



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสูบน้ำ และ
การกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมีในน้ำบาดาล
บริเวณรอบเหมืองทองทุ่งคำจังหวัดเลย

โดย

นาย ณรงค์พันธ์ สำแดง

เลขประจำตัวนิต 5732719023

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560

ขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสูบน้ำ และการกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมีในน้ำ
บาดาล
บริเวณรอบเหมืองทองทุ่งคำจังหวัดเลย

นายณรงค์พันธ์ สำแดง

รายงานนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560

Capture zone delineation and geochemical distribution in groundwater
around Tungcum Gold Mine Area, Changwat Loei, Thailand

MISTER NARONGPON SUMDANG

A report submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of the Bachelor of Science in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Academic Year 2017

หัวข้อโครงการ : ขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับสิทธิพลจากการสูบน้ำและ การกระจายตัวทางอุทกธรณี
เคมีในน้ำบาดาล บริเวณรอบเหมืองทองทุ่งคำจังหวัดเลย

โดย : นายณรงค์พันธ์ สำแดง

สาขาวิชา : ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์

วันที่ส่ง.....

วันที่อนุมัติ.....

.....

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์)

Project Title: CAPTURE ZONE DELINEATION AND GEOCHEMICAL DISTRIBUTION
IN GROUNDWATER AROUND THE TUNGKUM GOLD MINE AREA,
CHANGWAT LOEI, THAILAND

By: Mr. Narongpon Sumdang

Field of Study: Geology

Advisor: Associate Professor Srilert Chotpantararat, Ph.D.

Submitted date.....

Approval date.....

.....

Project Advisor

(Associate Professor Srilert Chotpantararat)

ณรงค์พนธ์ สำแดง :ขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสูบน้ำและการกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมี
ในน้ำบาดาล บริเวณรอบเหมืองทองทุ่งคำจังหวัดเลย (CAPTURE ZONE DELINEATION AND

GEOCHEMICAL DISTRIBUTION IN GROUNDWATER AROUND THE TUNGKUM GOLD MINE AREA, CHANGWAT LOEI, THAILAND) อ.ที่ปรึกษาโครงการ: รศ.ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์, 46 หน้า.

งานศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมี และอิทธิพลของการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่เหมืองทองทุ่งคำ หมู่บ้านนาหนองบง ต.เขาหลวง อ.วังสะพุง จ.เลย โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงสถิติ เพื่อใช้ในการศึกษาการกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมี ซึ่งฐานข้อมูลที่น่ามาใช้ในการศึกษานั้นมาจากการศึกษาข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลจากบ่อสังเกตการณ์ไว้ 24 บ่อในปี พ.ศ. 2539 และ 30 บ่อในปี 2555 จากนั้นจึงใช้การคำนวณเชิงสถิติด้วยวิธีการ 1) Cluster analysis 2) Friedman's test, 3) Mann-Whitney test และวิธี 4) Spearman correlation were performed โดยผลจากวิธี CA ได้แบ่งกลุ่มของบ่อสังเกตการณ์ตามระดับความเข้มข้นของมลสารโดยกลุ่มบ่อที่มีค่าความเข้มข้นน้อยส่วนใหญ่จะอยู่นอกระยะ 1500 เมตรรอบบ่อทิ้งกากแร่ ส่วนบ่อสังเกตการณ์ที่มีค่าความเข้มข้นมากจะอยู่ในระยะ 1500 เมตรรอบบ่อทิ้งกากแร่ ต่อมาเป็นผลจาก Friedman's test โดยค่า Mean rank มากที่สุดอยู่ที่บ่อ P1 มีค่า 40.20 มีระยะทางของบ่อจากบ่อทิ้งกากแร่ ที่ 528 เมตร และบ่อที่ค่า MR น้อยที่สุดคือบ่อ CGW30 ซึ่งมีค่า 15.40 และระยะทางของบ่อจากบ่อทิ้งกากแร่ 3,781 เมตร นอกจากนี้ผลของ Mann-Whitney test จะแสดงให้เห็นค่าความสัมพันธ์จาก Effect size ที่จะบอกอิทธิพลจากระยะทางที่จะส่งผลต่อมลสารซึ่งพบว่ามีลำดับคือ สารหนู (As), สังกะสี (Zn), ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) และสุดท้ายผลจาก Spearman correlation จะแสดงค่ามลสารที่มีค่า Correlation coefficients คือ สารหนู (As) - .443, สังกะสี (Zn) -.254, ตะกั่ว (Pb) -.103, ทองแดง (Cu) -.094 ซึ่งจากผลทางสถิติทั้งหมดสรุปได้ว่าการกระจายตัวทางอุทกธรณีในพื้นที่นี้แนวโน้มที่ความเข้มข้นของมลสาร จะมีค่าลดลงตามระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่ที่เพิ่มขึ้น โดยลำดับของมลสารที่ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางมากที่สุดคือ สารหนู (As) สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำข้อมูลที่ได้ในปี พ.ศ.2555 ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของมลสารโลหะหนัก เช่น สารหนู (As), แคดเมียม (Cd), ทองแดง (Cu), ปรอท (Hg), เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn), ซีลีเนียม (Se), ตะกั่ว (Pb), และสังกะสี (Zn) มาคำนวณหาค่าดัชนีโลหะหนัก (Heavy metal pollution index: HPI) พบว่า บ่อสังเกตการณ์ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักและมีค่า HPI มากกว่า 100 คือ บ่อ CGW7, CGW9, CGW10, CGW11, CGW13, CGW19, CGW26, และ CGW27 ซึ่งเป็นบ่อสังเกตการณ์ ที่อยู่ทั้งในและนอกระยะ 1500 เมตรรอบบ่อทิ้งกากแร่ นอกจากนี้จากการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลด้วยโปรแกรม VISUALMODFLOW FLEX พบว่าการกระจายตัวของมลสารในบ่อทิ้งกากแร่จะมีการกระจายตัวอยู่รอบบ่อทิ้งกากแร่ไม่เกิน 500 เมตร และอิทธิพลจากการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่ไม่ได้รับผลกระทบที่เกิดจากการกระจายตัวของมลสารบริเวณบ่อทิ้งกากแร่ แต่บ่อสูบน้ำที่ควรเฝ้าระวังการปนเปื้อนโลหะหนักได้แก่บ่อสูบที่อยู่ใกล้กับบ่อ CGW19 เช่นบ่อสูบ JJ1053

ภาควิชา..... ธรณีวิทยา..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา..... ธรณีวิทยา..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาโครงการ.....
 ปีการศึกษา..... 2560.....

5732719023: MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS: Capture zone delineation; Geochemical distribution; Ground water; Tungkum gold mine, Loei, Thailand

NARONGPON SUMDANG: CAPTURE ZONE DELINEATION AND GEOCHEMICAL DISTRIBUTION IN GROUNDWATER AROUND THE TUNGKUM GOLD MINE AREA, CHANGWAT LOEI, THAILAND.

ADVISOR: ASSOC. PROF. SRILERT CHOTPANTARAT, 46 pp.

In this study, the prospective geochemical distribution and capture zone delineation in groundwater around the Tungkum Gold Mine area, Loei province, Thailand. The observed data was conducted by the previous studies, consisting of the observed geochemical data from 24 wells in 1996 and 30 wells in 2012. To investigate the geochemical distribution, the multivariate statistical analyses, consisting of 1) Cluster analysis 2) Friedman’s test, 3) Mann-Whitney test, and 4) Spearman correlation were performed. According to CA method, the result showed that the observation wells were divided into 2 groups, responsible to the distance from the tailing dam: 1) observation wells were laid near the mine tailings dam not < 1500 meter and 2) observation wells were laid far from the tailings dam > 1500 meter. The Friedman’s test showed that well P1, located approx. 528 meters downstream from the tailings dam, had the highest mean rank value of 40.20, while well CGW30, located approx. 3,781 meters downstream from the tailing dam, had the lowest mean rank value of 15.40. The Mann-Whitney test revealed that the concentration of trace elements in groundwater appeared to be in the descending order: Arsenic (As), Zinc (Zn), Lead (Pb), and Copper (Cu). Futhermore, the Spearman correlation showed that correlation coefficients values of four elements presented in the following order: As (-.443), Zn (-.254), Pb (-.103), and Cu (-.094). The statistical analysis can conclude that the relationships between trace elemental concentrations in the groundwater samples and distance of a sampling site from the mine tailings dam were negative relationship. Eight trace elements (i.e, As, Cd, Cu, Hg, Fe, Mn, Se, Pb, and Zn) that were recorded during 2012 were determined by used heavy metal pollution index (HPI), the result showed that the wells with HPI > 100 were approx. 27% of the observation wells, consisting of CGW7, CGW9, CGW10, CGW11, CGW13, CGW19, CGW26, and CGW27. Finally, a Visual MODFLOW FLEX showed that particles generated move not more than 500 meters around tailing dam and a capture zone delineation from pumping wells appeared to be not interfered by mining area, including the tailing dam, but the pumping well, JJ1053, was laid near CGW19 should be further monitored for water quality before use.

Department:.....Geology.....Student’sSignature.....
Field-of-Study:.....Geology.....Advisor’sSignature.....
Academic Year:..... 2017

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดีด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้คำแนะนำ ความรู้ กำลังใจ ตลอดจนคำปรึกษาให้ในทุกเรื่องตลอดระยะเวลาดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณภาควิชาเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่นและสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์และข้อมูลต่างๆในการทำแบบจำลอง

ขอขอบพระคุณนางสาวเฉลิมพร พลประสิทธิ์ ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลแบบจำลองน้ำบาดาลในพื้นที่

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ธรณีวิทยาและพีๆ น้องๆ ชมรมธรณีสัมพันธ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวเป็นกำลังใจตลอดการจัดทำงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ช-ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ-ฏ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2-6
1.4 สมมติฐาน	6
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดิน	7
2.1.2 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับ MODPATH	8-9
2.1.3 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับการคำนวณเชิงสถิติเพื่อหาการกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมีในพื้นที่	10-16
2.1.4 Heavy Metal pollution index (HPI)	16
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17-19

บทที่ 3 ระเบียบงานวิจัย

3.1 ระเบียบงานวิจัย

3.1.1 แผนการศึกษา	20
3.1.2 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	20
3.1.3 จัดทำตารางข้อมูลการกระจายตัวด้านอุทกธรณีเคมีในพื้นที่	20
3.1.4 หากการกระจายตัวด้านอุทกธรณีเคมีในพื้นที่โดยใช้ขั้นตอนวิธีการทางสถิติ	21-24
3.1.5 Metal pollution index (MPI)	24
3.1.6 จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสูบน้ำ	24-25
3.1.7 สรุปผลการศึกษาและอภิปราย	25

บทที่ 4 ผลการศึกษา

4.1 การหาความสัมพันธ์การกระจายตัวของอุทกธรณีเคมีในพื้นที่ด้วยวิธีทางสถิติ	26-42
4.2 การวิเคราะห์ค่าดัชนีโลหะหนักในพื้นที่	42-44
4.3 การสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลแสดงพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสูบน้ำในพื้นที่	44-45
4.4 การวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำทุ่งคำ	45

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าอนุโลมและค่าอนุโลนสูงสุดในน้ำบาดลของโลหะแต่ละชนิด	18
ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลของมหาวิทยาลัยขอนแก่น (2539)	19
ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลของสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2555)	20
ตารางที่ 3.1 แสดงรูปแบบการจัดทำข้อมูล	22
ตารางที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลแบบจำลองน้ำบาดาล	27
ตารางที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการสร้างแบบจำลองแสดงการเคลื่อนที่ของสสาร	27
ตาราง 4.1 แสดงผลการคำนวณเพื่อทดสอบการแจกแจงแบบปกติ	28
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า Mean rank (a) ข้อมูลเดือนมีนาคม 2539 (b) ข้อมูลเดือนกรกฎาคม 2539 (c) ข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์ 2555 (d) ข้อมูลเดือนพฤษภาคม 2555 (e) ผลรวม 2539-2555	35-37
ตารางที่ 4.3 แสดงผลที่ได้จากการทำ Spearman correlation	44

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนที่ภูมิประเทศแสดงพื้นที่ศึกษาเหมืองทุ่งคำ	2
รูปที่ 1.2 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเลย (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)	4
รูปที่ 1.3 แผนที่ธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษารอบเหมืองทุ่งคำ	5
รูปที่ 1.4 แผนที่แสดงชั้นน้ำในพื้นที่	6
รูปที่ 2.1 แสดง Forward tracking ใน MODPATH (User Guide for MODPATH,USGS)	10
รูปที่ 2.2 แสดง Backward tracking ใน MODPATH (User Guide for MODPATH,USGS)	10
รูปที่ 2.3 แสดงชนิดของการใช้วิธี clustal analysis	12
รูปที่ 2.4 แสดงผลของค่า rs ในขั้นตอน spearman correlation	17
รูปที่ 2.5 แสดงแผนภูมิการทำงานของ Rwiza	21
รูปที่ 3.1 แสดงภาพหน้าตาต่างการตั้งค่าของขั้นตอนการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ	23
รูปที่ 3.2 แสดงภาพหน้าตาต่างการตั้งค่าของขั้นตอน Cluster analysis	24
รูปที่ 3.3 แสดงภาพหน้าตาต่างการตั้งค่าของขั้นตอน Spearman correlation	26
รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงขั้นตอนระเบียบงานวิจัย	27
รูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพ Dendrogram ในเดือนมีนาคม พ.ศ.2539	30
รูปที่ 4.2 แสดงแผนภาพ Dendrogram ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2539	31
รูปที่ 4.3 แสดงแผนภาพ Dendrogram ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2555	32
รูปที่ 4.4 แสดงแผนภาพ Dendrogram ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2555	33

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Mean rank กับค่าระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่	37-39
(a) ข้อมูลเดือนมีนาคม 2539 (b) ข้อมูลเดือนกรกฎาคม 2539	
(c) ข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์ 2555 (d) ข้อมูลเดือนพฤษภาคม 2555	
(e) ผลรวม 2539-2555	
รูปที่ 4.6 แสดง (a) ข้อมูลเดือนมีนาคม 2539 (b) ข้อมูลเดือนกรกฎาคม 2539	41-43
(c) ข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์ 2555 (d) ข้อมูลเดือนพฤษภาคม 2555	
(e) ผลรวม 2539-2555	
รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงค่า HPI ข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์ 2555	45
รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงค่า HPI ข้อมูลเดือนพฤษภาคม 2555	45
รูปที่ 4.9 แผนที่แสดงบ่อสังเกตการณ์ที่มีค่า HPI เกินมาตรฐาน	46
รูปที่ 4.10 แผนที่แสดงแบบจำลองการกระจายตัวของอนุภาคแบบ Forward particle tracking (สีเขียว) Backward particle tracking (สีแดง)	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

จากเหตุการณ์การทรุดตัวของบ่อทิ้งกากแร่บริเวณเหมืองทองทุ่งคำ จังหวัดเลย ในปี พ.ศ.2555 ทำให้เกิดการตื่นตัวเกี่ยวกับปัญหาด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ไม่ว่าเป็นการตั้งโรงงานหรือประกอบกิจกรรมเหมืองแร่ ซึ่งจากการศึกษาของ Rwiza และคณะ (2016) เกี่ยวกับการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เหมืองของประเทศแทนซาเนียโดยการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าการกระจายตัวของด้านอุทกธรณีเคมีของปริมาณโลหะหนักในน้ำบาดาลจะแปรผกผันกับระยะห่างจากบ่อทิ้งกากแร่ ซึ่งทำให้สันนิษฐานได้ว่าเหมืองอาจส่งผลกระทบต่อปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำบาดาล และเริ่มมีการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาด้านนี้กันอย่างจริงจังมากขึ้น (Rwiza et al., 2016) สำหรับพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่พื้นที่ เหมืองทองทุ่งคำ จังหวัดเลย ซึ่งเริ่มมีการดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ.2549 มีลักษณะการเกิดของทองคำในพื้นที่เป็นแบบเกิดในหินตะกอนระดับตื้น ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรสภาพ หินหนืด และการเปลี่ยนแปลงในชั้นแมนเทิล (คำวงศ์, 2013) และมีการตรวจวัดด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อม ทั้ง ดิน น้ำผิวดิน และน้ำบาดาลในพื้นที่โดยรอบเหมืองทองในปี พ.ศ. 2539 และ 2555 (ภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 1996) (สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2012)

เพื่อให้การประเมินผลกระทบรอบพื้นที่เหมืองทองต่อคุณภาพน้ำบาดาลมีความน่าเชื่อถือ จำเป็นต้องวิเคราะห์ในด้านธรณีเคมีอย่างเป็นระบบโดยวิธีทางสถิติ (Rwiza et al., 2016) นอกจากนี้เพื่อไม่ให้เกิดการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่โดยรอบพื้นที่เหมืองทองส่งผลการแพร่กระจายของมลสาร (ในกรณีที่เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำบาดาล) จำเป็นต้องประเมินอิทธิพลที่เกิดจากการสูบน้ำที่เรียกว่า capture zone delineation ซึ่งได้มาจากการจำลองขอบเขตพื้นที่สูบน้ำในพื้นที่ (Ahern, 2005) ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าดัชนีโลหะหนัก (จอมจันทร์ นทีวัฒนา, 2015) และจากการวิเคราะห์การกระจายตัวทางสถิติทางด้านอุทกธรณีเคมีร่วมกับการประเมินอิทธิพลของการสูบน้ำโดยใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองน้ำบาดาล Visual MODFLOW (Wake, 2008) เพื่อให้ทราบข้อมูลบ่อสูบน้ำที่ปลอดภัยและควรติดตามเฝ้าระวัง เพื่อให้สามารถวางแผนในการบริหารจัดการน้ำบาดาลในพื้นที่เพื่อกำหนดบ่อสูบน้ำที่ปลอดภัยในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

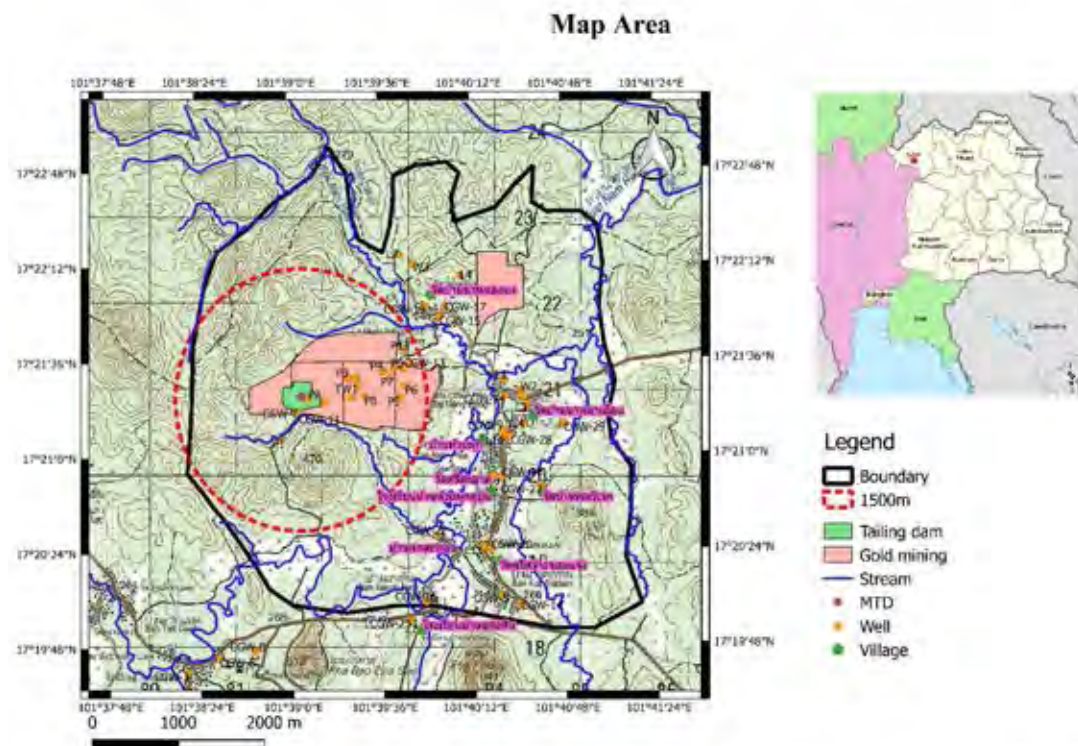
เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมีในพื้นที่รอบเหมืองทองคำทุ่งคำ จังหวัดเลย และประเมินอิทธิพลที่เกิดจากการสูบน้ำของพื้นที่ข้างเคียง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

