

การประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของน้ำบาดาลเนื่องจากดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม
บริเวณตำบลแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

นางสาวสลิลทิพย์ วิภาตะวิทย์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

เรื่อง การประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของน้ำบาดาลเนื่องจากดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม
บริเวณตำบลแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

โดย นางสาวสลิลทิพย์ วิภาตะวิทย์

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ส่ง

วันที่อนุมัติ

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีเสิศ โขติพันธ์รัตน์)

การประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของน้ำบาดาลเนื่องจากดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม

บริเวณตำบลแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

นางสาวสลิลทิพย์ วิภาตะวิทย์ 5532742123

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ: พื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมระดับสูงบริเวณผิวดินโดยมีสาเหตุหลักมาจากการทำเหมืองสังกะสีในบริเวณนั้น เป็นผลทำให้ชั้นน้ำบาดาลมีโอกาสเสี่ยงสูงที่จะมีการปนเปื้อนของแคดเมียม จากการสำรวจของสถาบันจัดการทรัพยากรน้ำนานาชาติ (International Water Management Institute; IWMI) และกรมวิชาการเกษตรในปี พ.ศ. 2541 - 2546 พบว่ามีการปนเปื้อนของแคดเมียมระดับสูงในตะกอนดินท้องน้ำห้วยแม่ตาบ และบริเวณแปลงนาที่มีการผันน้ำจากห้วยแม่ตาบ โดยเฉพาะบริเวณที่น้ำไหลผ่านพื้นที่ที่มีการทำเหมืองแร่ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 82-326 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมที่ใช้น้ำจากลำห้วยแม่ตาบในช่วงประมาณ 61-207 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงเกินมาตรฐานการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ยอมให้มีได้ในดินของประชาคมเศรษฐกิจยุโรป 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยความเสี่ยงต้องพิจารณาทั้งสภาพความอ่อนไหวตามธรรมชาติของแหล่งน้ำบาดาลร่วมกับศักยภาพของแหล่งมลสารที่จะส่งผลกระทบต่อชั้นน้ำบาดาล ในการศึกษาครั้งนี้ทำการวิเคราะห์สภาพความอ่อนไหวตามธรรมชาติของแหล่งน้ำบาดาลด้วยวิธี DRASTIC (Aller et al., 1987) ผลจากการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำมาจัดกลุ่มเพื่อจำแนกศักยภาพการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในระดับต่างๆ และถูกจัดทำออกมาในรูปแบบของแผนที่ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาล ซึ่งพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลสูงมาก (ระดับความอ่อนไหว 5) อยู่ในบริเวณพื้นที่ทางตะวันตกของพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์การปนเปื้อนของแคดเมียมในดินร่วมด้วย ทำให้สามารถประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะได้ โดยจัดระดับความเสี่ยงออกเป็น 4 ระดับ คือ ต่ำมาก ต่ำ ปานกลาง และสูง ผลจากการประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะถูกจัดทำออกมาในรูปแบบของแผนที่ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ และพบว่าพื้นที่ที่ความเสี่ยงสูงอยู่ในบริเวณลุ่มน้ำห้วยแม่ตาบบริเวณที่น้ำไหลผ่านพื้นที่ที่มีการทำเหมืองแร่

คำสำคัญ: น้ำบาดาลระดับตื้น; แคดเมียม; ห้วยแม่ตาบ; DRASTIC method; การประเมินความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาล; การประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ

**POLLUTION RISK ASSESSMENT OF GROUNDWATER CAUSED FROM CADMIUM
CONTAMINATED SOILS IN TAMBON MAE SOT, AMPHOE MAE SOT, CHANGWAT TAK.**

Salinthip Wipatawit 5532742123

Advisors: Assoc. Prof. Dr. Srilert Chotpantararat

Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Abstract: Amphoe Mae Sot, Changwat Tak, an area experiencing high levels of cadmium contaminated soil surface caused from the mining of zinc in the area. As a result, groundwater is likely to have a higher risk of contamination of cadmium. A survey of International Water Management Institute; IWMI and Department of Agriculture in 1998 - 2003 were found that this area has been contaminated with high levels of cadmium in the soil water of Mae Tao creek and a field with the diversion of water from the Mae Tao creek. Especially in areas where the water flows through the mining area which is in the range of 82 - 326 milligrams per kilogram. And contamination of cadmium in the soil around the agricultural area that used water from the Mae Tao creek in the range of about 61 - 207 milligrams per kilogram which is higher than the standard of cadmium contamination in the soil that allow the EU 3 milligrams per kilogram. Pollution risk assessment of cadmium contaminated in groundwater is absolutely necessary. The risk must be considered as a vulnerability of aquifer and potential sources of pollutants that can affect groundwater. In this study, the vulnerability of aquifer will be analyzed by DRASTIC method (Aller et al., 1987). The results of the analysis were grouped to identify the potential contamination of groundwater levels and be prepared to come out in the form of vulnerability index map. This area has a very high vulnerability (level 5) in the west part. There is also analysis cadmium contaminated in soil. The risk level is classified into four levels: very low, low, medium and high. The final results have come out in form of risk map and found that it has high-risk areas in the watershed area of the Mae Tao creek.

Keyword: Shallow groundwater; Cadmium; Mae Tao creek; DRASTIC method; Pollution risk assessment of aquifer; Risk assessment of groundwater against pollution

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 พื้นที่ศึกษา	2
1.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ	7
1.5 ขอบเขตของการศึกษา	8
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2 ธรณีวิทยาพื้นที่	
2.1 ธรณีวิทยา	9
2.2 แหล่งแร่สังกะสี	11
2.3 ข้อมูลดิน	13
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	
3.1 ศึกษางานวิจัยเก่าและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
3.2 รวบรวมข้อมูล	18
3.3 วิเคราะห์ข้อมูล	18
3.3.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ	18
3.3.2 การวิเคราะห์การปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน	27
3.3.3 การวิเคราะห์ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ	30
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	
4.1 ผลการประเมินความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ	32
4.2 ผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน	41
4.3 ผลการวิเคราะห์ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ	44
4.4 ผลเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะกับ ค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินตามระดับความลึก	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการประเมินความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ	49
5.2 สรุปผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน	49
5.3 สรุปผลการวิเคราะห์ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ	50
5.4 ข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก	53

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของชุดดินในพื้นที่ศึกษา 10 ลำดับแรก	13
ตารางที่ 3.1 ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยในแบบจำลอง DRASTIC (Aller et al., 1987)	19
ตารางที่ 3.2 ค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของความลึกถึงระดับน้ำบาดาล	20
ตารางที่ 3.3 ค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของการวิเคราะห์อัตราซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล	22
ตารางที่ 3.4 ค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของการลักษณะของชั้นน้ำบาดาล	23
ตารางที่ 3.5 ค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของการลักษณะของชั้นน้ำบาดาล	24
ตารางที่ 3.6 ค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของความลาดชันของภูมิประเทศ	25
ตารางที่ 3.7 ค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล	25
ตารางที่ 3.8 ค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ	27
ตารางที่ 4.1 ค่าคะแนนการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน	41
ตารางที่ 4.2 ผลจากการวิเคราะห์หาค่าแคดเมียมในตัวอย่างดินจากการออกภาคสนาม	42
ตารางที่ 4.3 ระดับความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะในพื้นที่ศึกษา	44
ตารางที่ 6.1 ช่วงความถี่ย่อยต่างๆ ของไมโครเวฟ	57
ตารางที่ 6.2 ข้อมูลแคดเมียมในดิน	61

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 พื้นที่ศึกษาบริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก	2
รูปที่ 1.2 แผนที่อุทกธรณีวิทยาประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณีวิทยา)	5
รูปที่ 2.1 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา (กรมทรัพยากรธรณีวิทยา)	10
รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงแหล่งแร่สังกะสีดอยผาแดงและดอยที่อยู่ใกล้เคียง	11
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแร่สังกะสีที่พบในแหล่งแร่สังกะสีดอยผาแดงและดอยผาแดง	12
รูปที่ 2.4 แผนที่ธรณีวิทยาลักษณะการวางตัวของหินและแร่บริเวณเหมืองผาแดง	13
รูปที่ 3.1 ระเบียบวิธีวิจัย	17
รูปที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างดินแบบผสมรวมจากสถานีย่อย 5 จุด	28
รูปที่ 3.4 เครื่องมือย่อยตัวอย่างดินและวิเคราะห์ตัวอย่างดิน	29
รูปที่ 3.5 เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยง	30
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างแผนที่แสดงระดับความเสี่ยงต่อการเกิดมลภาวะในชั้นน้ำบาดาล	31
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความลึกถึงระดับน้ำ	32
รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล	33
รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของชั้นน้ำบาดาล	34
รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติของดิน	35
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ	36
รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล	37
รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ	38
รูปที่ 4.8 แผนผังการนำผลการวิเคราะห์ทั้ง 7 ปัจจัยมาคำนวณในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	39
รูปที่ 4.9 แผนที่ความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ	40
รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินจากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ	41
รูปที่ 4.11 แผนที่การปนเปื้อนของแคดเมียมในดินจากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ (2554) เปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ที่ได้จากการออกภาคสนาม	43
รูปที่ 4.12 แผนที่ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนแคดเมียม	45
รูปที่ 4.13 ผลเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงกับค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ระดับความลึก 20-40 เซนติเมตร	46
รูปที่ 4.14 ผลเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงกับค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ระดับความลึก 40-60 เซนติเมตร	47
รูปที่ 4.15 ผลเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงกับค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ระดับความลึก 60-80 เซนติเมตร	47

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.16 ผลเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงกับค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ระดับความลึก 80-100 เซนติเมตร	48
รูปที่ 6.1 การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากสถานะพื้นเป็นสถานะกระตุ้น	54
รูปที่ 6.2 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)	54
รูปที่ 6.3 การออกแบบเครื่องมือแบบ Single - mode	59
รูปที่ 6.4 เครื่องมือแบบ Multi-mode	59

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์ ดร. ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ซึ่งกรุณาสละเวลาให้ความรู้และคำแนะนำตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทั้งในด้านวิชาการและคุณธรรม รวมถึงประสบการณ์ต่างๆ และให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลา 4 ในรั้วจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบพระคุณพี่จิระประภา เนียมปาน พี่บรรจง พวงทอง และพี่บุศลากรภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณนางสาวอัญญา วลีธิติกุล (พี่ลิลลี่) พี่ปิ๊ก และพี่ไผ่ ที่ให้ความช่วยเหลือในการออกภาคสนามเก็บตัวอย่างดินที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ขอขอบคุณเพื่อนๆร่วมรุ่นที่ 56 พี่ น้องๆ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และคอยให้กำลังใจ ตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ผู้เป็นกำลังใจหลักในการทำงานวิจัยครั้งนี้ และยังคงคอยให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

1.1 ที่มาและความสำคัญ

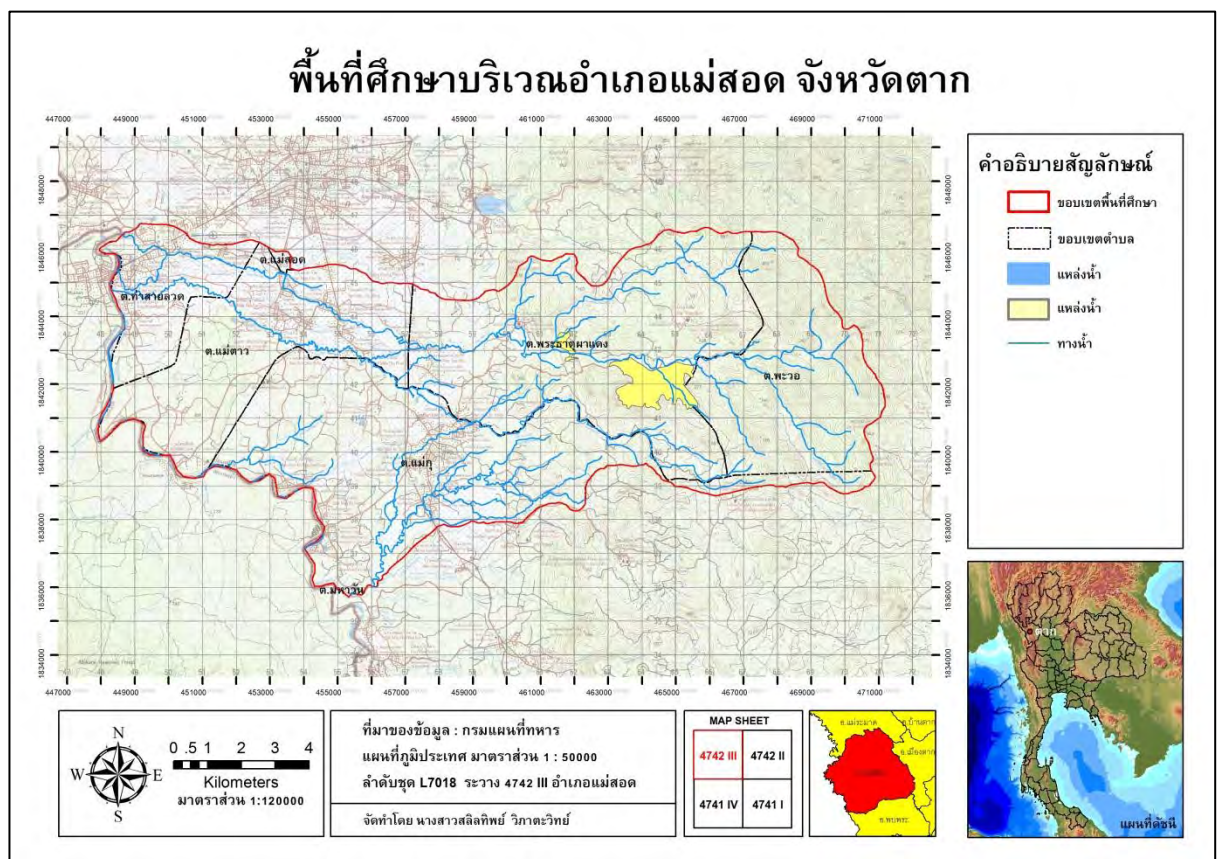
ดินและน้ำบาดาลเป็นทรัพยากรทางธรรมชาติหนึ่งที่สำคัญอย่างมากในการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม เนื่องจากดินสามารถเป็นตัวดูดซับสารอันตรายหรือโลหะหนักจากแหล่งกำเนิดต่างๆและเป็นตัวกลางในการซึมผ่านของสารอันตรายหรือโลหะหนักต่างๆลงสู่ชั้นน้ำบาดาล สาเหตุหลักของการปนเปื้อนมาจากการทำกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ อาทิ การทิ้งของเสียหรือขยะมูลฝอยจากชุมชน การทำอุตสาหกรรมเหมืองแร่ การทิ้งสารอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม การใช้ยาฆ่าแมลงและปุ๋ยเคมีในปริมาณสูงอย่างต่อเนื่อง และจากหลุมฝังกลบขยะที่เสื่อมสภาพหรือไม่ได้มาตรฐานตามหลักวิชาการ เนื่องจากสารอันตรายหรือโลหะหนักมีสถานะเป็นสารคงตัว ไม่สามารถสลายตัวในกระบวนการทางธรรมชาติได้ เมื่อถูกทิ้งในดินจะมีเพียงส่วนเล็กน้อยเท่านั้นที่สามารถระเหยออกไปได้ แต่ส่วนใหญ่จะอิมตัวอยู่ในดิน ส่วนที่อิมตัวอยู่ในดินนั้นบางส่วนจะเกาะติดกับอนุภาคของดินบางส่วนจะซึมลงตามชั้นดินในแนวตั้งตามแรงโน้มถ่วงของโลก จนกระทั่งถึงชั้นน้ำบาดาลและถูกพัดพาไปในทิศทางเดียวกันกับน้ำบาดาลซึ่งเป็นอันตรายต่อการอุปโภคและบริโภคของประชาชนในบริเวณนั้น ทั้งนี้การบำบัดฟื้นฟูการปนเปื้อนของดินและน้ำบาดาลยังต้องใช้ระยะเวลาและใช้งบประมาณมหาศาล ความเป็นพิษของโลหะหนักจะขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมีของสารประกอบของโลหะหนักแต่ละชนิด และเส้นทางที่ร่างกายจะได้รับเข้าไป โลหะหนักที่ใช้ทำการวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้ คือ แคดเมียม โดยส่วนใหญ่มีแหล่งที่มาของการปนเปื้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง กากตะกอนอุตสาหกรรม ปุ๋ยเคมีที่มีส่วนผสมของฟอสเฟต และมักจะเป็นผลพลอยได้จากการทำเหมืองสังกะสี สำหรับค่าความเข้มข้นของแคดเมียมมีค่ามาตรฐานกำหนดไว้ว่าคนปกติไม่ควรได้รับแคดเมียมเกินสัปดาห์ละ 0.40-0.50 มิลลิกรัม ปริมาณแคดเมียมสูงสุดในอาหารชนิดต่างๆหรือในร่างกายมีค่าไม่เกิน 5 ไมโครกรัม/ลิตรในเลือด (องค์การอนามัยโลก, 2549) แคดเมียมสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ผ่านการหายใจและการรับประทานอาหาร แล้วเข้าไปสะสมในตับและไต ทำให้เกิดความผิดปกติได้ทั้งแบบเฉียบพลัน ได้แก่ คลื่นไส้ ท้องเสีย หายใจมีเสียงติดขัด ปวดศีรษะ มีไข้ ปวดอวัยวะ และปวดบวมในร่างกายใน 12 - 24 ชั่วโมง และแบบเรื้อรังซึ่งจะมีการสะสมแคดเมียมในกระดูกทำให้เกิดโรคอิตাইไต (Itai-itai) เป็นสาเหตุให้กระดูกเปราะ หักง่าย มีอาการเจ็บปวดกระดูกทั่วทั้งร่างกาย และเกิดโรคไตเสื่อม

สำหรับพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในบริเวณตำบลแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตากและพื้นที่ตำบลช้างเคียง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในผิวดินมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากการทำอุตสาหกรรมเหมืองแร่สังกะสี โดยมีห้วยแม่ดาวเป็นตัวกลางในการพาตะกอนที่ปนเปื้อนแคดเมียมจากบริเวณเหมืองไปยังบริเวณโดยรอบทำให้มีผลต่อชาวบ้านที่อาศัยอยู่รอบๆบริเวณดังกล่าว จากการสำรวจของสถาบันจัดการทรัพยากรน้ำนานาชาติ (International Water Management Institute; IWMI) และกรมวิชาการเกษตรในปี พ.ศ. 2541 - 2546 พบว่ามีการปนเปื้อนของแคดเมียมระดับสูงในตะกอน

ดินต่อน้ำห้วยแม่ดาว และบริเวณแปลงนาที่มีการผันน้ำจากห้วยแม่ดาว โดยเฉพาะบริเวณที่น้ำไหลผ่านพื้นที่ที่มีการทำเหมืองแร่ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 82-326 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมที่ใช้น้ำจากลำห้วยแม่ดาวในช่วงประมาณ 61-207 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงเกินมาตรฐานการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ยอมให้มีได้ในดินของประชาคมเศรษฐกิจยุโรป 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นทำให้เกิดการตระหนักถึงความสำคัญของสถานการณ์ของปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่ จึงจัดทำแผนที่ประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารอันตรายหรือโลหะหนักต่างๆสู่ชั้นน้ำบาดาล เพื่อเป็นการสนับสนุนให้เกิดการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลได้อย่างยั่งยืนต่อไป

1.2 พื้นที่ศึกษา

บริเวณพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ครอบคลุมแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50000 ระวัง 4742III ประกอบด้วยพื้นที่ 6 ตำบล ได้แก่ ตำบลท่าสายลวด ตำบลแม่ดาว ตำบลแม่สอด ตำบลแม่กุ ตำบลพระธาตุผาแดง และตำบลพะวอ โดยมีแม่น้ำ 2 สายที่สำคัญ คือ ห้วยแม่กุ และห้วยแม่ดาว



รูปที่ 1.1 พื้นที่ศึกษาบริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

1.2.1 ลักษณะภูมิประเทศ

จังหวัดตาก ตั้งอยู่ในภาคตะวันตกของประเทศไทย ระหว่างเส้นรุ้ง 15 องศา 50 ลิปดา 36 ฟลิปดาเหนือ และเส้นแวงที่ 99 องศา 7 ลิปดา 22 ฟลิปดาตะวันออก สูงกว่าระดับน้ำทะเล 116.2 เมตร (ที่ตั้งศาลากลางจังหวัดตาก) ห่างจากกรุงเทพมหานครตามระยะทางทางหลวงหมายเลข 1 ถนนพหลโยธิน ประมาณ 426 กิโลเมตร มีเนื้อที่ประมาณ 16,406.65 ตารางกิโลเมตร

ทิศเหนือ ติดต่อกับ จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ ลำพูน และลำปาง

ทิศใต้ ติดต่อกับ จังหวัดอุทัยธานี และกาญจนบุรี

ทิศตะวันออก ติดต่อกับ จังหวัดสุโขทัย กำแพงเพชร นครสวรรค์ และอุทัยธานี

ทิศตะวันตก ติดต่อกับ ประเทศสาธารณรัฐสังคมนิยมแห่งประเทศไทย

สภาพพื้นที่โดยทั่วไปของจังหวัดตากเป็นพื้นที่ป่าและภูเขา มีที่ราบอยู่ตอนกลางตามริมฝั่งแม่น้ำปิง ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การปลูกพืชทุกชนิด โดยมีภูเขาที่สำคัญ ได้แก่ เทือกเขาถนนธงชัย เทือกเขาแดนลาว เขาหลวง และเขาพะเมิน แหล่งน้ำที่สำคัญ ได้แก่ แม่น้ำปิง แม่น้ำวัง แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำเมย คลองวังเจ้า และห้วยแม่ละเมา พื้นที่ป่าไม้รวม 7,182,562 ไร่ หรือร้อยละ 70.05 ของพื้นที่จังหวัด และมีแหล่งป่าสงวนแห่งชาติ 15 แห่ง

