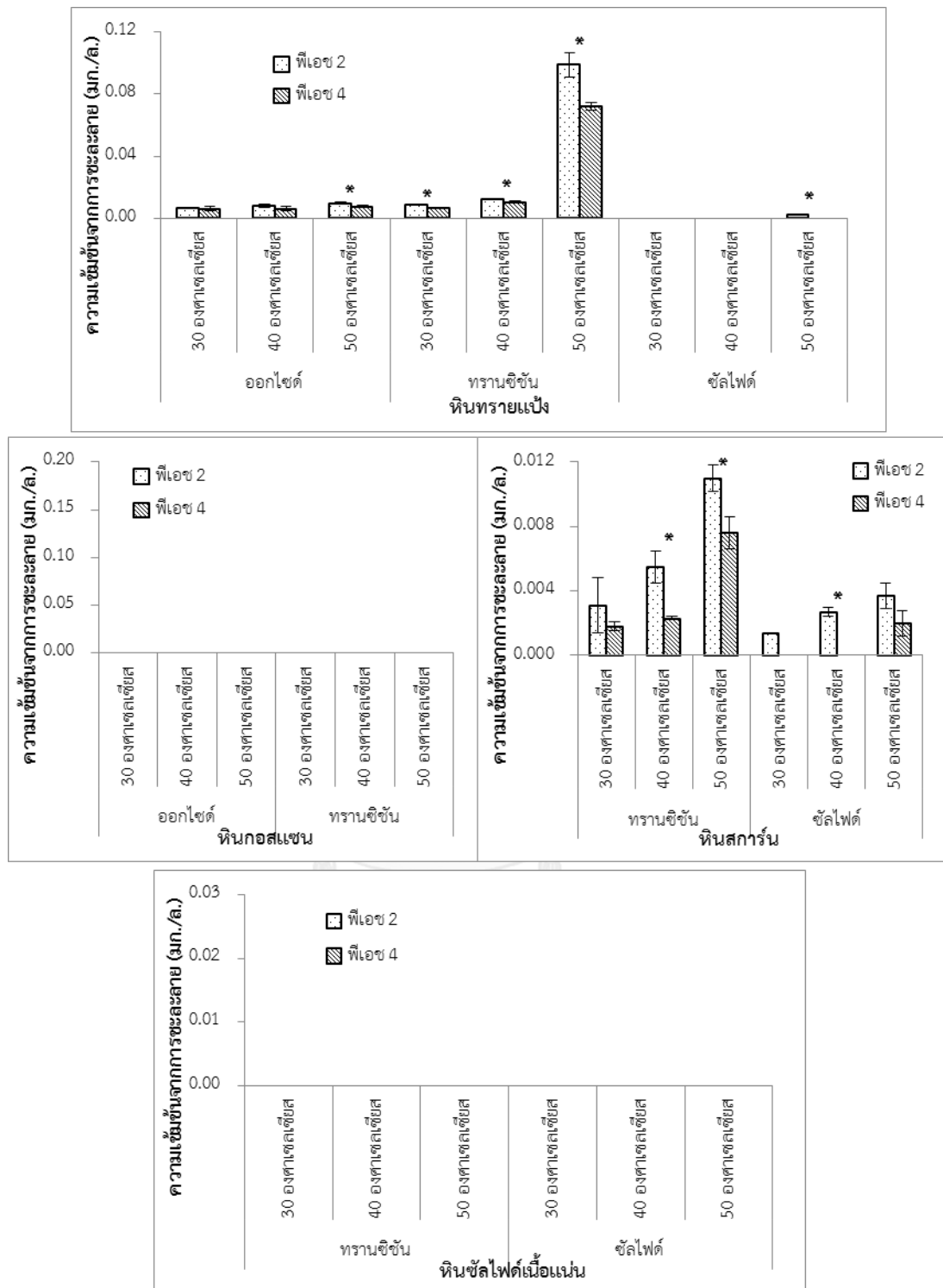
รูปที่ 4.29 ความเข้มข้นของทองแดงจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4 และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ: * บนกราฟระหว่างพีเอช 2 และ 4 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



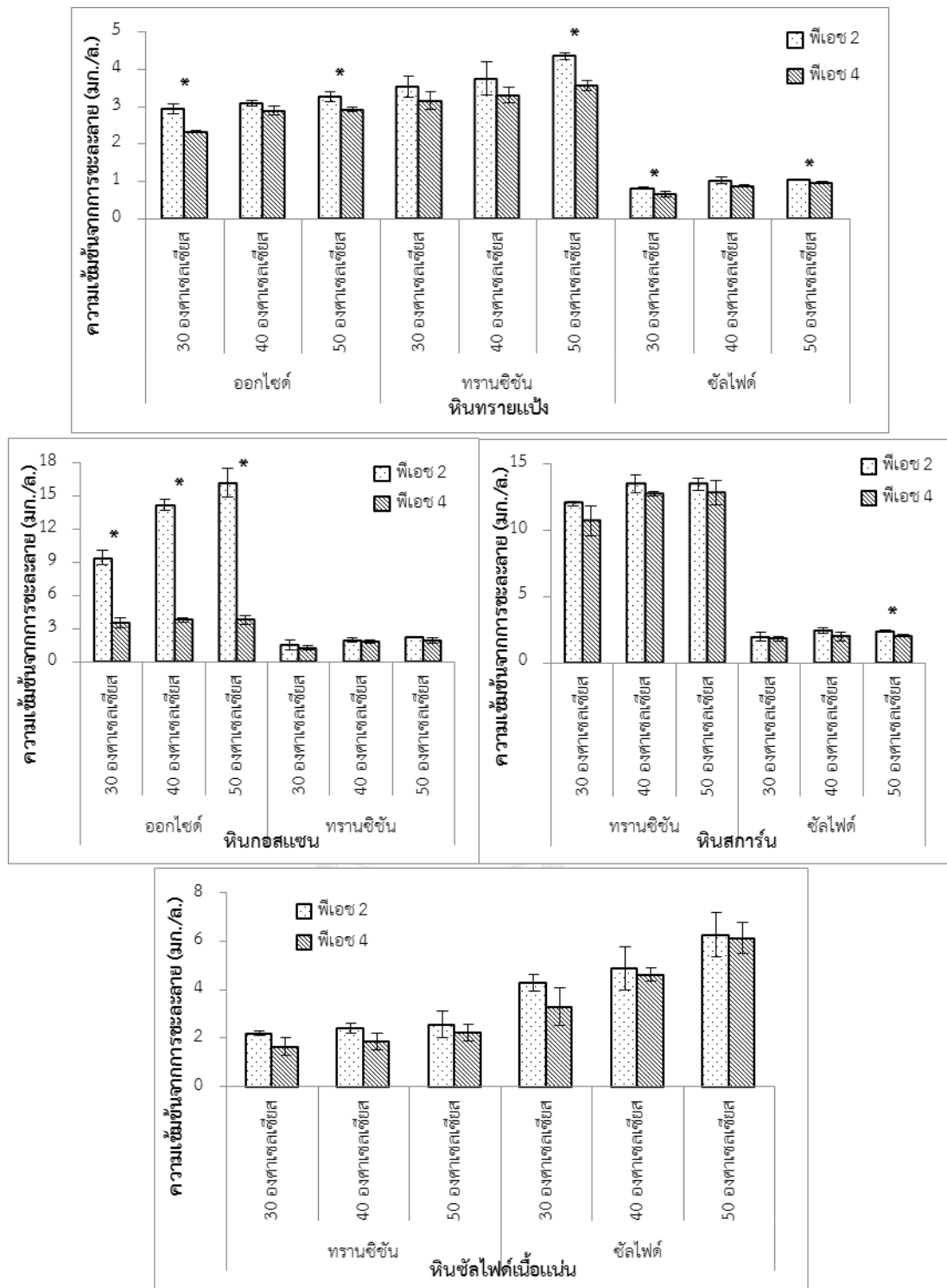
รูปที่ 4.30 ความเข้มข้นของนิเกิลจากการชะละลายในหินทั้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4 และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ: * บนกราฟระหว่างพีเอช 2 และ 4 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



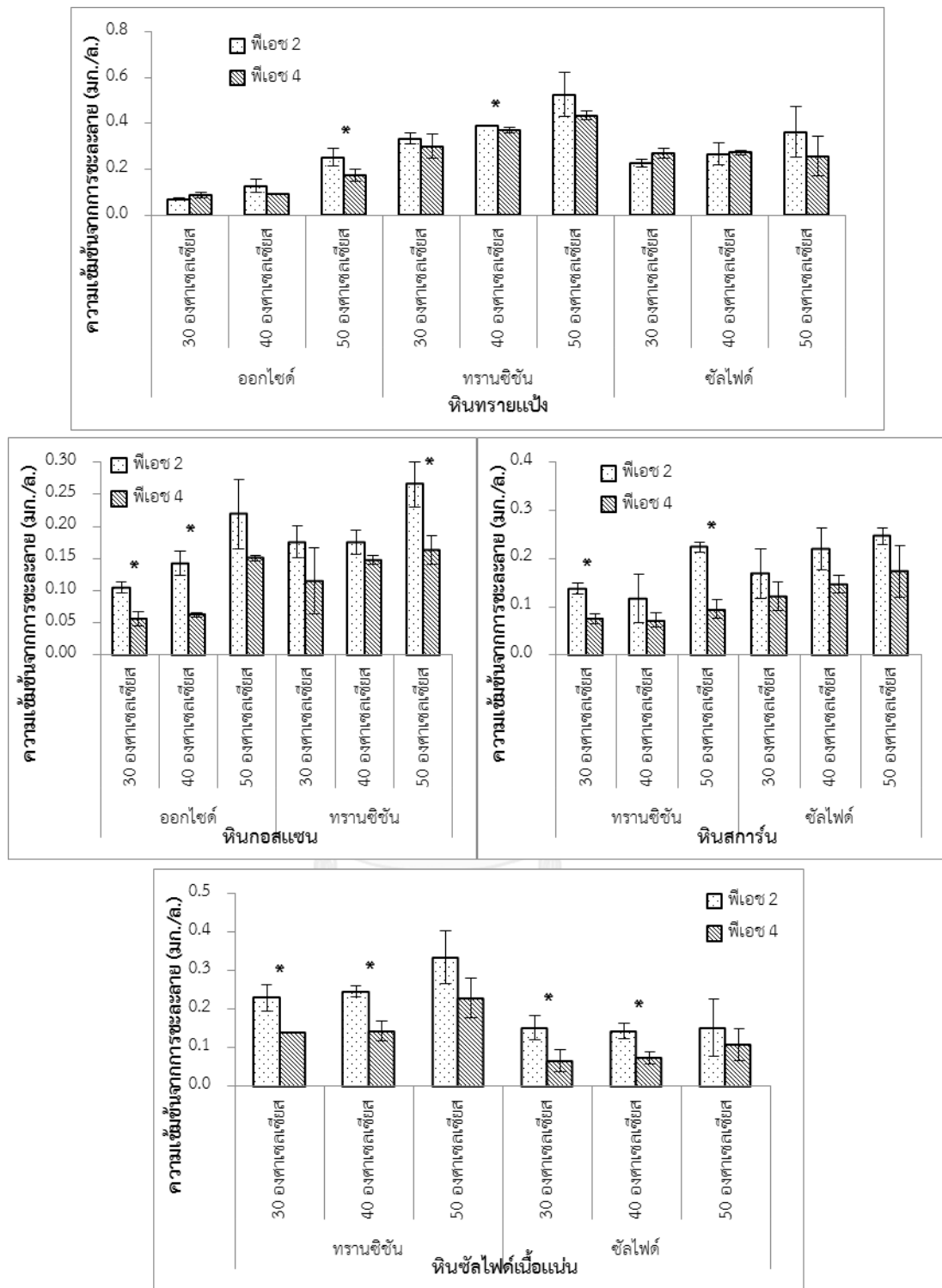
รูปที่ 4.31 ความเข้มข้นของโปรทจากการชะละลายในหินทั้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4 และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ: * บนกราฟระหว่างพีเอช 2 และ 4 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