พื้นที่ศึกษาบริเวณรอบเหมืองแร่ทุ่งคำ ครอบคลุมตำบลเขาหลวงและตำบลหนองจิว อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย

1.3.1 สภาพภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศทั่วไปของพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ 26 ตารางกิโลเมตรแสดงดัง รูปที่ 1.1 มีกลุ่มภูเขาเตี้ยๆ ได้แก่ภูทับฟ้า ภูซำป่าคาวและภูเหล็ก ตั้งสลับกับพื้นที่ราบหุบเขา ซึ่งอยู่ทาง ทิศตะวันออกของหมู่บ้านนาหนองบงและหมู่บ้านห้วยผุก และทิศเหนือของหมู่บ้านกสะทอนความสูงของพื้นที่อยู่ระหว่าง 250-400 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (รทก.) ลักษณะทางน้ำเป็นแบบรูปกิ่งไม้ และส่วนใหญ่มีน้ำไหลแค่ฤดูฝน โดยมีทิศทางการไหลลงห้วยน้ำฮวย และไหลต่อไปยังแม่น้ำเลย ซึ่งปรากฏอยู่ทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่เหมือง

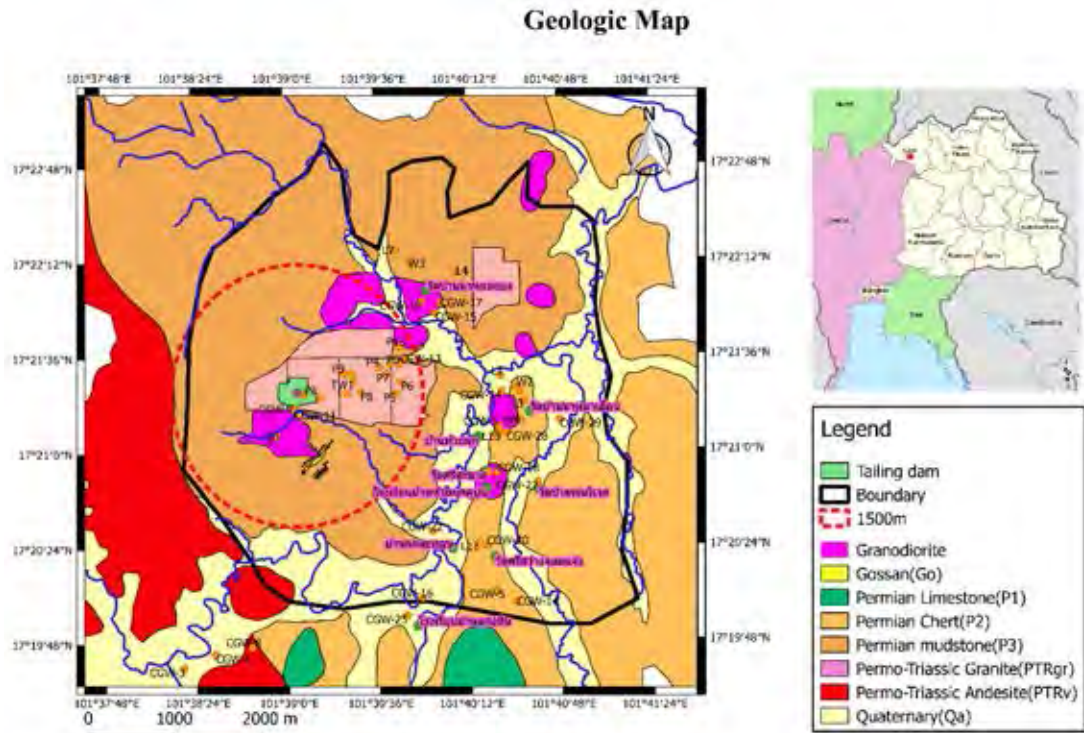


Data source: Environmental Research Institute Chulalongkorn University (ERIC)

รูปที่ 1.1 แผนที่ภูมิประเทศแสดงพื้นที่ศึกษาเหมืองทุ่งคำ

1.3.2 ลักษณะธรณีวิทยา

สภาพทางธรณีวิทยาในจังหวัดเลย ประกอบด้วยหินตะกอน หินอัคนี หินแปร อายุตั้งแต่ ไชลูเรียนจนถึงยุคดีโวเนียน (Silurian-Devonian) และยังมีตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) อีกด้วยซึ่งแสดงตาม รูปที่ 1.2 (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) หินตะกอนที่พบส่วนใหญ่ในพื้นที่จังหวัดเลย ส่วนใหญ่เป็นหินตะกอนที่สะสม ตัวในสภาพแวดล้อมแบบทะเล ประกอบด้วย หินทราย หินดินดาน หินปูนและ หินเชิร์ต ซึ่งอยู่ในมหายุคพาลีโอโซอิกตอนกลางและตอนบน (ไชลูเรียนถึงเพอร์เมียน) และ ยังพบซากฟอสซิลอยู่ด้วย หินตะกอนเหล่านี้ส่วนใหญ่พบอยู่ทางตอนกลางและตะวันออกของจังหวัดเลย โดยจะวางตัวอยู่บนหินฐานยุคไชลูเรียนโดยเป็นหินชนิดหินแปรเกรดต่ำ เช่น หินชีสต์ หินฟิลไลต์ และ หินควอตไซต์ นอกจากนี้ยังพบหินแปรวางตัวอยู่ทางด้านตะวันออกของพื้นที่ด้านบนของหินตะกอน มหายุคพาลีโอโซอิกถูกปิดทับด้วยหินมหายุคมีโซโซอิก (Mesozoic) พบอยู่ทางด้านตะวันตกและทาง ตอนใต้ของพื้นที่ ประกอบด้วยหินทรายและหินดินดานที่สะสมตัวในน้ำจืดบนบก ได้แก่ กลุ่มหินโคราช สุดท้ายตะกอนยุคควอเทอร์นารีซึ่งมีอายุอ่อนที่สุดในพื้นที่จังหวัดเลยพบอยู่ตามบริเวณธารน้ำไหล ตอนกลางของพื้นที่จังหวัดเลย (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) นอกจากนี้ยังพบหินอัคนีกระจายตัวอยู่ใน พื้นที่จังหวัดเลย เช่น หินบะซอลต์ยุคดีโวเนียนถึงคาร์บอนิเฟอรัส และ หินไรโอไลต์-หินแอนดีไซต์ ยุค เพอร์โม-ไทรแอสซิก และหินแกรนิต หินแกรโนไดออไรต์ในยุคไทรแอสซิก โครงสร้างของหินเหล่านี้ วางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ โดยมีแนวแกนของชั้นหิน คดโค้ง วางตัวในแนวเดียวกันและเอียงลงไปทางใต้ เล็กน้อย หลักฐานทางธรณีวิทยาชี้ให้เห็นว่าการคดโค้งของชั้นหินดังกล่าวน่าจะเกิดขึ้นหลังยุคเพอร์เมียน และก่อนการแทรกดันตัวขึ้นมาของหินแกรนิตส่วนใหญ่ ซึ่งให้อายุประมาณยุค ไทรแอสซิก (234 ล้านปี) (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) ลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่ที่พบคือ จะพบ Gd, Go, Jpk, P1, P2, P3, PTRgr, PTRv และ Qa ดังรูป 1.3 โดยสายแร่ทองคำที่พบส่วนใหญ่มักตั้งอยู่บน Gd ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ตั้ง ของเหมือง

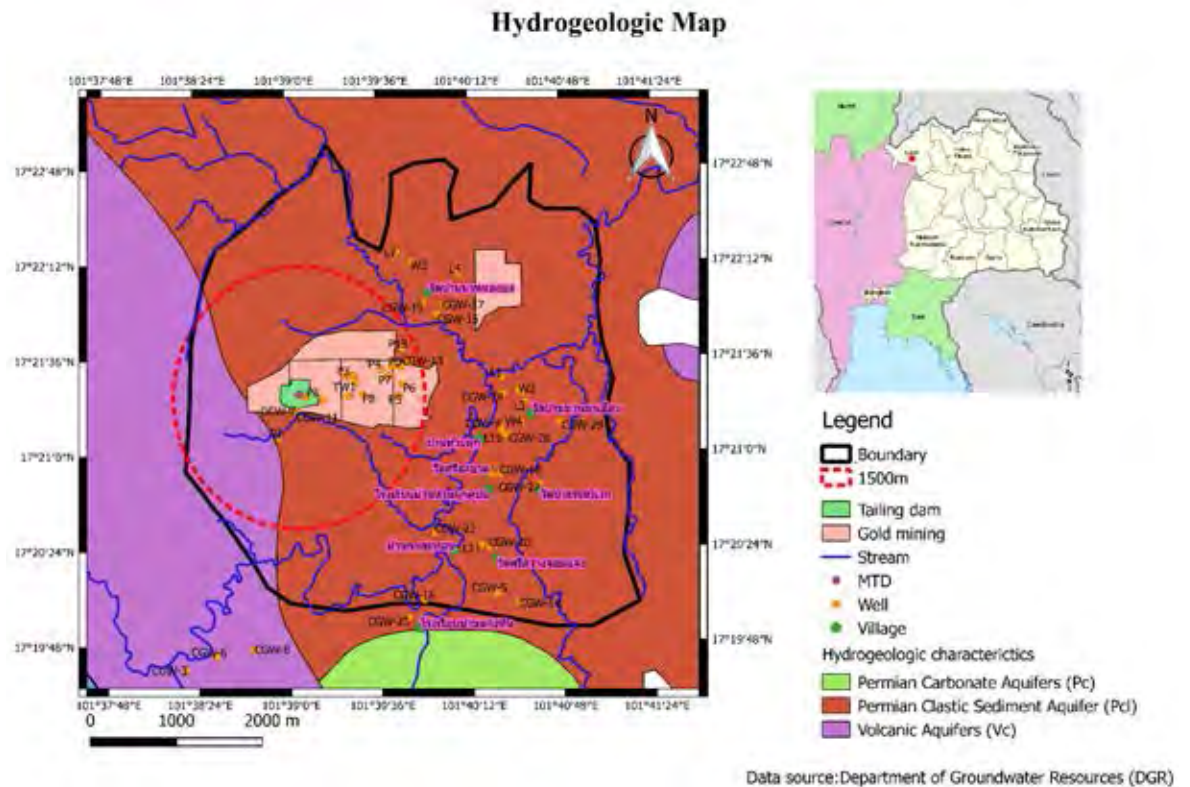


รูปที่ 1.3 แผนที่ธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษารอบเหมืองทุ่งคำ

1.3.3 ลักษณะอุทกธรณีวิทยา

ระดับของน้ำบาดาลนั้นจะขึ้นกับระดับความสูงของภูมิประเทศ กล่าวคือในบริเวณพื้นที่สูงระดับน้ำบาดาลนั้นจะมีความลึกจากผิวดินประมาณ 30-40 เมตร และในบริเวณพื้นที่ต่ำระดับของน้ำบาดาลมีความลึกไม่เกิน 10 เมตร และบริเวณที่สูงระดับแรงดันน้ำของน้ำบาดาลจะสูงกว่าระดับแรงดันน้ำในที่ต่ำ โดยธรรมชาติพื้นที่เติมน้ำ (recharge area) มักจะเป็นพื้นที่ที่อยู่ในภูมิประเทศสูง ระดับของน้ำบาดาลอยู่ในระดับลึกประมาณ 30-40 เมตรโดยน้ำจะถูกเติมโดยน้ำฝนที่ตกในพื้นที่เติมน้ำ ส่วนในพื้นที่รับน้ำ (discharge area) นั้นได้แก่ บริเวณที่มีภูมิประเทศต่ำ เช่น ห้วยน้ำฮวย ห้วยน้ำฝุก และบริเวณพื้นที่ร่องน้ำระหว่างหุบเขา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2539) ในบริเวณพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นแหล่งน้ำบาดาลในหินแข็ง พบแหล่งน้ำบาดาลในตะกอนหินร่วนบ้าง โดยพบในดินตะกอนเชิงเขา (Colluvium) ซึ่งจะพบเศษหินของหินทราย (sandstone) ที่มีสีน้ำตาล และสีเทาจนถึงสีเทาดำ หินทรายแป้ง (siltstone) ที่มีสีเทาอมน้ำตาล และ พบหินเชิร์ต (chert) มีสีเทาจนถึงสีม่วงเทา โดยที่หินร่วนเหล่านี้มีความหนา 2-5 เมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำผ่าน (Coefficient of Permeability, K) ประมาณ 0.1-20 เมตรต่อวัน และมีค่าความพรุน (porosity) ค่อนข้างสูงแหล่งน้ำบาดาลในหินแข็ง (consolidated aquifers) ในพื้นที่ศึกษาสามารถจำแนกได้เป็น 3 หน่วยหิน (กรมทรัพยากรธรณี, 2544) ได้แก่

1. **ชั้นน้ำบาดาลหินปูน** (หินตะกอนมวลเม็ดอายุเพอร์เมียน) (Permian Clastic Sediment Aquifer: Pcl) ประกอบด้วยหินในหมวดหินผาเตือ ได้แก่ หินดินดานหินทรายและหินทรายแป้ง โดยทั่วไปปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์ 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
2. **ชั้นน้ำบาดาลหินภูเขาไฟ** (Volcanic Aquifers: Vc) ในพื้นที่ศึกษาพบว่าส่วนใหญ่เป็นหินแอนดีไซต์ และหินไรโอไลต์ ปิดทับอยู่บนหินที่มีอายุแก่กว่า โดยทั่วไปปริมาณน้ำค่อนข้างน้อยอยู่ในเกณฑ์ น้อยกว่า 2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
3. **ชั้นน้ำบาดาลหินปูน** (หินคาร์บอนเตอายุเพอร์เมียน) (Permian Carbonate Aquifers: Pc) ในพื้นที่ศึกษาพบชั้นน้ำบาดาลที่ได้จากกลุ่มหินราชบุรีโดยชั้นน้ำบาดาลนี้อยู่บริเวณตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาบริเวณเขาผาพุง โดยสภาพธรรมชาติน้ำบาดาลมักได้จากโพรงหินใต้ดินโดยทั่วไปปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์ 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 1.4 แผนที่แสดงชั้นน้ำในพื้นที่

1.4 สมมติฐาน

การใช้การคำนวณทางสถิติ สามารถบ่งบอกการกระจายตัวของอุทกธรณีเคมีในพื้นที่ ที่สัมพันธ์กับระยะห่างจากตัวบ่อที่ึงกากแร่ได้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ข้อมูลการกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมีในพื้นที่ และแผนที่แสดงพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสูบน้ำที่อาจจะได้รับอิทธิพลจากการประกอบกิจการเหมืองแร่ ของพื้นที่รอบเหมืองทองทุ่งคำ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดิน

1. สมการการไหลของ 3 มิติของน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow Equation)

การเคลื่อนที่ 3 มิติของน้ำบาดาลผ่านตัวกลางที่มีรูพรุนในสถานะที่ความหนาแน่นคงที่ถูกอธิบายด้วยสมการเชิงอนุพันธ์นี้ (Harbuagh, 2005)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

โดยที่

K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} คือ เมตริกซ์ของสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) มีหน่วยเป็น ระยะทางต่อเวลา (L/T)

W คือ ปริมาตรของการไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Volumetric flux) มีหน่วย เป็นหนึ่งส่วนเวลา (1/T) ซึ่งมีค่า

h คือ แรงดันน้ำใต้ดิน (head) มีหน่วยเป็นระยะทาง (L)

เป็นบวกสำหรับการไหลที่เพิ่มน้ำเข้าสู่ ระบบ และมีค่าเป็นลบสำหรับการไหลของน้ำออกจากระบบ

S_s คือ การกักเก็บจำเพาะ (Specific storage) มีหน่วยเป็นหนึ่งส่วนระยะทาง (1/L)

t คือ เวลา (T)

สมการนี้ อธิบายการไหลของน้ำบาดาลภายใต้สถานะที่ไม่สมดุล (non-equilibrium condition) ของวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) และเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางกลศาสตร์เปลี่ยนแปลงตามทิศทาง (anisotropic) ซึ่งเรานำสมการนี้ไปอ้างอิงเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองน้ำใต้ดินออกมาซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมีในพื้นที่

2.1.2 MODPATH

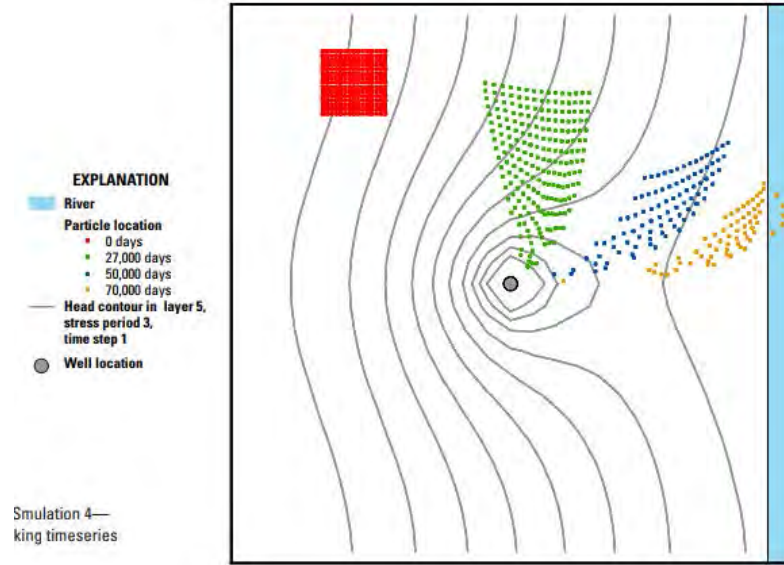
คือ ส่วนหนึ่งของโปรแกรมที่ทำงานใน MODFLOW ออกแบบมาเพื่อใช้ในการทำแบบจำลองน้ำบาดาลสำหรับดูการเคลื่อนที่ของสสารที่เคลื่อนที่ในระบบแบบจำลองน้ำบาดาล โดยสามารถทำงานกับแบบจำลองน้ำบาดาลได้ทั้ง steady-state และ transient state โดยแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนหลักๆ คือ หนึ่งการทำงานในการคำนวณทิศทางการเคลื่อนที่และเวลาของสสารในแบบจำลองน้ำบาดาล โดยปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อค่าคำนวณนี้ คือ ความเร็วของสสาร ตำแหน่งเริ่มต้นของสสาร และขอบเขตพื้นที่รับน้ำ การทำงานส่วนต่อมาของ MODPATH คือการสร้างกราฟ และภาพจำลองการเคลื่อนที่ของสสาร โดยจะเอาข้อมูลจากขั้นตอนแรกมาใช้ในการสร้าง