1.2.2 ลักษณะภูมิประเทศ

จังหวัดตากมีสภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่ประกอบด้วยภูเขาสูงประมาณร้อยละ 90 มีพื้นที่ราบอยู่ตามที่ราบลุ่มตามหุบเขา มีเทือกเขาถนนธงชัยเป็นตัวปะทะมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดมาจากมหาสมุทรอินเดียและทะเลอันดามัน จึงทำให้จังหวัดตากฝั่งตะวันตกได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมมากกว่าฝั่งตะวันออก และเป็นเหตุทำให้จังหวัดตากฝั่งตะวันตกมีปริมาณฝนตกมากกว่าโดยเฉพาะในที่ที่อยู่ในเขตภูเขา เช่น อำเภอท่าสองยาง อำเภอพบพระ และอำเภออุ้มผาง สภาพอากาศโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ฤดูคือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ดังนี้

ฤดูร้อน	เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม จะร้อนอบอ้าวมากที่สุดในช่วงเดือนเมษายน โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 24-31 องศาเซลเซียส
ฤดูฝน	เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม โดยฝนจะตกทางด้านตะวันตกของจังหวัดมากกว่าด้านตะวันออก โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส
ฤดูหนาว	เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยอากาศจะหนาวจัดในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 22-27 องศาเซลเซียส

1.2.3 ศักยภาพน้ำบาดาลในจังหวัดตาก

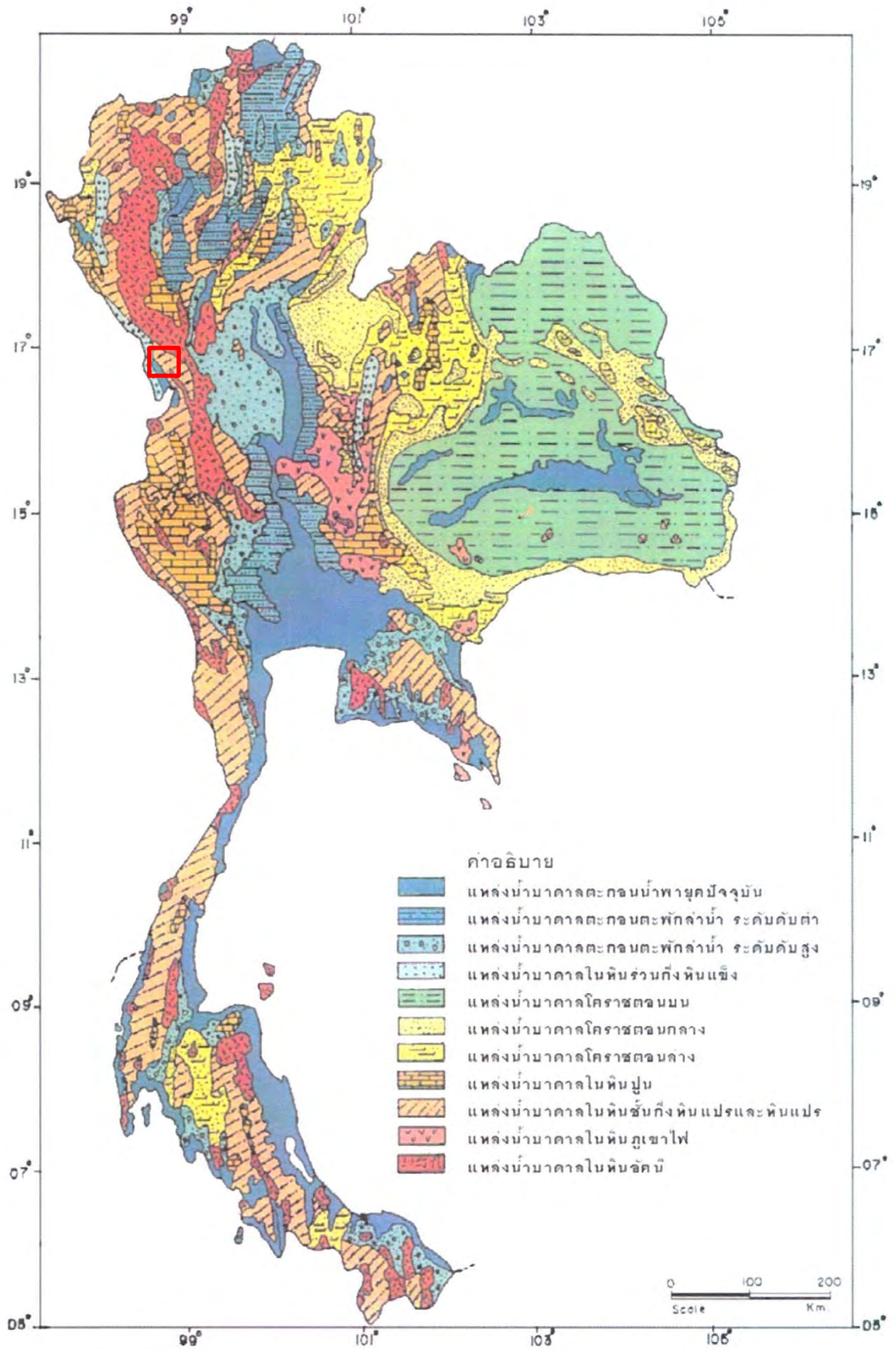
จากรายงานการศึกษาสภาพน้ำบาดาลของจังหวัดตากที่จัดทำขึ้นโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้กำหนดศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลด้านปริมาณน้ำสำหรับอำเภอต่างๆในจังหวัดตากโดยอาศัยข้อมูลการจ่ายน้ำในอัตราต่างๆ สามารถแบ่งศักยภาพน้ำบาดาลได้เป็น 4 ช่วง คือ มากกว่า 20 ลบ.ม./ชม., 10-20 ลบ.ม./ชม., 2-10 ลบ.ม./ชม. และน้อยกว่า 2 ลบ.ม./ชม. พร้อมทั้งคุณภาพน้ำในรูปของความเค็ม ความกระด้าง และสารละลายเหล็ก โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- ศักยภาพน้ำบาดาล อำเภอแม่สอด

1. บริเวณที่ได้รับน้ำบาดาลในอัตรา 10-20 ลบ.ม./ชม. ได้แก่ บ้านแม่ตาลใต้ ตำบลแม่ตาล จากชั้นน้ำตะกอนน้ำพา(Alluvial deposit) ซึ่งเป็นตะกอนที่เกิดในช่วงลุ่มน้ำหลาก และสะสมตัวอยู่ในเขตน้ำท่วมถึงอยู่ที่ระดับ 50-60 เมตร
2. บริเวณที่ได้รับน้ำบาดาลในอัตรา 2-10 ลบ.ม./ชม. ได้แก่ บ้านห้วยกะโหลก บ้านแม่ประกกลาง บ้านพระธาตุ บ้านปากห้วยแม่ปะ ตำบลแม่ปะ บ้านริมเมย ตำบลท่าสายลาด บ้านแม่กุเหนือ ตำบลแม่กุ จากชั้นน้ำตะกอนลานตะพักยุคใหม่(Terrace deposit) ซึ่งประกอบด้วยตะกอนของทรายเป็นส่วนใหญ่สลับด้วยตะกอนดินเหนียวมีระดับความสูง 70-80 เมตร นอกจากบริเวณที่กล่าวมาข้างต้นเป็นบริเวณที่ได้น้ำบาดาลในอัตราน้อยกว่า 2 ลบ.ม./ชม.

- ศักยภาพน้ำบาดาล อำเภอแม่ระมาด

พื้นที่บริเวณอำเภอแม่ระมาดรองรับด้วยหินชั้นและหินแปรหลายชนิดซึ่งเป็นแหล่งน้ำบาดาลที่ไม่ดี ยกเว้น บริเวณริมแม่น้ำเมยและลำน้ำสาขาบริเวณที่ได้น้ำบาดาลในอัตรา 2-10 ลบ.ม./ชม. คุณภาพน้ำบาดาลจากชั้นน้ำหินแปรที่บ้านสันป่าไร่ ตำบลพระธาตุ พบว่ามีธาตุเหล็กในปริมาณที่สูง ส่วนบริเวณบ้านป่าไร่ ตำบลคะเนจื้อ พบว่ามีสารหนูในปริมาณที่สูง



รูปที่ 1.2 แผนที่อุทกธรณีวิทยาประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณีวิทยา)
 หมายเหตุ กรอบสีแดง คือบริเวณพื้นที่ศึกษา

1.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ersoy and Gültekin (2013) ศึกษาความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ บริเวณลุ่มน้ำ Gümüşhacıköy และลุ่มน้ำ Merzifon ประเทศตุรกี เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีหมู่บ้านเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจมีการปนเปื้อนของสารปนเปื้อนในดินเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยวิธีที่เลือกใช้ในการประเมินความอ่อนไหว คือ วิธี DRASTIC (Aller et al., 1987) และใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (geographic information system, GIS) เป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล จากการศึกษาพบว่าสามารถแบ่งระดับความอ่อนไหวในพื้นที่ได้เป็น 3 ระดับ คือ ความอ่อนไหวระดับต่ำ (ค่าคะแนนต่ำกว่า 100) ความอ่อนไหวระดับปานกลาง (ค่าคะแนนตั้งแต่ 100 ถึง 140) ความอ่อนไหวระดับสูง (ค่าคะแนนสูงกว่า 140) โดยพื้นที่ที่มีระดับความอ่อนไหวสูงคิดเป็นร้อยละ 16 และพื้นที่ที่มีระดับความอ่อนไหวต่ำคิดเป็นร้อยละ 47 โดยพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงอยู่ในบริเวณที่มีค่าความลาดชันต่ำ ดินอ่อน และอยู่เหนือชั้นน้ำที่มีการซึมผ่านได้ดี

Kazakis and Voudouris (2015) ศึกษาความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะและความเสี่ยงของการปนเปื้อนไนเตรตลงสู่ชั้นน้ำบาดาล บริเวณลุ่มแม่น้ำ Anthemountas ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอ่าว Thermaikos ทางตอนเหนือของประเทศไทย โดยใช้วิธี DRASTIC (Aller et al., 1987) ในการประเมินความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาล และศึกษาการปนเปื้อนของไนเตรตในดินและน้ำ โดยใช้แบบจำลอง GLEAMS โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลทั้งสองอย่างมาซ้อนทับกันในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของไนเตรตลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในรูปของแผนที่

Unhalekhakh and Kositanont (2008) ศึกษาการกระจายตัวของแคดเมียมในดินบริเวณรอบเมืองสังกะสี โดยครอบคลุม 4 ห้วยน้ำบริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ได้แก่ ห้วยแม่ตาบ ห้วยแม่ตาบแง่งซ้าย ห้วยแม่กู่ และห้วยหนองเขียว โดยวิเคราะห์ตัวอย่างหาปริมาณความเข้มข้นของโลหะแคดเมียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) ผลบริเวณห้วยน้ำที่อยู่ในเขตภูเขา มีค่าการปนเปื้อนแคดเมียมใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน EU หรือไม่เกิน 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม บริเวณต้นน้ำห้วยแม่ตาบมีค่าการปนเปื้อนแคดเมียม 8.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม บริเวณท้ายน้ำของห้วยแม่ตาบมีค่าการปนเปื้อนแคดเมียม 22.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม บริเวณห้วยแม่กู่มีค่าการปนเปื้อนแคดเมียม 7.55-34.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม บริเวณท้ายน้ำของห้วยแม่ตาบแง่งซ้ายมีค่าการปนเปื้อนแคดเมียม 3.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และบริเวณห้วยหนองเขียวมีค่าการปนเปื้อนแคดเมียม 1.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

Weeraprapan et al. (2015) ศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมในน้ำบาดาลและตะกอนดินบริเวณลุ่มน้ำห้วยแม่ตาบ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพของน้ำบาดาล และระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในตะกอนดินบริเวณลุ่มน้ำแม่ตาบ โดยวิธีการเตรียมตัวอย่างตามวิธีมาตรฐาน U.S. EPA Method 3051A และวิเคราะห์ตัวอย่างหาปริมาณความเข้มข้นของโลหะแคดเมียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) จากการศึกษาพบว่าน้ำบาดาลมีค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมไม่เกินค่ามาตรฐาน ส่วนการปนเปื้อนของแคดเมียมในตะกอนดินเกิดขึ้นจากกระบวนการทางน้ำ โดยมีตัวกลางคือห้วยแม่ตาบ

เนื่องจากมีการปนเปื้อนของแคดเมียมในบริเวณท้ายน้ำหลังผ่านเหมืองสังกะสีที่สูงมาก ในขณะที่ต้นน้ำก่อนผ่านเหมืองมีปริมาณแคดเมียมในตะกอนดินที่ต่ำ

กรมควบคุมมลพิษ (2554) ศึกษาสำรวจการกระจายตัวและแหล่งที่มาการปนเปื้อนของแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาบ อำเภอมะสอย จังหวัดตาก เพื่อสำรวจการกระจายตัว การปนเปื้อนและการแพร่กระจายของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม แหล่งที่มาและปัจจัยที่ส่งผลต่อการปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม โดยพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่ 4 ตำบล ได้แก่ ตำบลพระธาตุผาแดง ตำบลแม่ตาบ ตำบลแม่กู่ และตำบลท่าสายลวด ทั้งพื้นที่กิจกรรมเหมืองเหมืองและพื้นที่เกษตรกรรมที่รับน้ำจากห้วยแม่ตาบและห้วยแม่กู่ ประมาณ 80 ตารางกิโลเมตร เป้าหมายหลัก คือ เป็นฐานข้อมูลของการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน โดยการจัดทำแผนที่แสดงการปนเปื้อนของแคดเมียมในพื้นที่ศึกษา มีการวิเคราะห์หาแคดเมียมทั้งตามวิธีมาตรฐาน U.S. EPA Method 3051A และตามวิธีมาตรฐาน U.S. EPA Method 3050B ซึ่งพบว่าค่าแคดเมียมจากการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังมีการนำโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการประเมิน และจัดทำแผนที่แสดงการปนเปื้อนแคดเมียมทั้งในแนวราบและแนวตั้ง

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2552) ศึกษาสถานการณ์การปนเปื้อนของมลสารลงสู่แหล่งน้ำบาดาล และออกแบบแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดสุพรรณบุรี เป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาด้านคุณภาพน้ำบาดาล มีการปนเปื้อนของไนเตรตที่สูงเนื่องจากการใช้ปุ๋ยเพื่อการเกษตร จึงมีการศึกษาความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะด้วยวิธี DRASTIC (Aller et al., 1987) และการประเมินศักยภาพแหล่งมลสารเกษตรกรรมทำให้สามารถประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาล โดยในรายงานได้นิยามการประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำต่อการเกิดมลภาวะว่า หมายถึง โอกาสหรือความเป็นไปได้ที่น้ำบาดาลจะถูกปนเปื้อนเกินกว่าระดับที่ยอมรับได้ (Foster, 1987) และนิยามความหมายของการประเมินความเสี่ยงว่า หมายถึง กระบวนการที่นำมาใช้เพื่อคาดการณ์ถึงความเป็นไปได้ที่น้ำบาดาลจะถูกปนเปื้อนจากมลสาร นอกจากนี้ยังอธิบายหลักเกณฑ์ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะว่าเกิดจาก ผลคูณระหว่างปริมาณมลสารที่มีการปนเปื้อนบนผิวดิน และระดับความอ่อนไหวของชั้นน้ำต่อการเกิดมลภาวะ (Gonzalez et al., 1997) เนื่องจากความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลเป็นตัวแทนที่แสดงถึงสภาพตามธรรมชาติของแหล่งน้ำบาดาลว่าจะถูกปนเปื้อนได้ง่ายเพียงใด แต่ไม่ได้พิจารณาถึงกิจกรรมที่เป็นต้นเหตุของมลสารที่ก่อให้เกิดมลพิษในน้ำบาดาล ความเสี่ยงที่แท้จริงจึงจำเป็นต้องพิจารณาทั้ง 2 ปัจจัยร่วมกัน

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาการกระจายตัวของแคดเมียมและประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของแคดเมียมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในบริเวณตำบลแม่สอย อำเภอมะสอย จังหวัดตาก

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

1. เก็บตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ในเดือนตุลาคม 2558
2. วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในดิน

วิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างดิน เริ่มจากการบดตัวอย่างดินและย่อยตัวอย่างดินด้วยวิธี EPA Method 3051A เพื่อนำสารละลายที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS)

3. นำข้อมูลที่เคยมีผู้ศึกษาไว้ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ มาประเมินการปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน
4. รวบรวมข้อมูลและนำข้อมูลประเมินความอ่อนไหวของชั้นน้ำใต้ดินต่อการเกิดมลภาวะด้วยวิธี DRASTIC (Aller et al.,1987) และนำไปจัดทำแผนที่ความเสี่ยงการปนเปื้อนของแคดเมียมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในลำดับถัดไป

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ก. ในด้านความรู้และประสบการณ์ต่อตัวนิสิตเอง
 - เรียนรู้กระบวนการทำงานวิจัยทางด้านธรณีวิทยา
 - เรียนรู้กระบวนการในการเก็บข้อมูลทางธรณีวิทยาภาคสนาม
 - เรียนรู้กระบวนการในห้องปฏิบัติการ เช่น การวิเคราะห์หาโลหะหนักที่ปนเปื้อนในตัวอย่างดิน ตั้งแต่การบดและย่อยตัวอย่างดิน และการใช้เครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดิน
- ข. ความรู้ ความเข้าใจที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหาของสังคมหรือสภาพแวดล้อม
 - ทราบค่าการกระจายตัวของแคดเมียมในดิน บริเวณพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
 - จัดทำแผนที่ความเสี่ยงการปนเปื้อนของแคดเมียมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล บริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

2.1 ธรณีวิทยา

ที่ตั้งของราบลุ่มน้ำแม่ตาว เหมือนแร่ตอยผาแดง และเหมือนแร่ตอยผาเต๊ะ มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 210, 650 และ 450 เมตร ตามลำดับ หินยุคช่วงบนไทรแอสซิก (Upper Triassic, TR₁) หินยุคช่วงกลางเพอร์เมียน (Middle Permian, P₂) และชั้นตะกอนในยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) ตามที่ได้แสดงในรูปที่ 2.1 (ข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย ระวัง 4742 III อำเภอแม่สอด มาตราส่วน 1 : 50000)

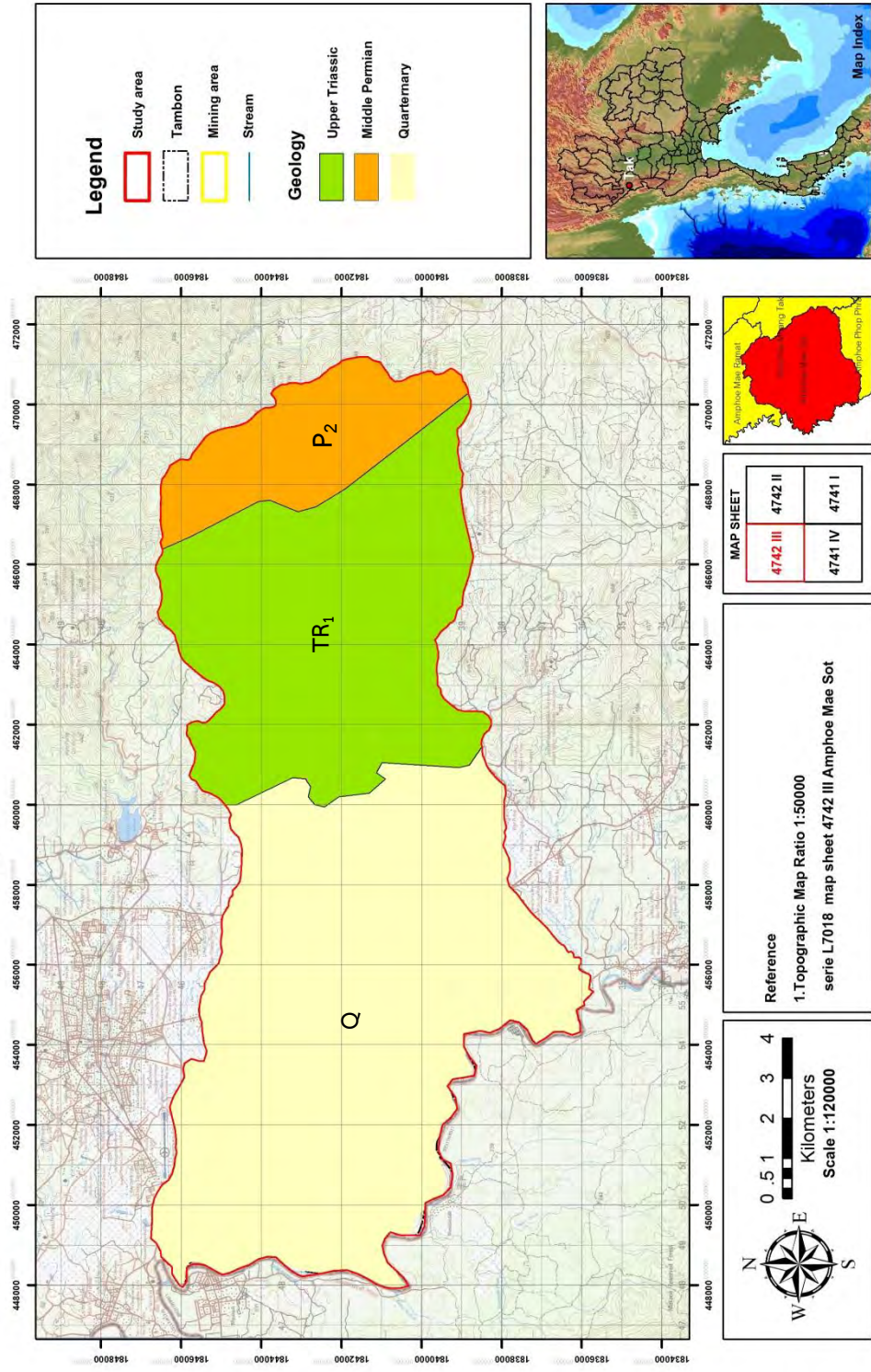
หินยุคช่วงบนไทรแอสซิก (Upper Triassic, TR₁) ประกอบด้วย หินกรวดมน มีกรวดของหินปูน หินดินดาน หินเชิร์ต หินควอร์ตไซต์ (สมานเนื้อด้วยทรายแป้งสีแดง) เป็นชั้นหนาถึงไม่แสดงชั้น (Thick Bedded – Massive) หินทรายสีแดง เนื้อละเอียดถึงหยาบ การคัดขนาดไม่ดี (Poor Sorted) และหินทรายแป้ง แนวการวางตัวประมาณทิศตะวันตกเฉียงเหนือ – ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) และส่วนใหญ่เอียงตัวไปทางทิศตะวันตก (W)