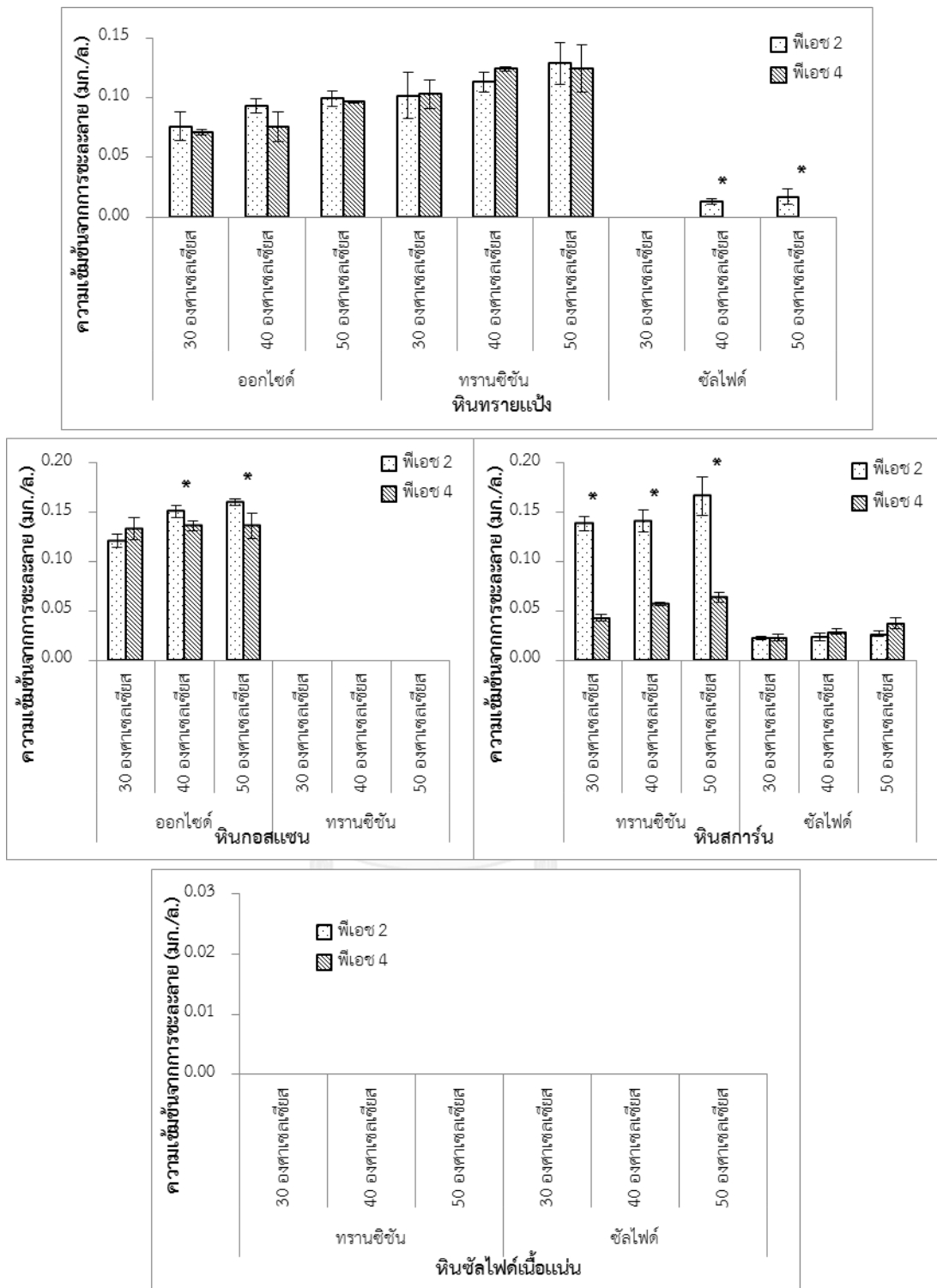
รูปที่ 4.32 ความเข้มข้นของแมงกานีสจากการชะละลายในหินทั้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4 และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ: * บนกราฟระหว่างพีเอช 2 และ 4 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



รูปที่ 4.33 ความเข้มข้นของสิ่งก่สิจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่ฟิเอช 2 และ 4 และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ: * บนกราฟระหว่างฟิเอช 2 และ 4 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p < 0.05)



รูปที่ 4.34 ความเข้มข้นของสารหนูจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4 และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ: * บนกราฟระหว่างพีเอช 2 และ 4 หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p < 0.05)

นอกจากนี้โลหะหนักที่พบมีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนักระหว่างพีเอช 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ มากที่สุด คือ ทองแดง เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมดที่ชะละลาย และรายละเอียดโลหะหนักอื่น ๆ แสดงดังตาราง 4.10

ตารางที่ 4.10 ตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นโลหะหนักระหว่างพีเอช 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ (เปอร์เซ็นต์) และชนิดหินที่พบความเข้มข้นจากการชะละลายเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินในทุกสภาวะ แต่ละโลหะหนัก

โลหะหนัก	ตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นโลหะหนักระหว่างพีเอช 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ (เปอร์เซ็นต์)	ชนิดหินที่พบความเข้มข้นจากการชะละลายเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินในทุกสภาวะ
ทองแดง	90	ทรายแป้ง กอสแซน สการ์น และซิลไฟต์เนื้อแน่น
ปรอท	62	ทรายแป้ง และสการ์น
ตะกั่ว	57	ทรายแป้ง และสการ์น
โครเมียม	54	ทรายแป้ง กอสแซน และสการ์น

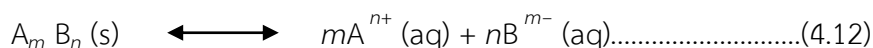
และชนิดหินที่พบมีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนักระหว่างพีเอช 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ มากที่สุด คือ หินกอสแซน เท่ากับ 64 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมดที่ชะละลาย และรายละเอียดหินทิ้งประเภทอื่น ๆ แสดงดังตาราง 4.11

ตารางที่ 4.11 ตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนักระหว่างพีเอช 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ

ชนิดหิน	ตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนักระหว่างพีเอช 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ(เปอร์เซ็นต์)
กอสแซน	64
ซิลไฟต์เนื้อแน่น	58
สการ์น	54
ทรายแป้ง	38

4.4.3 ผลของอุณหภูมิต่อความเข้มข้นการชะละลายโลหะหนักในหินทิ้ง

ผลการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายสูงสุดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และลดลงที่อุณหภูมิ 40 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guo, Huang et al. (2013) ที่พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ค่า K_{sp}^{\ominus} ที่สูงมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ตามสมการที่ 4.16 จึงมีผลทำให้การชะละลายของโลหะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ดังสมการที่ 4.13



$$K_{sp}^{\ominus} = [A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n \dots \dots \dots (4.13)$$

$$\Delta G_T^{\ominus} = -RT \ln K_{sp}^{\ominus} \dots \dots \dots (4.14)$$

$$\Delta G_T^{\ominus} = \Delta H_{298}^{\ominus} - T \Delta S_{298}^{\ominus} \dots \dots \dots (4.15)$$

$$\Delta H_{298}^{\ominus} = T (\Delta S_{298}^{\ominus} - R \ln K_{sp}^{\ominus}) \dots \dots \dots (4.16)$$

โดย ΔG_T^{\ominus} คือ ค่าพลังงานอิสระของกิบส์ (Gibbs free energy)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (8.314 J/K·mol)

T คือ อุณหภูมิ (เคลวิน)

K_{sp}^{\ominus} คือ ค่าคงที่ของการละลาย

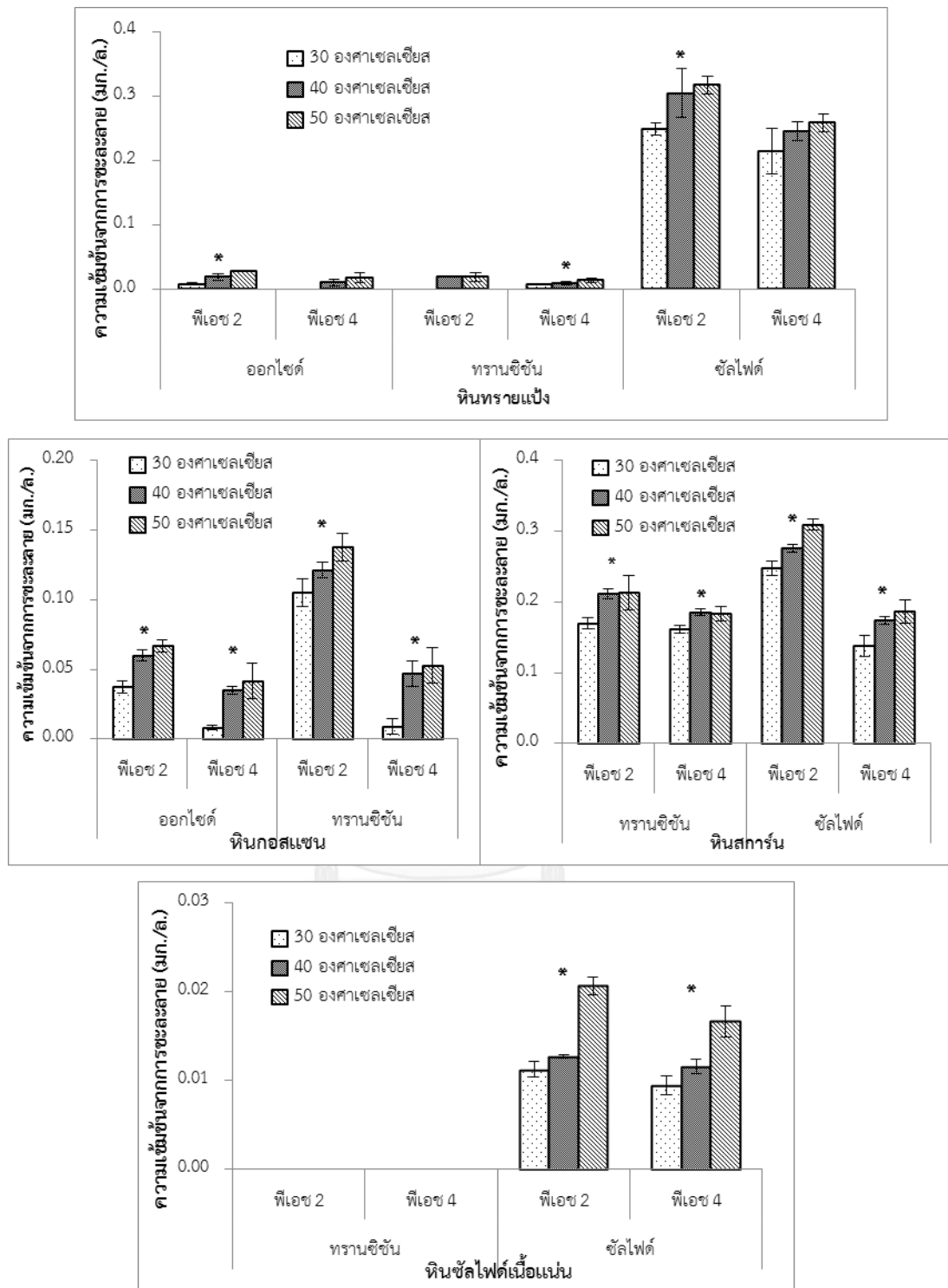
A และ B หมายถึง สารตั้งต้นที่ใช้

m และ n หมายถึง จำนวนโมลของสาร

ΔH คือ พลังงานของปฏิกิริยา (Enthalpy)

ΔS คือ ปริมาณที่บอกถึงความไม่เป็นระเบียบของระบบ (Entropy)