ผลของการทำงานของ MODPATH จะมีด้วยกัน 2 อย่าง

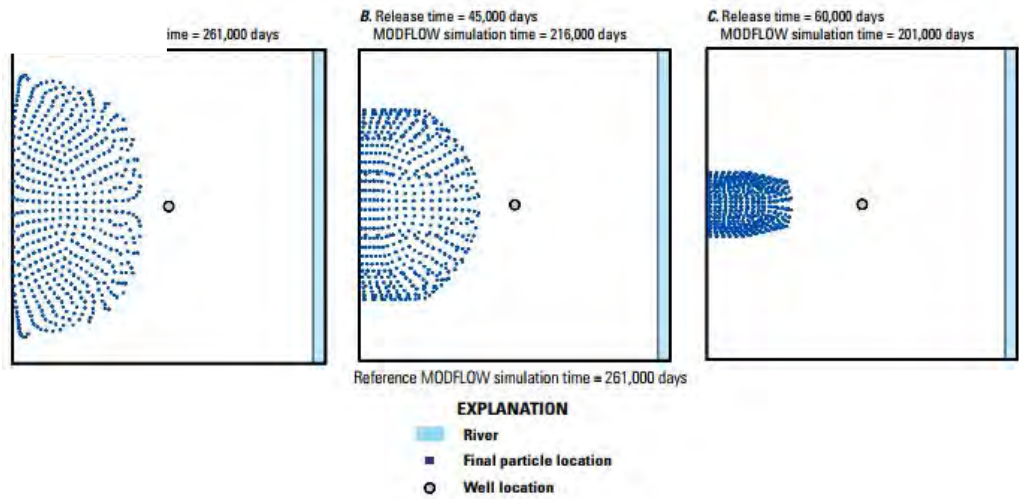
1. Forward tracking จะเป็นการคำนวณโดยจำลอง Start point ขึ้นมาและให้เวลาคุณ +1 เพื่อให้สสารเคลื่อนที่ไปด้านหน้าเพื่อหา End point ซึ่งเราสามารถกำหนดเวลาจนสามารถหาจุดจบของมันได้ เช่น บริเวณแม่น้ำ หรือพื้นที่รับน้ำ หรือขอบเขตที่รับน้ำ โดยสรุปแล้วฟังก์ชันการทำงานของ Forward tracking มักใช้ในการหา Sink ของแบบจำลอง

2. Backward tracking จะเป็นการคำนวณโดยจำลอง End point ขึ้นมาและให้เวลาคุณ -1 ทำให้สสารเคลื่อนที่ย้อนกลับเพื่อหา Start point ของสสารโดยสามารถกำหนดเวลาจนเป็นอนันต์ได้แต่จะไม่สามารถหาจุด Start point ได้แต่เราสามารถนำ part line ที่มันสร้างมาประมาณทิศทางการเคลื่อนที่ผ่านได้ โดยสรุปแล้วฟังก์ชันการทำงานของ Backward tracking มักใช้ในการหา Source ของแบบจำลอง

โดยประโยชน์ของ MODPATH นั้นสามารถนำไปใช้สร้าง delineating capture และ recharge areas or drawing flow nets ซึ่งจะตรงกับจุดประสงค์ของโครงการนี้ คือ เพื่อหาขอบเขตผลกระทบที่เกิดจากการสูบน้ำในพื้นที่



รูปที่ 2.1 แสดง Forward tracking ใน MODPATH (User Guide for MODPATH,USGS)



รูปที่ 2.2 แสดง Backward tracking ใน MODPATH (User Guide for MODPATH,USGS)

2.1.3 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับการคำนวณเชิงสถิติเพื่อหาการกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมีในพื้นที่

1. Normal distribution test

Kolmogorov-Smirnov Test (K-S Test) จะใช้เมื่อข้อมูลมีมากกว่า 50 case และ Shapiro-Wilk Test จะใช้เมื่อมีข้อมูลน้อยกว่า 50 case

การวิเคราะห์ กำหนดให้ H_0 (Null Hypothesis) : มีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 (Alternative Hypothesis) : ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติ Kolmogorov-Smirnov ค่า Sig. ต้องมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญแอลฟา แสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก H_0 ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติ Shapiro-Wilk Test ค่า Sig. ต้องมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญแอลฟา แสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก H_0 ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

ตัวอย่าง มีคะแนนสอบอยู่ชุดหนึ่ง ได้แก่ 28 29 32 30 37 34 39 25 30 35 33 35 37 ต้องการทราบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่

ทดสอบด้วยสมมติฐาน

H_0 (Null Hypothesis) : มีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 (Alternative Hypothesis) : มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ

2. Cluster analysis(CA)

เป็นการวิเคราะห์เชิงสำรวจที่พยายามจะจัด case ที่มีลักษณะเหมือนหรือคล้ายคลึง กัน (homogeneous) เข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดย case ที่เป็นสมาชิกของกลุ่มเดียวกันจะมีความเหมือนหรือมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน และมีความแตกต่างจาก case ที่เป็นสมาชิกของกลุ่มอื่นๆ

ขั้นตอนการทำ Clustal analysis

- 1) Data selection and treatment คือการเลือกชนิดของข้อมูลที่เก็บ โดยในที่นี้จะเป็นข้อมูลของปอน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา
- 2) Variables selection คือการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ในการแบ่ง โดยในที่นี้จะใช้เป็นค่า MTD เป็นพารามิเตอร์ในการแบ่งกลุ่มข้อมูล
- 3) Similarity measure คือการหาความแตกต่างของข้อมูลที่แบ่งได้ เช่นกำหนดช่วงของระยะทาง MTD เพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่มของข้อมูล
- 4) Cluster method determination คือกระบวนการขั้นตอนในการแบ่ง โดยจะใช้โปรแกรม SPSS ช่วยในการคำนวณ โดย

สามารถเลือกรูปแบบของการแบ่งได้สามประเภท คือ

- 1) hierarchical clustering คือขั้นตอนการแบ่งโดยเริ่มจากข้อมูลทั้งหมดรวมและแบ่งออกเป็นหลายๆ กลุ่มเหมาะสำหรับข้อมูลที่ไม่รู้จะแบ่งออกได้เป็นกี่กลุ่ม
- 2) nonhierarchical clustering คือขั้นตอนการแบ่งโดยกำหนดจำนวนกลุ่มข้อมูลเอาไว้แล้ว ซึ่งจะทำให้ได้ค่าการกระจายของข้อมูลตามที่ต้องการ
- 3) two steps or combined clustering คือการนำทั้งสองวิธีข้างต้นมาใช้ร่วมกันและนำมาเปรียบเทียบ
- 5) Number of clusters definition คือค่าของจำนวนกลุ่มข้อมูลที่แบ่งได้
- 6) Results validation คือผลของการแบ่งข้อมูล

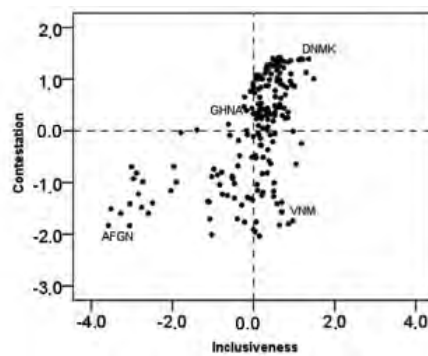
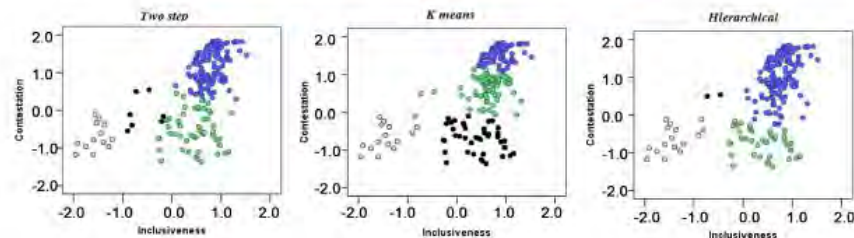


Figure 3. Observed countries according to polyarchy dimensions.



รูปที่ 2.3 แสดงชนิดของการใช้วิธี clustal analysis

3.Friedman's ANOVA Analysis

Friedman's ANOVA เป็นการทดสอบพารามิเตอร์ ที่ให้ผลที่น่าเชื่อถือแม้ว่า ข้อมูลจะไม่เป็นไปตามข้อตกลงก็ตาม ข้อตกลง สำหรับ ANOVA เหมือนกับของ t-test ตัวแปรตามต้องเป็น continuous data และกระจายแบบปกติ ตัวแปรกลุ่มต้องเป็นอิสระแก่กัน และต้องมี variance เท่ากัน ซึ่งจากการที่มีจำนวนข้อมูลแค่ 20 ตัวอย่างทำให้ต้องใช้การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบ Friedman's ANOVA Analysis

โดยในที่นี้จะใช้สำหรับหาความแตกต่างของความเข้มข้นของมลสาร ตามระยะทางที่ต่างกัันจาก MTD ที่ได้มาจากวิธี clustal analysis โดยเงื่อนไขในการใช้ Friedman's ANOVA นั้นมีด้วยกันสองข้อ คือ

1. ลำดับของการไ้ระดับการทดลอง ต้องเป็นการสุ่ม
2. ข้อมูลมีมาตราเรียงอันดับ (Ordinal scale) เป็นอย่างน้อย

โดยมีลำดับการคำนวณดังนี้

1. นำข้อมูลมาทำเป็น matrix $\{x_{ij}\}_{n \times k}$ จากนั้นหาระยะห่างของข้อมูลแต่ละตัวและสร้างเป็น matrix ใหม่ $\{r_{ij}\}_{n \times k}$

2. หาค่า

$$\bar{r}_{.j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{ij}$$

$$\bar{r} = \frac{1}{nk} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k r_{ij}$$

$$SS_t = n \sum_{j=1}^k (\bar{r}_{.j} - \bar{r})^2,$$

$$SS_e = \frac{1}{n(k-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (r_{ij} - \bar{r})^2$$

3. นำมาคำนวณหา probability distribution of Q

$$Q = \frac{SS_t}{SS_e}.$$

4. นำมาหาค่า p-value โดยใช้สมการ

$$\mathbf{P}(\chi_{k-1}^2 \geq Q).$$

4. Mann-Whitney U test

สถิติทดสอบแมนวิทนียู เป็นสถิติอนพาราเมตริกที่มี คุณสมบัติการทดสอบใกล้เคียงกับ t-test มีประสิทธิภาพในการทดสอบสูงใช้ทดสอบสมมติฐานว่ากลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน มาจากประชากรที่มี ลักษณะการแจกแจงเหมือนกัน หรือใช้ทดสอบว่าประชากร 2 ประชากรมีการแจกแจงความน่าจะเป็นชนิดเดียวกันหรือไม่ สถิติทดสอบแมนวิทนียูจึงเป็นการทดสอบที่เหมาะสมสำหรับใช้เปรียบเทียบประชากรอิสระ 2 กลุ่ม

ข้อกำหนดเบื้องต้นของการใช้ Mann-Whitney U test

1. ข้อมูลประกอบด้วยตัวอย่างสุ่มด้วยค่า $X_1, X_2 \dots X_{n1}$ จากประชากรที่ 1 และตัวอย่างสุ่มอีกชุด ด้วยค่าสังเกต $Y_1, Y_2 \dots Y_{n2}$ จากประชากรที่ 2 ซึ่งเป็นอิสระกัน
2. ตัวอย่าง 2 ชุดนี้เป็นอิสระกัน
3. ค่าตัวแปรสุ่มมีค่าต่อเนื่อง (continuous)
4. มาตรการวัดอย่างน้อยเป็นแบบเรียงลำดับ (ordinal scale)
5. ฟังก์ชันการแจกแจง ของ 2 ประชากร ต่างกันเฉพาะค่ากลาง (ซึ่งนิยามวัดด้วยมัธยฐาน M_x, M_y) นั่นคือ ประชากรทั้ง 2 ต้องมี การแจกแจงที่เหมือนกัน ต่างกันเฉพาะค่ากลางเท่านั้น สมมติฐาน

H_0 : กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มมาจากประชากรที่มี การแจกแจงเหมือนกัน (ค่ากลางเท่ากัน)

H_1 : กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มมาจากประชากรที่มี การแจกแจงไม่เหมือนกัน (แตกต่างกัน)

สถิติที่ใช้ทดสอบ

เป็นการทดสอบแบบทางเดียว หรือสองทางก็ได้แล้วแต่กรณีคำนวณหาค่า U จาก

$$U = \text{Minimum } |U_1, U_2| \text{ (ค่าที่น้อยที่สุดระหว่าง } U_1 \text{ กับ } U_2)$$

โดยที่

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - \sum R_1$$

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - \sum R_2$$

เมื่อ n_1 เป็นขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

n_2 เป็นขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

$\sum R_1$ ผลรวมอันดับของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

$\sum R_2$ ผลรวมอันดับของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ (n_1 หรือ $n_2 > 20$)

การแจกแจงของกลุ่มตัวอย่างจะมีลักษณะใกล้เคียงกับการแจกแจงปกติ

จะมีการเปลี่ยนค่าเป็น U เป็น Z ดังนี้

$$Z = \frac{U - \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2 + 1}}{\sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{n_1 + n_2 + 1}}}$$

การตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณค่าของ U ทำโดยใช้สูตร

$$U = n_1 n_2 - U'$$

เมื่อ U แทนค่า U ที่น้อยกว่า ในค่า U1 และ U2 ที่คำนวณได้
U' แทนค่า U ที่มากกว่า ในค่า U1 และ U2 ที่คำนวณได้

กรณีใช้ค่า U

หาก $n_1 < 8$ และ $n_2 > 8$

1. กรณีที่เป็นการทดสอบทางเดียว

จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่าความน่าจะเป็นที่เปิดได้ตามตารางมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญที่กำหนด

2. กรณีที่เป็นการทดสอบสองทาง

จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่าความน่าจะเป็นที่เปิดได้ตามตารางมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ $\frac{\alpha}{2}$

หาก $9 < n_1 < 20$ หรือ $9 < n_2 < 20$

จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่า U ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าวิกฤตของ U จากตาราง

กรณีที่ใช้ค่า Z (กรณีเป็นกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่)

จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อ

ค่า Z ที่คำนวณได้ + มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า Z + ที่เปิดได้จากตาราง หรือ

ค่า Z ที่คำนวณได้ - มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า Z - ที่เปิดได้จากตาราง

การคำนวณค่าสถิติ มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการรวบรวมข้อมูลทั้งสองกลุ่มเข้าด้วยกัน และจัดอันดับ โดยให้ค่าที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นอันดับ 1 ค่าสูงสุดเป็นอันดับสุดท้าย
2. แยกอันดับที่ได้ทำการจัดแล้ว ลงในกลุ่มทั้งสองกลุ่มจากนั้นทำการหาผลรวมของอันดับของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม โดยกำหนดให้

$$\sum R_1 \text{ ผลรวมอันดับของกลุ่มตัวอย่างที่ 1}$$

$$\sum R_2 \text{ ผลรวมอันดับของกลุ่มตัวอย่างที่ 2}$$

3. คำนวณค่า U1 และ U2 จากสูตรที่กล่าวมาข้างต้น
4. จากค่า U1 และ U2 เลือกค่าน้อยที่สุดให้เป็นค่า U
5. นำค่าที่ได้มาเปิดตาราง เพื่อหาค่าวิกฤตและสรุปผล

กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่จะใช้ค่า Z

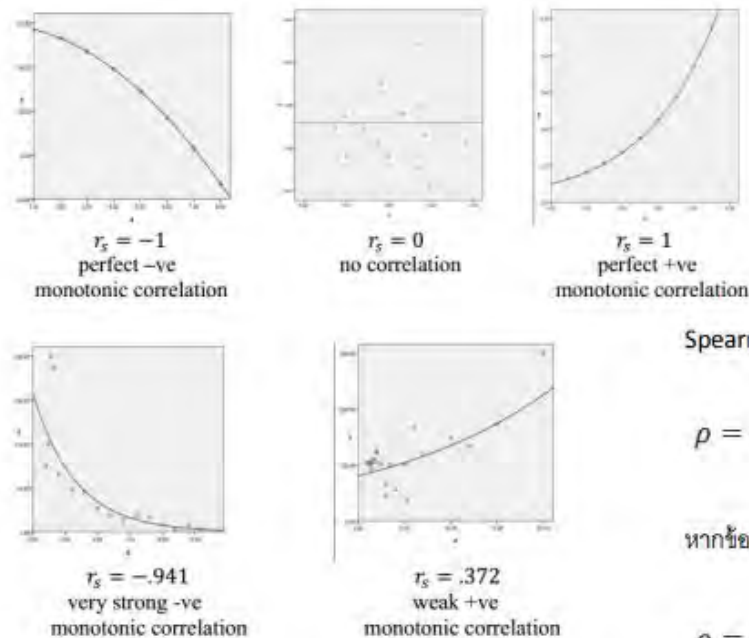
ค่า Effect size เป็นขั้นตอนในการคำนวณค่า Z score ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี Mann-Whithny U test มาคำนวณตามสมการที่ โดยค่าที่ได้จะบอกระดับความสัมพันธ์กันของกลุ่มของมูลทั้งสองกลุ่มที่มีอิสระต่อกัน

$$r = \frac{Z}{\sqrt{N}}$$

โดย r คือ ค่า effect size
 Z คือ ค่า Z-score ที่ได้จากการคำนวณ
 N คือ จำนวนประชากร

5. Spearman correlation analysis

คือกระบวนการทางสถิติแบบ nonparametric โดยจะเป็นการวัดความแรงของความสัมพันธ์ monotonic ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ใช้ตัว ย่อว่า r_s ซึ่งมีค่าดังนี้ $-1 \leq r_s \leq 1$ การแปลผลคล้ายกับ Pearsons คือ เมื่อ r_s เข้าใกล้ +1 หรือ -1 เท่าไรก็มีความสัมพันธ์ monotonic มากเท่านั้น correlation เป็น effect size และสามารถอธิบายความแรงของ correlation ได้โดยค่าของ r_s



Spearman's rank order correlation

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

หากข้อมูลเป็น tied data

$$\rho = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}}$$

รูปที่ 2.4 แสดงผลของค่า r_s ในขั้นตอน spearman correlation

โดยเงื่อนไขเบื้องต้นในการใช้ Spearman correlation analysis คือ

1. เป็นชุดข้อมูลแบบ interval หรือ ratio level หรือ ordinal
2. ความสัมพันธ์ของตัวแปรเป็นแบบ monotonic

โดยในที่นี้จะใช้วิธี Spearman correlation analysis เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีใน บ่อบาดาล เช่น ปริมาณสารละลาย ค่า pH และ ระยะห่างจาก MTD เพื่อหาความสัมพันธ์กันของตัวแปร

2.1.4 Heavy Metal pollution index (HPI)

คือ ค่ามาตรฐานที่ใช้สำหรับบอกปริมาณโลหะที่พบในตัวอย่าง โดยมักจะนำมาเทียบกับตารางขององค์ประกอบน้ำโลกหรือกรมควบคุมมลพิษ ว่าปริมาณของโลหะหนักรวมที่พบนั้นเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ โดยจะใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$Qi = \left(\frac{\sum_{i=1}^n Mi - Li}{Si - Li} \right) \times 100$$

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n Wi Qi}{\sum_{i=1}^n Wi}$$

โดย Mi คือ ค่าจากการตรวจวัดโลหะแต่ละพารามิเตอร์

Li คือ เกณฑ์อนุโลมของโลหะหนักแต่ละชนิด

Si เกณฑ์กำหนดสูงสุดของโลหะหนักแต่ละชนิด

ค่าวิกฤติของ ค่าดัชนีมลพิษจากโลหะหนัก (The critical pollution index of HPI) สำหรับน้ำบาดาลคือ 100

(Ameh and Akpah, 2011; Edet and Offiong, 2002; Maria-Alexandra et al., 2013)

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าอนุโลมและค่าอนุโลมสูงสุดในน้ำบาดาลของโลหะแต่ละชนิด (กรมควบคุมมลพิษ, 2016)