หินยุคช่วงกลางเพอร์เมียน (Middle Permian, P₂) ประกอบด้วย หินปูนเนื้อโดโลไมต์ (Dolomitic Limestone) สีเทาอ่อนถึงเทาดำ ไม่แสดงชั้น หินทรายเนื้อควอร์ต (Quartzitic Sandstone) สีขาว เป็นชั้นหนาถึงไม่แสดงชั้น การคัดขนาดดี มีความมน หินเชิร์ต สีน้ำตาลอ่อน เป็นชั้นดี และหินโคลนเนื้อซิลิกา (Silicified Mudstone) แนวการวางตัวประมาณทิศตะวันตกเฉียงเหนือ – ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) และมีเอียงตัวทั้งทางทิศตะวันออกเฉียง (E) และทิศตะวันตก (W)

พบรอยเลื่อนในแนวราบเลื่อนทางขวา (Right Lateral Fault) แนวตะวันออก – ตะวันตก (E-W) ตัดผ่านหินยุค TR₁ และ P₂ ที่บริเวณระหว่างเหมือนแร่ตอยผาแดงและเหมือนแร่ตอยผาเต๊ะ และรอยเลื่อนในแนวตั้ง (Vertical Fault) เกิดในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ – ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) และเหนือ - ใต้ (N-S) มีลักษณะเป็นกราเบน (Graben) และเป็นหน้าผาชัน (รอยเลื่อนผาแดง)

ชั้นตะกอนในยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) อยู่ทางด้านตะวันตกของพื้นที่ ซึ่งมีอายุอ่อนกว่า จำแนกเป็นตะกอนตะพักน้ำและตะกอนเชิงเขา (Terrace Deposits, Qt) ประกอบด้วยกรวดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว และตะกอนน้ำพา (Alluvium Deposits, Qa) ประกอบด้วยทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว ดินจากหินแกรนิต ทรายแป้ง ดินเหนียวสีขาว ดินสะสมอยู่กับที่สีแดง โดยชั้นตะกอนที่กล่าวถึงนี้จะรองรับด้วย หินยุคช่วงล่างเทอร์เชียรี (Lower Tertiary, T) ซึ่งประกอบด้วยหินกรวดมนกึ่งแข็งตัว (Semi-Consolidated Conglomerate) มีกรวดของหินปูน หินทราย แร่ควอตซ์ หินดินดาน และหินเชิร์ต หินมาร์ลเนื้อปูน สีขาว เป็นชั้นหนา หินปูนเนื้อเป็นเม็ดแก้ว (Pisolitic Limestone) และหินโคลน

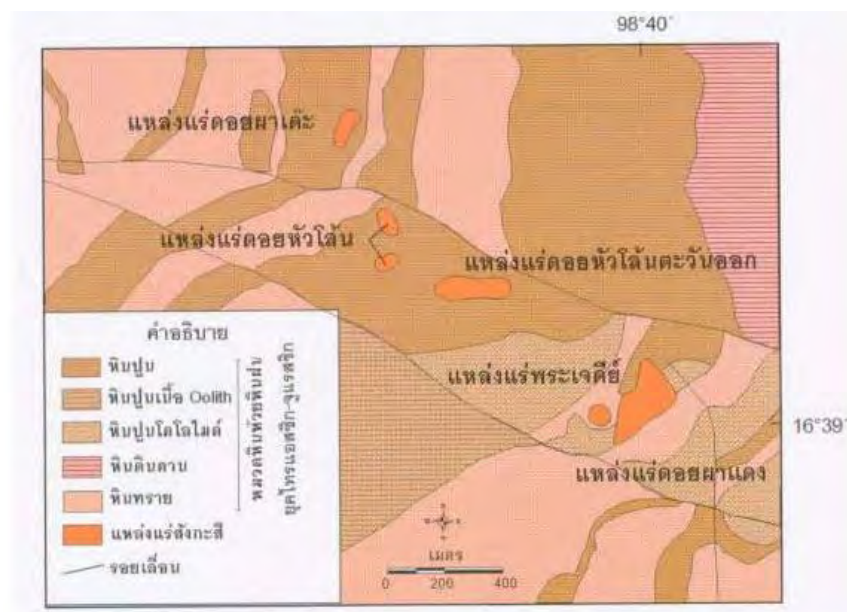
Geological map of study area



รูป 2.1 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา (กรมทรัพยากรธรณีวิทยา)

2.2 แหล่งแร่สังกะสี

จากแผนที่และข้อมูลแหล่งแร่ไทย ชุดแร่โลหะของประเทศไทย ฉบับที่ 5 “แหล่งแร่สังกะสี จังหวัดตาก” สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี (ธันวาคม 2547) พบว่าลักษณะทางธรณีวิทยา แหล่งแร่สังกะสีบริเวณที่ศึกษา เป็นแหล่งแร่สังกะสีที่พบแร่สะสมอยู่บนตอยผาแดงและตอยที่อยู่ใกล้เคียง (รูปที่ 2.2) แหล่งแร่เด่นชัดที่สุดอยู่ที่ตอยผาแดง ซึ่งเป็นแหล่งแร่ ชนิดทุติยภูมิตั้งอยู่ในเขต ตำบลพระธาตุ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งอยู่ห่างจาก อำเภอแม่สอด ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ประมาณ 11 กิโลเมตร หรือเป็นที่ตั้งของเหมืองแร่ บริษัท ผาแดง อินดัสทรี จำกัด (มหาชน) ในปัจจุบัน แร่ส่วนใหญ่เป็นสังกะสีซิลิเกต คาร์บอนเนต และออกไซด์ (ดังรูปที่ 2.3) ได้แก่ แร่เฮมิมอร์ไฟต์ (Hemimorphite) เป็นสังกะสีซิลิเกต $[Zn_4(Si_2O_7)(OH)_2 \cdot 2H_2O]$ สมิทซอไนท์ (Smithsonite) เป็นสังกะสีคาร์บอนเนต ($ZnCO_3$) ไฮโดรซิงไคต์ (Hydrozincite) สูตรเคมีคือ $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$ มีลักษณะคล้ายกับแร่สมิทซอไนท์ และซิงไคต์ (Zincite) อยู่ในรูปสังกะสีออกไซด์ (ZnO) ตอยผาแดง อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 650 เมตร โดยมีการสะสมตัวของแร่ที่ระดับความลึก 30 เมตร จากผิวน้ำดิน หรืออยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 620 เมตร และลึกลงไปถึงระดับความสูง 400 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง หรือมีความหนาปรากฏประมาณ 220 เมตร โครงสร้างของหินที่เป็นแหล่งแร่สังกะสีทุติยภูมิสามารถเกิดการผุพังและถล่มที่ละเล็กละน้อยกลายเป็นเศษหินระเกะระกะในพื้นที่ที่สามารถพบเห็นได้โดยทั่วไป



รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงแหล่งแร่สังกะสีตอยผาแดงและตอยที่อยู่ใกล้เคียง (แผนที่และข้อมูลแหล่งแร่ของประเทศไทย ชุด แร่ โลหะของประเทศไทย ฉบับที่ 5 กรมทรัพยากรธรณี, 2547)



แร่เฮมิมอร์ไฟต์ ($Zn_4(Si_2O_7)(OH)_2 \cdot 2(H_2O)$)



แร่สมิทซอไนต์ ($ZnCO_3$)

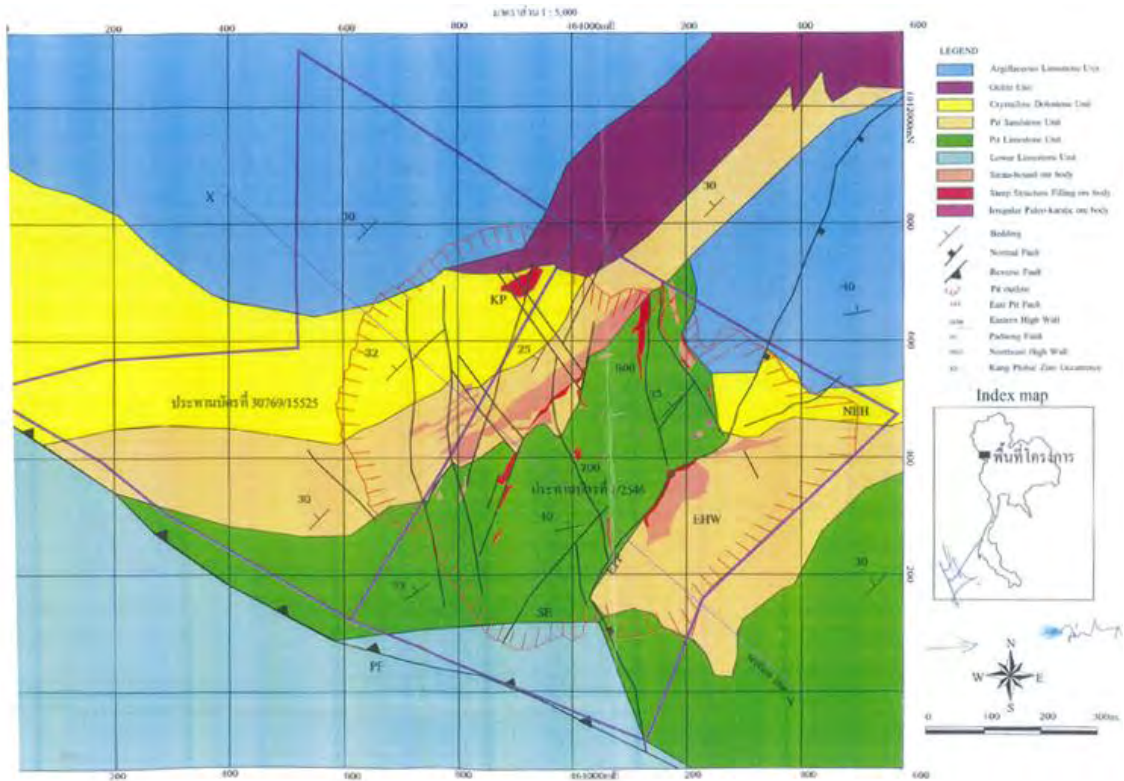


แร่สฟาเลไรต์ (ZnS)

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแร่สังกะสีที่พบในแหล่งแร่สังกะสีดอยผาแดงและดอยผาเต๊ะ (กรมทรัพยากรธรณี, 2547 และการสำรวจกรมควบคุมมลพิษ ปี 2554)

จากรายงานการศึกษาของบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) (แผนผังโครงการ คำขอประทานบัตรที่ 1/2546) พบว่า แหล่งแร่สังกะสีในพื้นที่คำขอประทานบัตรที่ 1/2546 มี แหล่งแร่ 3 รูปแบบ ดังนี้

- แบบสะสมตัวตามแนวชั้นหิน (Strata-Bound Zones) โดยส่วนใหญ่เกิดในชั้นหินทรายของหน่วยหินทรายบ่อเหมือง ส่วนใหญ่พบในบริเวณด้านทิศตะวันตกของบ่อเหมือง แร่มีความสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ เกิดแผ่นคลุมเป็นบริเวณกว้าง (บางบริเวณมีเกรดสูง) มีเนื้อแร่เป็นเนื้อทรายละเอียด ร่วน สีน้ำตาล แร่ส่วนใหญ่เป็นแร่เฮมิมอร์ไฟต์
- แบบสะสมตัวตามแนวโครงสร้างรอยเลื่อน (Steep Structure Filling) ปกติเฉียงเทค่อนข้างชันเป็นแนวตรง ส่วนมากในแนวตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางทิศเหนือถึงตะวันออกเฉียงเหนือค่อนไปทางทิศเหนือ ทั้งในหน่วยหินทรายในบ่อเหมือง หน่วยหินปูนในบ่อเหมืองและหน่วยหินปูนโดโลไมต์เนื้อผลึก ส่วนใหญ่พบตอนกลางของพื้นที่บ่อเหมือง แร่มีความสมบูรณ์ค่อนข้างสูง และมักมีเนื้อปนดินเหนียว สีน้ำตาลแดงถึงน้ำตาลเข้ม แร่ส่วนใหญ่เป็นแร่เฮมิมอร์ไฟต์
- แบบสะสมตัวตามโพรงและถ้ำโบราณ (Irregular Paleo-karstic Zones) โดยส่วนมากพบในหน่วยหินปูนในบ่อเหมืองและเป็นแร่สมิทซอไนต์ โดยปกติจะเป็นแร่เกรดสูง



รูปที่ 2.4 แผนที่ธรณีวิทยาลักษณะการวางตัวของหินและแร่บริเวณเหมืองผาแดง (แผนผังโครงการทำเหมืองของบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน), 2550)

2.3 ข้อมูลดิน

จากข้อมูลชุดดินในพื้นที่ศึกษาของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2543 พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (Sc) ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออก รวมพื้นที่ประมาณ 13,570 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 24 ของพื้นที่ทั้งหมด รองมาคือ ดินชุดเชียงราย (Cr) ซึ่งกระจายอยู่บริเวณส่วนกลาง และตะวันตกของพื้นที่ศึกษา รวมพื้นที่ประมาณ 8,180 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 15 โดยคุณสมบัติของดินชุดเชียงรายนั้น เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีนํ้าตาลปนเทาถึงสีน้ำตาลปนเทาเข้มมาก มีจุดประสีนํ้าตาลแก่หรือสีแดงปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ดินล่างเป็นดินเหนียว สีเทาอ่อน มีจุดประ สีแดงหรือสีแดงปนเหลือง และมีศิลาแลงอ่อนสีแดง 5-50 % โดยปริมาตร อาจพบก้อนลูกรังปะปนอยู่บ้าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) รายละเอียดและคุณสมบัติของดินในพื้นที่ 10 ลำดับแรกแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของชุดดินในพื้นที่ศึกษา 10 ลำดับแรก

ชื่อชุดดิน	สัญลักษณ์	ลักษณะและสมบัติดิน	ไร่ (ประมาณ)	ร้อยละ
พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	SC	พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการพังทลาย (Erosion)	13,570	24
ดินชุดเชียงราย	Cr	-ดินลึกมาก - ดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปน	8,180	14.5

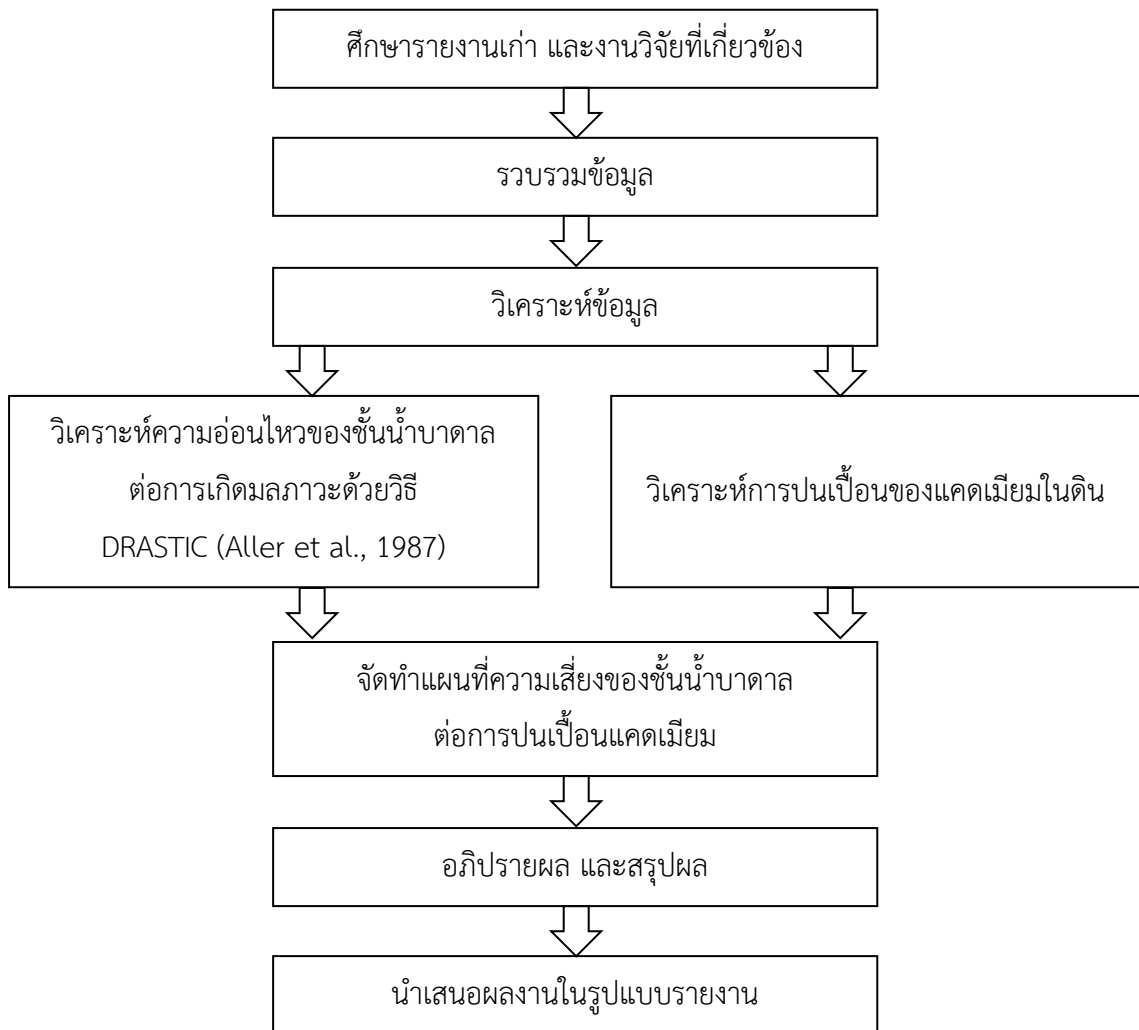
ชื่อชุดดิน	สัญลักษณ์	ลักษณะและสมบัติดิน	ไร่ (ประมาณ)	ร้อยละ
		ทรายแป้ง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) - ดินล่างเป็นดินเหนียว และมีศิลาแลงอ่อนสีแดง 5-50 % โดยปริมาตร อาจพบก้อนลูกรังปะปนอยู่บ้าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5)		
ดินชุดห่างฉัตร (คลื่นลอนลาด)	Hc-B	ดินลึกมาก - ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทราย ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) - ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถึงดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทราย ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5)	7,160	12.7
ดินชุดนครพนม	Nn	-ดินลึกมาก - ดินบนเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งหรือดินร่วนปนดินเหนียว - ดินล่างเป็นดินเหนียวปนทรายแป้งหรือดินเหนียว สีแดงอ่อนในดินล่างปริมาณ 5-50 % โดยปริมาตร ภายในความลึก 150 เซนติเมตร จากผิวดิน อาจพบก้อนเหล็กและแมงกานีสสะสมในดินล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบน และเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง	6,950	12.3
ดินชุดราชบุรี (บนที่สูง)	Rb-h	-ดินลึก - ดินบนเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้งตลอด ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) - ดินบนตอนล่างเป็นดินเหนียว ในดินชั้นล่าง อาจพบรอยถูไถและจุดประสีแดงปนเหลืองปฏิกริยาดินเป็นด่างปานกลาง (pH 8.0) - ดินล่างตอนล่างอาจพบเกล็ดแร่ไมกา ก้อนเหล็ก และแมงกานีสสะสมตลอดหน้าตัดดิน	3,360	6
พื้นที่หิน	RL	-	2,690	4.8
ดินชุดลพบุรี	Lb	-ดินลึก - ดินบนเป็นดินเหนียว ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) - ดินบนตอนล่างเป็นดินเหนียว พบชั้นปูนมาร์ลในระดับลึก 80 เซนติเมตร ลงไป ในฤดูแล้งจะแตกกระแหงเป็นร่อง กว้างกว่า 1 เซนติเมตร หรือมากกว่า ที่ความลึก	2,590	4.6

ชื่อชุดดิน	สัญลักษณ์	ลักษณะและสมบัติดิน	ไร่ (ประมาณ)	ร้อยละ
		50 เซนติเมตร และรอยแตกนี้จะคงอยู่นาน จะพบรอย ไถลและหน้าตัดดินมีมวลก้อนกลมปนสะสมอยู่ทั่วไป ปฏิกิริยาดินเป็นต่างปานกลางถึงต่างจัด (pH 8.0-9.0) - ดินล่างตอนล่างเป็นดินเหนียว สีดำหรือสีน้ำตาลปน เทา ปฏิกิริยาดินเป็นต่างปานกลาง (pH 8.0)		
ดินชุดแมร์ริม (คลิ่นลวดชั้น)	Mr-C	ดินตื้นหรือตื้นมากถึงชั้นก่อนกรวดและหินมนเล็ก หนาแน่นตั้งแต่ภายใน 50 เซนติเมตร จากผิวดิน - ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน อาจมีกรวดและหินมนเล็กปะปน ปฏิกิริยาดินเป็นกรด จัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) - ดินล่างเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปน ทราย มีกรวดและหินมนเล็กปะปนอยู่หนาแน่นมาก มากกว่า 35 % โดยปริมาตร ดินล่างลึกๆ อาจเป็นดิน เหนียว ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5)	1,970	3.5
ดินชุดวังไฮ (คลิ่นลวดลาด)	Wi-B	-ดินลึกมาก - ดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปน ทรายแป้ง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) - ดินล่างตอนบนเป็นดินเหนียว ปฏิกิริยาดินเป็นกรด จัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) - ดินล่างตอนล่างเป็นดินเหนียว สีแดง มีจุดประสี น้ำตาลปนเหลืองและสีน้ำตาล ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด มากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5)	1,920	3.4
หน่วยสัมพันธ ดินชุดสันป่าตอง และดินชุดห่าง ฉัตร	Sp/Hc-B	- ดินลึกมาก - ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5- 6.5) - ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทราย ในส่วนลึกๆ ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5)	1,460	2.6
ชุดดินอื่นๆ ในพื้นที่			6,510	11.6
รวม			56,360	100

จากรายงานการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการเหมืองสังกะสีของบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) ปี 2544 ได้มีการตรวจสอบลักษณะดินในพื้นที่โครงการและตรวจวิเคราะห์ดิน จำแนกได้ดังนี้