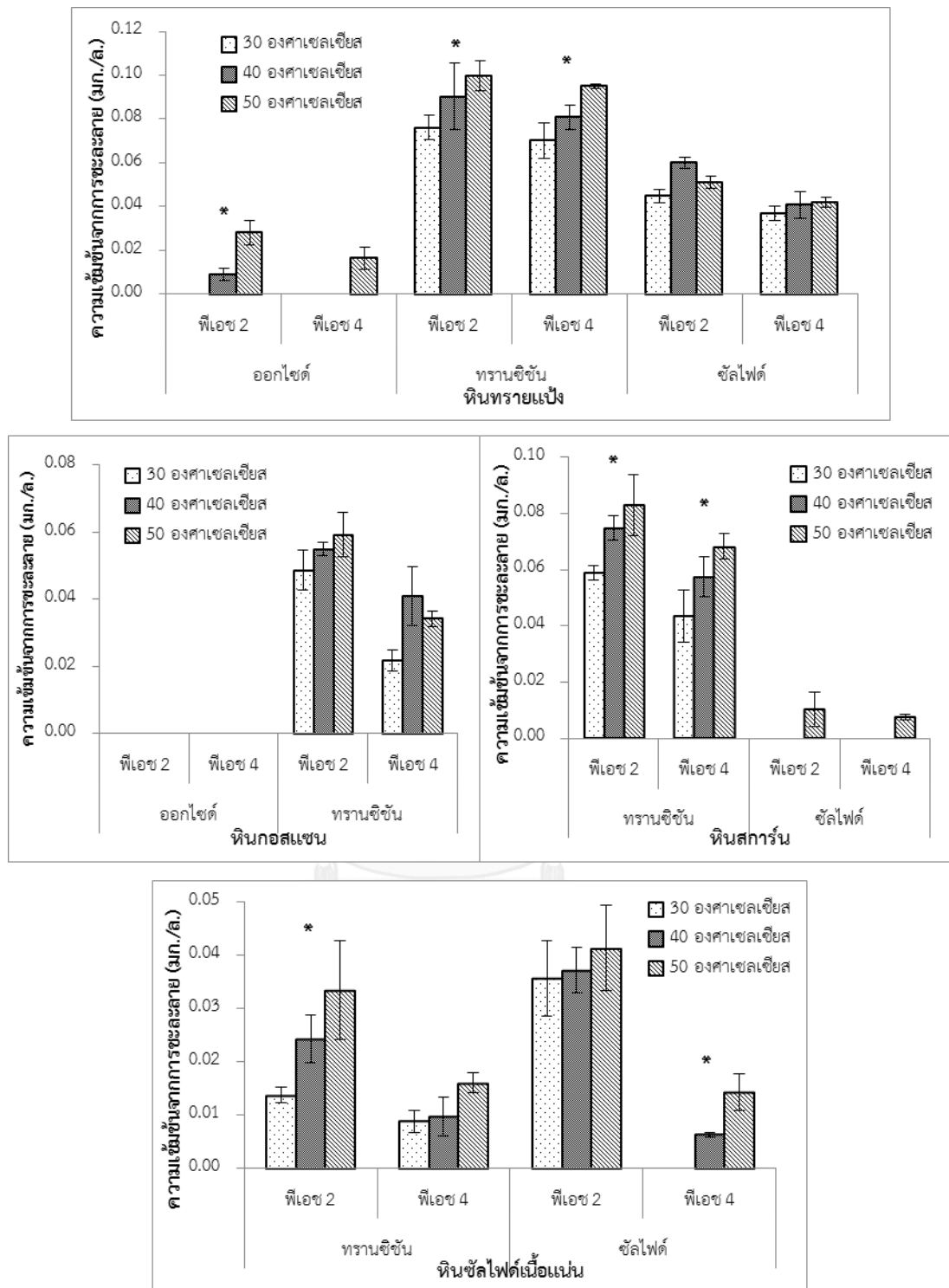
เมื่อนำผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้งมาทดสอบความแตกต่างกันที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ด้วย One-way ANOVA แสดงดังตารางที่ ง.2 (ภาคผนวก ง) โดยกำหนดให้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญก็ต่อเมื่อ $p < 0.05$ พร้อมทั้งทดสอบความสัมพันธ์ของความแตกต่างของความเข้มข้นโลหะที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ด้วย Regression analysis แสดงดังตารางที่ ง.3 (ภาคผนวก ง) โดยในการศึกษานี้กำหนดให้ $R^2 > 0.600$ (Neil J. Salkind. 2015) จึงจะถือว่าความเข้มข้นโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้งที่อุณหภูมิ 50 มากกว่า 40 และ 30 องศาเซลเซียส มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 4.35 – 4.42 จากผลการทดสอบจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 144 ตัวอย่าง มี 57 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนักระหว่างอุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส และมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยหรือสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.35 ความเข้มข้นของโครเมียมจากการชะละลายในหินทั้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4 และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ : * บนกราฟระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ หมายถึง มีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$)

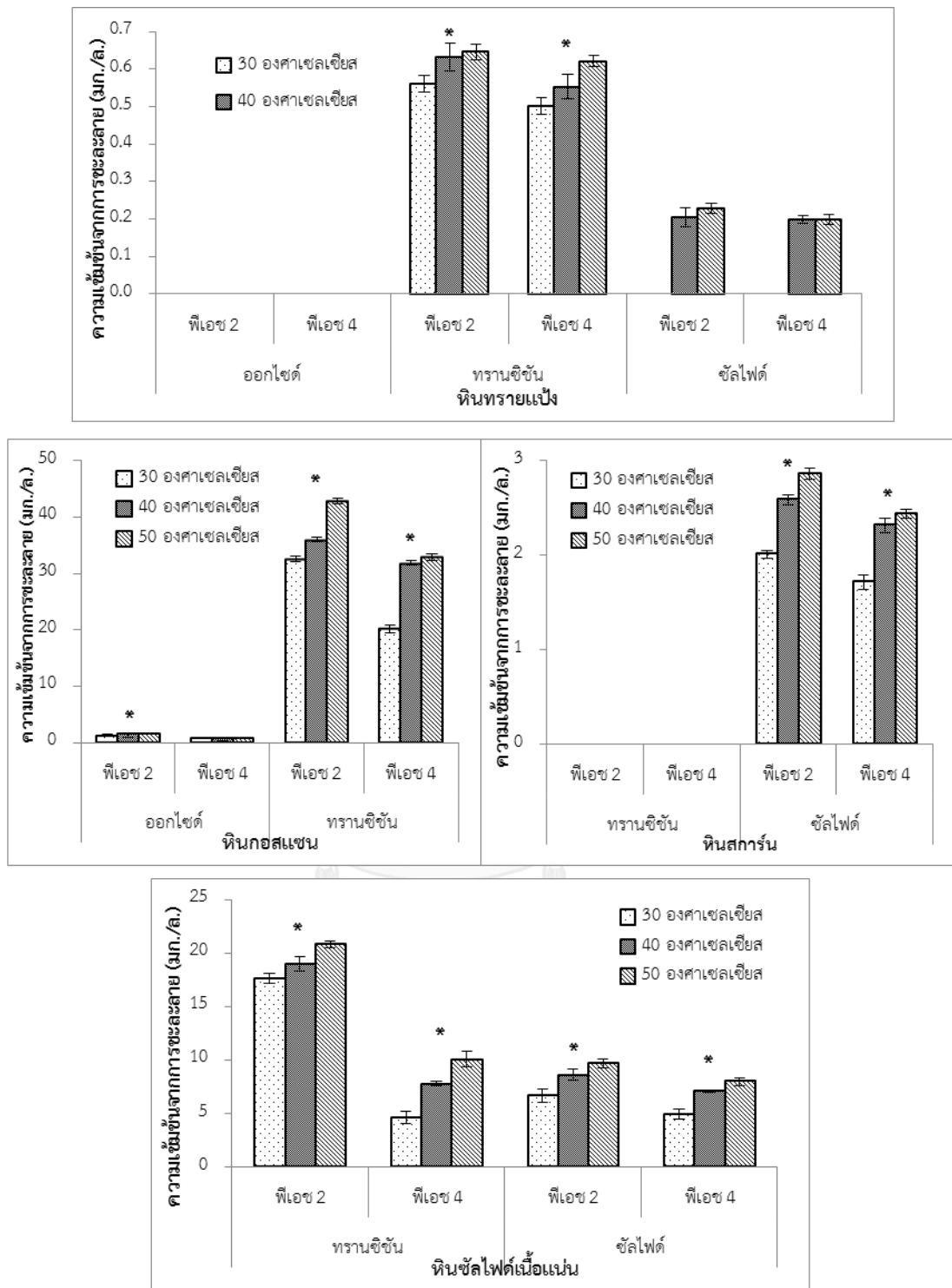
และมีความสัมพันธ์กัน ($R^2 = 0.600$) อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.36 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4 และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ : * บนคราพระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ หมายถึง มีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$)

และมีความสัมพันธ์กัน ($R^2 = 0.600$) อย่างมีนัยสำคัญ

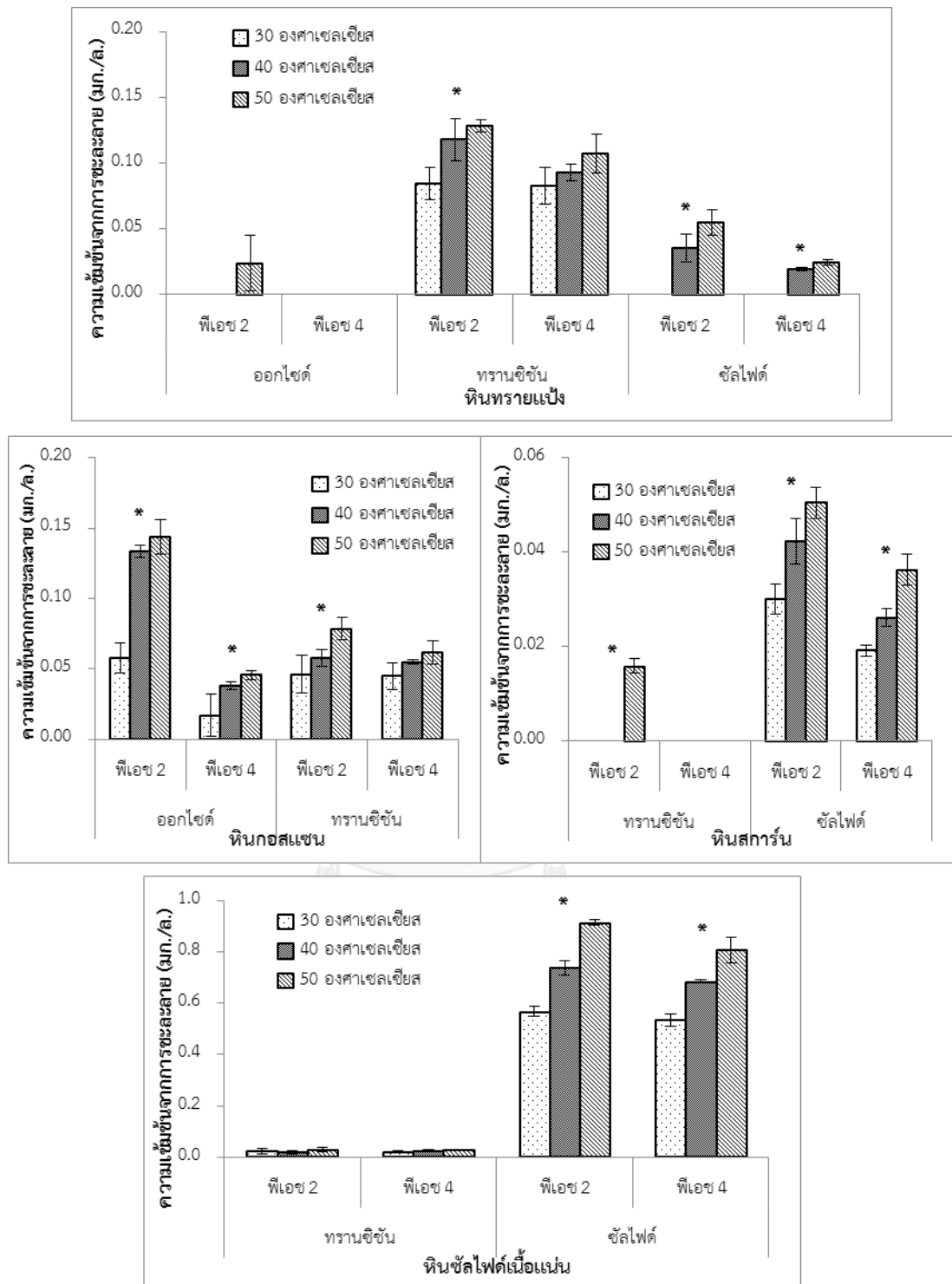


รูปที่ 4.37 ความเข้มข้นของทองแดงจากการชะละลายในดินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4

และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ : * บนกราฟระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ หมายถึง มีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$)

และมีความสัมพันธ์กัน ($R^2 = 0.600$) อย่างมีนัยสำคัญ

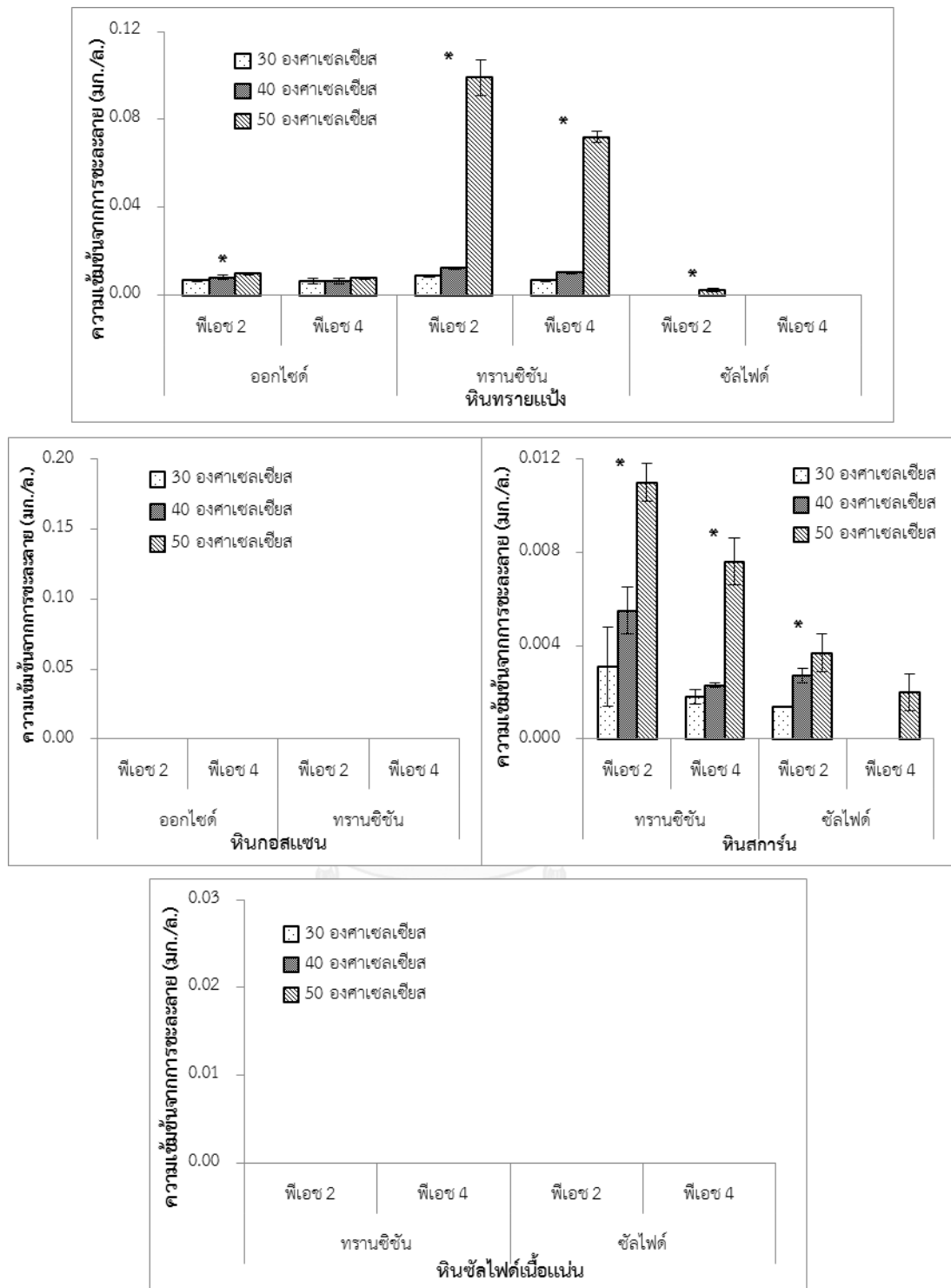


รูปที่ 4.38 ความเข้มข้นของนิเกิลจากการชะละลายในดินทั้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4

และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ : * บนกราฟระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ หมายถึง มีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$)

และมีความสัมพันธ์กัน ($R^2 = 0.600$) อย่างมีนัยสำคัญ

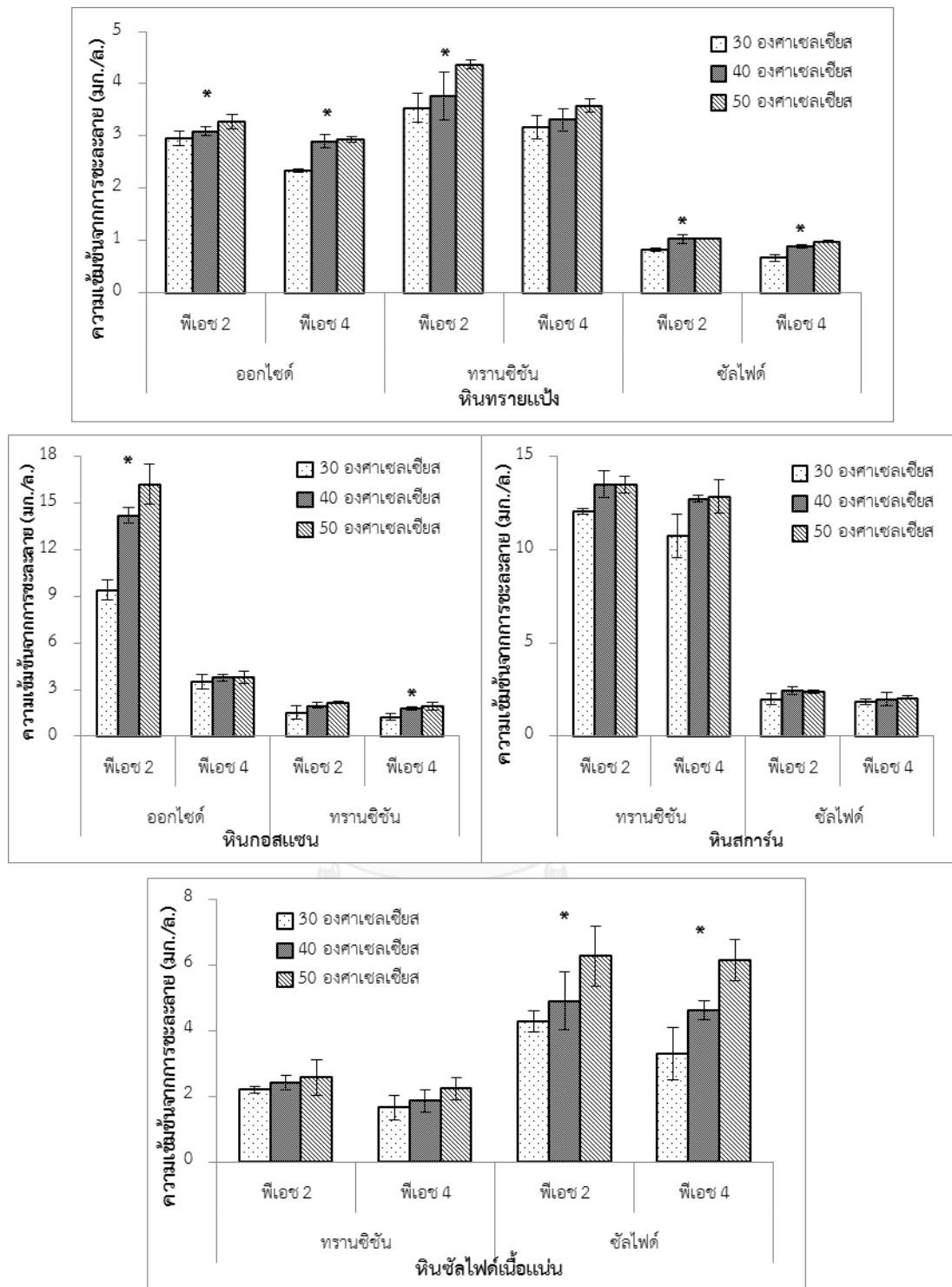


รูปที่ 4.39 ความเข้มข้นของปรอทจากการชะละลายในหินทั้งทุกประเภท ที่ฟีดเอช 2 และ 4

และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ : * บนกราฟระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ หมายถึง มีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$)

และมีความสัมพันธ์กัน ($R^2 = 0.600$) อย่างมีนัยสำคัญ

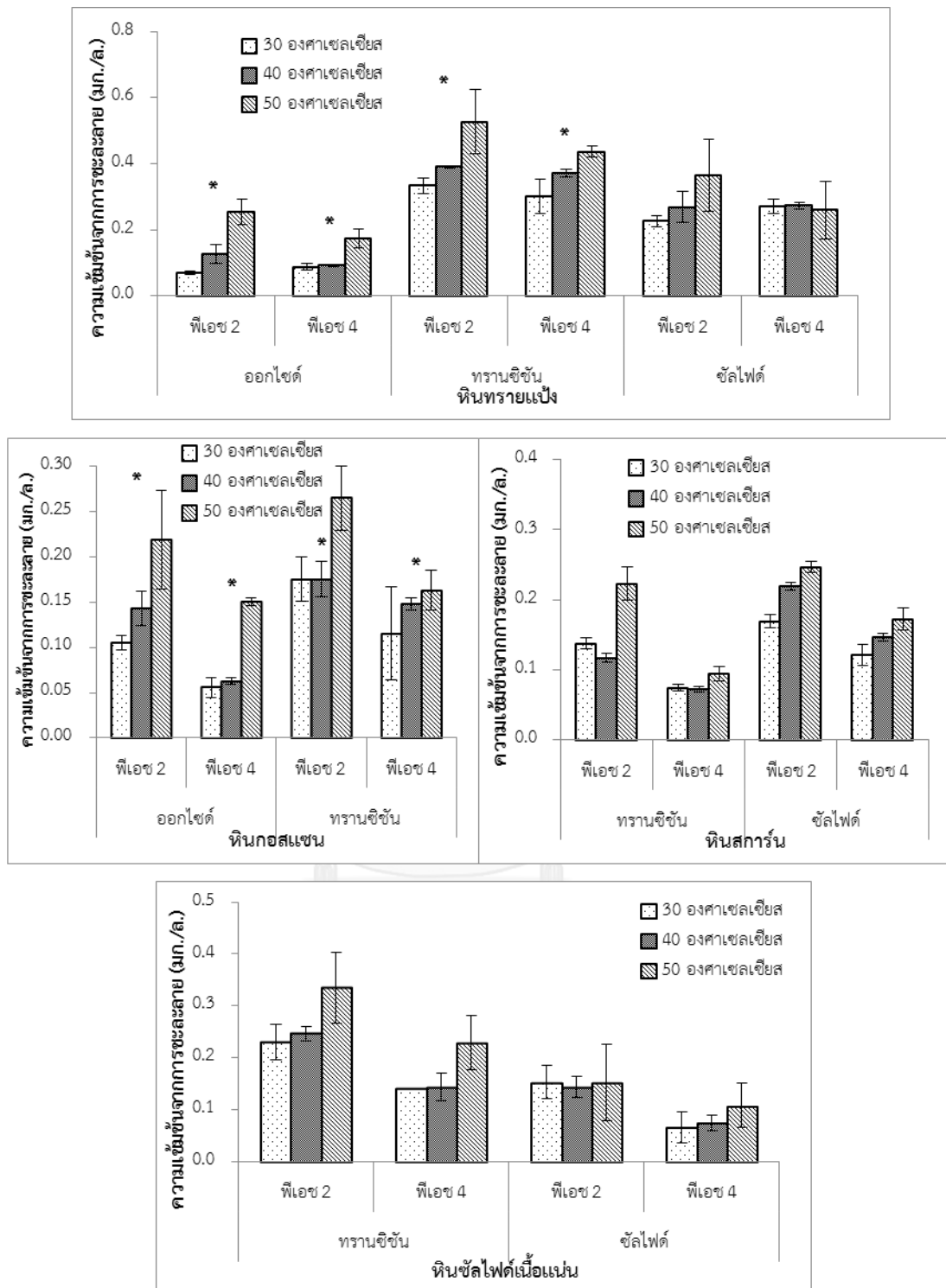


รูปที่ 4.40 ความเข้มข้นของแมงกานีสจากการชะละลายในดินทั้งทุกประเภท ที่ฟีดเอช 2 และ 4

และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ : * บนกราฟระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ หมายถึง มีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$)

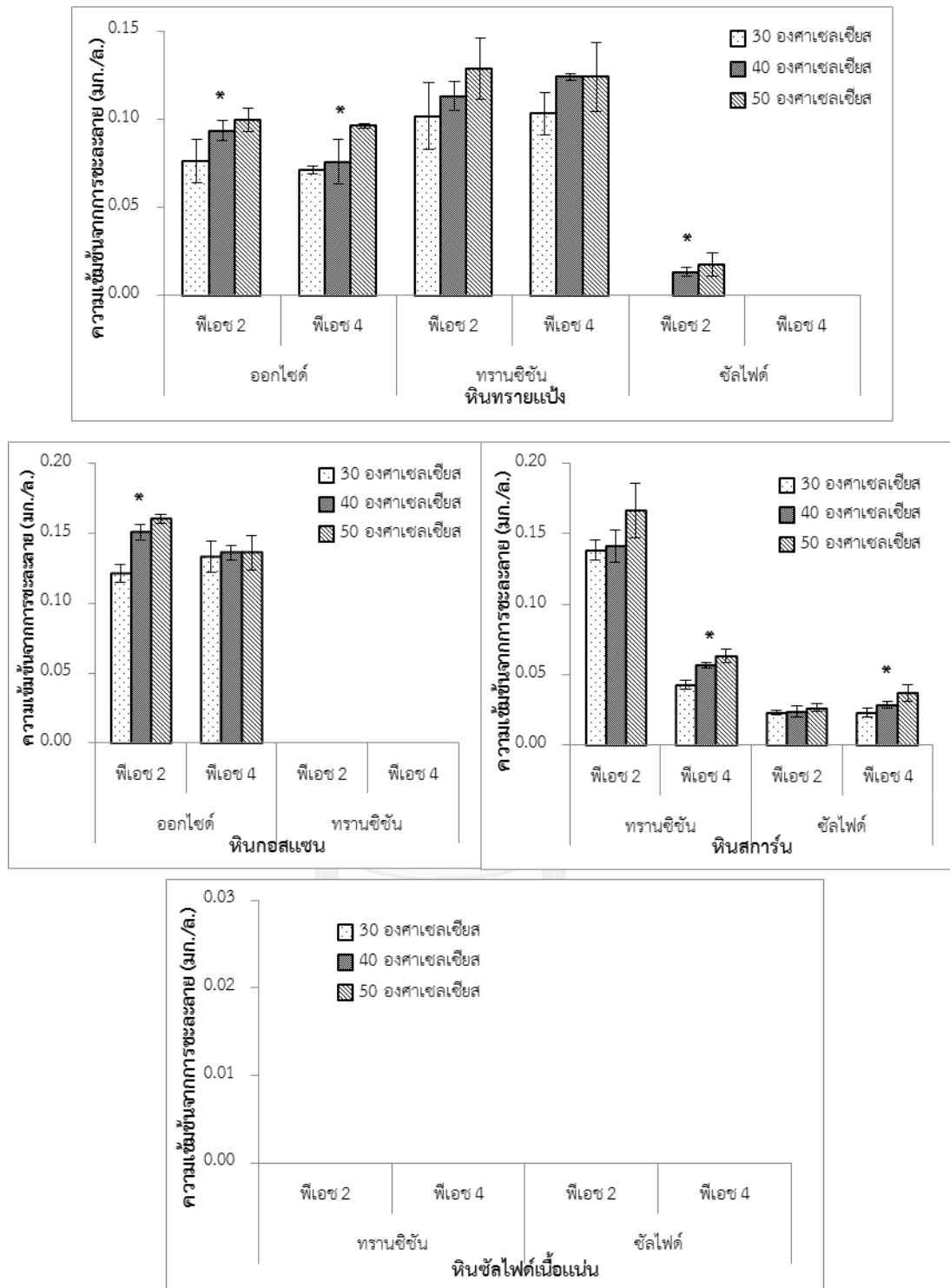
และมีความสัมพันธ์กัน ($R^2 = 0.600$) อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.41 ความเข้มข้นของสังกะสีจากการชะละลายในหินทิ้งทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4 และที่อุณหภูมิต่าง ๆ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ : * บนกราฟระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ หมายถึง มีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$)