	As	Pb	Hg	Cd	Cu	Fe	Mn	Se	Zn
L	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.500	0.300	0.000	5.000
S	0.050	0.050	0.001	0.010	1.500	1.000	0.500	0.010	15.000
W	20.000	20.000	1000.000	100.000	0.667	1.000	2.000	100.000	0.067

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2539) ได้มีการสำรวจข้อมูลบริเวณพื้นที่เหมืองทองทุ่งคำ ต.เขาหลวง อ.วังสะพุง จ.เลย เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลในพื้นที่และได้มีการสำรวจข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักในน้ำบาดาลในพื้นที่ไว้ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ การกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมีในพื้นที่ ของปี พ.ศ.2539 ได้ โดยมีข้อมูลตามตารางนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลของมหาวิทยาลัยขอนแก่น (2539)

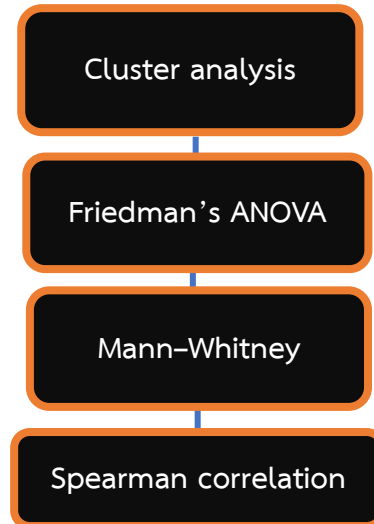
Well	x	y	(As)mg/l	(Pb)mg/l	(Cu)mg/l	(Zn)mg/l	MTD(m.)
L1	784118	1921122	0.12	0.00	0.00	0.00	2369
L3	784390	1920833	2.71	0.00	0.00	0.02	2642
L4	783602	1922331	0.50	0.00	0.00	0.04	2345
L7	782886	1922570	0.21	0.00	0.00	0.06	2040
L10	784120	1920454	0.58	0.00	0.00	0.00	2406
L11	783876	1919175	0.65	0.07	0.00	0.01	2715
W2	784309	1920983	0.38	0.00	0.00	1.88	2554
W3	783051	1922463	0.52	0.00	0.00	1.64	2050
W4	784351	1920603	0.61	0.00	0.00	2.79	2608
P0	782943	1921241	0.44	0.00	0.00	0.16	1244
P1	781526	1920408	2.80	0.00	0.00	17.30	528
P2	781836	1920884	1.33	0.00	0.00	0.35	86
P3	782304	1921134	3.00	0.00	0.00	0.50	611
P4	782704	1921216	2.57	0.00	0.00	0.26	1009
P5	782910	1920905	31.40	0.00	0.00	0.27	1158
P6	782964	1921038	1.50	0.00	0.00	0.25	1216
P7	782791	1921134	1.63	0.00	0.00	0.16	1075
P8	782493	1920916	2.02	0.00	0.00	0.23	740
P13	782960	1921451	0.00	0.11	0.00	57.00	1338
P14	782392	1921143	0.74	0.00	0.00	69.00	695
TW1	782418	1921052	1.64	0.07	0.00	0.31	686
TW2	782837	1921247	1.20	0.00	0.00	3.39	1144
TW3	783032	1921298	0.26	0.00	0.00	2.00	1356

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2555) ได้มีการสำรวจข้อมูลบริเวณพื้นที่เหมืองทองทุ่งคำ ต.เขาหลวง อ.วังสะพุง จ.เลย เพื่อหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่และได้มีการสำรวจข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักในน้ำบาดาลในพื้นที่ไว้ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ การกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมีในพื้นที่ ของปี พ.ศ.2555 ได้ โดยมีข้อมูลตามตารางนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลของสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2555)

Well	x	y	(As)mg/l	(Pb)mg/l	(Cu)mg/l	(Zn)mg/l	MTD(m.)
CGW-1	778840	1919860	0.00	0.00	0.00	0.086	3112.22
CGW-2	779101	1918731	0.00	0.02	0.00	8.082	3411.36
CGW-3	780452	1917700	0.00	0.00	0.00	0.059	3434.60
CGW-4	780234	1916703	0.00	0.00	0.00	0.136	4427.19
CGW-5	784071	1918617	0.00	0.00	0.00	0.059	3219.35
CGW-6	780812	1917861	0.00	0.02	0.00	1.636	3150.83
CGW-7	781713	1920715	0.03	0.00	0.00	0.078	209.14
CGW-8	781238	1917948	0.00	0.00	0.00	0.184	2960.63
CGW-9	784104	1920530	0.08	0.05	0.00	8.151	2352.12
CGW-10	782032	1920854	0.01	0.00	0.00	2.589	271.54
CGW-11	781728	1920696	0.00	0.00	0.32	1.122	105.06
CGW-12	782330	1920897	0.00	0.00	0.00	0.132	567.13
CGW-13	782948	1921257	0.00	0.01	0.00	2.626	1238.98
CGW-14	784316	1918489	0.00	0.00	0.00	0.104	3481.57
CGW-15	783362	1921844	0.00	0.00	0.00	0.03	1864.97
CGW-16	783217	1918530	0.00	0.01	0.00	1.802	2744.57
CGW-17	783423	1921961	0.00	0.00	0.00	0.208	1975.55
CGW-18	784089	1919988	0.00	0.00	0.00	0.047	2475.99
CGW-19	783202	1921973	0.00	0.00	0.09	0.073	1806.99
CGW-20	783966	1919145	0.00	0.00	0.00	0.044	2782.07
CGW-21	783988	1919995	0.00	0.00	0.00	1.599	2387.44
CGW-22	783333	1919304	0.00	0.00	0.00	0.026	2203.51
CGW-23	784343	1920935	0.01	0.01	0.00	0.06	2564.90
CGW-24	784134	1920934	0.00	0.00	0.00	0.07	2363.14
CGW-25	783040	1918323	0.00	0.00	0.00	0.03	2840.36
CGW-26	781711	1920732	0.01	0.03	0.00	0.528	121.98
CGW-27	784559	1919885	0.00	0.00	0.00	0.078	2947.47
CGW-28	784191	1920459	0.00	0.00	0.00	0.039	2450.29
CGW-29	784812	1920610	0.00	0.00	0.00	12.41	3043.85
CGW-30	780238	1917388	0.00	0.00	0.00	0.078	3781.62

Rwiza, M.J., Kim, K-W, and Kim, S. (2016) ได้ทำการวิจัยเพื่อหาการกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมีในพื้นที่เหมือง นอร์มারা ประเทศแทนซาเนีย โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงสถิติ ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะนำมาปรับใช้กับโครงการนี้ โดยขั้นตอนทางสถิติดังกล่าวมีลำดับขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 2.5 แสดงแผนภูมิการทำงานของ Rwiza, M.J.(2016)

จอมจันทร์ นทีวัฒนา (2558) การประเมินความเสี่ยงคุณภาพน้ำตามมาตรฐานน้ำดื่มต่อสุขภาพ และความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ในการจัดทำข้อเสนอแนะ โครงการพระราชดำริอ่างเก็บน้ำแม่ปือก ตาบลศรีวิชัย อาเภอลี่ จังหวัดลำพูน โดยจะใช้ค่าดัชนีหลายๆอย่างในการวิเคราะห์ โดยเฉพาะค่า HPI ซึ่งเป็นค่าดัชนีโลหะหนักที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของน้ำได้ดี โดยค่า HPI มีการคำนวณตามสมการ 88 โดยมีค่าที่เกินมาตรฐานเมื่อมีค่าเกิน 100

David, W., Pollock (1994) ข้อมูลไคต์ไลน์เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาล ในชุดโมดูล MODPATH ซึ่งเป็นการจำลองลักษณะทิศทางการไหลหรือการเคลื่อนที่ของอนุภาค โดยมีทั้งหมดสองการใช้งานหลักๆ คือ แบบที่หนึ่งการจำลองรูปแบบการเคลื่อนที่ของอนุภาคตามเวลาที่ผ่านไป เรียกอีกอย่างว่า Forward particle tracking ซึ่งสามารถคำนวณทิศทางการไหลในอนาคตของอนุภาคได้ ต่อมาเป็นการจำลองรูปแบบแบบการเคลื่อนที่ของอนุภาคแบบย้อนกลับ เรียกอีกอย่างว่า Backward particle tracking ซึ่งสามารถหาแหล่งที่มาของอนุภาคจากจุดกำหนดของแบบจำลองได้

บทที่ 3 ระเบียบงานวิจัย

3.1 ระเบียบงานวิจัย

3.1.1 แผนการศึกษา

ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และศึกษาการใช้โปรแกรมสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น โปรแกรม Visual MODFLOW FLEX เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ ศึกษาการใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS ซึ่งสามารถใช้สำหรับทำการกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาลในพื้นที่ สูดท้ายทำการศึกษาคำนวณค่าดัชนีโลหะหนัก เพื่อเป็นการระบุดูบ่อสังเกตการณ์ที่มีการปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา จากนั้นนำผลการศึกษาทั้งหมดมาวิเคราะห์และอภิปรายผลร่วมกัน

3.1.2 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

โดยนำข้อมูลการสำรวจบ่อบาดาลที่มีข้อมูลความเข้มข้นของมลสารในน้ำ ซึ่งเคยมีการสำรวจมาตั้งแต่ ปี พ.ศ.2539 โดยคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น และอีกครั้งในปี พ.ศ.2555 ซึ่งเก็บข้อมูลโดยสถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มาจัดทำเป็นตารางเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้วิเคราะห์ในทางสถิติสำหรับสร้างเป็นข้อมูลการกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมีในพื้นที่ และข้อมูลค่าดัชนีโลหะหนัก

3.1.3 จัดทำตารางข้อมูลการกระจายตัวด้านอุทกธรณีเคมีในพื้นที่

โดยการนำข้อมูลค่าความเข้มข้นของมลสารที่พบในพื้นที่รอบเหมือง มาจัดทำเป็นตารางข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2016 เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้อภิเคราะห์ด้วยการใช้โปรแกรม SPSS ในการคำนวณทางสถิติ ซึ่งจะมีลำดับการจัดการข้อมูลที่ได้ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงรูปแบบการจัดทำข้อมูล

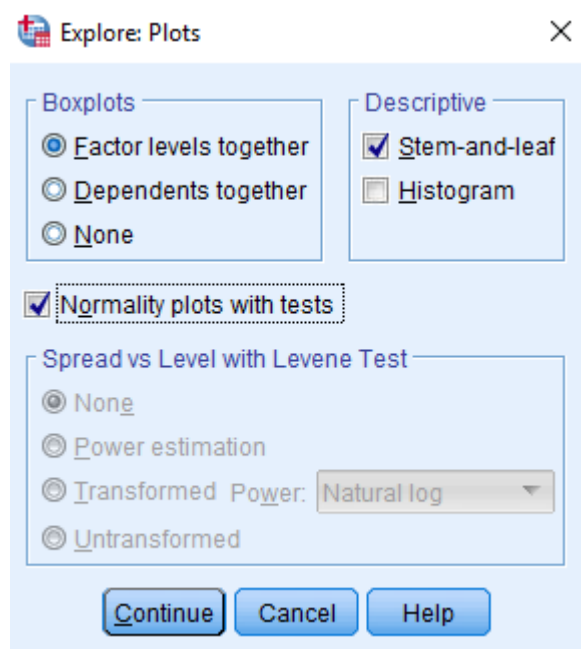
ว/ด/ป	จำนวนบ่อบาดาล	ชนิดมลสาร	ที่มาข้อมูล
2539(มีนาคม)	24	As, Pb, Cu, Zn	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2539(กรกฎาคม)	24	As, Pb, Cu, Zn	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2555(กุมภาพันธ์)	30	As, Pb, Cu, Zn	สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม
2555(พฤษภาคม)	30	As, Pb, Cu, Zn	สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม

3.1.4 หากการกระจายตัวด้านอุทกกรรมเคมีในพื้นที่โดยใช้ชั้นตอนวิธีการทางสถิติ

1. Normal distribution test

โดยจะใช้การทดสอบแบบ Kolmogorov-Smirnov Test (K-S Test) ซึ่งเป็นการทดสอบการแจกแจงแบบปกติที่มีจำนวนประชากรมากกว่า 50 ตัวอย่าง

- 1) จัดตารางข้อมูลโดยให้ชื่อบ่อเป็น ROW และความเข้มข้นเป็น COLUME
- 2) เลือก Analysis>Descriptive>Explore
- 3) นำพารามิเตอร์ที่จะทดสอบไว้ที่ Dependent list และปรับค่า Plot และติ๊กที่ Normality plots



รูปที่ 3.1 แสดงภาพหน้าต่างการตั้งค่าของขั้นตอนการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

2.Cluster analysis

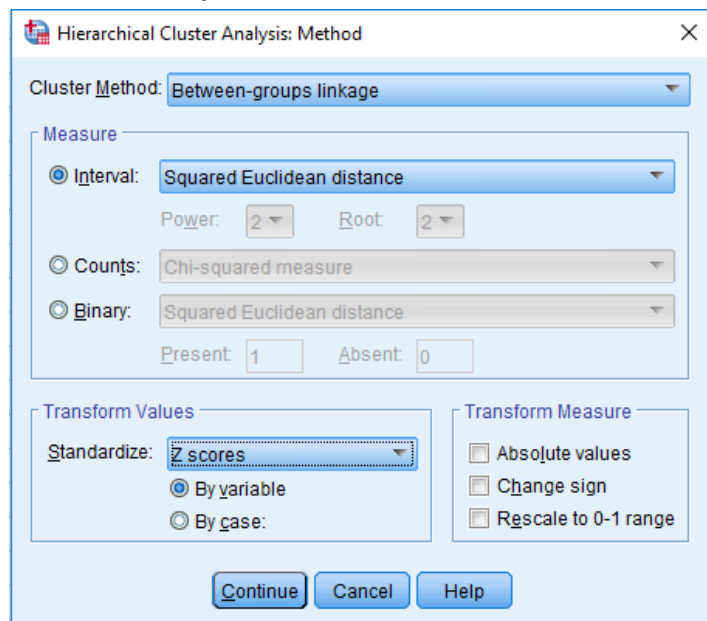
1) Data selection and treatment คือการเลือกชนิดของข้อมูลที่เก็บ โดยในที่นี้จะป็นข้อมูลของบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

2) Variables selection คือการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ในการแบ่ง โดยในที่นี้จะใช้เป็นค่า MTD เป็นพารามิเตอร์ในการแบ่งกลุ่มข้อมูล

3) Similarity measure คือการหาความแตกต่างของข้อมูลที่แบ่งได้ เช่นกำหนดช่วงของระยะทาง MTD เพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่มของข้อมูล

4) Cluster method determination คือกระบวนการขั้นตอนในการแบ่ง โดยจะใช้โปรแกรม SPSS ช่วยในการคำนวณ โดยสามารถเลือกรูปแบบของการแบ่งแบบ hierarchical clustering คือขั้นตอนการแบ่งโดยเริ่มจากข้อมูลทั้งหมดรวมและแบ่งออกเป็นหลายๆ กลุ่มเหมาะสำหรับข้อมูลที่ไม่รู้จะแบ่งออกได้เป็นกี่กลุ่ม จากนั้นกำหนดรูปแบบการคำนวณเป็นแบบ Ward's method เลือก Standardize เป็น Z scores

5) การจำแนกและแปลความข้อมูล



รูปที่ 3.2 แสดงภาพหน้าต่างการตั้งค่าของขั้นตอน Cluster analysis

3. Friedman's test

- 1) จัดตารางข้อมูลให้ใช้สำหรับ Friedman's test โดยให้ชื่อบ่อเป็น ROW และความเข้มข้นเป็น COLUME
- 2) เลือก Analysis>Nonparametric>Legacy dialogs>K related samples
- 3) นำค่า Mean rank ที่ได้มาสร้างกราฟพร้อมกับ ระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่ (MTD) เพื่อหาแนวโน้มความสัมพันธ์

4 Mann-Whitney test

- 1) จัดตารางข้อมูลให้ใช้สำหรับ Mann-Whitney test โดยให้ชื่อบ่อเป็น COLUME และความเข้มข้นเป็น ROW
- 2) เลือก Analysis>Nonparametric>Legacy dialogs>Two-independent samples
- 3) ตั้งค่าให้พารามิเตอร์ความเข้มข้นเป็น Test variable list และค่าการแบ่งกลุ่มของบ่อทิ้งกากแร่ เป็น (แบ่งกลุ่มบ่อสังเกตการณ์ออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มใกล้บ่อทิ้งกากแร่ ระยะทางน้อยกว่า 1500 เมตร ให้เป็นกลุ่ม 1 และกลุ่มไกลบ่อทิ้งกากแร่ ระยะทางมากกว่า 1500 เมตร ให้เป็นกลุ่ม 2) Grouping variable
- 4) โดยเราจะนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า effect size (r) โดยนำค่า Z score จากการคำนวณมาแทนในสูตร

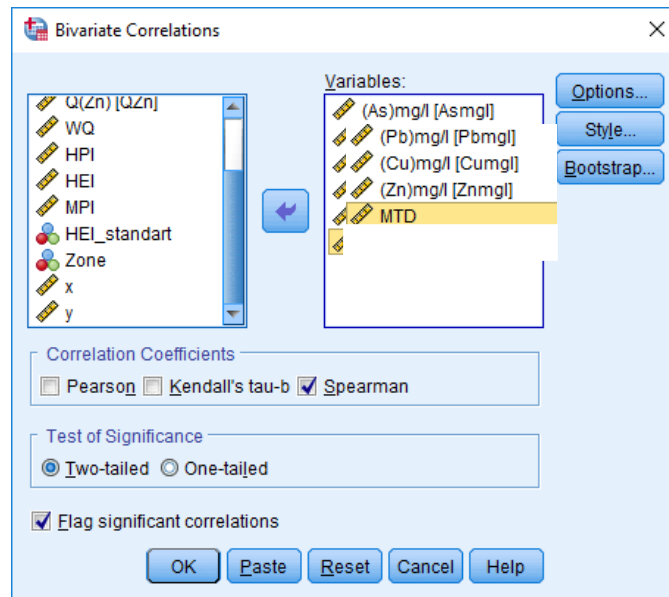
$$r = \frac{Z}{\sqrt{N}}$$

โดย Z คือค่า Z score, N คือจำนวนข้อมูล, r คือค่า effect size (r)

- 5) นำค่าที่ได้มาสร้างเป็นกราฟแสดงค่า effect size (r) กับธาตุชนิดต่างๆ เพื่อใช้บ่งบอกความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของระยะทาง

5. Spearman correlation analysis

- 1) จัดตารางข้อมูลให้ใช้สำหรับ Spearman correlation โดยให้ชื่อบ่อเป็น COLUME และความเข้มข้นเป็น ROW
- 2) เลือก Analysis>Correlate>Bivariate
- 3) เลือกค่าความเข้มข้นของธาตุชนิดต่างๆและค่าระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่ มาใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ 3.3 แสดงภาพหน้าต่างการตั้งค่าของขั้นตอน Spearman correlation

3.1.5 Metal pollution index (MPI)

1) จัดตารางข้อมูลให้ใช้สำหรับ Metal pollution index (MPI) โดยให้สามารถคำนวณค่าตามสมการ 1 และ 2 ได้

$$Q_i = \left(\frac{\sum_{i=1}^n M_i - L_i}{S_i - L_i} \right) \times 100 \quad \text{----- 1)} \quad \text{HPI} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad \text{----- 2)}$$

โดย M_i คือ ค่าจากการตรวจวัดโลหะแต่ละพารามิเตอร์

L_i คือ เกณฑ์อนุโลมของโลหะหนักแต่ละชนิด

S_i เกณฑ์กำหนดสูงสุดของโลหะหนักแต่ละชนิด

2) นำค่าที่ได้มาสร้างเป็นกราฟแท่งแสดงบ่อที่มีค่า HPI เกินมาตรฐานโดยค่าที่เกินมาตรฐานคือ 100

3) นำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นแผนที่แสดงบ่อสังเกตการณ์ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักเกินมาตรฐาน

3.1.6 จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสูบน้ำ

โดยอ้างอิงแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ในพื้นที่เหมืองทุ่งคำ จากงานวิจัยของนางสาวเฉลิมพร พลประสิทธิ์ และได้ทำการนำเข้าแบบจำลองน้ำบาดาลเข้ามาโดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW โดยขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมมีรายละเอียดดัง ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลแบบจำลองน้ำบาดาล

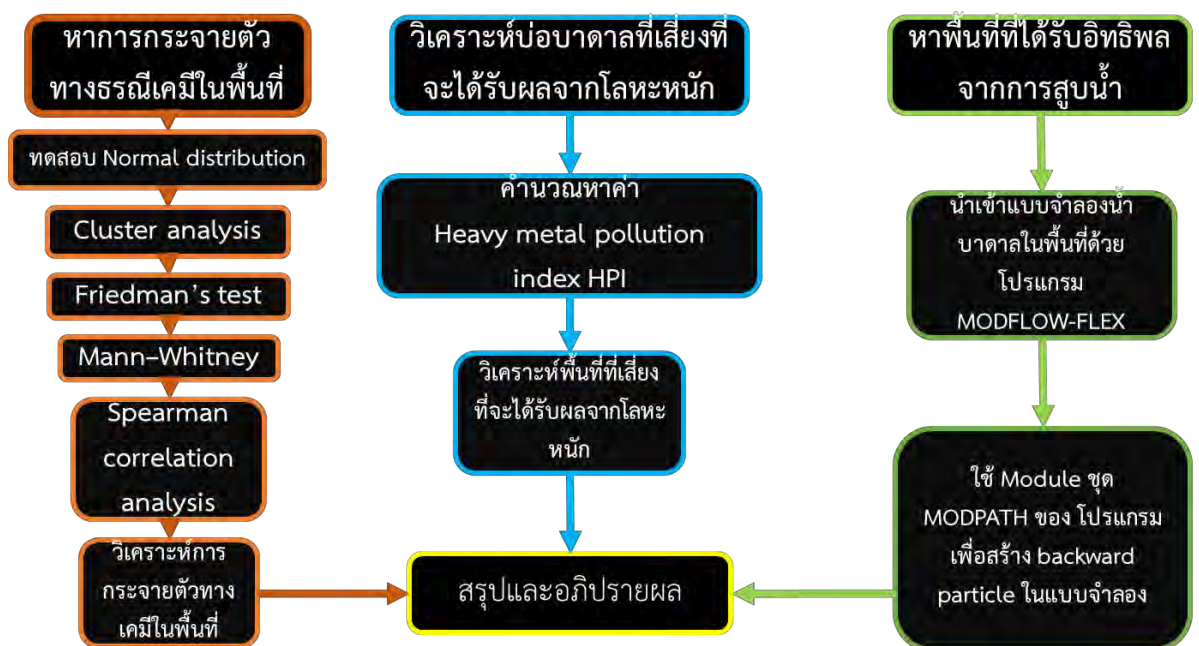
รายละเอียด	ผลที่ได้
1.สร้างไฟล์ MODFLOWFLEX	ไฟล์แบบจำลองน้ำบาดาลของ MODFLOWFLEX
2. Input ข้อมูลไฟล์ amf.	ข้อมูลแบบจำลองน้ำบาดาลในพื้นที่
3. run แบบจำลองน้ำบาดาล	แบบจำลองน้ำบาดาลในพื้นที่

โดยการนำข้อมูลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ มาสร้างเป็นแบบจำลองร่วมกับแบบจำลองน้ำบาดาลในพื้นที่รอบเหมืองแร่ทองคำ โดยมีขั้นตอนดัง ตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการสร้างแบบจำลองแสดงการเคลื่อนที่ของสาร

รายละเอียด	ผลที่ได้
1.นำเข้าข้อมูล observation well	สามารถสร้างเป็นแบบจำลองการแพร่กระจายของสารละลายได้
2.สร้าง Backward tracking	สร้างแบบจำลองแสดงการเคลื่อนที่ของสาร
3.นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลธรณีเคมี	ทำให้ได้ทราบความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองแบบ
4.สร้างแผนที่เทียบกับกัน	แผนที่แสดงความสัมพันธ์

3.1.7 สรุปผลการศึกษาและอภิปราย



รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงขั้นตอนระเบียบงานวิจัย

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 การหาความสัมพันธ์การกระจายตัวของอุทกธรณีเคมีในพื้นที่ด้วยวิธีทางสถิติ

4.1.1 ผลจากการทดสอบการแจกแจงแบบปกติแบบ Kolmogorov-Smirnov Test

ผลจากการทดสอบทางสถิติแบบ Kolmogorov-Smirnov Test โดย สถิติ Kolmogorov-Smirnov ค่า Sig. ต้องมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญแอลฟา แสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก H_0 ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งจากการคำนวณด้วยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. ของธาตุทุกตัวมีค่า 0.000 ซึ่งทำให้ปฏิเสธ H_0 กล่าวคือ ข้อมูลที่ใช้มีการแจกแจงของข้อมูลแบบไม่ปกติ นอกจากนี้ ค่าความเบ้ (Skewness) และค่าความโด่ง (Kurtosis) ก็มากกว่า 0 และ 0.2 ตามลำดับ ทำให้ยืนยันว่าเป็นข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นข้อมูลที่น่ามาจัดเป็นข้อมูลประเภทนอนพาราเมตริก

ตาราง 4.1 แสดงผลการคำนวณเพื่อทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
(As)mg/l	0.414	106	0.000	0.206	106	0.000
(Pb)mg/l	0.329	106	0.000	0.621	106	0.000
(Cu)mg/l	0.461	106	0.000	0.153	106	0.000
(Zn)mg/l	0.394	106	0.000	0.316	106	0.000
Descriptives						
(As)mg/l	Mean	0.795140	(Cu)mg/l	Mean	0.010622	
	Median	0.003350		Median	0.000000	
	Variance	13.475		Variance	0.004	
	Std. Deviation	3.6708241		Std. Deviation	0.0655420	
	Minimum	0.0000		Minimum	0.0000	
	Maximum	31.4000		Maximum	0.5900	
	Skewness	7.244		Skewness	7.771	
	Kurtosis	54.897		Kurtosis	63.709	
(Pb)mg/l	Mean	0.017462	(Zn)mg/l	Mean	3.373811	
	Median	0.000550		Median	0.134000	
	Variance	0.001		Variance	129.172	
	Std. Deviation	0.0318665		Std. Deviation	11.3653914	
	Minimum	0.0000		Minimum	0.0000	
	Maximum	0.1400		Maximum	69.0000	
	Skewness	2.058		Skewness	4.554	
	Kurtosis	3.785		Kurtosis	20.681	

4.1.2 ผลจาก Cluster analysis

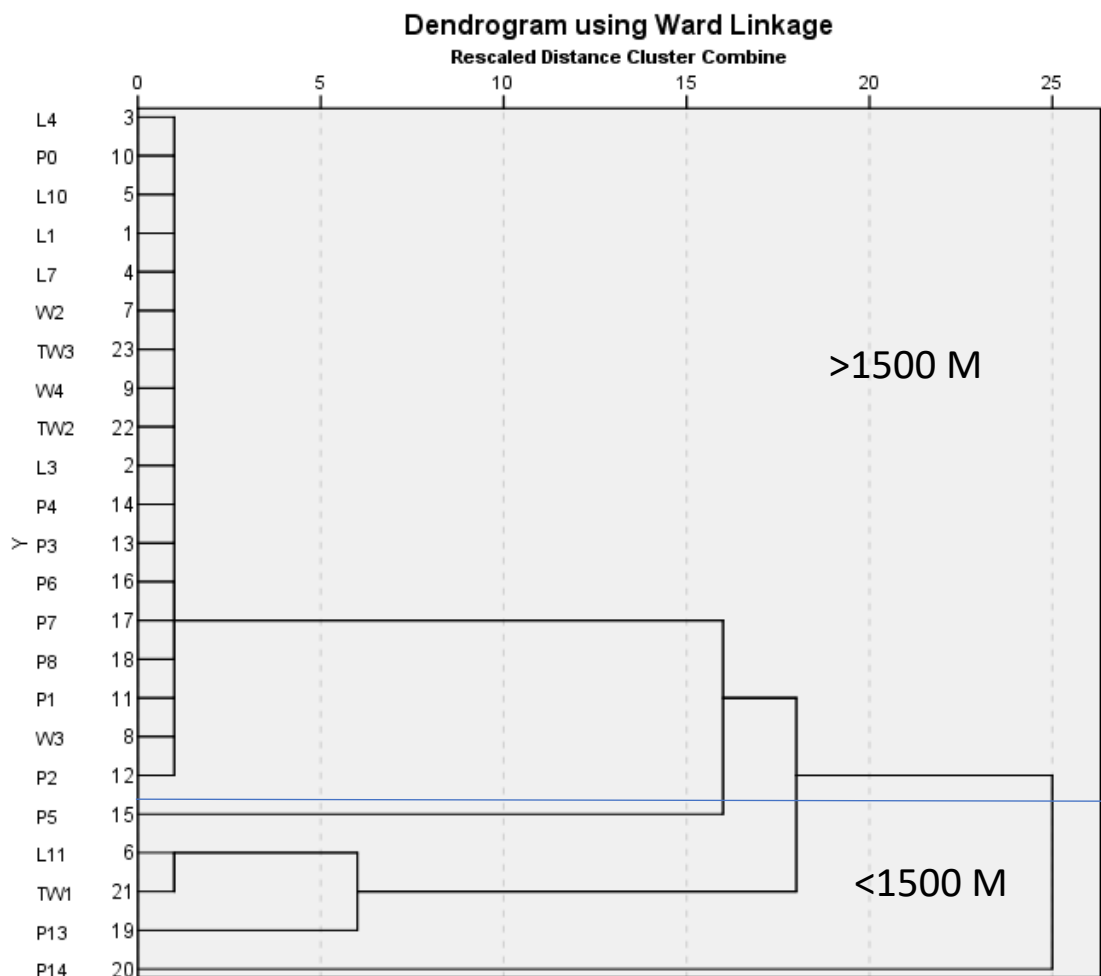
เพื่อแบ่งกลุ่มของบ่อสังเกตการณ์โดยแบ่งตามค่าความเข้มข้นของมลสารเฉลี่ยของ สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของ อุทกธรณีเคมีในพื้นที่ศึกษาโดยข้อมูลในเดือนมีนาคม พ.ศ.2539 แสดงในรูปของ Dendrogram แสดง ในรูปที่ 4.1 ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าเราสามารถแบ่งกลุ่มของบ่อสังเกตการณ์จาก ทั้งหมด 23 บ่อออกได้สองกลุ่มหลัก คือ กลุ่มของบ่อสังเกตการณ์ L4, P0, L10, L1, L7, W2, TW3, W4, TW2, L3, P4, P3, P6, P7, P8, P1, W3 และ P2 ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 18 บ่อโดยกลุ่มของบ่อ เหล่านี้จะมีค่าความเข้มข้นของมลสารเฉลี่ยที่ต่ำ และระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่ของกลุ่มบ่อเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีค่าสูงกว่า 1500 เมตรรอบบ่อทิ้งกากแร่ สำหรับกลุ่มที่สอง เป็นกลุ่มของบ่อสังเกตการณ์ คือ บ่อ P5, L11, TW1, P13 และ P14 ซึ่งมีทั้งหมด 5 บ่อโดยบ่อสังเกตการณ์เหล่านี้มีค่าความเข้มข้น ของมลสารเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูงกว่าบ่อสังเกตการณ์ในกลุ่มที่ 1 และมีระยะห่างจากบ่อทิ้งกากแร่ต่ำกว่า 1500 เมตรจากบ่อทิ้งกากแร่

ต่อมาเป็น Dendrogram ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2539 แสดงในรูปที่ 4.2 เราสามารถแบ่งกลุ่ม ของบ่อสังเกตการณ์จากทั้งหมด 23 บ่อออกได้สองกลุ่มหลัก คือ กลุ่มของบ่อสังเกตการณ์ P2, TW3, P1, P6, L1, W2, P0, P4, P8, W4, TW1, L7, L11, L3, L10, L4, P3 และ P7 ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 18 บ่อโดยกลุ่มของบ่อเหล่านี้จะมีค่าความเข้มข้นของมลสารเฉลี่ยที่ต่ำ และระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่ของ กลุ่มบ่อเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีค่าสูงกว่า 1500 เมตรรอบบ่อทิ้งกากแร่ สำหรับกลุ่มที่สอง เป็นกลุ่มของ กลุ่มบ่อสังเกตการณ์คือ บ่อ TW2, P13, P14, W3 และ P5 ซึ่งมีทั้งหมด 5 บ่อโดยบ่อสังเกตการณ์ เหล่านี้มีค่าความเข้มข้นของมลสารเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูงกว่าบ่อสังเกตการณ์ในกลุ่มที่ 1 และมีระยะห่าง จากบ่อทิ้งกากแร่ต่ำกว่า 1500 เมตรจากบ่อทิ้งกากแร่

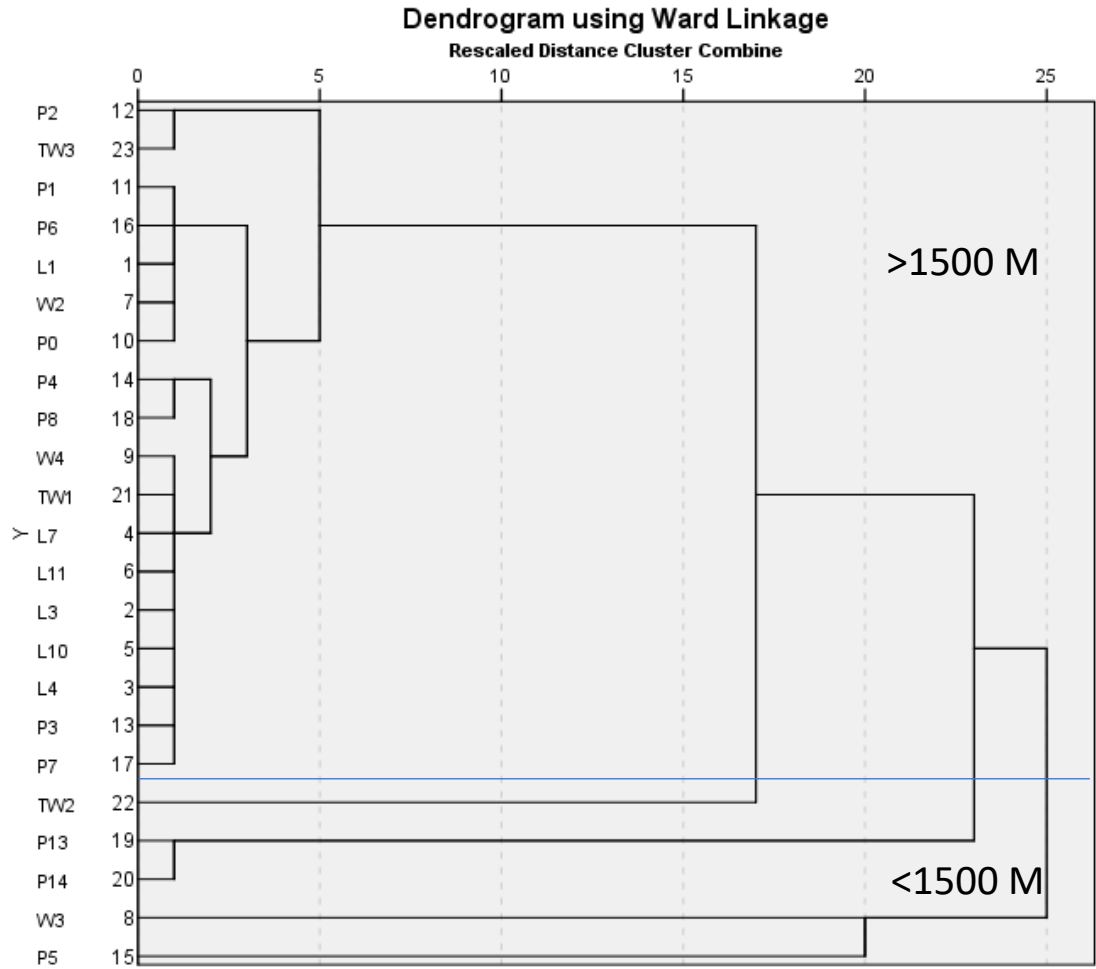
ต่อมาเป็น Dendrogram ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2555 แสดงในรูปที่ 4.2 โดยมีบ่อ สังเกตการณ์ทั้งหมด 30 บ่อ ซึ่งแบ่งออกได้สองกลุ่มหลัก คือ กลุ่มของบ่อสังเกตการณ์ CGW3, CGW5, CGW22, CGW25, CGW30, CGW1, CGW17, CGW15, CGW8, CGW20, CGW4, CGW24, CGW28, CGW29, CGW18, CGW21, CGW14, CGW19, CGW6, CGW23, และ CGW16 ซึ่งมีจำนวน ทั้งหมด 21 บ่อโดยกลุ่มของบ่อเหล่านี้จะมีค่าความเข้มข้นของมลสารเฉลี่ยที่ต่ำ และระยะทางจากบ่อทิ้ง กากแร่ของกลุ่มบ่อเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีค่าสูงกว่า 1500 เมตรรอบบ่อทิ้งกากแร่ สำหรับกลุ่มที่สอง เป็น กลุ่มของบ่อสังเกตการณ์คือ บ่อ CGW2, CGW27, CGW12, CGW13, CGW7, CGW26, CGW10, CGW11 และ CGW9 ซึ่งมีทั้งหมด 9 บ่อโดยบ่อสังเกตการณ์เหล่านี้มีค่าความเข้มข้นของมลสารเฉลี่ยที่

ค่อนข้างสูงกว่าบ่อสังเกตการณ์ในกลุ่มที่ 1 และมีระยะห่างจากบ่อทิ้งกากแร่ต่ำกว่า 1500 เมตรจากบ่อทิ้งกากแร่