- 1) ดินบริเวณพื้นที่ทั้งดิน จัดเป็นชั้นวัตถุดิบกำเนิดดิน (Parent Material Layer) สภาพทั่วไปของดินเป็นวัสดุดินปนกรวดหินทรายและหินดินดาน ในส่วนที่เป็นวัสดุดินมีเนื้อดินปานกลางถึงดินหยาบ โดยเป็นดินร่วนปนทรายเป็นส่วนใหญ่ ดินถูกบดอัดจนมีความหนาแน่นค่อนข้างสูง และอัตราการซึมน้ำของดิน (Infiltration Rate) มีแนวโน้มว่าจะต่ำ ดินมีปฏิกิริยาดินเป็นต่าง โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 8.0-8.4
- 2) ดินบริเวณหน้าเหมือง ประกอบด้วยชั้นส่วนของหินที่ผุพังสลายตัว หรือวัสดุดินที่กำลังพัฒนาตัว เป็นชั้นดินในเชิงเกษตร
- 3) ดินบริเวณแปลงคำขอประทานบัตรที่ 1/2541 ซึ่งยังไม่ถูกรบกวนจากพื้นที่กิจกรรมเหมือง (ปัจจุบัน (2553) พื้นที่ดังกล่าวเป็นบ่อเหมืองแล้ว) จึงมีลักษณะเป็นดินตามธรรมชาติที่มีหน้าดินลึกตื่นแตกต่างกันไป ตั้งแต่ 30-150 เซนติเมตร บางแห่งมีก้อนหินปนอยู่บนผิวดิน ดินมีปฏิกิริยาดินเป็นกรดอ่อนถึงกรดปานกลาง โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 5.4-6.1
- 4) ดินบริเวณพื้นที่แปลงคำขอใช้พื้นที่เพื่อการเก็บขังน้ำขุ่นข้นหรือมูลดินทราย ที่ 1/2541 ลักษณะทั่วไปของดินคล้ายคลึงกับดินในบริเวณแปลงคำขอประทานบัตรในบริเวณพื้นที่ราบเชิงเขาดินมีความลึกประมาณ 2-3 เมตร ส่วนบริเวณยอดเนินดินมีความลึกประมาณ 1 เมตร ดินมีปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลาง โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 5.4-5.6

นอกจากนี้ ในรายงานดังกล่าวได้รายงานผลการวิเคราะห์มูลดินทรายที่เก็บตัวอย่างจากลานทิ้งดิน และมูลทรายที่อยู่ในบ่อเหมือง พบว่า โลหะหนักที่อยู่ในดินทั้งหมดมีปริมาณสูง โดยมีตะกั่ว 200-656 ส่วนในล้านส่วน และแคดเมียม 650-1,200 ส่วนในล้านส่วน แต่พบว่าปริมาณโลหะหนักที่ละลายได้มีปริมาณต่ำกว่า คือ ตะกั่ว 0.7-12 ส่วนในล้านส่วน และแคดเมียม 0.5-0.7 ส่วนในล้านส่วน



รูปที่ 3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ศึกษางานวิจัยเก่าและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการดำเนินงาน ได้แก่ การประเมินความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะหรือที่เรียกว่า DRASTIC (Aller et al., 1987) การประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ รวมถึงการเก็บตัวอย่างดินและการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในตะกอนดิน

3.2 รวบรวมข้อมูล

- แผนที่ภูมิประเทศอำเภอแม่สอด ลำดับชุด L7018 ราว 4742III มาตราส่วน 1:50000 จากกรมแผนที่ทหาร
- ข้อมูลพิคตบ่อบาดาล ข้อมูลระดับความลึกของน้ำบาดาล ข้อมูลการสูบทดสอบจากฐานข้อมูลกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- ข้อมูลสถิติปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี พ.ศ. 2520 – 2557 จากศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนล่าง กรมชลประทาน
- แผนที่อุทกธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา แผนที่กลุ่มชุดดิน และเส้นชั้นความสูงในรูปแบบดิจิทัลไฟล์จากกรมแผนที่ทหาร
- ข้อมูลธรณีหลุมเจาะ และข้อมูลการปนเปื้อนของแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาและลุ่มน้ำแม่กุ จากรายงานกรมควบคุมมลพิษปี 2554
- ข้อมูลการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินตามระดับความลึก จากกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ 2558

3.3 วิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ

DRASTIC เป็นวิธีการประเมินความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลที่ Aller et al. (1987) พัฒนาให้กับ U.S. Environmental Protection Agency (1985) ภายใต้โครงการพัฒนาแบบจำลองสำหรับประเมินศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล เพื่อสร้างแบบจำลองประเมินศักยภาพการปนเปื้อนมาตรฐานที่ง่ายต่อการนำไปใช้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ โดยชื่อ DRASTIC มาจากอักษรภาษาอังกฤษของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการประเมินมารวมกัน ประกอบด้วย ความลึกของระดับน้ำบาดาล (Depth to groundwater table) อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net Recharge) ลักษณะของชั้นน้ำบาดาล (Aquifer media) สมบัติของดิน (Soil media) ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ (Topography) สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (Impact of vadose zone) และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ (Hydraulic Conductivity of aquifer)

DRASTIC ถือเป็นแบบจำลองระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (geographic information system, GIS) ชนิดหนึ่งในรูปแบบจำลองดัชนี (index model) เนื่องจากต้องอาศัยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการรวบรวม จัดเก็บ วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูล โดยข้อมูลปัจจัยสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ที่ใช้ใน DRASTIC จะถูกแปลงให้เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ (geospatial data)

ทั้งในส่วนของข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) และข้อมูลลักษณะประจำ (attribute) แล้วนำข้อมูลลักษณะประจำของแต่ละปัจจัยมาคำนวณเพื่อหาค่าดัชนีในรูปแบบของระบบการจัดลำดับตัวเลข (numerical ranking system) โดยมีองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน (Aller et al., 1987) ได้แก่

- ค่าถ่วงน้ำหนัก (weights) เป็นค่าที่บอกถึงความสำคัญของแต่ละปัจจัยต่อศักยภาพการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 5
- ช่วงค่า (ranges) ในแต่ละปัจจัยจะถูกนำมาทำการจำแนกข้อมูลใหม่ โดยแบ่งช่วงหรือจัดกลุ่มตามศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลในปัจจัยนั้นๆ
- ค่าคะแนน (rating) เป็นคะแนนที่ให้ในแต่ละช่วงหรือกลุ่มข้อมูลที่จัดขึ้นมาใหม่ ตามระดับศักยภาพต่อการปนเปื้อนของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งมีค่าระหว่าง 1 ถึง 10

การคำนวณของแบบจำลอง DRASTIC เป็นการคำนวณเพื่อหาค่าดัชนี (index) เชิงพื้นที่ที่บ่งชี้ศักยภาพการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล โดยคำนวณจากผลรวมของผลคูณระหว่างค่าถ่วงน้ำหนัก (w) และค่าคะแนน (r) ของแต่ละปัจจัย ดังแสดงในสมการ 3.1 (Aller et al., 1987)

$$\text{DRASTIC Index} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (\text{สมการ 3.1})$$

ตารางที่ 3.1 ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยในแบบจำลอง DRASTIC (Aller et al., 1987)

ปัจจัย	ค่าถ่วงน้ำหนัก
1. ความลึกของระดับน้ำบาดาล (D)	5
2. อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (R)	4
3. ลักษณะของชั้นน้ำบาดาล (A)	3
4. สมบัติของดิน (S)	2
5. ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ (T)	1
6. สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (I)	5
7. ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ (C)	3

ค่าดัชนีที่ได้จากการคำนวณ จะถูกนำมาจำแนกโดยการแบ่งค่าดัชนีเป็นช่วงค่าต่างๆ เพื่อจำแนกระดับศักยภาพต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล โดยพื้นที่ที่มีค่าดัชนีสูงจะเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลสูง แหล่งน้ำบริเวณนั้นจึงมีโอกาที่จะเกิดการปนเปื้อนได้ง่าย ดังนั้นค่าดัชนีที่ได้จึงไม่ใช่ค่าศักยภาพการปนเปื้อนแหล่งน้ำบาดาลของพื้นที่โดยตรง แต่เป็นค่าที่ใช้จำแนกศักยภาพของพื้นที่ที่มีต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลในเชิงเปรียบเทียบเท่านั้น

เงื่อนไขของ DRASTIC

แม้ว่า DRASTIC จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในทุกสภาพอุทกธรณีวิทยา แต่ก็ยังมีเงื่อนไขการนำไปใช้ดังนี้ (Aller et al., 1987)

1. ผลการประเมินใช้ได้เฉพาะกับแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนที่อยู่บนผิวดิน
2. น้ำเป็นตัวการหลักในการพาสารปนเปื้อนให้เกิดการเคลื่อนที่
3. สารปนเปื้อนมีการเคลื่อนที่ในชั้นอุ้มน้ำ ด้วยความเร็วเทียบเท่าการไหลของน้ำบาดาล
4. พื้นที่ที่นำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้จะต้อง มีขนาดใหญ่กว่า 100 เฮกเตอร์ (0.4 ตารางกิโลเมตร)

ซึ่งจากเงื่อนไขขนาดของพื้นที่ที่สามารถนำไปใช้ได้ แสดงให้เห็นว่า DRASTIC เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองในมาตราส่วนระดับภูมิภาค (regional scale) เป็นหลัก (National Research Council, 1993) อย่างไรก็ตามในการพิจารณานำไปใช้จริงนั้นอาจไม่ต้องคำนึงถึงขนาดพื้นที่ที่จะทำการจำลองก็ได้ แต่จะต้องพิจารณาถึงความหลากหลายเชิงพื้นที่ (spatial variation) ของแต่ละปัจจัยเป็นหลัก เนื่องจาก DRASTIC ต้องอาศัยความหลากหลายเชิงพื้นที่ (spatial variation) ของแต่ละปัจจัยในการจำแนก ศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล ดังนั้นหาก ปัจจัยต่างๆ มีค่าความหลากหลายเชิงพื้นที่น้อย ผลการจำลองที่ได้ก็จะมีค่าความหลากหลายเชิงพื้นที่ของศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลน้อยตามไปด้วย

3.3.1.1 ความลึกของระดับน้ำบาดาล (Depth to groundwater table : D)

ระดับน้ำบาดาล เป็นระดับบนสุดของเขตอุ้มน้ำมีลักษณะต่อเนื่องกันเป็นพื้นผิวใต้ผิวดิน อาจมีระดับคงที่ตลอดทั้งปีหรือเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล การวัดความลึกของระดับน้ำบาดาลในแบบจำลอง DRASTIC พิจารณาจากชนิดของชั้นน้ำ กล่าวคือ ในชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดันเป็นการวัดความลึกจากระดับผิวดินถึงระดับน้ำ ส่วนชั้นหินอุ้มน้ำที่มีแรงดันวัดจากระดับผิวดินลงไปจนถึงระดับบนสุดของชั้นหินอุ้มน้ำ ความลึกของระดับน้ำเป็นปัจจัยที่แสดงถึงระยะทางที่สารปนเปื้อนจะเคลื่อนที่หรือไหลซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล หากระดับน้ำบาดาลอยู่ลึกกว่าระยะทางที่สารปนเปื้อนจะเคลื่อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลมาก โอกาสที่สารปนเปื้อนจะถูกทำให้เจือจางจากการสัมผัสกับชั้นดิน ชั้นหิน หรือการออกซิเดชัน ในเขตอิมอากาศ (vadose zone) ย่อมมีมากขึ้นด้วย ดังนั้นในการให้ค่าคะแนนความลึกของระดับน้ำบาดาลจึงให้ค่าลดลงตามระดับความลึก เมื่อมีข้อมูลความลึกของน้ำบาดาลจากระดับผิวดินแล้ว นำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และแปลงเป็น RASTER ขนาดกริด 50x50 ตารางเมตร จากนั้นกำหนดค่าคะแนนในกับค่าความลึกถึงระดับน้ำ (D_r) แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของควมลึกถึงระดับน้ำบาดาล

ช่วงค่าความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (เมตร)	ค่าคะแนน (D_r)
0.00 – 1.50	10
1.51 – 4.50	9
4.51 – 9.00	7
9.01 – 15.00	5
15.01 – 22.50	3
22.51 – 30.00	2
> 30.01	1
ค่าถ่วงน้ำหนัก (D_w) : 5	

ที่มา : ดัดแปลงจาก Aller et al. (1987) โดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

3.3.1.2 อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net Recharge : R)

ค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ คือ ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่ศึกษาและอัตราการซึมผ่านของน้ำฝนตามชนิดของกลุ่มชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน อัตราการซึมผ่านในหน่วยร้อยละของปริมาณน้ำฝน (r) และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในชุดดินต่างๆในหน่วยเซนติเมตรต่อชั่วโมง (i) มีความสัมพันธ์กันตามสมการ 3.2 (สุจริตและคณะ, 2545)

$$r = 0.24i + 3.2 \quad (\text{สมการ 3.2})$$

อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล เป็นปัจจัยที่แสดงถึงปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ชั้นน้ำ น้ำที่เพิ่มเติมลงไปถือเป็นตัวกลางสำคัญในการพาสารปนเปื้อนต่างๆ ให้เคลื่อนที่ลงสู่แหล่งน้ำบาดาล นอกจากนั้นยังเป็นปัจจัยในการควบคุมการแพร่ (dispersion) และการทำให้เจือจาง (dilution) ของสารปนเปื้อนทั้งในชั้นเหนือน้ำบาดาล และชั้นอิมมูน้ำ โดยปกติชั้นน้ำที่มีแรงดันจะมีโอกาสเสี่ยงจากการเพิ่มเติมน้ำน้อยกว่าชั้นน้ำไร้แรงดัน เนื่องจากมีชั้นชั้นหินกั้นน้ำ (confining layer) ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านหรือผ่านได้น้อยมากปิดทับอยู่ด้านบน และทำหน้าที่เสมือนกำแพงป้องกันไม่ให้สารปนเปื้อนไหลซึมลงมา เมื่อทราบข้อมูลปริมาณน้ำฝนและข้อมูลอัตราการซึมผ่านของน้ำในแต่ละกลุ่มชุดดิน ข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และแปลงเป็น RASTER ขนาดกริด 50x50 ตารางเมตร จากนั้นหาค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (R) โดยคำนวณค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลของแต่ละกริดเซลล์ตามสมการ 3.3 หลังจากนั้นแปลงค่า R เป็นค่าคะแนน R_r โดยอ้างอิงตามตารางที่ 3.3

$$R = p \times r \quad (\text{สมการ 3.3})$$

โดย R คือ ค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (มิลลิเมตรต่อปี)
P คือ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีที่ตกบนพื้นที่ (มิลลิเมตรต่อปี)
r คือ อัตราการซึมผ่านของน้ำฝนในดิน (ร้อยละ)

ตารางที่ 3.3 ค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของการวิเคราะห์อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

ช่วงค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (มิลลิเมตร/ปี)	ค่าคะแนน (R_r)
0.00 – 22.50	0.45
22.51 – 45.00	0.90
45.01 – 67.50	1.80
67.51 – 90.00	2.70
90.01 – 112.50	3.60
112.51 – 135.00	4.50
135.01 – 240.50	5.40
ค่าถ่วงน้ำหนัก (R_w) : 4	

ที่มา : ตัดแปลงจาก Aller et al. (1987) โดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

3.3.1.3 ลักษณะของชั้นน้ำบาดาล (Aquifer media)

ลักษณะของชั้นน้ำ พิจารณาจากวัสดุว่าเป็นตะกอนร่วนหรือหินแข็ง ซึ่งในชั้นน้ำบาดาลที่เป็นหินแข็งการซึมผ่านของน้ำขึ้นอยู่กับรอยแตกและรอยเลื่อนของหิน ถ้ามีรอยแตกหรือรอยเลื่อนมาก ความสามารถในการซึมผ่านได้ของน้ำบาดาลก็มากด้วย นั่นคือความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลก็มีมากขึ้นด้วย ส่วนชั้นน้ำบาดาลที่เป็นตะกอนร่วนอัตราการซึมผ่านของน้ำขึ้นอยู่กับความเร็วของเม็ดตะกอนที่ประกอบเป็นชั้นน้ำ เมื่อพิจารณาลักษณะของชั้นน้ำบาดาลแล้ว นำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และแปลงเป็น RASTER ขนาดกริด 50x50 ตารางเมตร จากนั้นกำหนดค่าคะแนนตามชนิดของลักษณะของชั้นน้ำบาดาล (A_r) แสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของการลักษณะของชั้นน้ำบาดาล

ลักษณะของชั้นน้ำ	ค่าคะแนน (A_r)
Silurian – Devonian Metamorphic / Granitic Aquifer	3
Ordovician Limestone / Lampang / Triassic Carbonate / Middle Khorat / Semi-consolidated Aquifer	6
Permian – Carboniferous Meta-sediment Aquifer	7
Permian Carbonate	7
Colluvial Deposits / Floodplain Deposits / Terrace Deposits Aquifer	8
ค่าถ่วงน้ำหนัก (A_w) : 3	

ที่มา : ดัดแปลงจาก Aller et al. (1987) โดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

3.3.1.4 สมบัติของดิน (Soil media)

ดินเป็นส่วนที่อยู่บนสุดของผิวดินที่มีการกักต่อน้ำ และมีความสำคัญต่อกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ในการพิจารณาเฉพาะส่วนของ DRASTIC จะพิจารณาเฉพาะส่วนบนขอบเขตการผุพัง โดยเฉลี่ยดินมีความลึกไม่เกิน 1.8 เมตรจากผิวดิน (Osborn et al., 1998) ดินเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำที่สามารถซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลเป็นอย่างมาก เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลซึมของน้ำผ่านชั้นดินทั้งความเร็วและปริมาณที่สามารถซึมผ่านลงไปได้ โดยทั่วไปแล้วดินที่มีความสามารถในการกักน้ำหรือกักน้ำน้อยกว่าและอนุภาคดินเล็กกว่ามวลสารสามารถเคลื่อนที่ผ่านชั้นดินนั้นนั้นสู่ระดับน้ำบาดาลได้ยากกว่าดินที่มีความสามารถในการกักน้ำหรือกักน้ำมากกว่าและอนุภาคขนาดใหญ่ การให้ค่าคะแนนตัวกลางของดินจะพิจารณาจากเนื้อดิน (Soil texture) เป็นหลัก โดยอ้างอิงกับระบบการจำแนกขนาดเม็ดดินตามมาตรฐานของ Soil Conservation Service เมื่อนำข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2550) จัดกลุ่มสมบัติดินตามองค์ประกอบหลักทางกายภาพในกลุ่มชุดดินแล้ว นำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และแปลงเป็น RASTER ขนาดกริด 50x50 ตารางเมตร จากนั้นกำหนดค่าคะแนนตามชนิดของสมบัติของดิน (S_r) ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของการลักษณะของชั้นน้ำบาดาล

สมบัติของดิน	ค่าคะแนน (S_r)
Thin or Absent / Gravel	10
Sand	9
Peat	8
Shrinking and/or Aggregated Clay	7
Sandy Loam	6
Loam	5
Silty Loam	4
Clay Loam	3
Musk	2
Clay	1
Building	0
ค่าถ่วงน้ำหนัก (S_w) : 2	

ที่มา : ดัดแปลงจาก Aller et al. (1987) โดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

3.3.1.5 ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ (Topography)

ค่าลาดชันของภูมิประเทศของพื้นที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นไปได้ที่สารปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล เป็นปัจจัยที่ควบคุมระยะเวลาที่น้ำจะอยู่ในพื้นที่ ถ้าพื้นที่มีความลาดชันน้อยน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่มีการไหลของน้ำท่า (runoff) น้อย โอกาสที่สารปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ก็จะมีมากขึ้น ในทางตรงข้ามพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง น้ำท่าไหลจากพื้นที่เร็วกว่าทำให้โอกาสที่สารปนเปื้อนสัมผัสผิวดินและลงสู่ชั้นน้ำบาดาลมีน้อยลง ดังนั้นค่าคะแนนที่กำหนดให้จึงมีค่าน้อยลงตามค่าความลาดชันที่มากขึ้น เมื่อนำข้อมูลเส้นชั้นความสูงของกรมพัฒนาที่ดินเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และแปลงเป็น RASTER ขนาดกริด 50x50 ตารางเมตร จากนั้นกำหนดค่าคะแนนตามค่าความลาดชันของพื้นที่ (T_r) ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของความลาดชันของภูมิประเทศ

ช่วงค่าร้อยละของความลาดชัน	ค่าคะแนน (T_r)
0 – 2	10
2 – 6	9
6 – 12	5
12 – 18	3
> 18	1
ค่าถ่วงน้ำหนัก (T_w) : 1	

ที่มา : ดัดแปลงจาก Aller et al. (1987) โดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

3.3.1.6 สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (Impact of vadose zone)

วัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาลสามารถจำแนกได้ตามลักษณะทางธรณีวิทยา ธรณีวิทยากายภาพ และอุทกธรณีวิทยา ซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติต่อการเจือจางสารปนเปื้อนที่แตกต่างกันออกไป โดยตัวกลางของชั้นที่อยู่เหนือน้ำเป็นตัวควบคุมความยาวและเส้นทางของแนวการไหลซึ่งมีผลระยะเวลาที่สารปนเปื้อนจะอยู่ในเขตอิมอากาศและปริมาณผิวสัมผัสของสารปนเปื้อนกับตัวกลางในเขตอิมอากาศ ในการประเมินโดยวิธี DRASTIC ในชั้นน้ำไร้แรงดันจะถือว่าชั้นตะกอนหรือชั้นหินที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาลเป็นเขตอิมอากาศทั้งหมด แต่ในชั้นน้ำมีแรงดันจะพิจารณาจนถึงเขตอิมน้ำที่อยู่เหนือชั้นหินอุ้มน้ำที่สนใจเข้าไปด้วย โดยใช้ข้อมูลธรณีวิทยาหลุมเจาะว่าเป็นดินชนิดใด นำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และแปลงเป็น RASTER ขนาดกริด 50x50 ตารางเมตร จากนั้นพิจารณาให้ค่าคะแนนตามศักยภาพที่เอื้อต่อการปนเปื้อนของตัวกลางนั้นๆ ในแต่ละกริดเซลล์โดยอ้างอิงค่าคะแนนวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (I_r) ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล

ลักษณะของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล	ค่าคะแนน (I_r)
Confining Layer	1
Clay / Silt / Laterite	4
Granite / Shale / Slate / Schist / Quartzite	5
Limestone / Sandstone / Siltstone	6
Sand / Gravel	8
Basalt	9
Karst Limestone	10
ค่าถ่วงน้ำหนัก (I_w) : 5	