และมีความสัมพันธ์กัน ($R^2 = 0.600$) อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.42 ความเข้มข้นของสารหนูจากการชะละลายในดินที่ทุกประเภท ที่พีเอช 2 และ 4 และที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ : * บนกราฟระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ หมายถึง มีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) และมีความสัมพันธ์กัน ($R^2 = 0.600$) อย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้โลหะหนักที่พบมีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนัก ระหว่างอุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ มากที่สุด คือ ทองแดง เท่ากับ 79 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมดที่ชะละลาย และรายละเอียดโลหะหนักอื่น ๆ แสดงดังตาราง 4.12

ตารางที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นของ โลหะหนัก ระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยอย่างมีนัยสำคัญ

โลหะหนัก	ตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนัก ระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญ (เปอร์เซ็นต์)	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (R^2)	ชนิดหินที่พบความเข้มข้นจากการชะละลายเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินในทุกสภาวะ
ทองแดง	79	0.705 - 0.881	หินทั้งทั้ง 4 ประเภท
ปรอท	78	0.632 - 0.846	ทรายแป้ง และสการ์น
นิกเกิล	69	0.720 - 0.985	หินซิลไฟด์เนื้อแน่น
โครเมียม	63	0.623 - 0.937	ทรายแป้ง กอสแซน และสการ์น
สารหนู	55	0.614 - 0.864	ทรายแป้ง กอสแซน และสการ์น
แมงกานีส	50	0.609 - 0.888	หินทั้งทั้ง 4 ประเภท

และชนิดหินที่พบมีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนักระหว่างอุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส และมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย อย่างมีนัยสำคัญ มากที่สุด คือ หินกอสแซน เท่ากับ 63 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมดที่ชะละลาย และรายละเอียดหินทั้งประเภทอื่น ๆ แสดงดังตาราง 4.13

ตารางที่ 4.13 ตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างกันของอุณหภูมิต่างอย่างมีนัยสำคัญ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยอย่างมีนัยสำคัญแต่ละชนิดหิน

ชนิดหิน	ตัวอย่างที่มีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนักระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญ (เปอร์เซ็นต์)	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (R^2)
กอสแซน	63	0.674 - 0.888
ทรายแป้ง	61	0.602 - 0.923
ซิลไฟด์เนื้อแน่น	54	0.609 - 0.985
สการ์น	48	0.724 - 0.946

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 ความเข้มข้นของโลหะ

5.1.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดในหินทิ้ง

ความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด ในหินทรายแป้ง หินกอสแซน หินสการ์น และ หินซัลไฟด์เนื้อแน่น ในกองหินทิ้งทั้ง 3 กอง คือ กองออกไซด์ กองทรานซิชั่น และกองซัลไฟด์ พบว่า แมงกานีสมีค่าการชะละลายสูงสุดคือ 166.66-1276.43 มก./ล. ตามด้วย ทองแดง (55.66-958.00 มก./ล.) สารหนู (1.71-431.56 มก./ล.) สังกะสี (18.42-56.98 มก./ล.) โครเมียม (2.44-77.90 มก./ล.) นิกเกิล (1.54-52.11 มก./ล.) พรอท (1.51 - 52.11 มก./ล.) และตะกั่ว (1.05-16.26 มก./ล.) ตามลำดับ ส่วนแคดเมียมในหินทิ้งมีปริมาณต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้

5.1.2 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทิ้ง

ความเข้มข้นจากการชะละลายของโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด ในหินทรายแป้ง หินกอสแซน หินสการ์น และหินซัลไฟด์เนื้อแน่น ในกองหินทิ้งทั้ง 3 กอง คือ กองออกไซด์ กองทรานซิชั่น และกองซัลไฟด์ พบว่าทองแดงมีค่าการชะละลายสูงสุด (42.77 มก./ล.) ตามด้วย แมงกานีส (16.22 มก./ล.) นิกเกิล (0.91 มก./ล.) สังกะสี 0.53 มก./ล.) โครเมียม (0.32 มก./ล.) สารหนู (0.17 มก./ล.) ตะกั่ว (0.0997 มก./ล.) และพรอท (0.0990 มก./ล.) ตามลำดับ แต่ไม่พบการชะละลายของแคดเมียม เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน พบว่า ทองแดง โครเมียม พรอท แมงกานีส สารหนู ตะกั่ว และ นิกเกิล มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ส่วน ทองแดง โครเมียม พรอท และแมงกานีส มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมด้วย

นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักบางชนิดในหินทิ้งบางประเภท มีแนวโน้มสัมพันธ์กับความเข้มข้นจากการชะละลายของโลหะหนักในหินทิ้ง เช่น ตะกั่วกับสารหนูใน หินทรายแป้ง หินสการ์น และหินกอสแซน และทองแดงกับแมงกานีสในหินสการ์น หินกอสแซน และ หินซัลไฟด์เนื้อแน่น นั้นแสดงว่าโครงสร้างและรูปแบบของการจับตัวของโลหะหนักในหินทิ้งแต่ละประเภทมีความสำคัญต่อการชะละลายมากกว่าปริมาณโลหะหนักในหินทิ้ง

5.1.3 สัดส่วนการชะละลายของโลหะหนัก

หินทรายแป้งมีเปอร์เซ็นต์การชะละลายของตะกั่ว พรอท และแมงกานีส มากกว่าหินทิ้งประเภทอื่น เนื่องจากหินทรายแป้งมีความเข้มข้นของโลหะดังกล่าวน้อยกว่าหินทิ้งประเภทอื่น แต่

พบการชะละลายสูงกว่าหินทั้งประเภทอื่น ซึ่งในหินทรายแป้งไม่มีแร่ที่มีโลหะเหล่านี้เป็นส่วนประกอบ แต่อาจมีการปนเปื้อนมาจากการสัมผัสหินทั้งประเภทอื่นจึงชะออกมาได้ง่าย

ส่วนหินซัลไฟด์เนื้อแน่นและหินสการ์นมีเปอร์เซ็นต์การชะละลายของนิกเกิลออกมาได้มากกว่าหินทั้งประเภทอื่น เนื่องจากพบแร่ซัลโคไฟไรต์เป็นส่วนประกอบในหินสการ์นและหินซัลไฟด์เนื้อแน่น ซึ่งในแร่ซัลโคไฟไรต์มีนิกเกิลเป็นธาตุรองลอย จึงสามารถชะละลายออกมาได้ง่าย

นอกจากนี้ยังพบว่าหินสการ์นมีเปอร์เซ็นต์การชะละลายของสารหนู และโครเมียม ออกมาได้มากกว่าหินทั้งประเภทอื่นอีกด้วย เนื่องจากความเข้มข้นของสารหนูในหินสการ์นมีน้อย และการชะละลายก็น้อยด้วยเช่นกัน ส่วนโครเมียมพบในแร่การ์เนตและไพรอกซีน ซึ่งเป็นส่วนประกอบในหินสการ์น จึงสามารถชะละลายออกมาได้

5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการชะละลาย

5.2.1 ชนิดของหิน

หินทรายแป้งมีแร่ซิลิเกตเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาในน้ำจะจึงสามารถสะท้อนความเป็นกรดของสารละลายได้ ในทำนองเดียวกันในหินสการ์นมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบหลัก จึงทำให้เกิดภาวะการสะท้อนกรดในน้ำชะได้เช่นกัน ฉะนั้นหินทั้งทั้งสองประเภทนี้จึงทำให้พีเอชในน้ำชะเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน ส่งผลให้การชะละลายของโลหะหนักลดลง

ส่วนหินกอสแซนและหินซัลไฟด์เนื้อแน่น เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาในน้ำจะพบว่าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำชะ นอกจากนี้ยังพบว่าในหินทั้งสองประเภทนี้มีศักยภาพทำให้เกิดกรด (PAF) อีกด้วย แสดงว่าในหินทั้งทั้ง 2 ประเภทนี้ไม่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบ

หินซัลไฟด์เนื้อแน่นมีพบว่าการชะละลายของโลหะค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะมีส่วนประกอบหลัก คือแร่ซัลไฟด์ซึ่งมีความเสถียร จึงทำให้โลหะหนักต่างๆ ชะละลายออกมาน้อยแม้ในสภาวะเป็นกรด ยกเว้นนิกเกิลและแมงกานีสที่มีสัดส่วนการชะละลายค่อนข้างสูงและยังมีความเข้มข้นในหินซัลไฟด์เนื้อแน่นมีค่าค่อนข้างสูงอีกเช่นกัน จึงทำให้มีการชะละลายออกมาได้มากและมีค่าเกินมาตรฐาน ส่วนทองแดงมีการชะละลายในหินหินซัลไฟด์เนื้อแน่นต่ำแต่เนื่องจากทองแดงมีความเข้มข้นของโลหะในหินสูงจึงทำให้มีการชะละลายออกมาได้มากและเกินมาตรฐาน

5.2.2 พีเอช

การชะละลายของโลหะจากหินทั้งทั้ง 4 ประเภท พบว่าที่พีเอช 2 มีความเข้มข้นของโลหะหนักมากกว่าที่พีเอช 4 เนื่องจากความสามารถในการชะละลายของโลหะหนักมีค่าสูงขึ้น เมื่อพีเอชต่ำลง ทำให้โลหะหนักที่มีอยู่ในหินทั้งชะละลายออกมาได้มากขึ้น

การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี T-test ของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด ในหินทิ้งทุกประเภท ในกองหินทิ้งทั้งหมด พบว่ามี 52 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมดที่มีการชะละลายมีค่าความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนักระหว่างพีเอช 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาในแต่ละโลหะหนักในหินทิ้งทุกประเภทในกองหินทิ้งทั้งหมดพบทองแดง มีความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนักระหว่างพีเอช 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ มากที่สุดเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมดที่มีการชะละลาย รองลงมาคือ ตะกั่ว พรอท และโครเมียม มีความแตกต่างกันเท่ากับ 60, 57 และ 54 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมดที่มีการชะละลาย ตามลำดับ ส่วนนิกเกิล สังกะสี สารหนู และแมงกานีสมีความแตกต่างกันน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมดที่มีการชะละลาย

5.2.3 อุณหภูมิ

การชะละลายของโลหะจากหินทิ้งทั้ง 4 ประเภท พบว่าที่อุณหภูมิ 50 มีความเข้มข้นของโลหะหนักมากกว่า 40 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ค่า K_{sp}^{\ominus} ที่สูงมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จึงมีผลทำให้การชะละลายของโลหะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี One-way ANOVA และ Regression Analysis ของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด ในหินทิ้งทุกประเภทในกองหินทิ้งทั้งหมดพบว่ามี 57 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมดที่มีการชะละลายมีความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนักระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ และมีความสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$; $R^2 > 0.600$)

เมื่อพิจารณาในแต่ละโลหะหนักในหินทิ้งทุกประเภทในกองหินทิ้งทั้งหมดพบทองแดง มีความแตกต่างกันของความเข้มข้นของโลหะหนักระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ และมีความสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญมากที่สุด เท่ากับ 79 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมดที่มีการชะละลาย รองลงมาคือ พรอท นิกเกิล โครเมียม สารหนู และแมงกานีส มีความแตกต่างกันและมีความสัมพันธ์กัน เท่ากับ 78, 69, 63, 55 และ 50 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมดที่มีการชะละลาย ตามลำดับ ส่วนตะกั่ว และ สังกะสีมีความแตกต่างกันและมีความสัมพันธ์กันน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมดที่มีการชะละลาย

5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาโครงสร้างและรูปแบบของการจับตัวของโลหะหนักในหินทิ้งแต่ละประเภทเพื่อป้องกันความสามารถในการชะละลายของโลหะหนักได้ดีขึ้น

รายการอ้างอิง

- Assawincharoenkij, T., et al. "Mineralogical and geochemical characterization of waste rocks from a gold mine in Northeastern Thailand." Potential source and Pollution Research (preparation).
- Atapour, H. and A. Aftabi (2007). "The geochemistry of gossans associated with Sarcheshmeh porphyry copper deposit, Rafsanjan, Kerman, Iran: implications for exploration and the environment." Journal of Geochemical Exploration 93(1): 47-65.
- Brownlow, A., H., (1996). Geochemistry. 2nd edn. Prentice Hall, Upper Saddle River
- Environmental Geochemistry International (EGI) (2002). ARD Test Handbook AMIRA P387A Project; Prediction and kinetic Control of Acid Mine Drainage, AMIRA International. Melbourne Australia.
- Guo, Y.-g., et al. (2013). "Leaching of heavy metals from Dexing copper mine tailings pond." Transactions of Nonferrous Metals Society of China 23(10): 3068-3075.
- Hawkes, H. E. and J. S. Webb. (1962). Geochemistry in Mineral Exploration. New York: Harper and Row.
- Hutchison, I. P. G. and R. D. Eillison (1992). Mine Waste Management: A resource for mining industry professionals regulators and consulting engineers. Michigan: Lewis Publishers, INC.
- Jang, Y.-C., et al. (2002). "Leaching of arsenic, chromium, and copper in a contaminated soil at a wood preserving site." Bulletin of environmental contamination and toxicology 69(6): 0808-0816.
- Langmuir, D. (1997). Aqueous environmental geochemistry. Prentice Hall, Upper Saddle River.