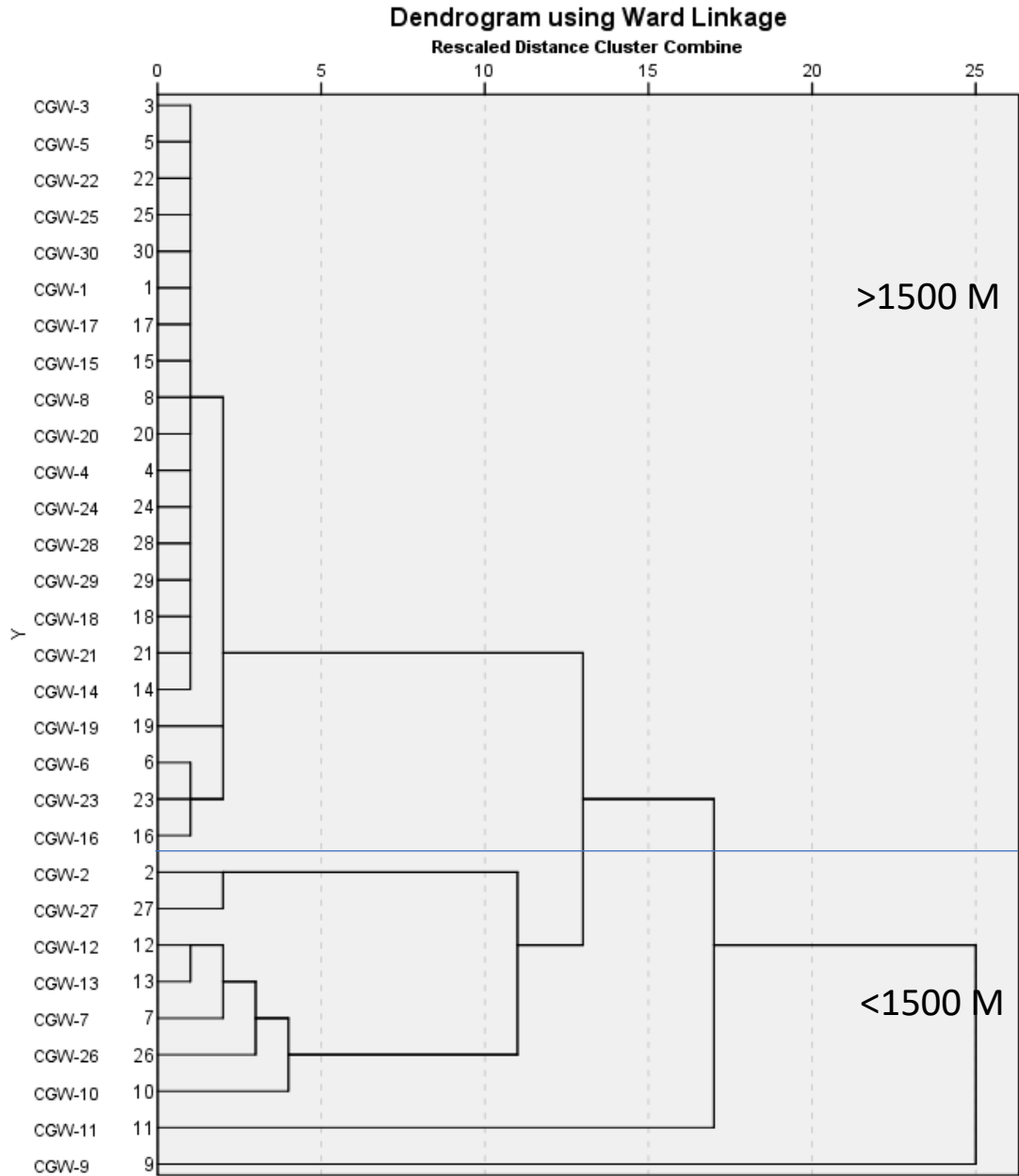
สำหรับข้อมูลชุดสุดท้ายเป็น Dendrogram ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2555 แสดงในรูปที่ 4.2 โดยมีบ่อสังเกตการณ์ทั้งหมด 30 บ่อ ซึ่งแบ่งออกได้สองกลุ่มหลัก คือ กลุ่มของบ่อสังเกตการณ์ CGW5, CGW17, CGW3, CGW15, CGW1, CGW19, CGW23, CGW20, CGW30, CGW6, CGW9, CGW21, CGW8, CGW25, CGW18, CGW22, CGW29, CGW27, CGW28, CGW4, CGW14, CGW24, CGW12, CGW16 และ CGW2 ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 25 บ่อโดยกลุ่มของบ่อเหล่านี้จะมีค่าความเข้มข้นของมลสารเฉลี่ยที่ต่ำ และระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่ของกลุ่มบ่อเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีค่าสูงกว่า 1500 เมตรรอบบ่อทิ้งกากแร่ สำหรับกลุ่มที่สอง เป็นกลุ่มของกลุ่มบ่อสังเกตการณ์คือ บ่อ CGW26, CGW10, CGW13, CGW11 และ CGW7 ซึ่งมีทั้งหมด 5 บ่อโดยบ่อสังเกตการณ์เหล่านี้มีค่าความเข้มข้นของมลสารเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูงกว่าบ่อสังเกตการณ์ในกลุ่มที่ 1 และมีระยะห่างจากบ่อทิ้งกากแร่ต่ำกว่า 1500 เมตรจากบ่อทิ้งกากแร่



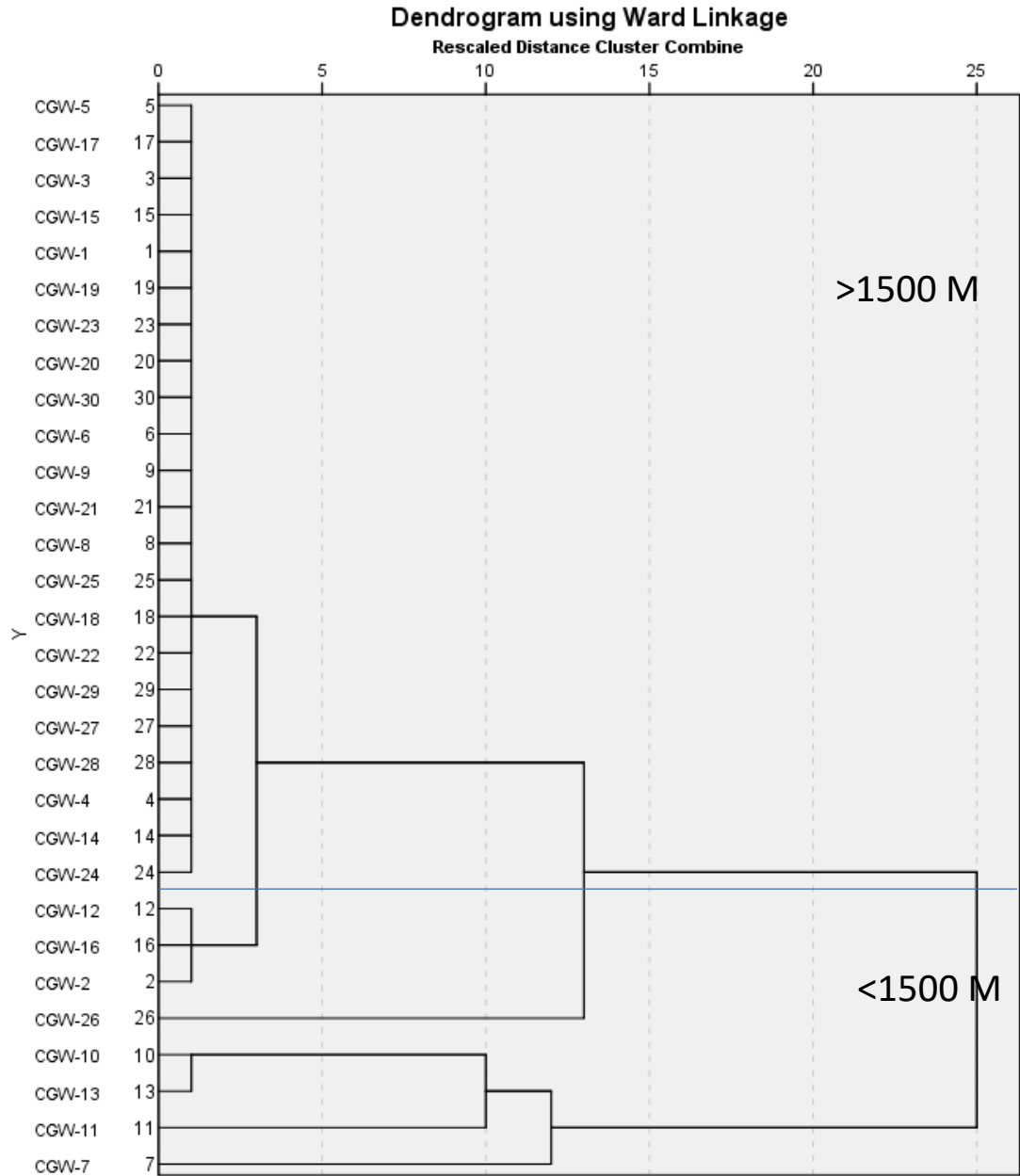
รูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพ Dendrogram ในเดือนมีนาคม พ.ศ.2539



รูปที่ 4.2 แสดงแผนภาพ Dendrogram ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2539



รูปที่ 4.3 แสดงแผนภาพ Dendrogram ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2555



รูปที่ 4.4 แสดงแผนภาพ Dendrogram ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2555

4.1.2 ผลจาก Friedman's test

ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม SPSS ทำให้เราสามารถทราบความสัมพันธ์ของการแจกแจงระหว่างมลสารทั้งห้าชนิด และสามารถนำมาใช้ในการแสดงการกระจายตัวของอุทกธรณีเคมีในพื้นที่ศึกษาได้ โดยข้อมูลในเดือนมีนาคม ปีพ.ศ.2539 ค่า Asymp. Sig. มีค่าเท่ากับ 0.604 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่านี้สำคัญจะยอมรับ H_0 กล่าวคือ การแจกแจงของมลสารทั้งห้าชนิดมีการแจกแจงที่เหมือนกันทำให้เราสามารถนำค่า Mean rank ซึ่งเป็นค่าผลลัพธ์ที่เกิดจากการนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณมาเฉลี่ยรวมกันซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คือความเข้มข้นของมลสารทั้งหมด ทำให้ Mean rank สามารถเป็นตัวแทนบอกความเข้มข้นของมลสารทั้งหมดได้แล้ว เมื่อนำมาสร้างเป็นกราฟระหว่าง Mean rank กับค่าระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่เราจะเห็นว่าแนวโน้มความเข้มข้นจะมีค่าลดลงตามระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่ที่เพิ่มขึ้น และในเดือนกรกฎาคม ปีพ.ศ.2539 จะแสดงให้เห็นค่า Asymp. Sig. เท่ากับ 0.01 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าการแจกแจงของมลสารในช่วงนี้ตัวใดตัวหนึ่งจะมีการแจกแจงที่ไม่เหมือนกันแต่เราก็ยังสามารถ นำค่า Mean rank ที่ได้มาใช้เป็นตัวบอกความเข้มข้นโดยรวมได้และเมื่อนำมาเทียบในกราฟกับค่าระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่จะพบว่าความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ต่อมาเป็นข้อมูลในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2555 จะแสดงให้เห็นค่า Asymp. Sig. เท่ากับ 0.007 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าการแจกแจงของมลสารในช่วงนี้ตัวใดตัวหนึ่งจะมีการแจกแจงที่ไม่เหมือนกันแต่เราก็ยังสามารถ นำค่า Mean rank ที่ได้มาใช้เป็นตัวบอกความเข้มข้นโดยรวมได้ และเมื่อนำมาเทียบในกราฟกับค่าระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่ จะพบว่าความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น สุดท้ายในเดือน พฤษภาคม พ.ศ.2555 จะแสดงให้เห็นค่า Asymp. Sig. เท่ากับ 0.018 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าการแจกแจงของมลสารในช่วงนี้ตัวใดตัวหนึ่งจะมีการแจกแจงที่ไม่เหมือนกันเราจึงยังไม่สามารถ นำค่า Mean rank ที่ได้มาใช้เป็นตัวบอกความเข้มข้นโดยรวมได้ นอกจากนี้เมื่อนำค่าความเข้มข้นของมลสารในทุกๆมารวมกันพบว่าค่า Asymp. Sig. เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าการแจกแจงของมลสารในช่วงนี้ตัวใดตัวหนึ่งจะมีการแจกแจงที่ไม่เหมือนกันเราจึงยังไม่สามารถ นำค่า Mean rank ได้ ถึงแม้เมื่อนำมาเทียบในกราฟกับค่าระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่จะพบว่าความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.2 แสดง Mean rank ของข้อมูล (a) เดือนมีนาคม 2539 (b) เดือนกรกฎาคม 2539

(c) เดือนกุมภาพันธ์ 2555 และ (d) เดือนพฤษภาคม 2555 (e) ผลรวม 2539-2555

Ranks			
well	Mean Rank	well	Mean Rank
P1	16.13	P6	11.88
TW1	15.88	L3	11.63
P3	14.88	W3	11.63
P13	14.50	P7	11.50
P5	14.38	W2	11.13
P14	14.38	TW3	11.13
TW2	13.88	P0	9.00
P4	13.13	L4	8.63
W4	12.88	L10	8.25
P2	12.63	L7	7.88
P8	12.38	L1	6.50
L11	11.88		

(a)

Test Statistics ^a	
N	4
Chi-Square	21.944
df	22
Asymp. Sig.	0.463
a. Friedman Test	

Ranks			
	Mean Rank		Mean Rank
P5	21.13	P8	11.25
W3	19.25	L7	11.00
P1	15.75	L4	10.25
W2	15.63	L10	10.13
P6	15.63	L3	9.50
W4	14.88	TW2	9.13
P0	14.63	P14	8.88
P3	13.50	L1	8.75
P4	13.00	P13	8.63
P7	11.63	TW3	5.50
TW1	11.50	P2	5.13
L11	11.38		

(b)

Test Statistics ^a	
N	4
Chi-Square	31.806
df	22
Asymp. Sig.	0.081
a. Friedman Test	

Ranks			
well	Mean Rank	well	Mean Rank
CGW-9	25.88	CGW-29	15.00
CGW-26	22.88	CGW-28	14.75
CGW-23	22.38	CGW-14	14.63
CGW-13	22.13	CGW-21	13.13
CGW-7	19.88	CGW-20	12.50
CGW-2	19.63	CGW-24	11.88
CGW-10	18.88	CGW-1	11.13
CGW-11	18.88	CGW-18	10.88
CGW-12	18.63	CGW-17	10.75
CGW-4	18.38	CGW-15	10.50
CGW-6	18.38	CGW-3	9.50
CGW-27	18.25	CGW-5	9.50
CGW-19	18.00	CGW-22	8.88
CGW-16	17.88	CGW-30	8.13
CGW-8	16.00	CGW-25	7.88

(c)

Test Statistics ^a	
N	4
Chi-Square	48.813
df	29
Asymp. Sig.	0.012
a. Friedman Test	

Ranks			
well	Mean Rank	well	Mean Rank
CGW-16	24.38	CGW-18	15.13
CGW-11	24.13	CGW-21	14.88
CGW-7	23.63	CGW-8	14.50
CGW-26	22.63	CGW-9	14.00
CGW-10	20.63	CGW-1	13.38
CGW-2	19.88	CGW-4	12.88
CGW-12	19.13	CGW-20	11.25
CGW-29	18.38	CGW-15	11.13
CGW-14	16.88	CGW-5	11.00
CGW-6	16.63	CGW-3	10.88
CGW-24	16.63	CGW-30	10.50
CGW-27	16.63	CGW-13	10.38
CGW-25	16.38	CGW-17	10.00
CGW-22	16.13	CGW-19	9.25
CGW-28	15.88	CGW-23	8.00

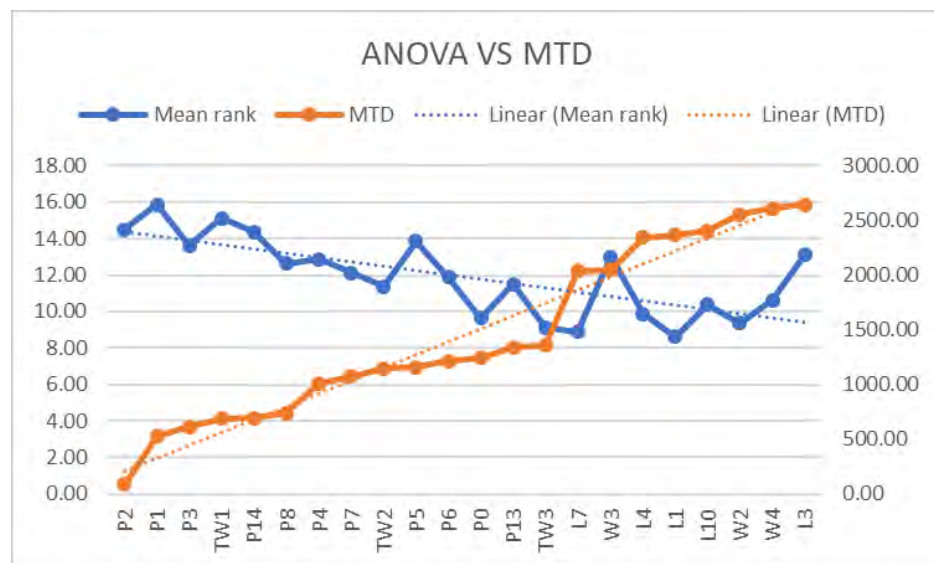
(d)

Test Statistics ^a	
N	4
Chi-Square	45.370
df	29
Asymp. Sig.	0.027
a. Friedman Test	

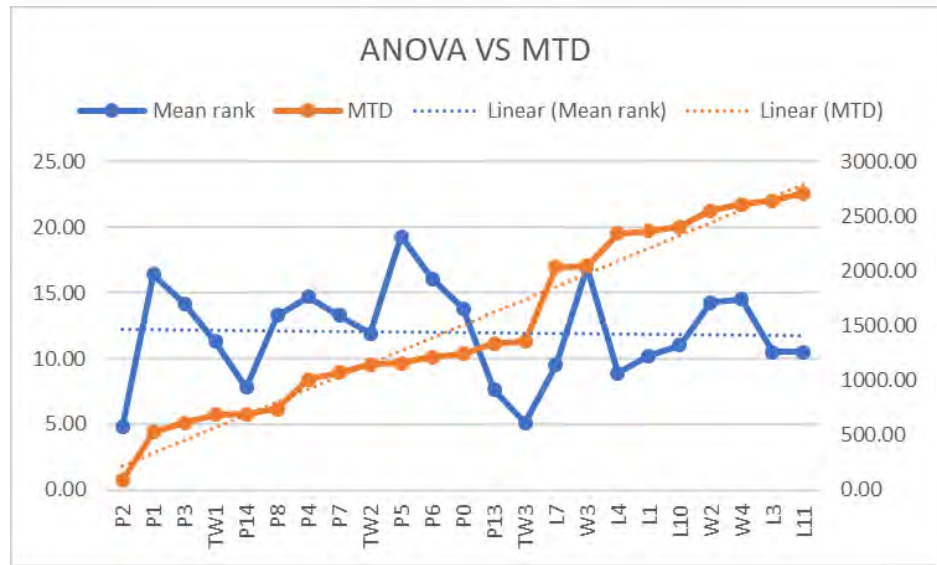
Ranks			
well	Mean Rank	well	Mean Rank
L1	25.05	CGW-5	16.45
L3	27.25	CGW-6	24.75
L4	25.25	CGW-7	35.05
L7	25.65	CGW-8	23.75
L10	26.15	CGW-9	31.45
L11	30.70	CGW-10	31.80
W2	35.15	CGW-11	34.85
W3	38.95	CGW-12	28.50
W4	36.25	CGW-13	29.50
P0	30.85	CGW-14	21.20
P1	40.20	CGW-15	17.60
P2	22.30	CGW-16	28.45
P3	34.20	CGW-17	16.45
P4	33.85	CGW-18	18.50
P5	38.65	CGW-19	22.90
P6	35.35	CGW-20	18.65
P7	31.20	CGW-21	21.40
P8	33.55	CGW-22	18.45
P13	26.40	CGW-23	24.70
P14	29.15	CGW-24	23.00
TW1	36.00	CGW-25	20.10
TW2	31.45	CGW-26	34.05
TW3	21.00	CGW-27	27.65
CGW-1	18.15	CGW-28	22.25
CGW-2	30.00	CGW-29	23.35
CGW-3	16.20	CGW-30	15.40
CGW-4	21.90		

Test Statistics ^a	
N	10
Chi-Square	127.919
df	52
Asymp. Sig.	0.000
a. Friedman Test	