ที่มา : ดัดแปลงจาก Aller et al. (1987) โดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

3.3.1.7 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ (Hydraulic Conductivity of aquifer)

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ แสดงถึงความสามารถในการยอมให้น้ำไหลผ่านในชั้นน้ำบาดาลได้มากน้อยเพียงใด และยังมีผลต่ออัตราการไหลของน้ำบาดาลภายใต้ความชันทางชลศาสตร์ (hydraulic gradient) อัตราการไหลของน้ำบาดาลนี้เองจะเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนจากจุดที่เกิดการปนเปื้อนไปยังจุดอื่นๆ ในชั้นน้ำบาดาล หากค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำมีค่ามาก สารปนเปื้อนก็แพร่กระจายไปได้เร็ว ซึ่งแสดงถึงความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนมาก ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ ขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญทางธรณีวิทยากายภาพ คือ ปริมาณช่องว่างภายในชั้นหินอุ้มน้ำและความต่อเนื่องของช่องว่างเหล่านั้นซึ่งสามารถประเมินค่าได้ในรูปของความพรุน (porosity) โดยปกติค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำสามารถคำนวณได้จากการทำการสูบทดสอบ (pumping test) ของชั้นน้ำในภาคสนาม ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลการสูบทดสอบของบ่อบาดาลในพื้นที่ สามารถประเมินได้จากสัดส่วนค่าปริมาณการให้น้ำ (well yield) ของบ่อบาดาลและค่าการลดลงของระดับน้ำ (drawdown) ซึ่งก็คือค่า Specific capacity

Driscoll (1986) ได้ทำการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity, T) จากข้อมูลทั่วไปที่ได้จากการสูบทดสอบ โดยใช้สมการของ Cooper-Jacob (1946) ดังสมการ 3.4

$$\frac{Q}{S_w} = \frac{T}{0.183 \log\left(\frac{2.25Tt}{r_w^2 S}\right)} \quad (\text{สมการ 3.4})$$

โดย	Q	คือ	อัตราการสูบคงที่ (ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)
	r_w	คือ	รัศมีของบ่อ (เมตร)
	S	คือ	สัมประสิทธิ์การกักเก็บ
	S_w	คือ	ระยะน้ำลด (เมตร)
	t	คือ	เวลา (นาที)
	T	คือ	สัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (ตารางเมตรต่อนาที)

Batu (1999) เสนอสมการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำในชั้นมีแรงดันและไม่มีแรงดัน ดังสมการ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ

$$T = 1.385 \left(\frac{Q}{S_w}\right) \quad (\text{สมการ 3.5})$$

$$T = 1.042 \left(\frac{Q}{S_w}\right) \quad (\text{สมการ 3.6})$$

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำสามารถประเมินได้จากสัดส่วนค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำต่อหนึ่งหน่วยความหนาของชั้นน้ำดังสมการที่ 3.7

$$K = \frac{T}{b} \quad (\text{สมการ 3.7})$$

โดย K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ (เมตรต่อวัน)
 T คือ สัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (ตารางเมตรต่อวัน)
 b คือ ความยาวของท่อกรอง (เมตร)

เมื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำของชั้นน้ำบาดาลแล้ว นำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และแปลงเป็น RASTER ขนาดกริด 50x50 ตารางเมตร จากนั้นพิจารณาให้ค่าคะแนนจากช่วงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ (C_r) ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ

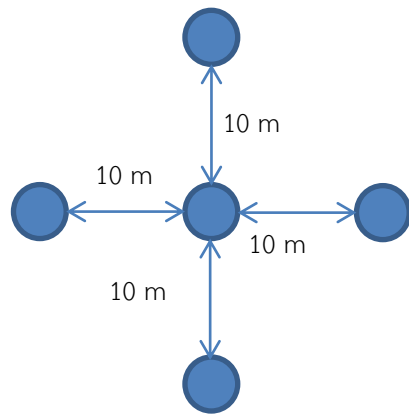
ช่วงค่าคะแนนของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ(เมตร/วัน)	ค่าคะแนน (C_r)
0.00 – 5.00	1
5.01 – 15.00	2
15.01 – 35.00	3
35.01 – 75.00	4
75.01 – 155.00	6
155.01 – 315.00	8
> 315.01	10
ค่าถ่วงน้ำหนัก (C_w) : 3	

3.3.2 การวิเคราะห์การปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลการปนเปื้อนของแคดเมียมจากโครงการสำรวจการกระจายตัวและแหล่งที่มาการปนเปื้อนของสารแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาบ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ของกรมควบคุมมลพิษ (2554) และใช้ข้อมูลการปนเปื้อนของแคดเมียมตามระดับความลึกจากโครงการสำรวจและวิเคราะห์ผลกระทบจากการทำเหมืองทั่วประเทศเพื่อเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา และการใช้ประโยชน์ ของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2558) นอกจากนี้ยังมีการสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บตัวอย่างดินและนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์หาค่าแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน เพื่อยืนยันค่าการปนเปื้อนที่ได้จากการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมหรือไม่

3.3.2.1 วิธีการเก็บตัวอย่างดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินแบบผสมจากสถานีย่อยรวม 5 จุด โดยการเก็บตัวอย่างดินจากสถานีที่กำหนดตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ไว้ทางทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตกห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างดินแบบผสมรวมจากสถานีย่อย 5 จุด

เมื่อกำหนดสถานีเก็บตัวอย่างดินเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ณ แต่ละสถานีย่อยทั้ง 5 จุด หากบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างดิน ปกคลุมด้วยเศษพืช หรือวัชพืชต่างๆ ให้ทำการปาดเศษพืชหรือวัชพืชที่อยู่บริเวณผิวดินออกก่อน จากนั้นจึงดำเนินการเจาะเก็บตัวอย่างดินโดยใช้พลั่วหรือเสียมหรือเครื่องมือขุดเจาะดินลงไปเป็นหลุมรูปตัววี ดังรูปที่ 3.3 ให้ลึกประมาณ 30 เซนติเมตร จากผิวดิน ทิ้งดินส่วนที่ขุดครั้งแรกไป แล้วแซะดินข้างหลุมข้างใดข้างหนึ่งหนาประมาณ 1-2 นิ้ว รวมดินทั้งหมดจากตำแหน่งทั้ง 5 จุดให้เป็นตัวอย่างเดียวกัน



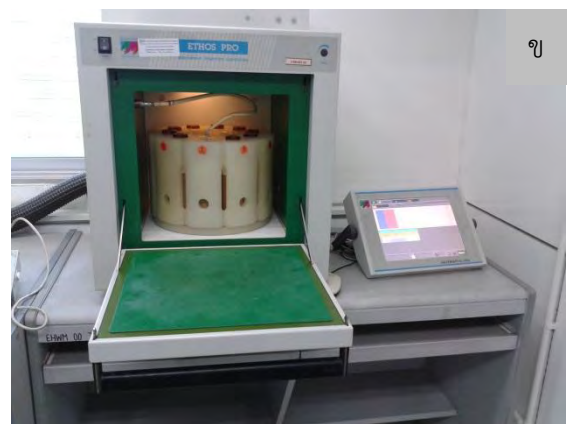
รูปที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างดินที่ระดับ 0-30 เซนติเมตร (ผิวดิน)

3.3.2.2 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในตะกอนดิน ตามวิธีมาตรฐาน U.S. EPA Method 3051A มีดังนี้

1. ผสมตัวอย่างดินให้ทั่ว จากนั้นนำตัวอย่างดินไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 75°C บดผสมดินให้ทั่ว
2. ชั่งตัวอย่างดินประมาณ 0.5 กรัม หลังจากนั้นนำตัวอย่างดินมาเติมกรดไนตริก 9 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริก 3 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างดินมาย่อยด้วยเครื่อง Microwave Equipment เป็นเวลา 10 นาที และนำสารละลายที่ได้จากการย่อยมากรองด้วยกระดาษกรองเพื่อนำตะกอนออก ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายมีปริมาตร 50 มิลลิลิตร
4. นำตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมด้วยเครื่องมือ Atomic Absorption Spectrometer (AAS)

หลักการของเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) เป็นเครื่องมือที่ใช้เปลวไฟทำให้อะตอมของธาตุในสารละลายตัวอย่างที่ผ่านเข้าไปเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมอิสระ ซึ่งจะเกิดการดูดกลืนแสงจาก Light source ที่ความยาวคลื่นหนึ่งโดยเฉพาะ ขึ้นกับชนิดของธาตุเพื่อตรวจวัดลักษณะของสารตัวอย่างอาจเป็นของเหลว หรือสารละลายที่มีปริมาณของแข็งละลายอยู่ไม่เกินร้อยละ 5 และมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม



รูปที่ 3.4 (ก) เครื่องชั่งตัวอย่างตะกอนดิน

(ค) การกรองตัวอย่างที่ได้จากการย่อย

(ข) เครื่อง Microwave Equipment

(ง) เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS)

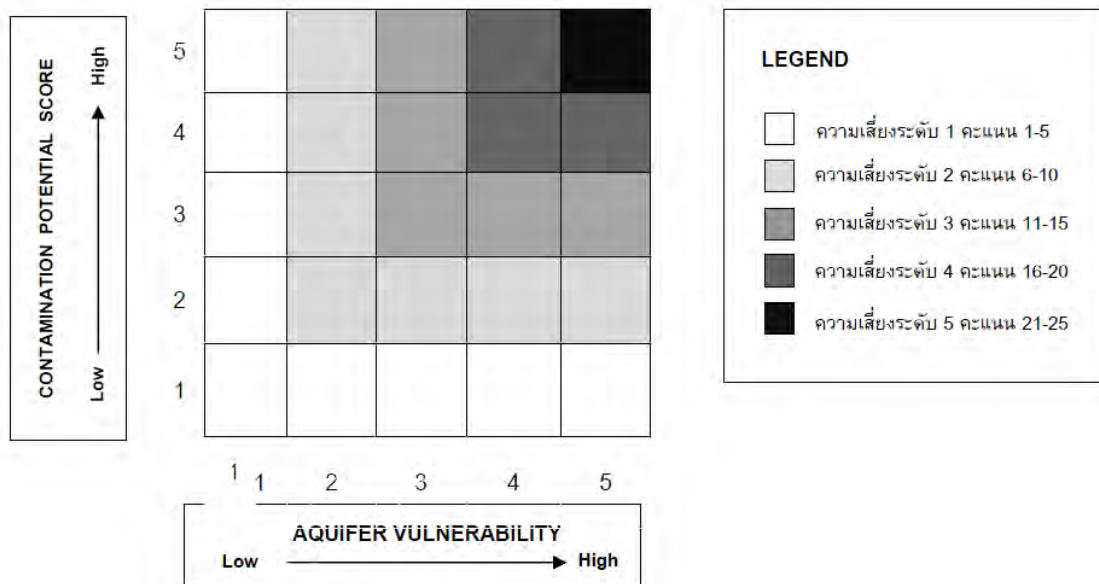
3.3.3 การวิเคราะห์ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะเพื่อจัดทำแผนที่

ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะได้นิยามว่า หมายถึง โอกาสหรือความเป็นไปได้ที่น้ำบาดาลจะถูกปนเปื้อนเกินกว่าระดับที่ยอมรับได้ (Foster, 1987) ส่วนการประเมินความเสี่ยงยังไม่มี การบัญญัติคำดังกล่าวไว้เป็นทางการ แต่มีการนิยามไว้ว่า หมายถึง กระบวนการที่นำมาใช้เพื่อ คาดการณ์ถึงความเป็นไปได้ที่น้ำบาดาลจะถูกปนเปื้อนมลสาร (Morris and Foster, 2000) การระบุ ความเสี่ยงที่แท้จริง (Integrated vulnerability) ต้องพิจารณาทั้งสภาพความอ่อนไหวตามธรรมชาติ ของแหล่งน้ำบาดาลร่วมกับศักยภาพของแหล่งมลสารที่จะส่งผลต่อชั้นน้ำบาดาล ดังแสดงในสมการ 3.8 (Gonzalez et al., 1997)

$$R = L \times V \quad (\text{สมการ 3.8})$$

โดย	R	คือ	ค่าคะแนนความเสี่ยง
	L	คือ	คะแนนศักยภาพมลสารรวม มีค่าอยู่ในช่วง 1 – 5
	V	คือ	คะแนนความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ มีค่าอยู่ในช่วง 1 - 5

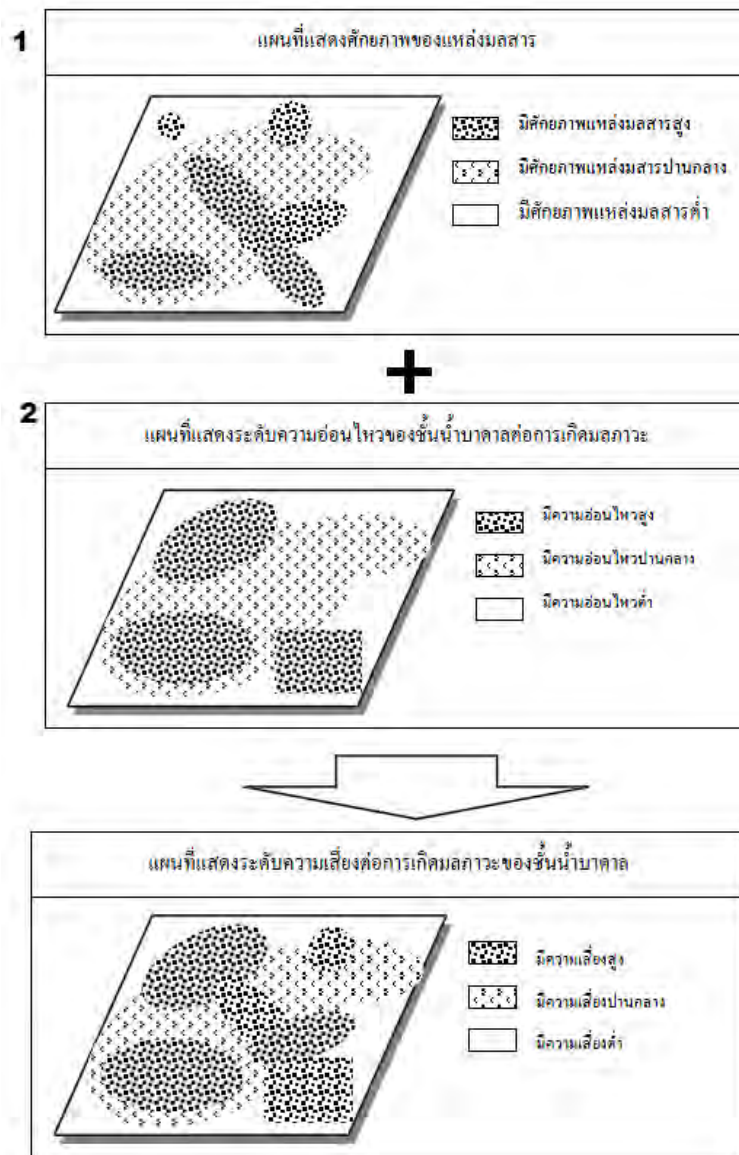
โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มความเสี่ยงสำหรับการศึกษาคั้งนี้ คือ วิธี Equal area of score ซึ่ง หลักการของวิธีนี้คือแบ่งความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์เสี่ยงในระดับต่าง ๆ เท่า ๆ กัน และได้แสดง เกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งระดับความเสี่ยงสำหรับการศึกษาคั้งนี้ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2552)

หลังจากประเมินศักยภาพมลสารรวม และประเมินความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลแล้ว ให้นำ ค่าคะแนนที่ได้เป็นคะแนนสำหรับคำนวณหาความเสี่ยงโดยแปลงค่าคะแนนดังกล่าวให้อยู่ในรูปกริด เซลล์ และคำนวณความเสี่ยงตามสมการ 3.8 จากนั้นจำแนกระดับความเสี่ยงออกเป็น 5 ระดับ คือ

สูงมาก สูง ปานกลาง ต่ำ และต่ำมาก ได้แสดงวิธีการประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะดังรูปที่ 3.6

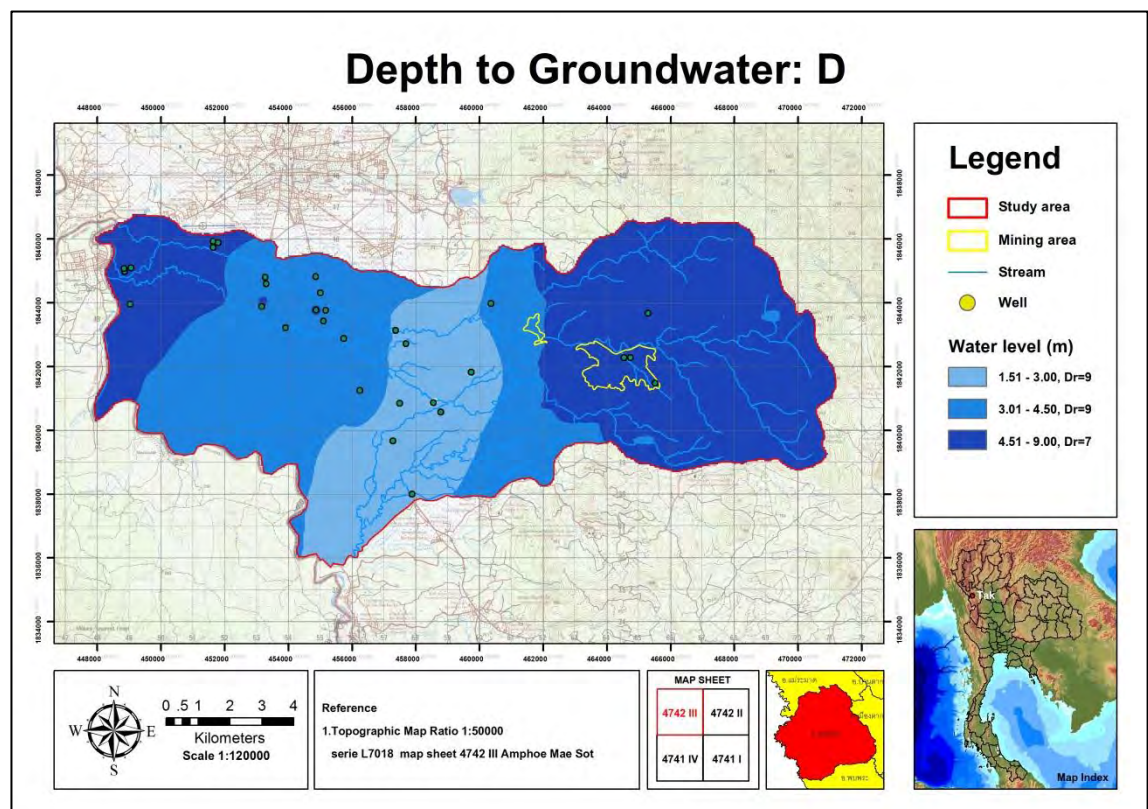


รูปที่ 3.6 ตัวอย่างแผนที่แสดงระดับความเสี่ยงต่อการเกิดมลภาวะในชั้นน้ำบาดาล (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2552)

4.1 ผลการประเมินความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ความลึกของระดับน้ำบาดาล (Depth to groundwater table : D)

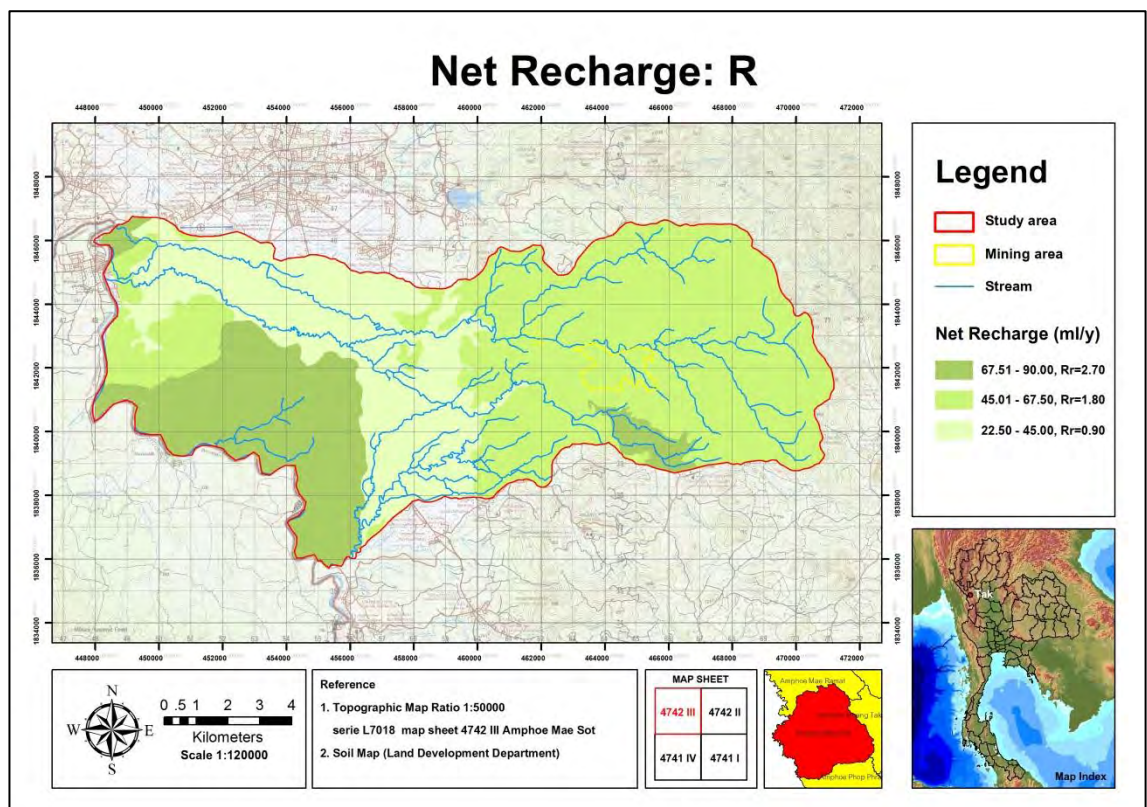
จากการรวบรวมข้อมูลบ่อบาดาลจากฐานข้อมูลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (พสุธารา) พบว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่ตาวมีบ่อบาดาลจำนวน 31 บ่อ อยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำแบบชั้นน้ำไร้แรงดัน (Unconfined Aquifer) ทั้งหมด การพิจารณาค่าความลึกของระดับน้ำบาดาลจึงพิจารณาเฉพาะความลึกจากผิวดินถึงระดับน้ำเท่านั้น และมีทิศทางการไหลของน้ำจากทิศตะวันออกที่มีลักษณะสัณฐานที่เป็นเทือกเขาไปทางทิศตะวันตกของพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ราบ จากการศึกษาค้นคว้าดังรูปที่ 4.1 พบว่าพื้นที่ศึกษามีค่าความลึกของระดับน้ำมาก-น้อยแตกต่างกัน โดยทางตอนกลางของพื้นที่ที่มีค่าความลึกถึงระดับน้ำบาดาลอยู่ในช่วง 1.51 – 3.00 เมตรจากผิวดิน ได้แก่ บ้านแม่กุหลอง ตำบลแม่กุ และบ้านแม่ตาวกลาง ตำบลแม่ตาว ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความอ่อนไหวมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 15 ของพื้นที่ ในขณะที่ทางฝั่งตะวันออกและตะวันตกของพื้นที่ มีค่าความลึกถึงระดับน้ำบาดาลอยู่ในช่วง 4.51 – 9.00 เมตรจากผิวดิน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความอ่อนไหวน้อยที่สุด ได้แก่ บ้านห้วยม่วง บ้านริมเมย ตำบลท่าสายลวด และเกือบทั้งหมดของตำบลพะวอ คิดเป็นร้อยละ 60 ของพื้นที่