- Lottermoser, B. G. (2003). Mine wastes: characterization, treatment and environmental impacts. Berlin: Springer.
- Neil J. Salkind. (2015). Statistics for people who (Think They) Hate Statistics. Sage Publications Inc/English.
- Nordstrom, D. K. (1982). Aqueous pyrite oxidation and the consequent formation of secondary iron minerals. America: Soil Science Society.
- Orhan, G. (2005). "Leaching and cementation of heavy metals from electric arc furnace dust in alkaline medium." Hydrometallurgy 78(3): 236-245.
- Peter, W. C. (1978). Exploration and mining geology. USA: Wiley.
- Puura E. and Neretnieks I. (2000). Neretnieks I Atmospheric oxidation of the pyritic waste rock in Maardu, Estonia. 2. An assessment of aluminosilicate buffering potential.
- The superpit. (2009). "Waste Rock." from <http://www.superpit.com.au/Environment/Waste/WasteRock/tabid/136/Default.aspx>.
- Tsai, L.-J., et al. (2003). "Effect of temperature on removal of heavy metals from contaminated river sediments via bioleaching." Water Research 37(10): 2449-2457.
- Van der Sloot, H. A. and A. Van Zomeren (2012). "Characterisation leaching tests and associated geochemical speciation modelling to assess long term release behaviour from extractive wastes." Mine Water and the Environment 31(2): 92-103.
- Van Gerven, T., et al. (2005). "Carbonation of MSWI-bottom ash to decrease heavy metal leaching, in view of recycling." Waste Management 25(3): 291-300.
- Wuana, R. A. and F. E. Okieimen (2011). "Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation." Isrn Ecology 2011.

Zhou, T., et al. (2007). "Geochemistry and evolution of ore-forming fluids of the Yueshan Cu-Au skarn-and vein-type deposits, Anhui Province, South China." Ore Geology Reviews 31(1): 279-303.

กรมควบคุมมลพิษ (2555). "มาตรฐานคุณภาพน้ำ." from http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water.html.

จิราภรณ์ อ่ำพันธ์ (2545). "อันตรายของปรอท." from http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_1_001c.asp?info_id=79.

จุฬาลักษณ์ ชาญกุล (2551). โลหะหนักและศักยภาพในการทำให้เกิดน้ำทิ้งสภาวะกรดจากของทิ้งจากเหมืองบริเวณพื้นที่เหมืองทองคำอัครา จังหวัดพิจิตร, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขา) คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทศึกษาศาสตร์.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์ (2552). "นิเกิล โครเมียม สังกะสี และแมงกานีส." from <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic2>.

ชัยวัฒน์ สถาอานันท์ และ อุบลรัตน์ ศิริยุวศักดิ์ (2552). "แร่." from <http://www.patchra.net>.

ชุติมา คล่องสำราญ (2557). ผลของพีเอชที่มีต่อการชะละลายของโลหะหนักจากหินทิ้งของเหมืองภูทับฟ้า, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ปริญญามหาบัณฑิต.

ชูวิทย์ นาเพีย (2554). การศึกษาการชะละลายก่อนหล่อแข็งกากตะกอนโลหะหนักที่ใช้ปูนซีเมนต์และวัสดุพอลิโพรพิลีนเป็นวัสดุยึดประสาน, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. ปริญญาโทศึกษาศาสตร์.

ตรีทศศ กุลวงศ์ (2555). ศักยภาพการชะละลายของซัลเฟต กรด และโลหะหนัก จากดินเหนียวชั้นแร่เหมืองยิปซัม, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ปริญญามหาบัณฑิต.

ธัญชนก ภารกุล (2551). การชะละลายระยะยาวของโลหะหนักในมอร์ต้าที่ทำด้วยปูนซีเมนต์จากกระบวนการเผาไหม้ที่มีกากอุตสาหกรรมปนโลหะหนัก, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ปริญญามหาบัณฑิต.

นาฏเทวี ศรีนครหงส์ (2551). "ผลกระทบจากการทำเหมืองแร่." from <https://www.gotoknow.org/posts/213423>.

ปราโมทย์ ศรีสุวรรณ และ รินวัฒน์ สมบัติศิริ (2557). "ตะกั่วและพิษของตะกั่ว." from http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/news/.

พรพรรณ พนาปวุฒิกุล (2549). "โลหะหนัก: ตัวการปัญหาสิ่งแวดล้อม." from <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=7>.

พีรพัฒน์ อันโต (2549). การชะละลายของโลหะหนักจากของเสียที่ผ่านกระบวนการปรับเสถียรและทำก้อนแข็ง, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ปรินูญามหาบัณฑิต.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2552). รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) ฉบับสมบูรณ์. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช (2538). เอกสารการสอนชุดวิชา 56205 พิษวิทยาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและอาชีวอนามัย. นนทบุรี, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.

มัลลิกา ปัญญาคะโป (2551). การจัดการของเสียอันตราย. กรุงเทพฯ: จรัสสินทวงศ์การพิมพ์.

ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ (2540). สถิติวิทยาทางการวิจัย. กรุงเทพมหานคร (พิมพ์ครั้งที่ 3): สุวีริยาสาส์น, ภาควิชาการวัดผลและวิจัย การศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

วิชาญ มงคุณ (2551). กรณีเคมีสิ่งแวดล้อมแหล่งแร่ทองคำ บริเวณตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย. กรุงเทพฯ, สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี.

วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา และนิตินัย ขำมาลัย (2557). "สารหนูกับสิ่งแวดล้อม." from <http://digital.lib.kmutt.ac.th/magazine/issue2/articles/art2.html>.

วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์ (2555). "แมงกานีส." from http://www.summacheeva.org/index_thaitox_manganese.htm.

ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา (2548). "ความเป็นพิษของทองแดง."

สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ (2558). "ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา." from <http://www.il.mahidol.ac.th>.

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม (2555). โครงการสำรวจการกระจายตัวและแหล่งที่มาของการปนเปื้อนโลหะหนักในเขตพื้นที่แหล่งแร่ทองคำที่จังหวัดเลย. ต.เขาหลวง อ.วังสะพุง จ.เลย. กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สิริวิชญ์ เดชธรรม (2555). "นิเกิล." from http://www.summacheeva.org/index_thaitox_nickel.htm.

อนุ กัลลประวิทย์ (2557). "การทำเหมืองแร่ทองคำที่จังหวัดเลย." from envi-mining.dpim.go.th/news/ac1-t1264486620.doc.

อรพรรณ เมธาติลกุล (2557). "อันตรายจากแมงกานีส." from <http://www.trclabourunion.com/disease12.htm>.

อรุณี อ่อนสวัสดิ์ (2551). ระเบียบวิธีวิจัย. (พิมพ์ครั้งที่ 3). พิษณุโลก : ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ตารางที่ ก.1 ความเข้มข้นโลหะหนักทั้งหมด (มก./กก.)

ชนิดหิน	กองหิน	แคดเมียม	โครเมียม	ตะกั่ว	ทองแดง	นิกเกิล	ปรอท	แมงกานีส	สังกะสี	สารหนู
ทรายแป้ง	ออกไซด์	ND	31.4423	1.5567	87.515	23.5517	0.4652	210.9469	27.2473	12.3112
		ND	25.6676	1.2812	69.171	19.4739	0.7617	175.8071	45.3567	10.7633
	ทรานซิชัน	ND	31.9345	1.059	86.0911	23.1415	0.5767	208.6331	27.1783	12.468
		ND	26.5082	7.3172	130.2237	29.7044	0.341	268.8773	49.7403	43.6476
		ND	32.2136	6.7067	132.2735	29.6941	0.825	288.1424	41.5317	32.5735
		ND	35.2824	6.805	136.4997	31.5107	1.1624	310.5169	44.562	36.2802
ซิลิเกต	ND	69.1402	2.7269	55.6553	24.7955	0.5049	250.7481	38.3802	5.2922	
	ND	77.8973	2.8116	61.4297	27.041	0.2411	281.362	41.7563	5.0737	
	ND	74.5368	2.7296	59.7131	27.7944	0.3507	275.3537	44.0526	5.8259	
	ND	40.0795	2.5308	633.7972	12.5487	0.3445	1076.1431	31.0139	283.3002	
กอสแซน	ออกไซด์	ND	48.0263	2.6515	605.2632	13.3991	0.3433	1024.5215	43.74	270.5343
		ND	45.0339	2.493	795.1735	13.0913	0.2497	1276.426	38.911	329.278
	ทรานซิชัน	ND	39.6541	11.3794	7469.6879	17.3425	0.9239	169.4892	40.4492	2.7251
		ND	39.7255	11.299	7141.4362	17.1355	0.5699	166.66	39.626	5.3412
		ND	39.6405	11.1594	7169.6623	16.6226	0.57	169.2277	39.285	4.9911
		ND								

ตารางที่ ก.1 ความเข้มข้นโลหะหนักทั้งหมด (มก./กก.) (ต่อ)

ชนิดหิน	กองหิน	แคดเมียม	โครเมียม	ตะกั่ว	ทองแดง	นิกเกิล	ปรอท	แมงกานีส	สังกะสี	สารหนู
สกรีน	ทรานซิชัน	ND	29.8267	12.4268	67.6031	1.5589	0.4634	1405.26	28.0534	431.5601
		ND	32.9475	16.2622	73.4384	3.3127	1.367	1358.4115	32.5085	399.9202
		ND	29.6538	9.1098	65.9941	1.5149	1.8313	1241.4045	46.9238	233.4322
ซิลิเกต	ซิลิเกต	ND	17.82	1.0526	1092.176	2.8887	1.3299	599.6416	20.3066	2.7294
		ND	15.6144	1.0859	867.7323	2.2637	2.1738	535.6643	18.4196	2.6254
		ND	20.5138	1.1591	1247.9586	3.1129	3.9136	704.4413	27.9825	2.9636
ซิลิเกตเนื้อแน่น	ทรานซิชัน	ND	2.4367	8.9181	9579.5975	3.3214	0.4678	264.3953	56.9835	6.9914
		ND	2.6215	7.6605	8976.2048	2.5995	0.9022	280.9438	48.1704	8.0664
		ND	2.567	8.2295	9246.8454	2.8411	1.2325	279.377	49.4479	14.239
ซิลิเกตเนื้อแน่น	ซิลิเกต	ND	20.7968	5.4661	2476.0956	52.1116	0.2574	479.4821	35.7171	2.4422
		ND	18.4485	5.3475	2455.6861	50.0896	0.1069	448.9146	36.0088	1.7134
		ND	18.5749	5.4447	2684.3894	48.4509	0.1375	510.6936	36.5181	2.3766



ภาคผนวก ข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การเตรียมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์

จากผลความเข้มข้นโลหะหนักจากการชะละลายพบมีบางตัวอย่างที่มีค่าต่ำกว่าค่า Detection Limit ของเครื่อง และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของข้อมูลมากน้อยแตกต่างกันไปแต่ละตัวอย่างหิน เนื่องจากในตัวหินมีค่าความแปรผันอยู่แล้วในธรรมชาติ ดังนั้นผลที่ได้จากการศึกษานี้จึงตัดค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่อาจเกิดการแปรปรวนออกจากผลการวิเคราะห์ โดยความเข้มข้นต่ำที่ไม่นำมาวิเคราะห์คือ ค่าความเข้มข้นที่ต่ำกว่าค่า Detection limit + ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย ในแต่ละโลหะหนัก แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ ข.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักขั้นต่ำที่ไม่นำมาวิเคราะห์

โลหะหนัก	ค่า Detection Limit (มก./ล.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย (มก./ล.)	ค่า Detection Limit + ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย (มก./ล.)
โครเมียม	0.00008	0.0072	0.007
ตะกั่ว	0.0023	0.0038	0.006
ทองแดง	0.0002	0.1907	0.191
นิกเกิล	0.00009	0.0076	0.008
ปรอท	0.0009	0.0005	0.001
แมงกานีส	0.00092	0.3252	0.326
สังกะสี	0.00012	0.0298	0.030
สารหนู	0.001	0.0045	0.006



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทรายแป้ง กองออกไซด์ (มก./ล.)