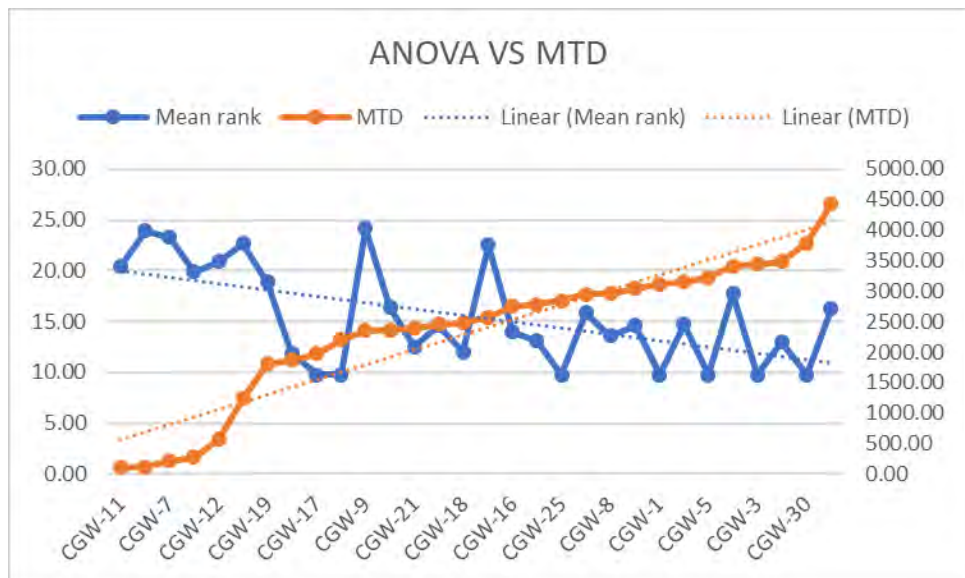
(e)



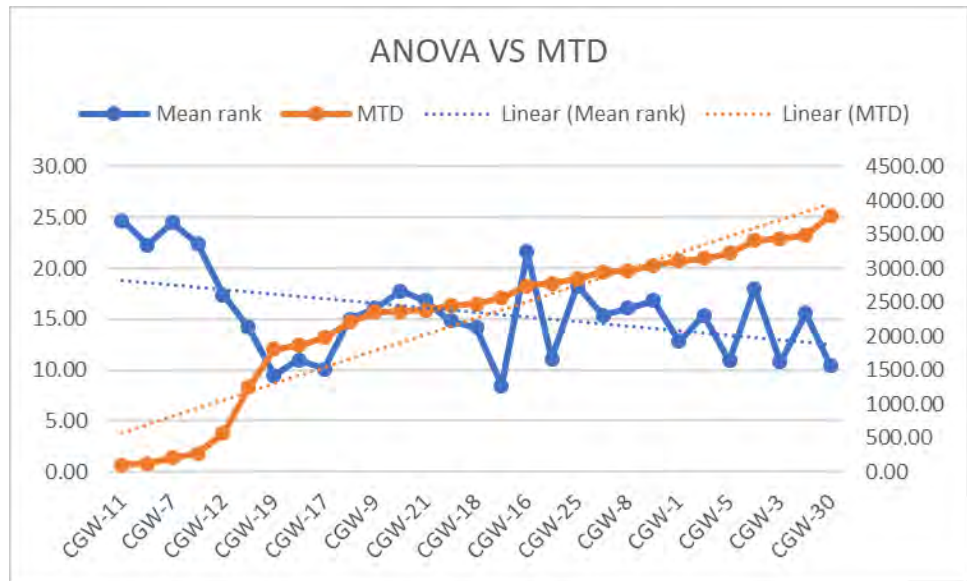
(a)



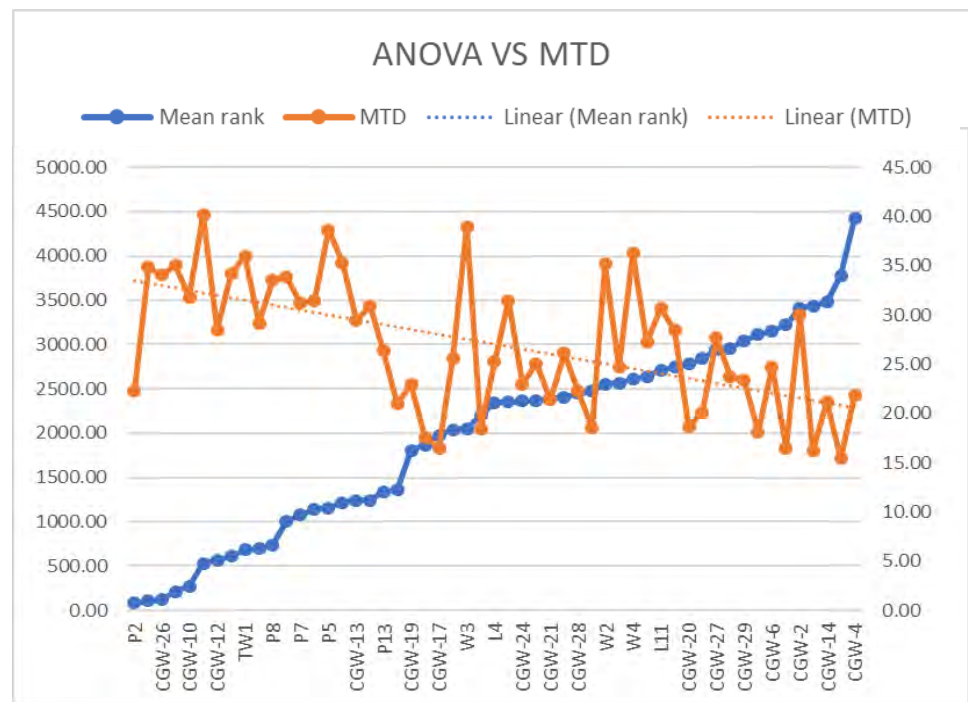
(b)



(c)



(d)



(e)

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Mean rank กับค่าระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่

(a) เดือนมีนาคม 2539 (b) เดือนกรกฎาคม 2539

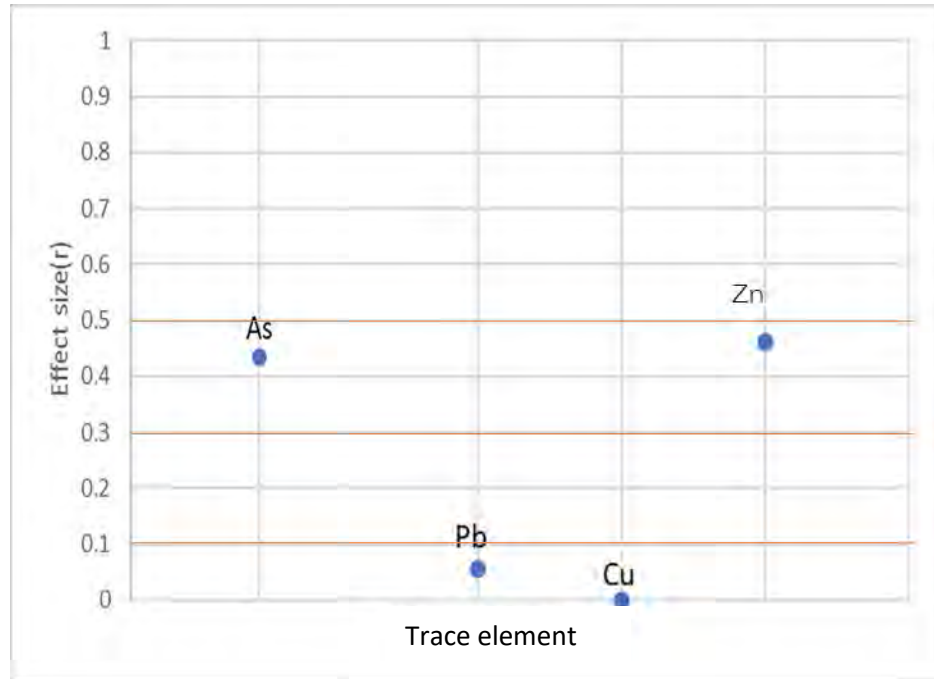
(c) เดือนกุมภาพันธ์ 2555 และ (d) เดือนพฤษภาคม 2555 (e) ผลรวม 2539-2555

4.1.3 ผลจาก Mann-Whitney test

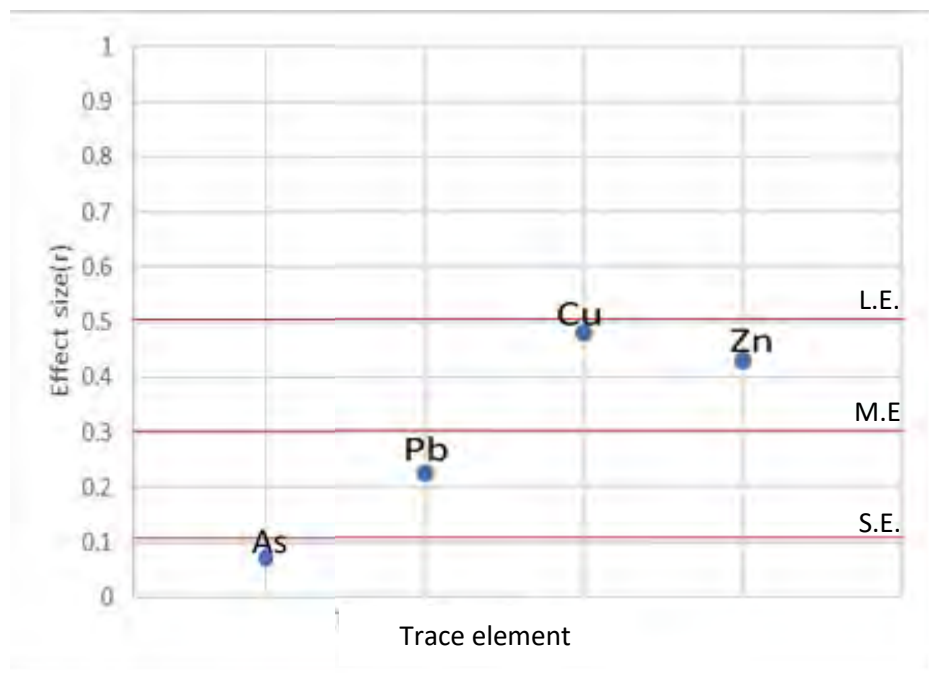
ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม SPSS version 22 ทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ในการแจกแจงข้อมูลของข้อมูลสองกลุ่ม คือ กลุ่มของข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ที่อยู่ใกล้บ่อทิ้งกากแร่เป็นระยะเกินกว่า 1500 เมตร และกลุ่มที่อยู่ใกล้บ่อทิ้งกากแร่โดยมีระยะห่างน้อยกว่า 1500 เมตร ซึ่งหากค่าของ Effect size ที่ได้จากการคำนวณจากค่า Z score มีค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่าอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของระยะทางจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของมลสารสูง และ หากค่า Effect size มีค่าในช่วง 0.3-0.5 แสดงว่ามีผลในระดับปานกลาง และหากค่าไม่ถึง 0.1 แสดงว่ามีอิทธิพลอยู่ในระดับที่ต่ำมากจนแทบไม่มีผล ซึ่งจากผลของข้อมูลในเดือนมีนาคม พ.ศ.2539 แสดงในรูปที่ 4.6(a) พบว่า สารหนู (As) และสังกะสี (Zn) จะได้รับอิทธิพลตามระยะห่างจากบ่อทิ้งกากแร่ในระดับปานกลาง รองลงมาเป็น ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) จะได้รับอิทธิพลน้อยที่สุด ต่อมาในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2539 แสดงในรูปที่ 4.6(b) พบว่า ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) จะได้รับอิทธิพลในระดับกลาง รองลงมาเป็น ตะกั่ว (Pb) และสุดท้ายเป็นสารหนู (As)

สำหรับค่า Effect size ในเดือนกุมภาพันธ์ 2555 แสดงในรูปที่ 4.6(c) พบว่า สังกะสี (Zn) จะได้รับอิทธิพลจากระยะห่างในระดับสูง รองลงมาเป็น สารหนู (As) และสุดท้ายเป็นตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) สุดท้ายใน เดือนพฤษภาคม 2555 แสดงในรูปที่ 4.6(d) ค่า ตะกั่ว (Pb) จะได้รับอิทธิพลในระดับสูง รองลงมาเป็น สารหนู (As) และสุดท้ายเป็นสังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu)

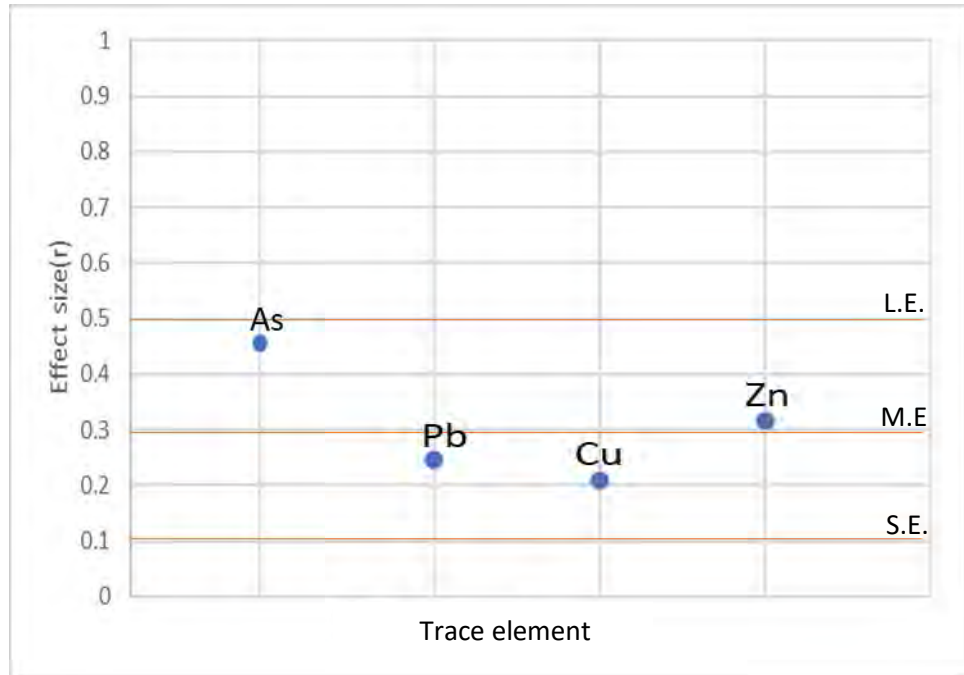
ซึ่งหากเราเฉลี่ยค่า Effect size ทั้งสี่ช่วงเวลาเข้าด้วยกันจะทำให้เราทราบว่าพื้นที่โดยรวมมีลำดับมลสารที่ได้รับอิทธิพลดังนี้ สารหนู ส่วนสังกะสีจะได้รับอิทธิพลในระดับปานกลาง และสุดท้าย ตะกั่วและทองแดงจะได้รับอิทธิพลในระดับต่ำ



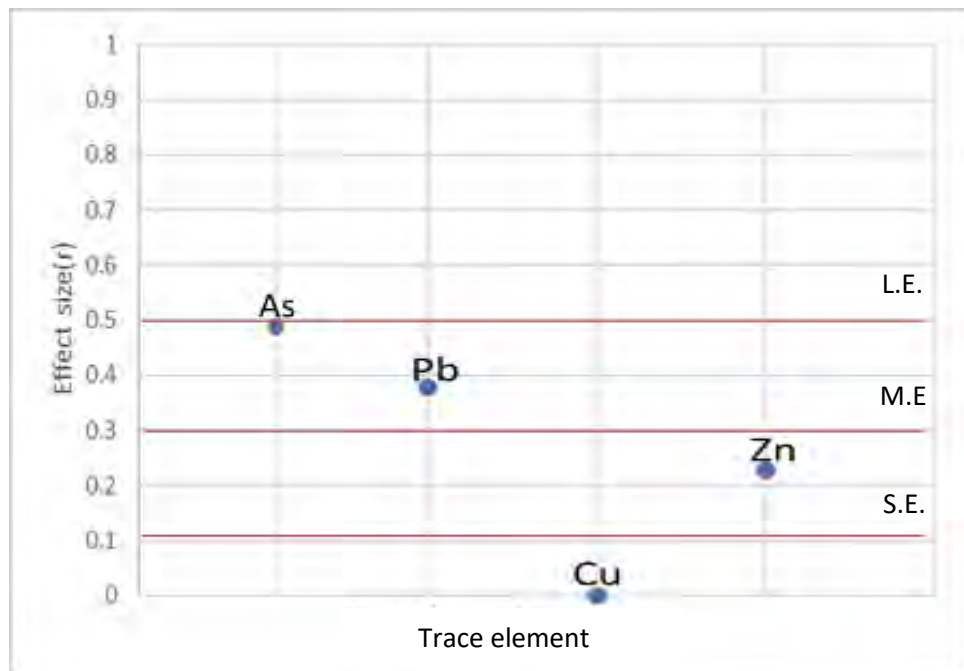
(a)



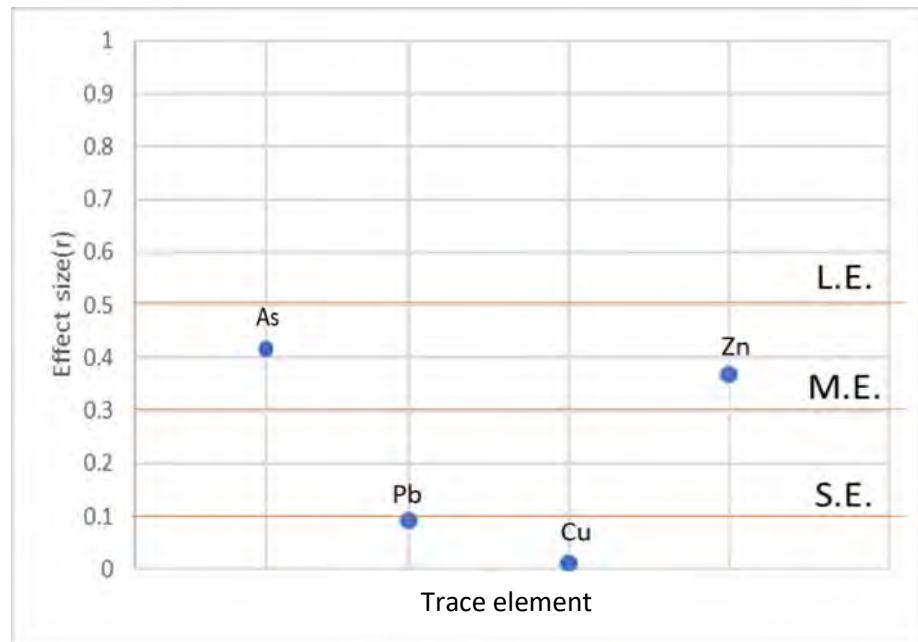
(b)



(c)



(d)



(e)

รูปที่ 4.6 แสดงผลของค่า Effect size (a) ข้อมูลเดือนมีนาคม 2539 (b) ข้อมูลเดือนกรกฎาคม 2539 (c) ข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์ 2555 (d) ข้อมูลเดือนพฤษภาคม 2555 (e) ผลรวม 2539-2555