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความลึกถึงระดับน้ำ

4.1.2 ผลการวิเคราะห์อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net Recharge : R)

จากการศึกษาข้อมูลสถิติปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี พ.ศ. 2520 – 2557 จากศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนล่าง กรมชลประทาน พบว่าพื้นที่ศึกษามีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเท่ากับ 1179.8 มิลลิเมตรต่อปี (ศูนย์วัดปริมาณน้ำฝนตำบลพะวอ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก, 2520 - 2557) เนื่องจากในพื้นที่ศึกษามีจุดตรวจวัดน้ำฝนเพียงจุดเดียวทำให้ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของพื้นที่เพียงค่าเดียว แต่อัตราการซึมของน้ำไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านของดินแต่ละชนิดด้วย สำหรับการวิเคราะห์และให้ค่าคะแนน ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้ผลการคำนวณอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ดังรูปที่ 4.2 แสดงอัตราการซึมที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่ โดยพื้นที่ที่มีอัตราการซึมมากที่สุด คือ อัตราการซึมของน้ำระหว่าง 67.51 – 90.00 มิลลิเมตรต่อปี ได้แก่ บริเวณบ้านแม่กู่หลวง บ้านแม่กู่ใหม่ท่าซุง ตำบลแม่กู่ และบ้านใหม่สันติ ตำบลแม่ดาว คิดเป็นร้อยละ 13 ของพื้นที่ ส่วนพื้นที่ที่มีอัตราการซึมรองลงมา ได้แก่ บริเวณตำบลพะวอ และบ้านริมเมย ตำบลท่าสายลวด ซึ่งมีค่าอัตราการซึมของน้ำระหว่าง 45.01 – 67.50 มิลลิเมตรต่อปี คิดเป็นร้อยละ 65 ของพื้นที่ และพื้นที่ที่มีอัตราการซึมต่ำสุดระหว่าง 22.50 – 45.00 มิลลิเมตรต่อปี ได้แก่ บริเวณบ้านแม่ดาวสันแป บ้านแม่ดาวสันโรงเรียน บ้านแม่ดาวใต้ ตำบลแม่ดาว และบ้านหนองกิ่งฟ้า ตำบลท่าสายลวด คิดเป็นร้อยละ 22 ของพื้นที่



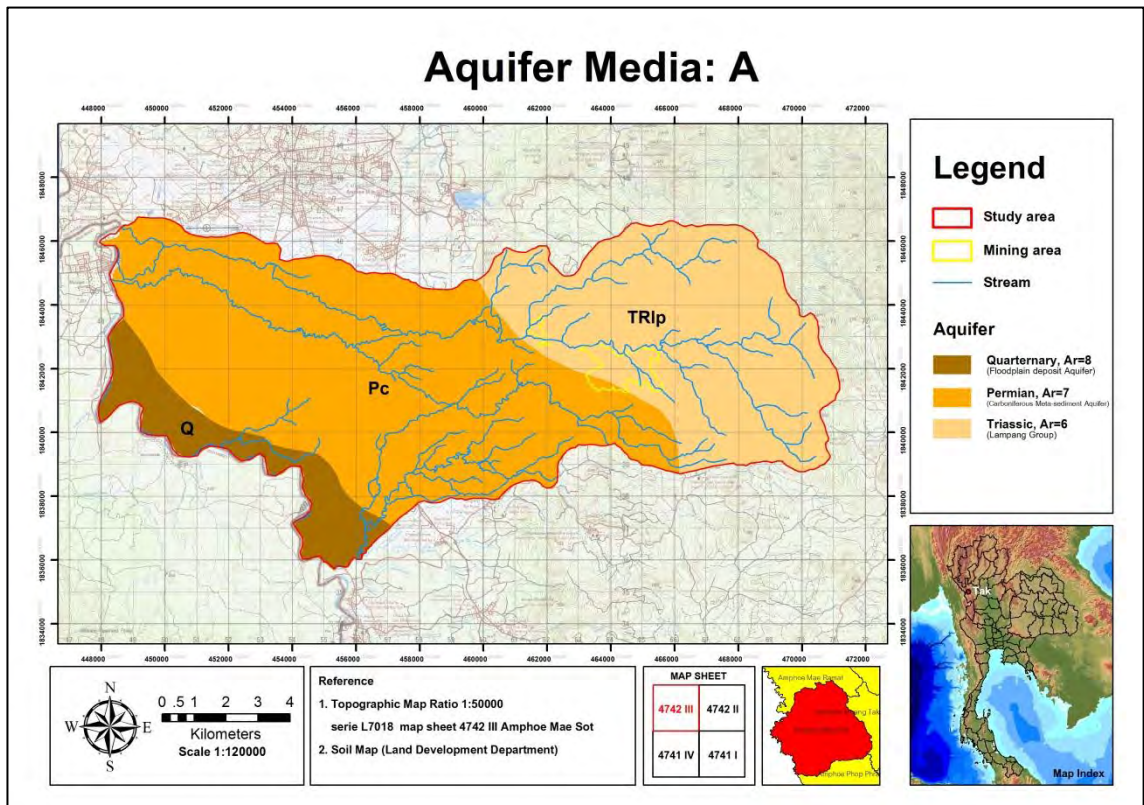
รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของชั้นน้ำบาดาล (Aquifer media)

จากแผนที่ชั้นน้ำบาดาลจังหวัดตากในรูปแบบดิจิทัลโพลีของกรมทรัพยากรธรณี และกรมแผนที่ทหาร พบว่าหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ดาว สามารถจำแนกโดยอาศัยลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางชลศาสตร์ แบ่งออกได้ 3 หน่วย ดังรูปที่ 4.3 มีรายละเอียด ดังนี้

- 1) หน่วยตะกอนร่วน (Q) ประกอบด้วยกรวด ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว ศิลาแลง ดินลูกรัง และโคลน อัตราการให้น้ำอยู่ในช่วง 5-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คุณภาพน้ำทั่วไปจัดอยู่ในระดับดี
- 2) หน่วยหินกลุ่มหินลำปาง (TRlp) ประกอบด้วยหินดินดาน หินทรายแป้ง หินทรายเนื้อเถ้าภูเขาไฟ และหินกรวดมน สีม่วงแดงถึงน้ำตาลแดง และหินดินดานสีเทาถึงเทาดำ พบซากดึกดำบรรพ์ของหอยสองฝาแทรกสลับด้วยหินทรายเนื้อละเอียดถึงปานกลาง อัตราการให้น้ำน้อยกว่า 2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คุณภาพน้ำทั่วไปจัดอยู่ในระดับดี
- 3) หน่วยหินดอยพระวอ-ดอยแม่ไถ (Pc) ประกอบด้วยหินปูนเนื้อแน่น สีเทา เนื้อปนหินโดโลไมต์ หินดินดาน และหินทราย ไม่พบซากดึกดำบรรพ์ อัตราการให้น้ำน้อยกว่า 2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คุณภาพน้ำทั่วไปจัดอยู่ในระดับมีความกระด้างปานกลาง

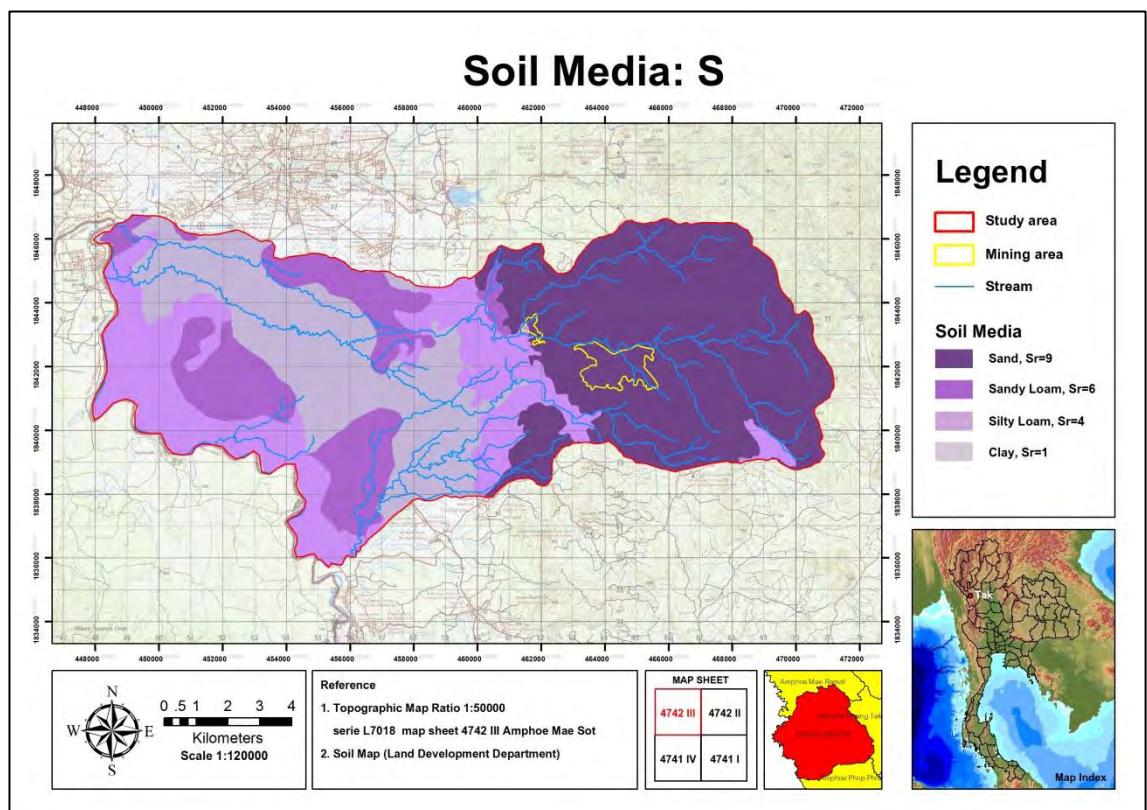
เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (ชั้นน้ำบาดาล) ของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ดาว พบว่าหน่วยหินของชั้นน้ำบาดาลที่มีค่าความอ่อนไหวมากที่สุด คือ หน่วยตะกอนร่วน (Q) รองลงมา คือ หน่วยหินดอยพระวอ-ดอยแม่ไถ (Pc) ยุคเพอร์เมียน และค่าความอ่อนไหวน้อยที่สุด คือ หน่วยหินกลุ่มหินลำปาง (TRlp) ยุคไทรแอสซิก ซึ่งอยู่ทางตะวันตกของพื้นที่ศึกษาไปยังทางตะวันออกตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของชั้นน้ำบาดาล

4.1.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติของดิน (Soil media)

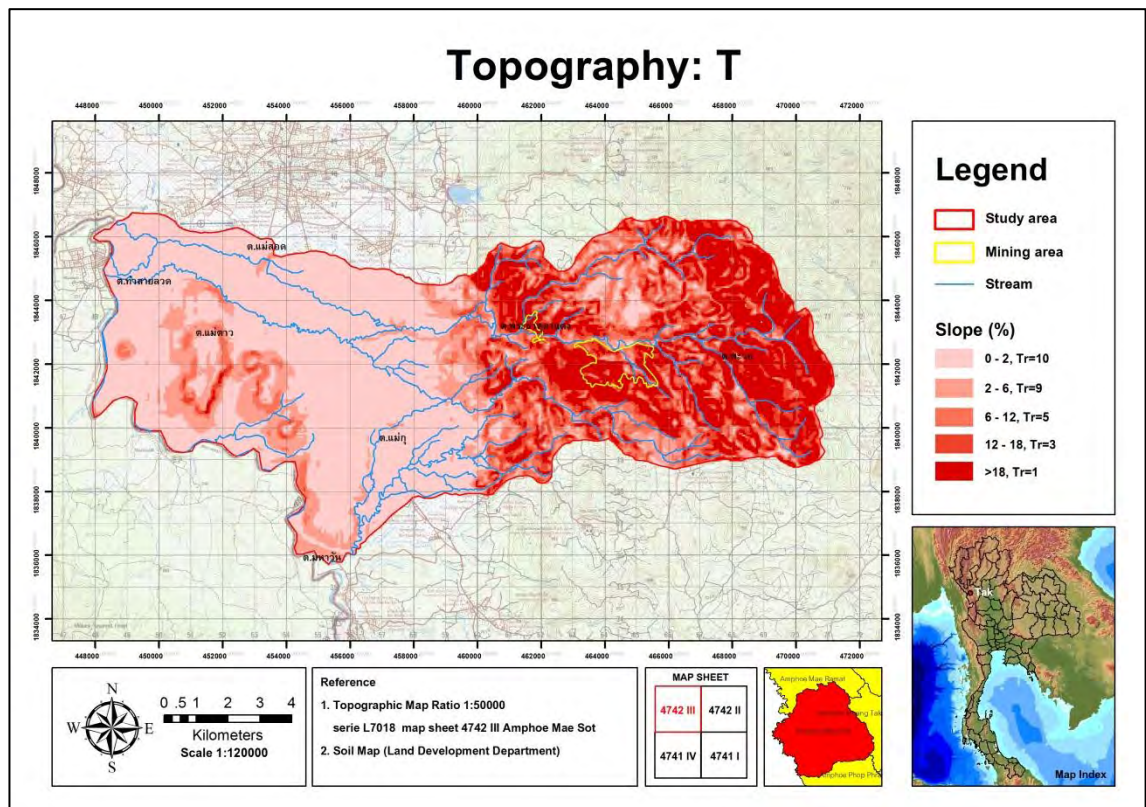
จากการนำแผนที่กลุ่มชุดดินในรูปแบบดิจิทัลไฟล์ของกรมทรัพยากรที่ดิน และกรมแผนที่ทหารมาจัดกลุ่มสมบัติดินตามวิธีของ DRASTIC แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาประมวลผลและให้ค่าคะแนนของสมบัติของดินด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้ผลดังรูปที่ 4.4 จากการวิเคราะห์ค่าสมบัติดินหรือเฉพาะส่วนบนขอบเขตการรบกวน โดยเฉลี่ยดินมีความลึกไม่เกิน 1.8 เมตรจากผิวดิน (Osborn et al., 1998) พบว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาวมีกลุ่มชุดดินทั้งหมด 16 กลุ่มชุดดินตามการแบ่งกลุ่มของกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2550 โดยเมื่อพิจารณาตามชนิดของดิน พบว่ากลุ่มชุดดินทั้ง 16 กลุ่มชุดดิน สามารถนำมาจัดกลุ่มได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ดินเหนียว (Clay) ดินร่วนปนดินเหนียว (Silty Loam) ดินร่วนปนดินทราย (Sandy Loam) และดินทราย (Sand) จากการให้ค่าคะแนนจะพบว่าพื้นที่ที่เป็นดินทรายจะมีค่าความอ่อนไหวมากที่สุด ซึ่งในพื้นที่ศึกษามีการกระจายตัวของดินทรายทางตะวันออกของพื้นที่ซึ่งมีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในตำบลพะวอ และพื้นที่บางส่วนของตำบลพระธาตุผาแดง คิดเป็นร้อยละ 43 ของพื้นที่ ในขณะที่พื้นที่ที่มีชนิดดินเป็นดินเหนียว ซึ่งมีความอ่อนไหวน้อยที่สุดอยู่บริเวณตำบลแม่ตาว และบางส่วนของตำบลแม่กุ คิดเป็นร้อยละ 22 ของพื้นที่



รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติของดิน

4.1.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ (Topography)

จากการวิเคราะห์ค่าความลาดชันของภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา ดังรูป 4.5 พบว่าในพื้นที่สามารถแบ่งความลาดชันได้เป็น 5 ระดับ ตามสัดส่วนของความสูงต่อระยะห่างของพื้นที่ในแนวราบ พื้นที่ที่มีความลาดชันสูงสุด คือ พื้นที่ที่ภูเขาสูง บริเวณทางตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย ดอยเรผาโต้ ดอยแม่ตาว ตำบลพะวง คิดเป็นร้อยละ 25 ของพื้นที่ และพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยที่สุด ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่บริเวณทางตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นที่ราบลุ่ม ได้แก่ ตำบลแม่ตาว ตำบลแม่สอด ตำบลท่าสายลวด ตำบลแม่กุง คิดเป็นร้อยละ 50 ของพื้นที่ จะเห็นว่าถ้าพิจารณาในด้านของความลาดชันแล้ว พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวน้อยที่สุด คือ พื้นที่ที่มีความลาดชันระดับ 5 และพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวมากที่สุด คือ พื้นที่ที่มีความลาดชันระดับ 1 แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยกำหนดนี้มีความสำคัญน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับปัจจัยกำหนดตัวอื่นๆของ DRASTIC เนื่องจากมีค่าถ่วงน้ำหนักเพียง 1 คะแนนเท่านั้น

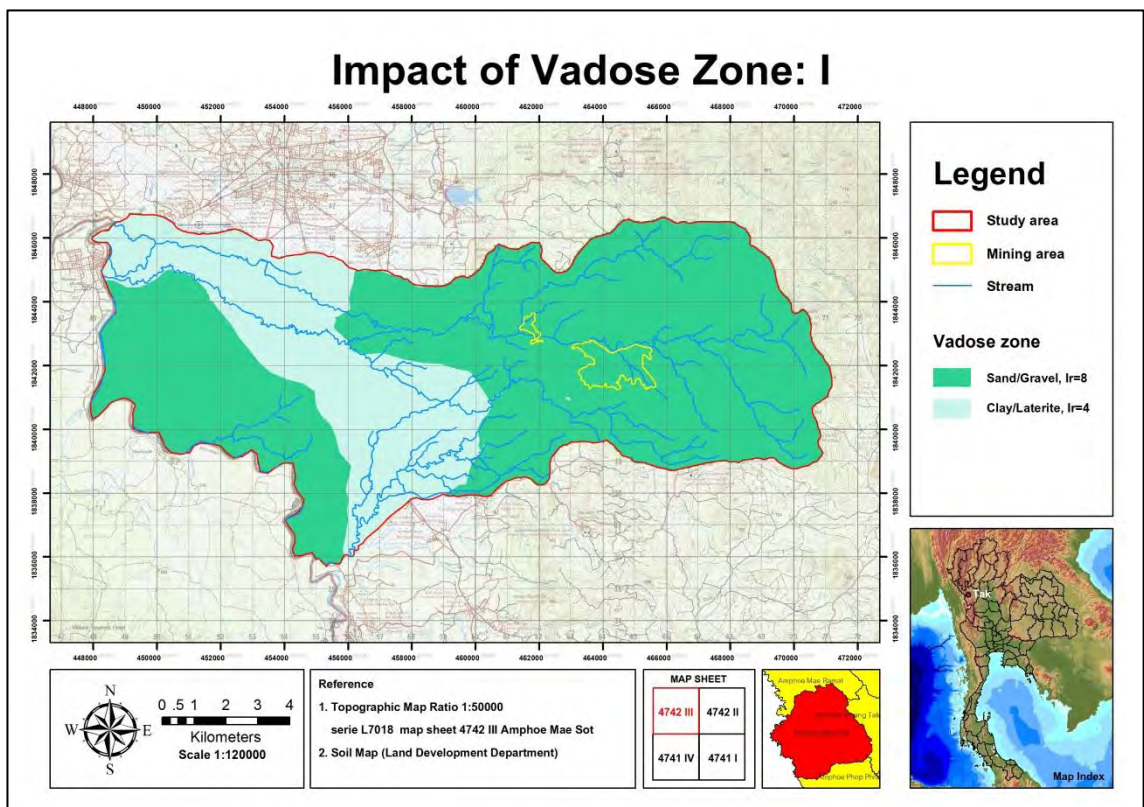


รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ

4.1.6 ผลการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (Impact of vadose zone)

จากการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล โดยพิจารณาจากชนิดของตัวกลางทางธรณีในระดับใต้ดินบน (top soil) แต่อยู่เหนือกว่าระดับน้ำบาดาล โดยอาศัยข้อมูลธรณีวิทยาหลุมเจาะจากรายงานโครงการสำรวจการกระจายตัวและแหล่งที่มาการปนเปื้อนของสารแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ของกรมควบคุมมลพิษ ปี 2554 พบว่าในพื้นที่ศึกษาส่วนที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาลทั้งหมดเป็นหินร่วน (unconsolidated) แสดงได้ดังรูปที่ 4.6 ได้แก่