ชนิดหิน	กองหิน	อุณหภูมิ	ทีเอช	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	สารหนู	สังกะสี	ทองแดง	โครเมียม	แคดเมียม	นิกเกิล	แมงกานีส	ตะกั่ว	ปรอท
ทรายแป้ง		30	2	1.00038	0.09	0.065	ND	ND	ND	ND	3.007	ND	0.007
				1.00045	0.068	0.075	ND	0.008	ND	3.054	ND	0.006	
				1.00031	0.07	0.067	ND	0.01	ND	2.801	ND	0.007	
		4	1.00023	0.072	0.076	ND	ND	2.315	ND	0.005			
			1.00012	0.073	0.089	ND	ND	2.313	ND	0.007			
			1.00028	0.069	0.096	ND	ND	2.379	ND	0.007			
	ออกไซด์	2	40	1.00013	0.095	0.104	ND	0.022	ND	3.075	0.011	0.007	
				1.00006	0.087	0.159	ND	0.013	ND	3.015	ND	0.009	
				1.00001	0.098	0.12	ND	0.022	ND	3.183	0.01	0.008	
		4	1.00036	0.09	0.091	ND	0.017	ND	2.919	ND	0.005		
			1.00037	0.07	0.089	ND	ND	3.014	ND	0.007			
			1.00017	0.067	0.095	ND	ND	2.766	ND	0.007			
	2	50	1.00021	0.107	0.239	ND	0.029	ND	0.031	0.033	0.009		
			1.00013	0.096	0.225	ND	0.03	ND	3.371	0.029	0.01		
			1.00029	0.095	0.298	ND	0.028	ND	3.324	0.022	0.01		
	4	1.0003	0.097	0.142	ND	0.027	ND	2.91	0.015	0.008			
		1.0002	0.095	0.19	ND	0.012	ND	2.901	0.012	0.007			
		1.0001	0.097	0.189	ND	0.014	ND	2.983	0.022	0.008			

ตารางที่ ค.2 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทรายแป้ง กองทรายซีซัน (มก./ล.)

ชนิดหิน	กองหิน	อุณหภูมิ	พีเอช	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	สารหนู	สังกะสี	ทองแดง	โครเมียม	แคดเมียม	นิกเกิล	แมงกานีส	ตะกั่ว	ปรอท		
ทรายแป้ง		30	2	1.00027	0.082	0.351	0.576	ND	ND	0.093	3.634	0.071	0.009		
				1.00036	0.103	0.306	0.536	ND	ND	0.07	ND	0.075	3.218	0.075	0.009
				1.00018	0.12	0.343	0.569	ND	ND	0.089	ND	0.082	3.759	0.082	0.008
		4	1.00021	0.115	0.311	0.513	ND	ND	0.077	ND	0.075	3.394	0.075	0.007	
			1.00018	0.103	0.245	0.514	0.009	ND	0.098	ND	0.075	3.176	0.075	0.006	
			1.00004	0.091	0.348	0.477	ND	ND	0.072	ND	0.061	2.943	0.061	0.007	
	ทรายซีซัน	2	40	1.00022	0.113	0.389	0.594	0.018	ND	ND	0.104	3.274	0.083	0.012	
				1.00039	0.105	0.386	0.635	0.02	ND	0.114	ND	0.08	3.868	0.08	0.013
				1.00025	0.121	0.395	0.668	0.021	ND	0.135	ND	0.108	4.162	0.108	0.012
		4	1.00011	0.126	0.364	0.523	0.013	ND	0.098	ND	0.081	3.227	0.081	0.011	
			1.00039	0.124	0.383	0.586	ND	ND	0.094	ND	0.075	3.558	0.075	0.01	
			1.00015	0.122	0.362	0.549	0.009	ND	0.086	ND	0.086	3.151	0.086	0.01	
50	2	1.00008	0.132	0.635	0.669	0.016	ND	0.123	ND	0.123	4.263	0.104	0.108		
		1.00031	0.11	0.497	0.636	0.014	ND	0.132	ND	0.092	4.42	0.092	0.093		
		1.00021	0.144	0.447	0.632	0.027	ND	0.129	ND	0.103	4.41	0.103	0.096		
	4	1.00002	0.118	0.421	0.635	0.018	ND	0.121	ND	0.094	3.714	0.094	0.071		
		1.00005	0.146	0.432	0.604	0.011	ND	0.092	ND	0.096	3.457	0.096	0.075		
		1.00019	0.108	0.455	0.625	0.012	ND	0.108	ND	0.095	3.561	0.095	0.07		

ตารางที่ ค.3 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินทรายแป้ง กองซิลเฟตต์ (มก./ล.)

ชนิดหิน	กองหิน	จุดตรวจ	ที่เสา	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	สภาพ	สังกะสี	ทองแดง	โครเมียม	แคดเมียม	นิกเกิล	แมงกานีส	ตะกั่ว	ปรอท
ทรายแป้ง	ซิลเฟตต์	30	2	1.00028	ND	0.245	ND	0.259	ND	ND	0.851	0.044	ND
				1.00008	ND	0.21	ND	0.249	ND	ND	0.787	0.042	ND
				1.00031	ND	0.223	ND	0.257	ND	ND	0.82	0.048	ND
				1.00038	ND	0.246	ND	0.243	ND	ND	0.671	0.038	ND
			4	1.00021	ND	0.276	ND	0.174	ND	ND	0.586	0.033	ND
			1.00039	ND	0.288	ND	0.226	ND	ND	0.728	0.059	ND	
			1.00038	0.013	0.29	ND	0.345	ND	0.047	1.125	0.063	ND	
			1.00028	0.011	0.3	ND	0.296	ND	0.052	0.979	0.058	ND	
		40	1.00021	0.016	0.214	0.233	0.271	ND	0.027	0.981	0.059	ND	
			1.00013	ND	0.284	0.21	0.252	ND	0.018	0.906	0.046	ND	
			1.00034	ND	0.273	0.192	0.255	ND	0.021	0.907	0.042	ND	
			1.00004	ND	0.264	0.169	0.229	ND	0.019	0.854	0.034	ND	
			1.00028	0.024	0.44	0.217	0.316	ND	0.045	1.049	0.053	0.003	
			1.00033	0.017	0.412	0.225	0.304	ND	0.055	1.037	0.048	0.002	
			1.00005	0.011	0.238	0.243	0.331	ND	0.064	1.042	0.052	0.002	
			1.00003	ND	0.208	0.213	0.255	ND	0.026	0.975	0.039	ND	
50	1.00028	ND	0.358	0.184	0.273	ND	0.025	0.966	0.043	ND			
	1.00027	ND	0.211	0.172	0.247	ND	0.022	0.999	0.043	ND			

ตารางที่ ค.4 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินกอสแซน กองออกไซด์ (มก./ล.)

ชนิดหิน	กองหิน	อุณหภูมิ	พีเอช	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	สารหนู	สังกะสี	ทองแดง	โครเมียม	แคดเมียม	นิกเกิล	แมงกานีส	ตะกั่ว	ปรอท	
กอสแซน		30	2	1.00031	0.125	0.104	1.336	0.042	ND	0.068	10.14	ND	ND	
				1.0002	0.125	0.098	1.224	0.034	ND	0.058	9.242	ND	ND	
				1.00024	0.114	0.114	1.495	0.036	ND	0.047	8.841	ND	ND	
		4	1.00041	0.143	0.049	0.736	ND	ND	ND	3.154	ND	ND	ND	
			1.00037	0.121	0.05	0.997	0.01	ND	0.021	4.032	ND	ND	ND	
			1.00028	0.136	0.069	0.82	ND	ND	0.03	3.379	ND	ND	ND	
	ออกไซด์	2	40	1.00013	0.157	0.126	1.67	0.064	ND	ND	0.132	13.88	ND	ND
				1.00018	0.149	0.139	1.754	0.056	ND	0.138	14.79	ND	ND	ND
				1.00022	0.146	0.164	1.595	0.06	ND	0.13	13.97	ND	ND	ND
		4	1.00021	0.136	0.067	0.969	0.038	ND	0.036	3.84	ND	ND	ND	
			1.00044	0.131	0.062	0.871	0.032	ND	0.037	3.562	ND	ND	ND	
			1.00023	0.141	0.06	0.958	0.035	ND	0.041	3.98	ND	ND	ND	
50	2	1.00036	0.159	0.282	1.68	0.065	ND	ND	ND	0.158	17.71	ND	ND	
		1.00028	0.164	0.183	1.776	0.072	ND	0.135	15.22	ND	ND	ND		
		1.00015	0.158	0.192	1.685	0.064	ND	0.139	15.74	ND	ND	ND		
	4	1.00029	0.124	0.146	0.935	0.027	ND	0.048	4.259	ND	ND	ND		
		1.00035	0.135	0.151	0.797	0.049	ND	0.047	3.458	ND	ND	ND		
		1.00009	0.149	0.154	0.862	0.049	ND	0.042	3.688	ND	ND	ND		

ตารางที่ ค.5 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินกอสแลน กองทรานซิชั่น (มก./ล.)

ชนิดหิน	กองหิน	อุณหภูมิ	พีเอช	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	สารหนู	สังกะสี	ทองแดง	โครเมียม	แคดเมียม	นิกเกิล	แมงกานีส	ตะกั่ว	ปรอท
กอสแลน	ทรานซิชั่น	30	2	1.00039	ND	0.165	32.77	0.108	ND	0.06	2.026	0.045	ND
				1.0003	ND	0.204	32.83	0.094	ND	0.033	1.142	0.051	ND
				1.00047	ND	0.158	31.99	0.113	ND	0.046	1.45	0.05	ND
			4	1.00032	ND	0.166	20.96	0.012	ND	0.055	1.502	0.028	ND
				1.00039	ND	0.117	19.85	0.013	ND	0.044	1.177	0.016	ND
				1.0004	ND	0.063	19.77	0.013	ND	0.036	1.13	0.021	ND
	ทรานซิชั่น	40	2	1.00034	ND	0.189	35.7	0.116	ND	0.062	1.918	0.055	ND
				1.00025	ND	0.184	36.43	0.127	ND	0.051	2.178	0.053	ND
				1.00015	ND	0.153	35.02	0.121	ND	0.06	1.851	0.057	ND
			4	1.00014	ND	0.151	31.92	0.054	ND	0.056	1.876	0.051	ND
				1.00023	ND	0.153	32.03	0.037	ND	0.053	1.647	0.037	ND
				1.00031	ND	0.141	30.86	0.051	ND	0.055	1.859	0.035	ND
ทรานซิชั่น	50	2	1.0001	ND	0.289	43.09	0.127	ND	0.078	2.24	0.053	ND	
			1.00035	ND	0.224	42.23	0.139	ND	0.071	2.121	0.066	ND	
			1.00035	ND	0.283	42.99	0.147	ND	0.087	2.246	0.059	ND	
		4	1.00028	ND	0.186	32.95	0.055	ND	0.063	2.076	0.037	ND	
			1.00016	ND	0.161	33.48	0.039	ND	0.069	1.648	0.033	ND	
			1.0003	ND	0.142	32.2	0.064	ND	0.053	2.082	0.033	ND	

ตารางที่ ค.6 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินสการ์น กองทรานซิชั่น (มก./ล.)

ชนิดหิน	กองหิน	อุณหภูมิ	พีเอช	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	สารหนู	สังกะสี	ทองแดง	โครเมียม	แคดเมียม	นิกเกิล	แมงกานีส	ตะกั่ว	ปรอท
สการ์น	ทรานซิชั่น	30	2	1.0004	0.1419	0.1409	ND	0.1664	ND	ND	12.2	0.0617	0.0022
				1.00017	0.1305	0.1466	ND	0.1787	ND	11.87	0.0566	0.002	
			1.00032	0.1438	0.1248	ND	0.1639	ND	12.07	0.0588	0.005		
			1.00031	0.041	0.0683	ND	0.1631	ND	9.83	0.0426	0.0019		
			1.00024	0.0412	0.0865	ND	0.1653	ND	10.37	0.0533	ND		
			1.0002	0.0467	0.0706	ND	0.1557	ND	12.02	0.0345	0.002		
		2	1.00028	0.1358	0.1747	ND	0.2039	ND	14.32	0.076	0.0045		
			1.0003	0.1338	0.0871	ND	0.2159	ND	13.11	0.0786	0.0054		
		4	1.00031	0.1543	0.0906	ND	0.2155	ND	13.11	0.0702	0.0066		
			1.00029	0.0555	0.0865	ND	0.1883	ND	12.57	0.0517	0.0022		
		1	1.00024	0.0592	0.0731	ND	0.1808	ND	12.73	0.0654	0.0024		
			1.00047	0.056	0.0569	ND	0.1873	ND	12.95	0.0552	0.0024		
		2	1	0.147	0.235	ND	0.1943	ND	13.35	0.0709	0.0103		
			1.00025	0.1664	0.2145	ND	0.24	ND	14.02	0.0924	0.0119		
4	1.00019	0.1864	0.2207	ND	0.2045	ND	13.14	0.0853	0.0109				
	1.00018	0.0676	0.0724	ND	0.1722	ND	12.13	0.0733	0.0077				
1.00005	0.0648	0.109	ND	0.1896	ND	13.85	0.0653	0.0086					
	1.00025	0.0583	0.1028	ND	0.1899	ND	12.57	0.0659	0.0066				

ตารางที่ ค.7 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินสการ์น กองซิลไฟต์ (มก./ล.)