4.1.4 ผลจาก Spearman correlation

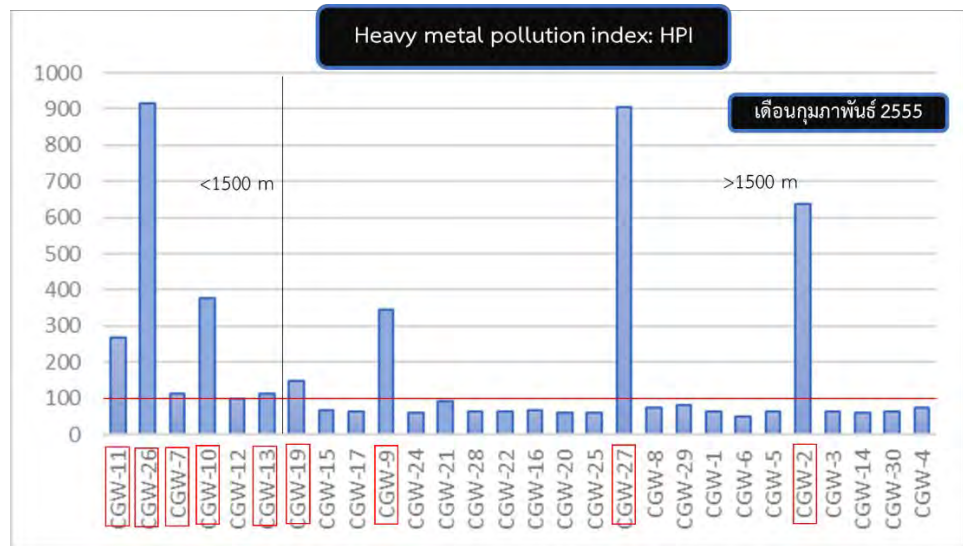
ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม SPSS ทำให้เราทราบความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในพื้นที่ ของปีพ.ศ.2539 และปีพ.ศ.2555 ซึ่งสามารถบ่งบอกการกระจายตัวของอุทกธรณีเคมีในพื้นที่ได้ ซึ่งจากค่า Correlation coefficient ใน COLUME ค่าระยะห่างจากบ่อทิ้งกากแร่(MTD)จะมีค่าเป็นลบ ซึ่งค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าพารามิเตอร์ของความเข้มข้นของมลสารจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญกับระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่โดยมีการแปรผกผันกัน โดยธาตุที่มีค่า Correlation coefficient สูงที่สุดกับ MTD คือสารหนู รองลงมาเป็น สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง ตามลำดับ นอกจากนี้หากเราสังเกตค่าอื่นจะเห็นว่าสารหนู ตะกั่ว ทองแดง จะมีค่า Correlation coefficient ที่ค่อนข้างสูงซึ่งอาจจะมาจากการแพร่กระจายความเข้มข้นของมลสารที่มาจากสายแร่ตามธรรมชาติที่อยู่ตรงบริเวณบ่อทิ้งกากแร่

ตารางที่ 4.3 แสดงผลที่ได้จากการทำ Spearman correlation

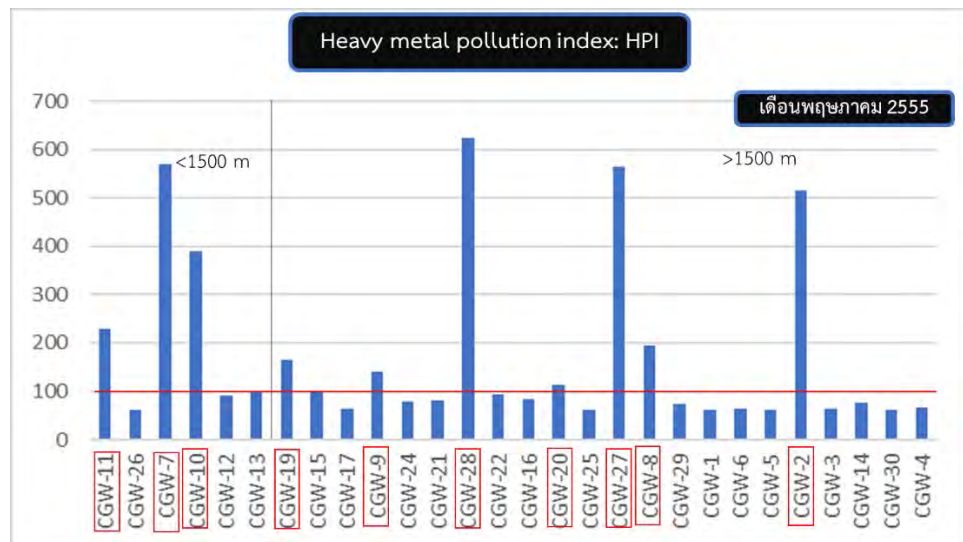
Correlations							
Element		(As)mg/l	(Pb)mg/l	(Cu)mg/l	(Zn)mg/l	MTD(m.)	
Spearman's rho	(As)mg/l	Correlation Coefficient	1.000	0.113	0.145	0.092	-0.443**
		Sig. (2-tailed)	x	0.248	0.138	0.348	0.000
	(Pb)mg/l	Correlation Coefficient	0.113	1.000	.366**	0.093	-0.103
		Sig. (2-tailed)	0.248	x	0.000	0.342	0.325
	(Cu)mg/l	Correlation Coefficient	0.145	.366**	1.000	0.032	-0.094
		Sig. (2-tailed)	0.138	0.000	x	0.747	0.295
	(Zn)mg/l	Correlation Coefficient	0.092	0.093	0.032	1.000	-0.254**
		Sig. (2-tailed)	0.348	0.342	0.747	x	0.009
	MTD(m.)	Correlation Coefficient	-0.443**	-0.097	-0.103	-0.254**	1.000
		Sig. (2-tailed)	0.000	0.325	0.295	0.009	x

4.2 การวิเคราะห์ค่าดัชนีโลหะหนักในพื้นที่

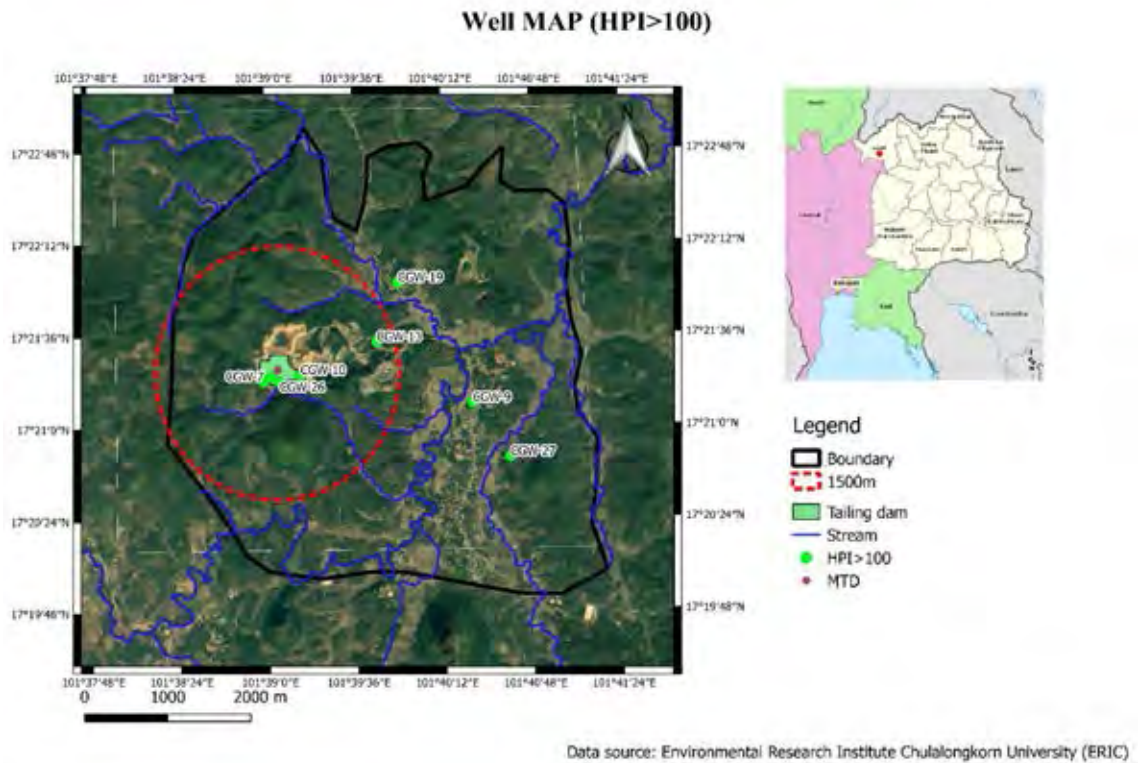
จากการที่ข้อมูลในการสำรวจมลสารโลหะหนักในพื้นที่ในปี 2539 มีชนิดของโลหะหนักน้อยมาก เราจึงเลือกใช้ข้อมูลเฉพาะในปี 2555 ซึ่งมีมลสารของโลหะหนักหลายชนิดกว่า และจากการคำนวณหาค่าดัชนีโลหะหนัก ซึ่งในการคำนวณค่าดัชนีดังกล่าวแสดงในรูปของกราฟแท่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าข้อมูลในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2555 มีบ่อสังเกตการณ์ที่มีค่าดัชนีโลหะหนักเกินมาตรฐานทั้งหมด 9 บ่อ คือ CGW2, CGW7, CGW9, CGW10, CGW11, CGW13, CGW19, CGW27 และ CGW26 แสดงในรูปที่ 4.7 และจากข้อมูลในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จะมีบ่อสังเกตการณ์ที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักเกินมาตรฐานทั้งหมด 10 บ่อ คือ CGW2, CGW7, CGW8, CGW9, CGW10, CGW11, CGW19, CGW20, CGW27 และ CGW28 แสดงในรูปที่ 4.8 โดยบ่อสังเกตการณ์ที่มีค่าเกินมาตรฐานตลอดทั้ง 2 ช่วงเวลาในปี 2555 ได้แก่ บ่อ CGW2, CGW7, CGW9, CGW10, CGW11, CGW19 และ CGW27 ซึ่งจะแสดงตำแหน่งตาม รูปที่ 4.9 ซึ่งพบว่ามีทั้งบ่อที่อยู่บริเวณพื้นที่เหมือง และห่างออกไปจากรัศมี 1,500 เมตรเช่นกัน จึงยังไม่สามารถสรุปอย่างชัดเจนว่าโลหะหนักดังกล่าวมาจากธรรมชาติหรือกิจกรรมของเหมือง ซึ่งอาจจะต้องมีผลการศึกษาในชั้นรายละเอียดในอนาคต



รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงค่า HPI ข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์ 2555



รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงค่า HPI ข้อมูลเดือนพฤษภาคม 2555

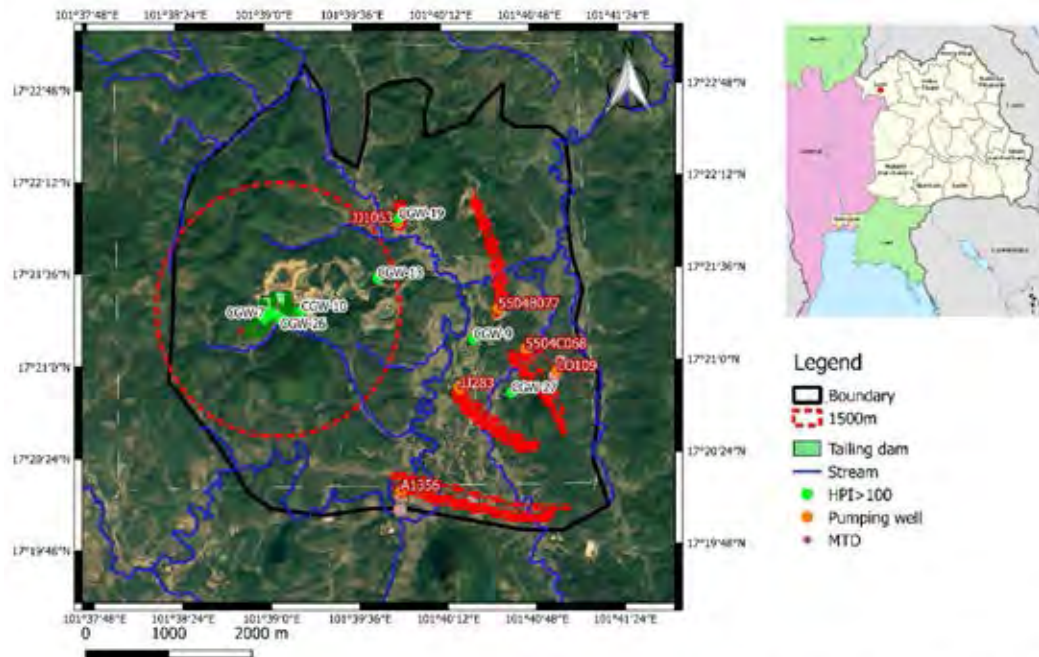


รูปที่ 4.9 แผนที่แสดงบ่อสังเกตการณ์ที่มีค่า HPI เกินมาตรฐาน

4.3 การสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลแสดงพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสูบน้ำในพื้นที่

จากการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลด้วยโปรแกรม Visual MODFLOW FLEX เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของมลสารในพื้นที่ศึกษา โดยโมดูล Forward particle tracking ดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยการจำลองให้เวลาผ่านไป 8030 วัน (22 ปี) จากวันที่ 1 เดือนมีนาคม พ.ศ.2539 แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการไหลของอนุภาคในแบบเคลื่อนที่ไปตามได้ของบริเวณบ่อทิ้งกากแร่ จะมีรัศมีการเคลื่อนตัวไม่ถึง 500 เมตรรอบบ่อทิ้งกากแร่สำหรับการศึกษาพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสูบน้ำของบ่อบาดาลที่มีการสูบน้ำโดยใช้โมดูล Backward particle tracking ตามตำแหน่งของบ่อสูบน้ำบาดาลจะแสดงให้เห็นขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสูบน้ำในแต่ละบ่อสูบน้ำ ซึ่งขอบเขตของการสูบน้ำบาดาลของบ่อดังกล่าวมีผลกระทบไปไม่ถึงบริเวณบ่อทิ้งกากแร่ โดยพื้นที่ที่มีอิทธิพลไปส่วนใหญ่อยู่ทางพื้นที่ทางด้านเหนือและตะวันออกเฉียงใต้เนื่องจากการเพิ่มเติมน้ำเป็นส่วนใหญ่จากพื้นที่ดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการติดตามปริมาณโลหะหนักในบ่อ CGW19 เนื่องจากมีค่าดัชนีโลหะหนักเกินค่ามาตรฐาน

Capture zone delineation MAP



Data source: Environmental Research Institute Chulalongkorn University (ERIC)

รูปที่ 4.10 แผนที่แสดงแบบจำลองการกระจายตัวของอนุภาคแบบ Forward particle tracking (สีเขียว) และแบบ Backward particle tracking (สีแดง)

4.4 การวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำทุ่งคำ

จากผลลัพธ์ทั้งหมดที่ได้แสดงมาข้างต้นทำให้เราสรุปได้ว่า ถึงแม้ว่าการกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมีในพื้นที่จะมีแนวโน้มความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะห่างจากบ่อทิ้งกากแร่โดยมีลำดับของธาตุเป็น สารหนู สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง แต่ผลที่ทางธรณีเคมีมีรูปแบบที่สอดคล้องกันก่อนและหลังเริ่มเปิดเหมือง ซึ่งการกระจายตัวทางอุทกธรณีเคมีตามระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่อาจจะเป็นผลจากทั้งการธรรมชาติและกิจกรรมของเหมืองแร่ นอกจากนี้ผลของการทำแบบจำลองการติดตามการเคลื่อนที่ของมลสารในน้ำบาดาลแสดงให้เห็นว่าผลกระทบที่มาจากบ่อทิ้งกากแร่ จะไม่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสูบน้ำของบ่อบาดาลในพื้นที่ อย่างไรก็ตาม บ่อบาดาลที่ควรได้รับการเฝ้าระวังเป็นพิเศษคือ บ่อ JJ1053 ซึ่งเป็นบ่อสูบน้ำบาดาลที่มีขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสูบน้ำที่มีบ่อสังเกตการณ์ CGW19 อยู่ซึ่งเป็นบ่อที่มีระดับค่าดัชนีโลหะหนักเกินค่ามาตรฐาน

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

1. จากการคำนวณทางสถิติทำให้ทราบว่ารูปแบบการกระจายตัวทางอุทกธรณีในพื้นที่ศึกษาเหมืองทองทุ่งคำ จังหวัดเลยทั้งก่อนและหลังดำเนินการกิจกรรมเหมือง มีการรูปแบบเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลสารทั้งสิ้นชนิด ที่สอดคล้องกัน โดยความเข้มข้นของมลสารจะลดลงเมื่อระยะทางไกลจากพื้นที่เหมืองมากขึ้น
2. มลสารที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามระยะทางจากบ่อทิ้งกากแร่มากที่สุด คือ สารหนู รองลงมาคือ สังกะสี ตะกั่ว และทองแดงตามลำดับ
3. บ่อสังเกตการณ์ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักเกินค่ามาตรฐานของค่าดัชนีโลหะหนัก (HPI) ในปี พ.ศ.2555 มีทั้งหมด 7 บ่อคือ CGW2 CGW7 CGW9 CGW10 CGW11 CGW19 และCGW27 ซึ่งพบในพื้นที่รัศมี 1,500 เมตร และพื้นที่ที่ไกลเกิน 1,500 เมตร ซึ่งมีค่าไม่สัมพันธ์กับระยะห่างจากพื้นที่เหมือง
4. การเคลื่อนที่ของมลสารในพื้นที่แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลจากการกระจายตัวของมลสารในบ่อทิ้งกากแร่มีขอบเขตไม่เกินระยะ 500 เมตร รอบบ่อทิ้งกากแร่ และอิทธิพลที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่ไม่ส่งอิทธิพลไปถึงบริเวณบ่อทิ้งกากแร่ แต่ได้รับอิทธิพลจากพื้นที่เพิ่มเติมน้ำทางทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงใต้
5. บ่อสูบน้ำบาดาลที่ควรได้รับการเฝ้าระวังเป็นพิเศษคือบ่อ JJ1085 เนื่องจากพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสูบน้ำของบ่อสูบน้ำนี้ครอบคลุมบ่อสังเกตการณ์CGW19 ซึ่งมีค่าดัชนีโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการคำนวณเชิงสถิติจำเป็นต้องมีข้อมูลหลายชุดข้อมูลทั้งในเชิงเวลาและสถานที่เพื่อเพิ่มเติมถูกต้อง และน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์มากขึ้น
2. ควรมีการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์เพิ่มบริเวณใกล้เคียงบ่อที่มีค่าดัชนีโลหะหนักเกินมาตรฐาน

เอกสารอ้างอิง

Ahern, J.A. Ground water capture-zone delineation capture-zone delineation: method comparison in synthetic case studies and a field example on Fort Wainwright, Alaska. Master thesis. University of Alaska Fairbanks, 1994.

Rwiza, M.J., Kim, K-W, and Kim, S. Geochemical Distribution of Trace Elements in Groundwater from the North Mara Large-Scale Gold Mining Area of Tanzania. National Ground Water Association, 2016.

ภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ลักษณะสภาพทางอุทกธรณีวิทยาและแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ บ้านนาหนองบง อ.วังสะพุง จ.เลย. บริษัท สีนธนา รีซอร์ส จำกัด และบริษัททุ่งคำ, 2539.

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. โครงการสำรวจการกระจายตัวและแหล่งที่มาของการปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่แหล่งแร่ทองคำทับฟ้า ต.เขาหลวง อ.วังสะพุง จ.เลย. กรมอุตสาหกรรมและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555

จอมจันทร์ นทีวัฒนา, จินตพัฒน์ นทีวัฒนา, เพชร เพ็งชัย และไมตรี สุทธจิตต์. การประเมินความเสี่ยงคุณภาพน้ำตามมาตรฐานน้ำดื่มต่อสุขภาพ และความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ในการจัดทำข้อเสนอแนะ โครงการพระราชดำริอ่างเก็บน้ำแม่ป๋อก ต.บิลศรัวิชัย อ.ภเออ ลี้ จังหวัดลำพูน. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 20 (ฉบับที่ 2) กรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2558: 14-32.

Schlumberger Water Services, Visual mudflow premium demo tutorial, 2010.

งามพล สุนทรวรสิริ. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ. ภาควิชาสุวิทยาเขตร้อน คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล, 2561.