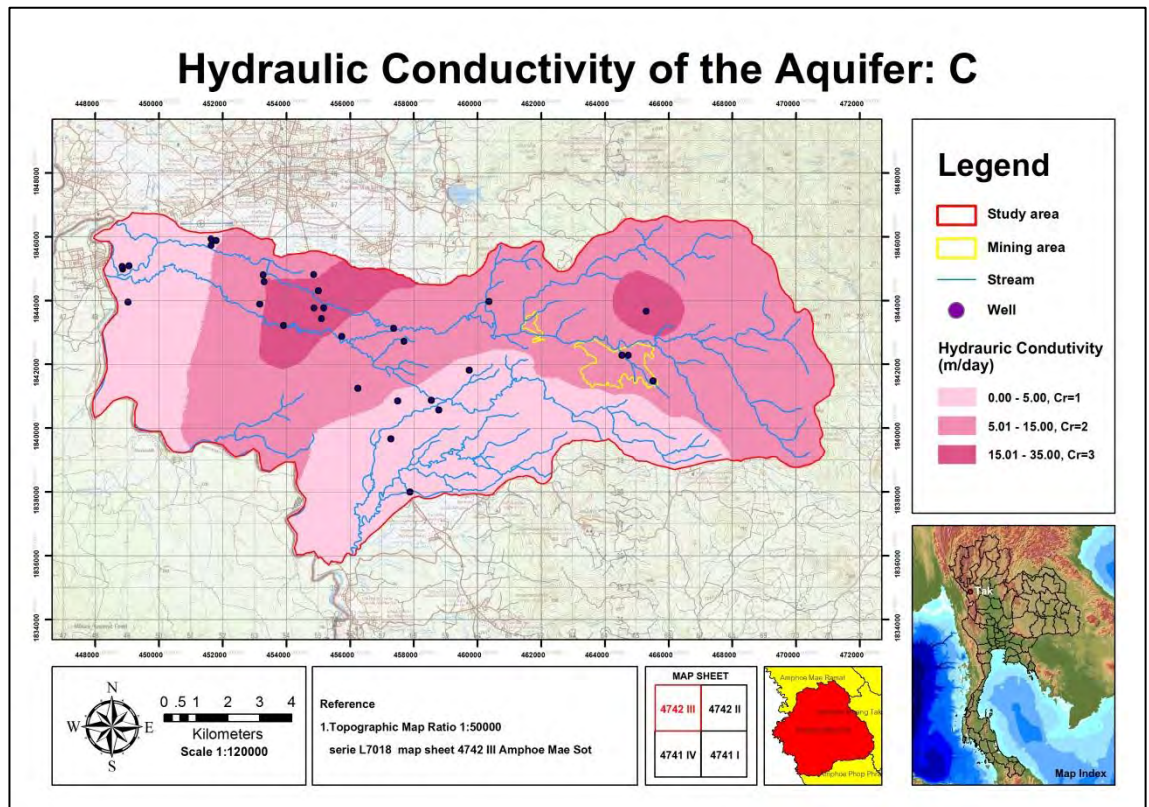
- 1) ดินลูกรัง เป็นชั้นดินที่เกิดจากการสลายตัวเป็นเวลานาน ประกอบด้วยเหล็กออกไซด์และอลูมิเนียมออกไซด์ในปริมาณสูง เมื่อถูกน้ำจะจับตัวแน่นกว่าธรรมชาติ จึงให้ค่าคะแนนเท่ากับ 4 ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ฝั่งตะวันออกของพื้นที่ คิดเป็นร้อยละ 20
- 2) ทราย ทรายกรวด และกรวด ความสามารถในการนำน้ำของตะกอนร่วนกลุ่มนี้ ขึ้นอยู่กับการคัดขนาดของตะกอน (sorting) และขนาดของตะกอน (grain size) เป็นสำคัญ โดยตะกอนที่มีเม็ดตะกอนขนาดใหญ่และการคัดขนาดที่ตึกกว่า จะมีศักยภาพปนเปื้อนที่สูงกว่า ดังนั้น ในพื้นที่ศึกษาจึงให้ชั้นกรวดมีศักยภาพในการปนเปื้อนสูงที่สุด จึงให้ค่าคะแนนเท่ากับ 8 ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ฝั่งตะวันออกของพื้นที่ คิดเป็นร้อยละ 80



รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล

4.1.7 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ (Hydraulic Conductivity of aquifer)

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา บริเวณลุ่มน้ำห้วยแม่ตา ได้ดังรูปที่ 4.7 พื้นที่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำสูง ศักยภาพที่ถูกปนเปื้อนจึงมากกว่าพื้นที่อื่นๆ สำหรับพื้นที่ศึกษาโดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำต่ำอยู่ในช่วงระหว่าง 0.00 - 15.00 เมตรต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 95 ของพื้นที่ ส่วนบริเวณพื้นที่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำสูงที่สุดในพื้นที่ศึกษา อยู่ในช่วง 15.01 - 35.00 เมตรต่อวัน อยู่บริเวณรอยต่อระหว่างตำบลแม่สอดและตำบลแม่ตา คิดเป็นร้อยละ 5 ของพื้นที่

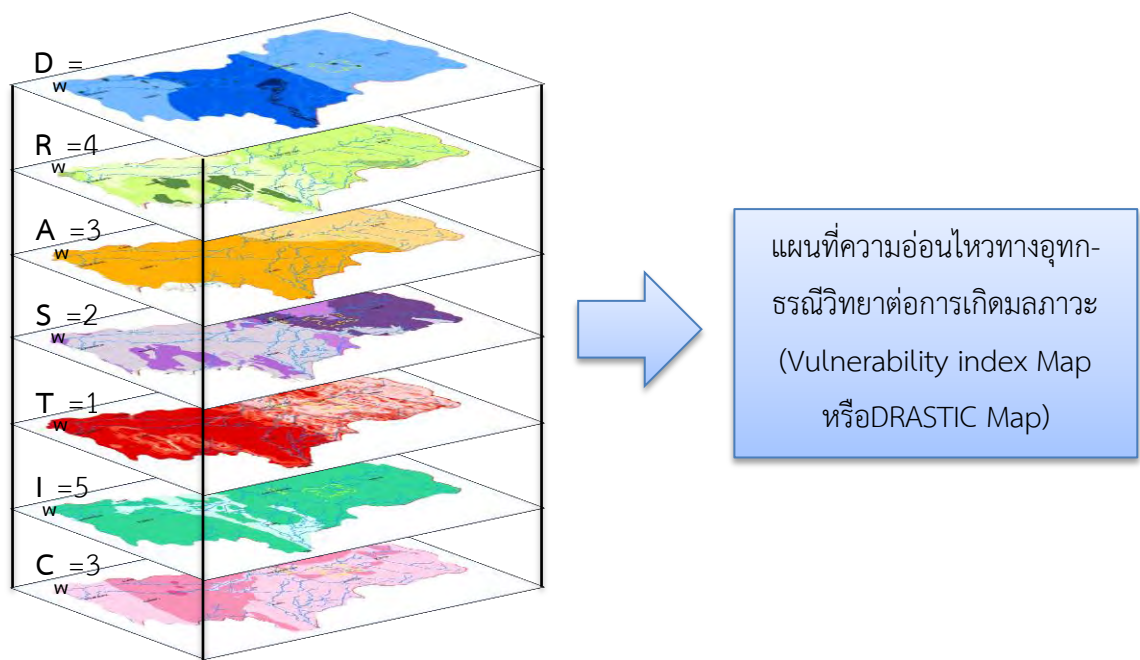


รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ

เมื่อนำผลจากการศึกษาปัจจัยต่างๆ ทั้ง 7 ปัจจัยมาวิเคราะห์ โดยการคำนวณในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (geographic information system, GIS) หรือโปรแกรม ArcMap 9.2 ดังรูปที่ 4.8 ตามสมการของ DRASTIC

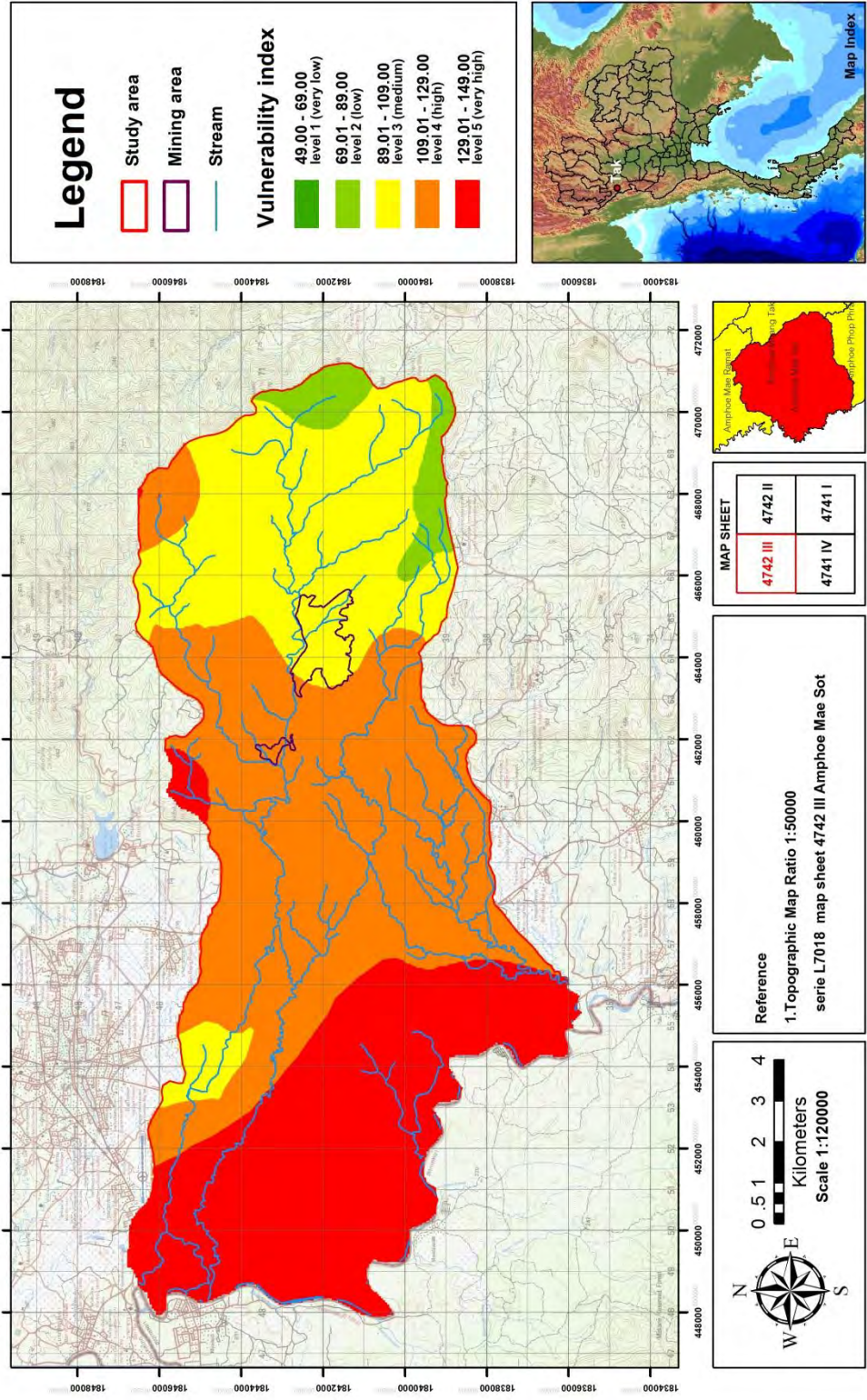
$$\text{DRASTIC Index} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (\text{สมการ 4.1})$$

และใช้ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยตามตารางที่ 3.1 ดังที่กล่าวในบทที่ 3 ซึ่งได้ผลออกมาในรูปแบบของแผนที่ความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ (Vulnerability index Map หรือ DRASTIC Map) ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งสามารถระบุได้ว่าพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งระดับความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะได้เป็น 4 ระดับ คือ ระดับความอ่อนไหวสูงมาก สูง ปานกลาง และต่ำ โดยพื้นที่ที่มีระดับความอ่อนไหวสูงมาก (ในแผนที่แทนด้วยสีแดง) อยู่บริเวณด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา คิดเป็นร้อยละ 20 ระดับความอ่อนไหวสูงอยู่ถัดออกมาทางตะวันออกหรือบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา (ในแผนที่แทนด้วยสีส้ม) คิดเป็นร้อยละ 55 ระดับความอ่อนไหวปานกลาง (ในแผนที่แทนด้วยสีเหลือง) ซึ่งมีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ทางตะวันออกของพื้นที่ศึกษา คิดเป็นร้อยละ 20 และระดับความอ่อนไหว (ในแผนที่แทนด้วยสีเขียว) ซึ่งมีพื้นที่เล็กๆอยู่ทางตะวันออกของพื้นที่ศึกษา คิดเป็นร้อยละ 5



รูปที่ 4.8 แผนผังการนำผลการวิเคราะห์ทั้ง 7 ปัจจัยมาคำนวณในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Vulnerability index Map



รูป 4.9 แผนที่ความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ (Vulnerability index Map หรือ DRASTIC Map)

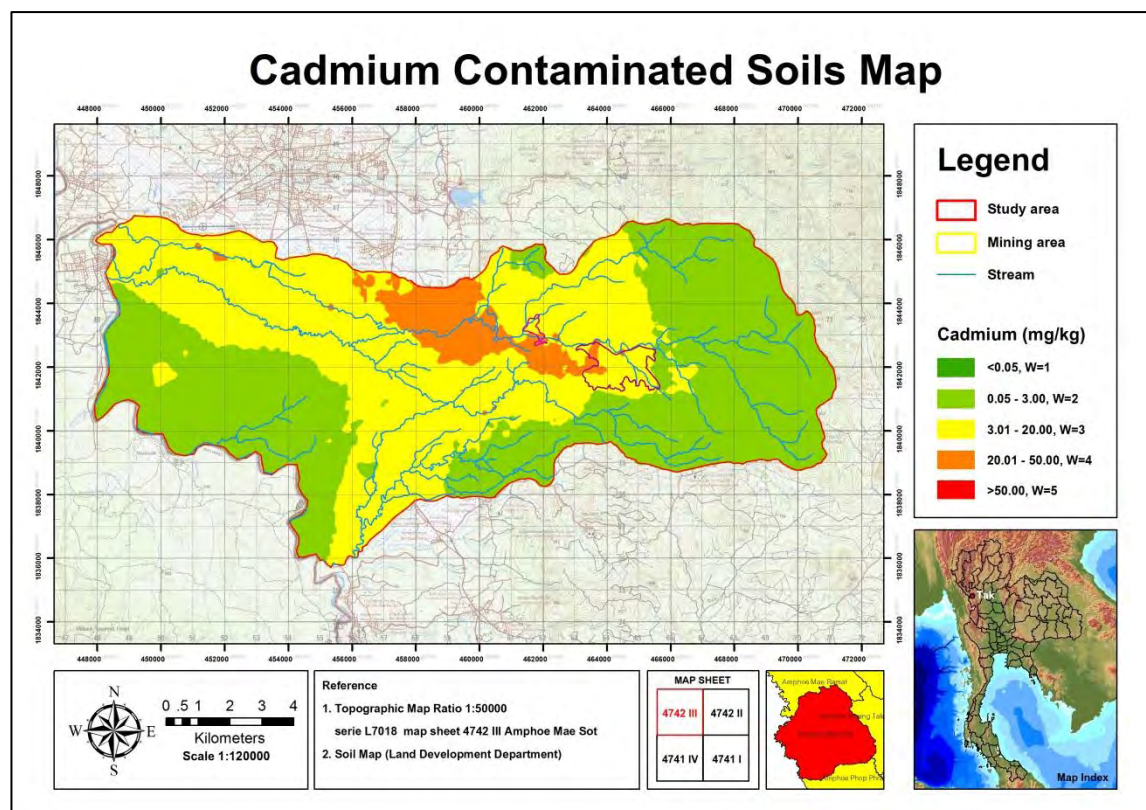
4.2 ผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน

จากการรวบรวมข้อมูลค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมจากรายงานโครงการสำรวจการกระจายตัวและแหล่งที่มาการปนเปื้อนของสารแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ของกรมควบคุมมลพิษ (2554) และนำข้อมูลเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และแปลงเป็น RASTER ขนาดกริด 50x50 ตารางเมตร จากนั้นกำหนดค่าคะแนนการปนเปื้อนแคดเมียมในดินตามตารางที่ 4.1 พบว่าสามารถแบ่งระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินเป็น 3 ระดับ ได้แก่ สูง ปานกลาง และต่ำ ดังรูป 4.10 โดยค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในระดับสูงมากพบบริเวณท้ายน้ำของห้วยแม่ตาวในส่วนที่ไหลผ่านเหมืองแล้ว ส่วนบริเวณที่มีค่าการปนเปื้อนในระดับต่ำพบบริเวณต้นน้ำห้วยแม่ตาวและห้วยแม่กุ

ตารางที่ 4.1 ค่าคะแนนการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน

ช่วงค่าความเข้มข้นแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ค่าคะแนน
0.00 – 0.05	1
0.05 – 3.00	2
3.00 – 20.00	3
20.01 – 50.00	4
> 50.01	5

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2554)



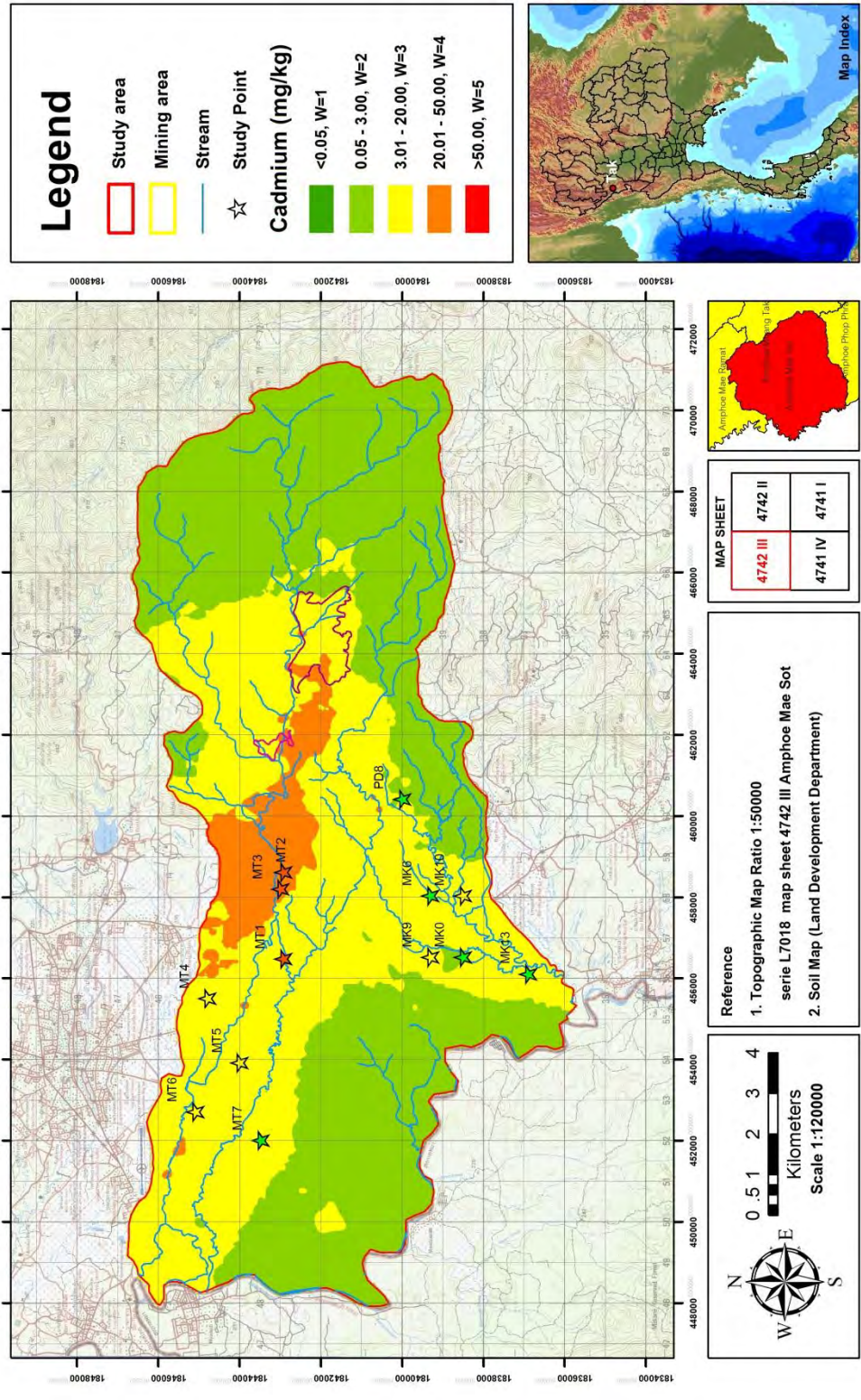
รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินจากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ (2554)

นอกจากนี้ยังมีผลจากการวิเคราะห์หาค่าแคดเมียมในตัวอย่างดินจากการออกภาคสนามในเดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2558 ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อนำมาผลวิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับแผนที่ค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ได้จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ (2554) พบว่ามีค่าการปนเปื้อนมาก-น้อยสอดคล้องกัน ดังรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.2 ผลจากการวิเคราะห์หาค่าแคดเมียมในตัวอย่างดินจากการออกภาคสนาม

ตัวอย่าง	พิกัดทางภูมิศาสตร์	ลักษณะพื้นที่	แคดเมียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
MT1	47Q 456475 1842936	ไร่อ้อย	40.43 ± 0.8806
MT2	47Q 456709 1842926	ไร่ข้าวโพด	166.93 ± 2.2895
MT3	47Q 456591 1843000	ไร่ข้าวโพด	102.56 ± 0.9533
MT4	47Q 455500 1844800	นาข้าวเก็บเกี่ยวแล้ว	4.60 ± 0.9201
MT5	47Q 453913 1844008	พื้นที่โล่ง	4.00 ± 0.2160
MT6	47Q 452704 1845100	ไร่อ้อยตัดแล้ว	6.07 ± 0.8260
MT7	47Q 452000 1843492	ไร่อ้อยตัดแล้ว	1.50 ± 0.5099
PD8	47Q 458400 1844057	ปากล้วย	1.53 ± 0.2625
MK0	47Q 458000 1838500	นาข้าวเก็บเกี่ยวแล้ว	10.1 ± 1.2027
MK6	47Q 459545 1840168	นาข้าวเก็บเกี่ยวแล้ว	2.47 ± 0.2182
MK9	47Q 456512 1839315	ไร่อ้อย	1.93 ± 0.8576
MK10	47Q 458025 1838515	พื้นที่โล่งริมห้วย ไร่อ้อย	0.80 ± 0.2943
MK13	47Q 456101 1836902	ไร่ข้าวโพดโล่งพื้นที่แล้ว	0.73 ± 0.3682

Cadmium Contaminated Soils Map



รูป 4.11 แผนที่การปนเปื้อนของแคดเมียมในดินจากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ (2554) เปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ที่ได้จากการออกภาคสนาม