ชนิดหิน	กองหิน	อุณหภูมิ	พีเอช	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	สารหนู	สังกะสี	ทองแดง	โคโรเนียม	แคดเมียม	นิกเกิล	แมงกานีส	ตะกั่ว	ปรอท
สการ์น		30	2	1.00015	0.024	0.1348	2.001	0.2426	ND	0.027	2.308	ND	ND
				1.0002	0.021	0.1448	1.973	0.2414	ND	0.0302	1.863	ND	0.0014
				1.00004	0.0234	0.2277	2.06	0.2585	ND	0.0332	1.723	ND	0.0014
		4	1.00021	0.0198	0.1374	1.792	0.1253	ND	0.0179	1.641	ND	ND	ND
			1.00016	0.0239	0.1391	1.718	0.1546	ND	0.0195	1.873	ND	ND	ND
			1.00005	0.0256	0.0864	1.639	0.1347	ND	0.0202	1.982	ND	ND	ND
	ซิลไฟต์	2	40	1.00045	0.0282	0.1767	2.545	0.2793	ND	0.0403	2.38	ND	0.0024
				1.00038	0.0226	0.2641	2.65	0.2797	ND	0.0479	2.685	ND	0.003
				1.00038	0.0207	0.2174	2.561	0.2696	ND	0.0389	2.255	ND	0.0029
		4	1.00012	0.026	0.1262	2.339	0.1667	ND	0.0282	2.377	ND	ND	ND
			1.00028	0.0288	0.1508	2.383	0.1776	ND	0.026	1.903	ND	ND	ND
			1.00027	0.0314	0.1629	2.232	0.1765	ND	0.0244	1.711	ND	ND	ND
	2	50	1.00015	0.0244	0.2276	2.825	0.308	ND	0.0475	2.302	0.0065	0.003	
			1.00008	0.0295	0.2507	2.924	0.3026	ND	0.05	2.5	0.0073	0.0035	
			1.00028	0.0255	0.262	2.828	0.3183	ND	0.0541	2.347	0.0175	0.0045	
	4	1.00013	0.044	0.1271	2.411	0.1964	ND	0.0326	1.953	0.0087	0.0029		
		1.00025	0.0353	0.1594	2.498	0.1947	ND	0.0385	2.101	0.0073	0.0018		
		1.00027	0.0326	0.2322	2.407	0.1676	ND	0.0378	2.096	0.0068	0.0014		

ตารางที่ ค.8 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินซีเมนต์โพเนอแมน กองทรานซิชั่น (มก./ล.)

ชนิดหิน	กองหิน	อุณหภูมิ	พีเอช	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	สารหนู	สังกะสี	ทองแดง	โครเมียม	แคดเมียม	นิกเกิล	แมงกานีส	ตะกั่ว	ปรอท		
ซีเมนต์โพเนอแมน	ทรานซิชั่น	30	2	1.00001	ND	0.1907	17.18	ND	ND	0.0243	2.279	0.0144	ND		
				1.00036	ND	0.2526	17.53	ND	ND	0.0343	2.089	0.012	ND		
			1.00038	ND	0.2482	18.12	ND	ND	0.0104	2.25	0.0146	ND			
			1.0001	ND	0.1402	5.273	ND	ND	0.0255	1.233	0.0069	ND			
			1.00038	ND	0.1402	4.382	ND	ND	0.0223	1.79	0.0085	ND			
			0.50044	ND	0.1409	4.186	ND	ND	0.0189	1.931	0.0111	ND			
		40	2	1.00022	ND	0.232	19.66	ND	ND	ND	ND	0.0206	2.251	0.0205	ND
				1.00041	ND	0.2502	18.35	ND	ND	0.0241	2.354	0.0292	ND		
			0.50038	ND	0.2592	18.911	ND	ND	0.0133	2.651	0.0228	ND			
			1.00004	ND	0.1363	7.864	ND	ND	0.0263	2.078	0.0124	ND			
			1.00034	ND	0.1734	7.899	ND	ND	0.0273	1.464	0.011	ND			
			0.5001	ND	0.1213	7.53	ND	ND	0.0215	2.034	0.0056	ND			
			1.00025	ND	0.371	20.67	ND	0.0007	0.0356	2.907	0.0262	ND			
			1.00015	ND	0.3769	21.2	ND	0.0008	0.0348	2.866	0.0437	ND			
50	2	0.50013	ND	0.2565	20.55	ND	0.0003	0.0209	1.956	0.0302	ND				
		1.00037	ND	0.186	10.06	ND	0.0004	0.03	2.537	0.0141	ND				
	4	1.00016	ND	0.2148	10.76	ND	0.0005	0.03	2.309	0.0159	ND				
		0.50006	ND	0.287	9.322	ND	0.0004	0.0254	1.852	0.0179	ND				

ตารางที่ ค.9 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากการชะละลายในหินซิลิเกตเนื้อแน่น กongsilite (มก./ล.)

ชนิดหิน	กองหิน	อุณหภูมิ	พีเอช	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	สารหนู	สังกะสี	ทองแดง	โครเมียม	แคดเมียม	นิกเกิล	แมงกานีส	ตะกั่ว	ปรอท	
ซิลิเกตเนื้อแน่น	ซิลิเกต	30	2	1.00045	ND	0.1898	7.391	0.0122	ND	0.5486	4.45	0.0372	ND	
				1.00009	ND	0.1371	6.406	0.0111	ND	0.5859	3.893	0.0417	ND	
				1.00023	ND	0.1308	6.219	0.0103	ND	0.5692	4.496	0.0279	ND	
		40	4	1.00045	ND	0.077	4.73	0.0085	ND	0.5232	3.893	ND	ND	ND
				1.00007	ND	0.0882	4.609	0.009	ND	0.5617	3.58	ND	ND	
				1.00044	ND	0.0328	5.458	0.0106	ND	0.5187	2.404	ND	ND	
		50	4	1.00023	ND	0.142	8.215	0.0125	ND	0.7469	5.006	0.0388	ND	ND
				1.00014	ND	0.1634	9.214	0.0127	ND	0.7052	5.729	0.0403	ND	
				1.00018	ND	0.1245	8.411	0.0128	ND	0.7622	3.959	0.0322	ND	
		50	2	1.00004	ND	0.0869	7.211	0.0112	ND	0.6828	4.298	0.0068	ND	ND
				1.00002	ND	0.0565	7.085	0.0124	ND	0.6944	4.778	ND	ND	
				1.00022	ND	0.0784	6.982	0.0108	ND	0.6793	4.77	ND	ND	
		50	2	1.00028	ND	0.2335	9.24	0.0216	0.0001	0.9183	6.974	0.0435	ND	ND
				1.00039	ND	0.1304	9.72	0.0197	0.0001	0.9244	5.221	0.0481	ND	ND
				1.00038	ND	0.0921	10.069	0.0206	0.0002	0.902	6.593	0.0325	ND	ND
50	4	1.00021	ND	0.0867	8.077	0.0164	ND	0.7947	5.462	0.0154	ND	ND		
		1.00037	ND	0.1571	7.712	0.0151	ND	0.8611	6.723	0.0104	ND	ND		
		1.00022	ND	0.0799	8.273	0.0184	ND	0.7666	6.223	0.0168	ND	ND		



ตารางที่ ง.2 ความแตกต่างกันของความเข้มข้นโลหะหนักระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ (p)

ชนิดดิน	องค์ประกอบ	พืชมูล	โครเมียม	สังกะสี	ทองแดง	นิกเกิล	ปรอท	แมงกานีส	ดีบุก	สารหนู	
ทรายปนโคล	อินทรีย์	2	0.001	0.001	-	0.089	0.008	0.049	0.001	0.099	
		4	0.147	0.075	-	-	0.248	0.000	0.001	0.013	
	ทรายน้ำจืด	2	0.016	0.008	0.018	0.009	0.000	0.000	0.042	0.183	
		4	0.105	0.005	0.002	0.116	0.000	0.000	0.106	0.007	0.165
โคลปนทราย	อินทรีย์	2	0.026	0.002	0.075	0.001	0.004	0.000	0.003	0.121	
		4	0.142	0.967	0.640	0.000	-	0.000	0.000	0.997	-
	ทรายน้ำจืด	2	0.000	-	0.007	0.000	-	0.000	0.000	0.017	0.000
		4	0.003	-	0.543	0.009	-	0.000	0.608	0.000	0.994
ดินปนทราย	อินทรีย์	2	0.011	0.062	0.000	0.017	-	0.068	0.011	-	
		4	0.003	0.024	0.000	0.080	-	0.015	0.262	-	
	ทรายน้ำจืด	2	0.020	0.015	-	0.000	0.001	0.016	0.011	0.087	
		4	0.009	0.017	-	-	0.000	0.057	0.225	0.001	
ดินปนโคล	อินทรีย์	2	0.000	0.283	0.000	0.002	0.003	0.080	0.132	0.942	
		4	0.010	0.021	0.000	0.000	0.056	0.512	0.903	0.016	
	ทรายน้ำจืด	2	-	0.019	0.001	0.968	-	0.453	0.059	-	
		4	-	0.031	0.000	0.114	-	0.206	0.090	-	
โคลปนทรายปนโคล	อินทรีย์	2	0.000	0.575	0.001	0.000	-	0.048	0.965	-	
		4	0.001	0.003	0.000	0.000	-	0.004	0.292	-	

ตารางที่ ง.3 ความสัมพันธ์กันของความเข้มข้นโลหะหนักระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ (R²)

ชนิดดิน	องค์ประกอบ	ปริมาณ	โครเมียม	สังกะสี	ทองแดง	นิกเกิล	ปรอท	แมงกานีส	สังกะสี	สารหนู
ชายฝั่ง	ออกไซด์	2	0.913	0.781	-	0.415	0.799	0.629	0.881	0.614
		4	0.451	0.569	-	-	0.279	0.747	0.705	0.672
	ธาตุอินทรีย์	2	0.590	0.602	0.658	0.722	0.774	0.612	0.705	0.429
		4	0.509	0.819	0.859	0.508	0.790	0.511	0.812	0.599
คอนกรีต	ออกไซด์	2	0.625	0.149	0.570	0.884	0.632	0.681	0.482	0.652
		4	0.453	0.253	0.124	0.925	-	0.874	0.011	-
	ธาตุอินทรีย์	2	0.883	-	0.674	0.807	-	0.888	0.718	0.864
		4	0.755	-	0.004	0.751	-	0.118	0.790	0.017
สารปนเปื้อน	ออกไซด์	2	0.778	0.597	0.944	0.720	-	0.570	0.582	-
		4	0.726	0.296	0.817	0.565	-	0.681	0.943	-
	ธาตุอินทรีย์	2	0.560	0.726	-	0.724	0.872	0.556	0.454	0.455
		4	0.552	0.798	-	-	0.796	0.525	0.250	0.863
ซีเมนต์	ออกไซด์	2	0.937	0.257	0.946	0.866	0.841	0.370	0.477	0.283
		4	0.727	0.544	0.844	0.925	0.463	0.184	0.528	0.798
	ธาตุอินทรีย์	2	-	0.791	0.902	0.122	-	0.290	0.529	-
		4	-	0.575	0.953	0.513	-	0.999	0.536	-
ซีเมนต์บด	2	0.843	0.157	0.867	0.985	-	0.609	0.000	-	
	4	0.850	0.650	0.915	0.946	-	0.846	0.296	-	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธารณา อุบลเขียว เกิดเมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ.2533 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เมื่อปีการศึกษา 2555 จากนั้นในปี การศึกษา 2556 ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในระหว่างการศึกษา ปี พ.ศ.2559 ได้เข้า ร่วมเสนอผลงานวิจัย ในการประชุมวิชาการระดับชาติ โดยได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่ผลงาน ดังต่อไปนี้

ธารณา อุบลเขียว, อรุบล โชติพงศ์ และ จักรพันธ์ สุทธิรัตน์. ผลของอุณหภูมิต่อการชะ ละลายโลหะหนักในหินทิ้งประเภทหินทรายแป้งจากเหมืองแร่ทองคำ. รายงานการประชุมวิชาการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 15. 11 - 13 พฤษภาคม 2559 ณ โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์ รอง เมือง กรุงเทพมหานคร.