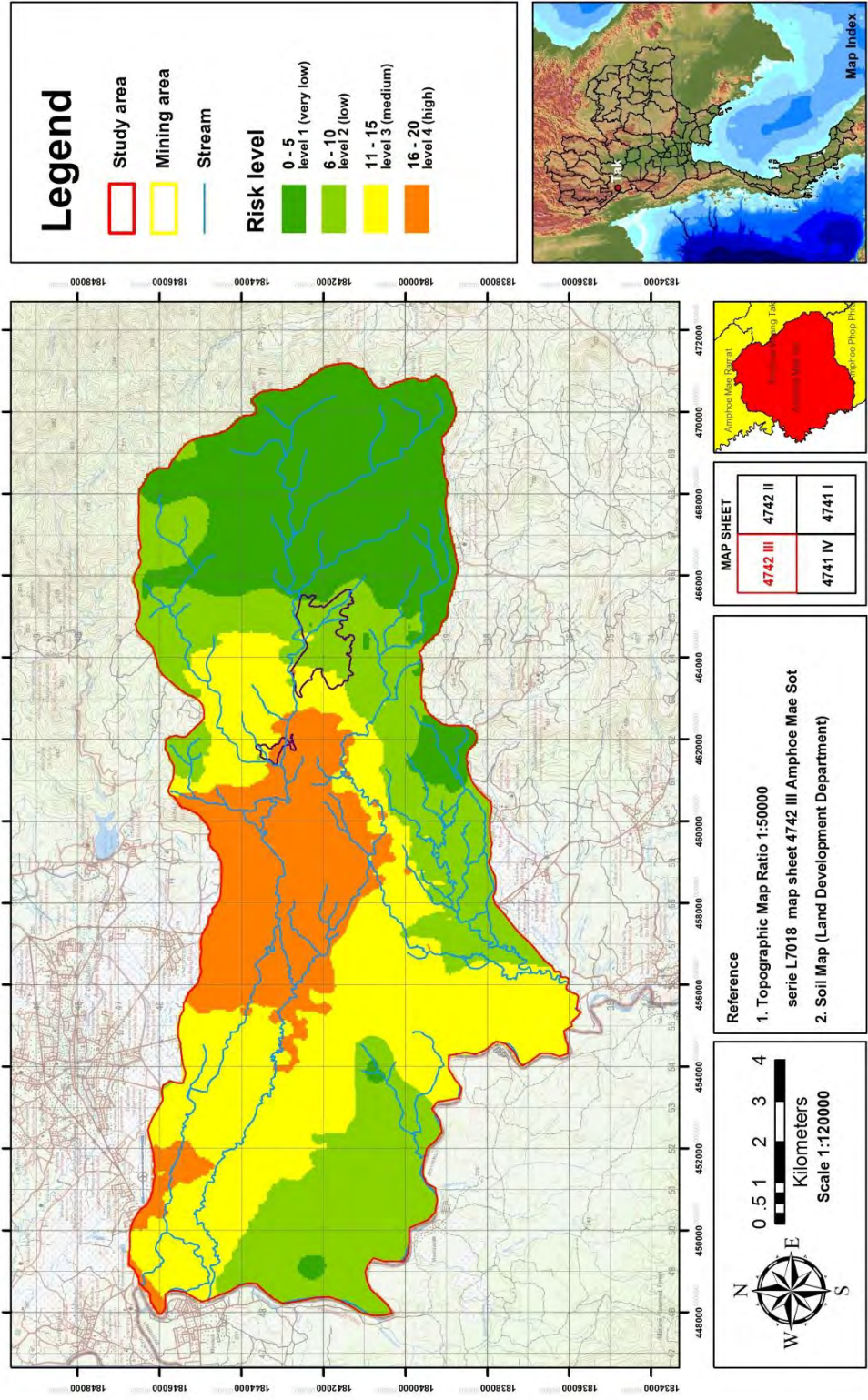
4.3 ผลการวิเคราะห์ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ

ผลการประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ แสดงดังแผนที่ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนแคดเมียมดังรูปที่ 4.12 ซึ่งเกิดจากความเสี่ยงออกเป็น 4 ระดับ คือ ต่ำมาก ต่ำ ปานกลาง และสูง โดยสรุปได้ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งพื้นที่ศึกษาที่มีความเสี่ยงสูง หรือความเสี่ยงในระดับ 4 อยู่ในตำบลแม่ตาว บริเวณท้ายน้ำห้วยตาวหลังผ่านเหมืองสังกะสี และพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำมาก หรือความเสี่ยงในระดับ 1 มีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในตำบลพะวอ

ตารางที่ 4.3 ระดับความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะในพื้นที่ศึกษา

ระดับความเสี่ยง	ตำบล	ตำแหน่ง
4 (สูง)	แม่ตาว	บ้านแม่ตาวแพะ
		บ้านแม่ตาวกลาง
	พระธาตุผาแดง	บ้านแม่ตาวใหม่
		บ้านพะเต๊ะ
	แม่กุ	บ้านแม่กุน้อย
		บ้านแม่กุเหนือ
3 (ปานกลาง)	แม่ตาว	บ้านแม่ตาวสันโรงเรียน
		บ้านดอนไชยใต้
		บ้านแม่ตาวสันแป
	พระธาตุผาแดง	บ้านถ้าเสื่อฝิ่งตะวันตก
	แม่กุ	บ้านแม่กุหลวง
		บ้านแม่กุใหม่ท่าซุง
	แม่สอด	บ้านค้ำภิบาล
ท่าสายลวด	บ้านริมเมย	
	บ้านห้วยม่วง	
2 (ต่ำ)	แม่ตาว	บ้านใหม่สันติ
	พระธาตุผาแดง	บ้านถ้าเสื่อฝิ่งตะวันออก
	แม่กุ	บ้านแม่กุน้อย
		บ้านผาลาด
ท่าสายลวด	ทางตอนใต้ของตำบล	
1 (ต่ำมาก)	พะวอ	ดอยเรผาใต้
		ดอยแม่ตาว

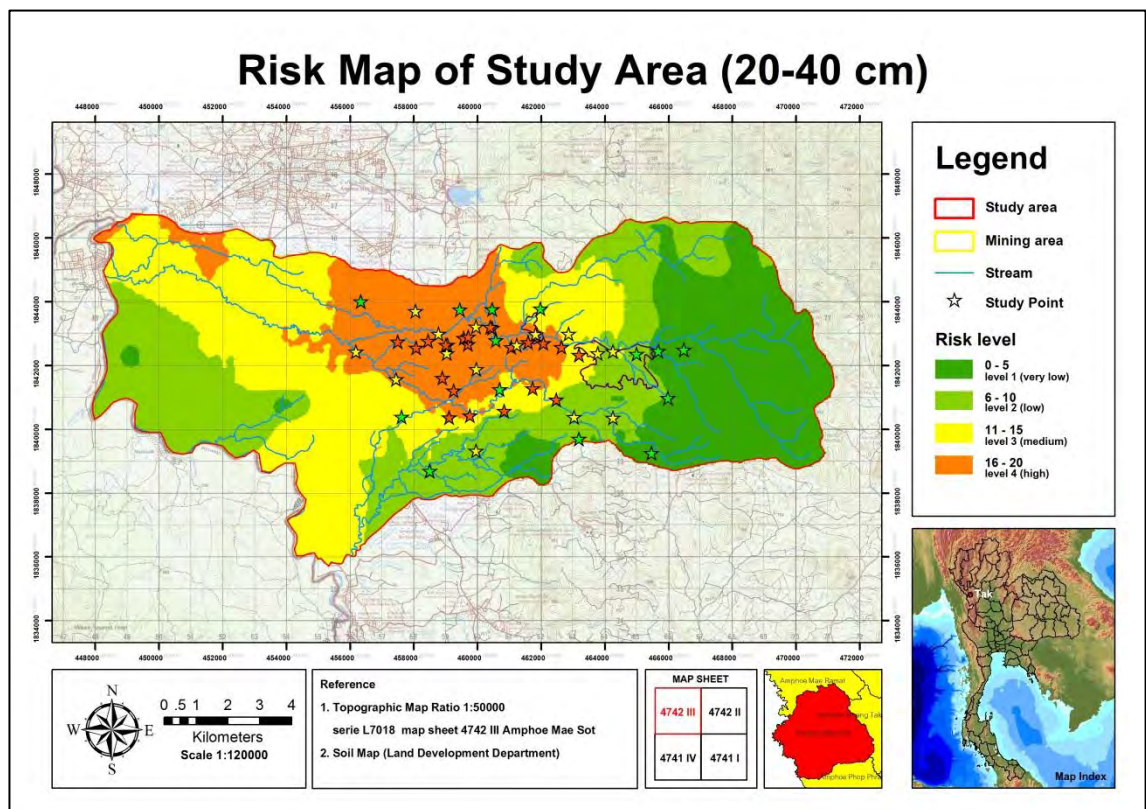
Risk Map of Study Area



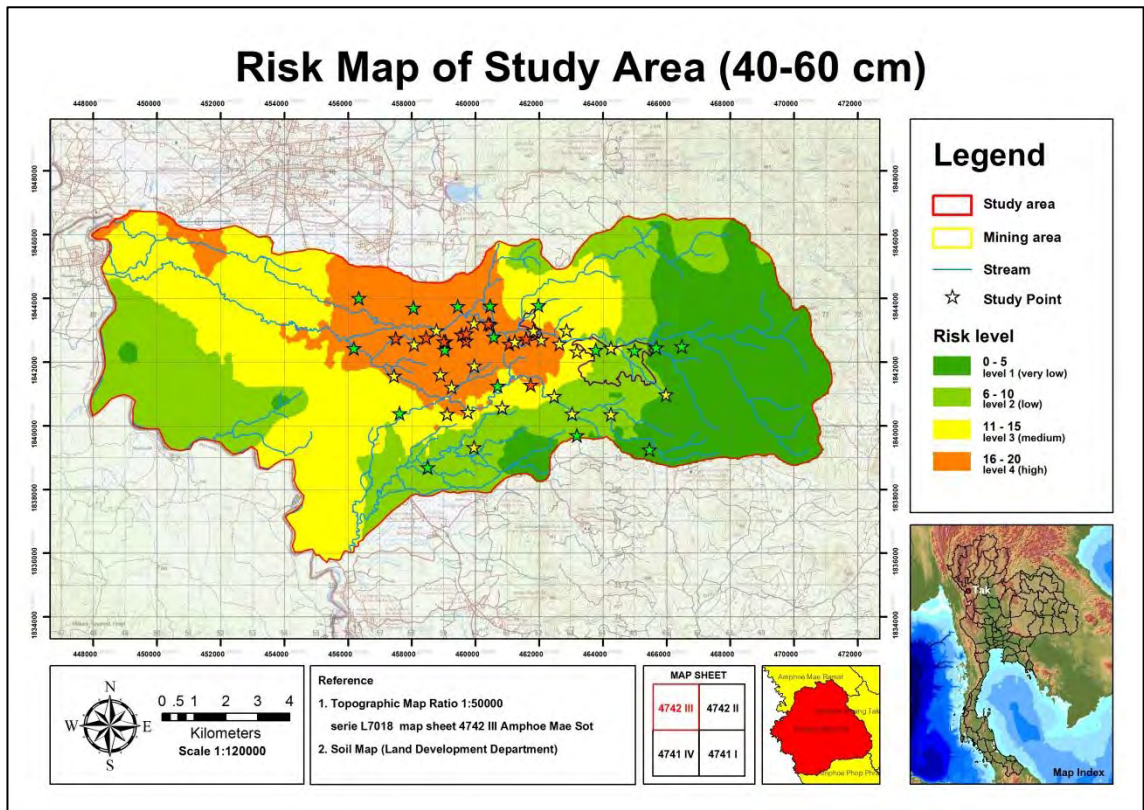
รูป 4.12 แผนที่ความเสี่ยงของพื้นที่ป่าตาดอกการปงเป็อนแคดเมียม

4.4 ผลเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะกับค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินตามระดับความลึก

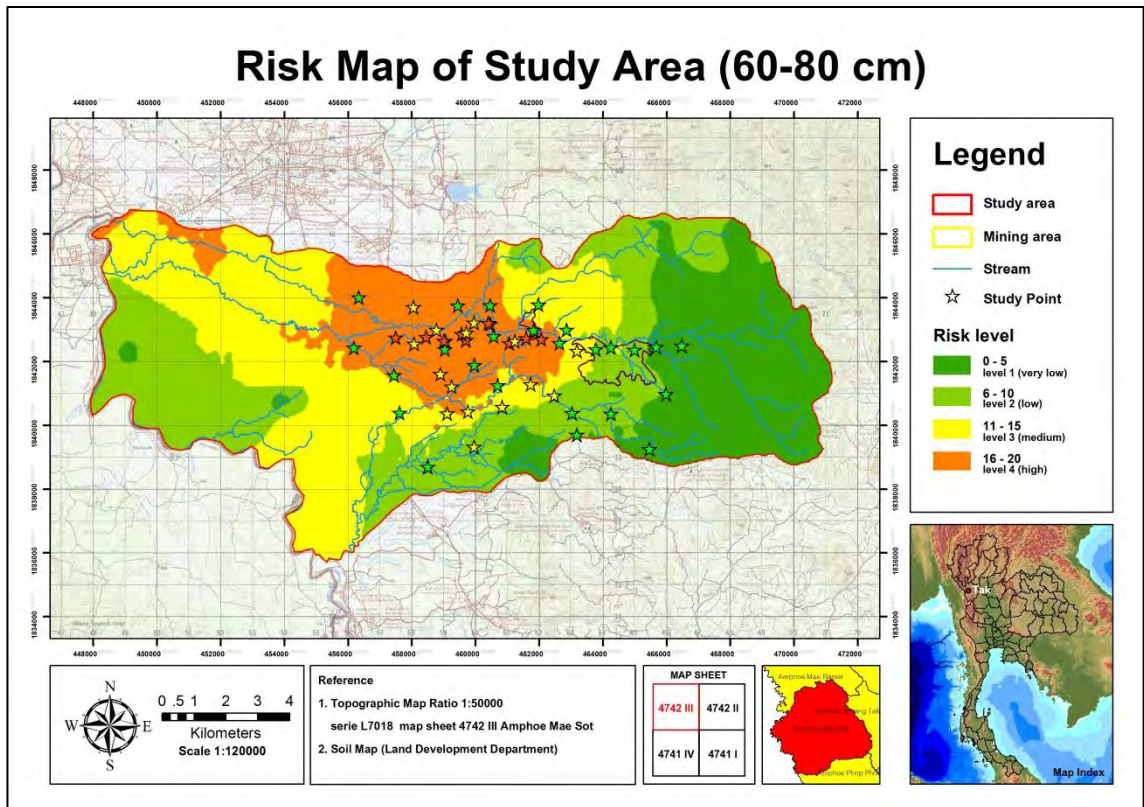
จากการเปรียบเทียบโดยการนำข้อมูลค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินตามระดับความลึก จากกรมอุตสาหกรรมและการเหมืองแร่ ปี พ.ศ. 2558 มา plot ลงบนแผนที่ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนแคดเมียมที่ได้จัดทำ พบว่า ที่ระดับความลึก 20 – 40 เซนติเมตรมีการกระจายตัวของพื้นที่ที่มีแคดเมียมระดับสูงทั่วไปทั้งพื้นที่ที่มีความเสี่ยง ต่ำ ปานกลาง และสูง และเมื่อพิจารณาในระดับลึกลงไปจากผิวดินจนถึงระดับความลึก 100 เซนติเมตรจุดศึกษาที่มีค่าปนเปื้อนแคดเมียมสูงจะพบในบริเวณพื้นที่ที่มีค่าความเสี่ยงสูงเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.13 – 4.16



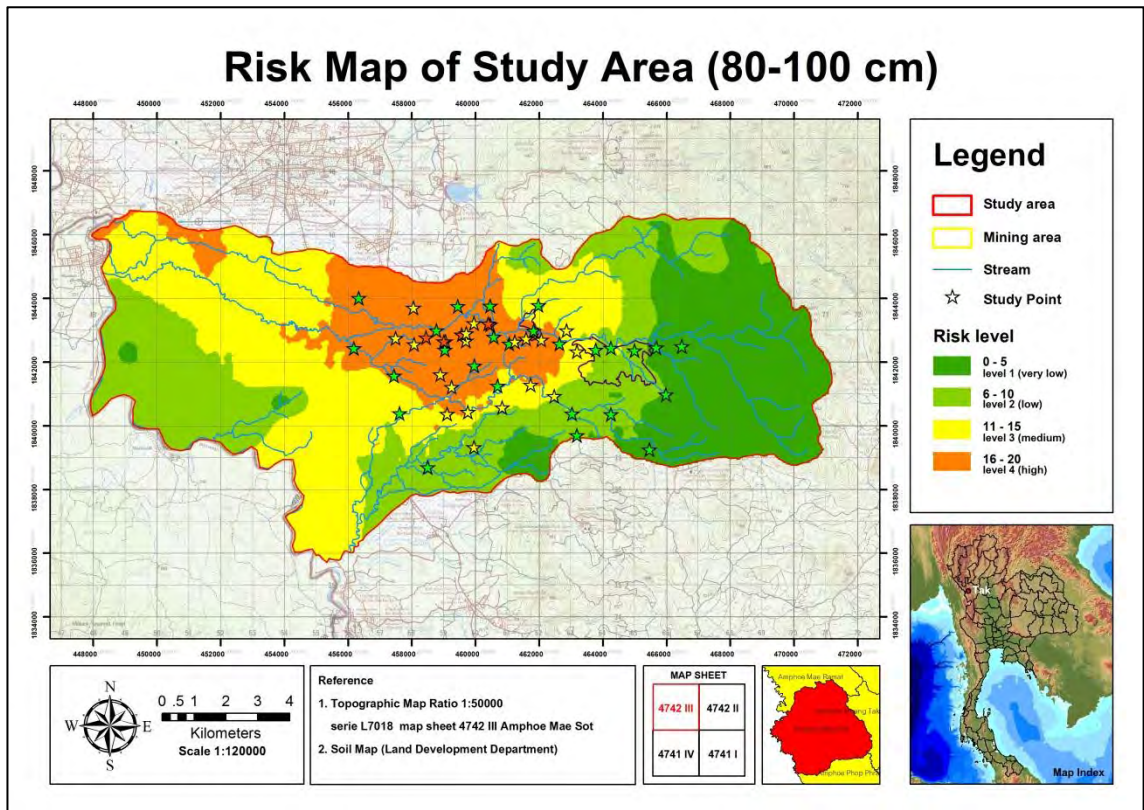
รูปที่ 4.13 ผลเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงกับค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ระดับความลึก 20-40 เซนติเมตร



รูปที่ 4.14 ผลเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงกับค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ระดับความลึก 40-60 เซนติเมตร



รูปที่ 4.15 ผลเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงกับค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ระดับความลึก 60-80 เซนติเมตร



รูปที่ 4.16 ผลเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงกับค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ระดับความลึก 80-100 เซนติเมตร

5.1 สรุปผลการประเมินความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ

แผนที่ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะเป็นแผนที่ที่แสดงความอ่อนไหวของพื้นที่ในเชิงเปรียบเทียบ ในการให้ผลสารต่างๆ จากผิวดินซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลของแต่ละพื้นที่ จากผลการศึกษาปัจจัยต่างๆ พบว่าปัจจัยหลักที่มีนัยสำคัญที่สุด เป็นตัวกำหนดสภาพความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา คือ D (ความลึกของระดับน้ำบาดาล) และ I (สมบัติของชั้นที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล) รองลงมาคือ R (อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล) A (สมบัติของวัสดุชั้นน้ำ) C (ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ) S (สมบัติของดิน) และ T (ลักษณะภูมิประเทศ) ตามลำดับ จากปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่แตกต่างกันนี้ จะเห็นว่าความแตกต่างของความลาดชันถึงแม้จะมีมากถึง 5 ระดับ แต่คะแนนที่ใช้ในการถ่วงน้ำหนักมีค่าน้อยที่สุด เป็นผลทำให้ในการประเมินค่าความอ่อนไหวน้อยกว่าปัจจัยกำหนดอื่นๆ ดังนั้น ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา จึงแปรผันตามความหนาของชั้นปิดทับและสมบัติของชั้นปิดทับชั้นน้ำบาดาลเป็นหลักสำคัญ

จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะด้วยวิธี DRASTIC ทำให้สามารถระบุพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวที่แตกต่างกันได้ 4 ระดับ คือ ระดับความอ่อนไหวสูงมาก สูง ปานกลาง และต่ำ โดยพื้นที่ที่อยู่บริเวณด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษามีระดับความอ่อนไหวที่มากกว่าพื้นที่ทางด้านตะวันออก เนื่องจากพื้นที่ด้านตะวันตกมีค่าความลึกของชั้นน้ำบาดาล ค่าความลาดชันที่น้อยกว่าพื้นที่ด้านตะวันออก มีอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลที่มากกว่าพื้นที่ด้านตะวันออก ประกอบกับพื้นที่ดังกล่าวมีดินเหนียวและดินร่วมปนดินเหนียวปกคลุมด้านบน

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน

จากการวิเคราะห์การปนเปื้อนของแคดเมียมในดินพบว่าสามารถแบ่งระดับการปนเปื้อนแคดเมียมได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ สูง ปานกลาง และต่ำ ซึ่งจะเห็นว่าการแพร่กระจายของแคดเมียมที่มีค่าสูงผิดปกติจะมีอยู่ในดินตามลำห้วยแม่ดาวสายหลัก เริ่มต้นจากแหล่งแร่สังกะสีมาตามลำห้วยแม่ดาวผ่านบ้านพะเต๊ะ บ้านแม่ดาวใหม่ บ้านแม่ดาวกลาง และบ้านแม่ดาวใต้ และบางส่วนแพร่กระจายมาตามลำห้วยม่วง ซึ่งแยกมาจากห้วยแม่ดาว นอกจากนี้ยังพบที่บริเวณห้วยแม่กุ โดยเฉพาะบริเวณบ้านแม่กุเหนือ บริเวณที่มีค่าแคดเมียมสูงผิดปกติมากที่สุด ได้แก่ บริเวณด้านทิศใต้ของบ้านพะเต๊ะ บ้านแม่ดาวใหม่ และบ้านแม่ดาวแพะ ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมสูงกว่า 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่บริเวณก่อนผ่านแหล่งแร่สังกะสีมีการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ต่ำ ทำให้สรุปได้ว่าค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินดั้งเดิมของพื้นที่มีค่าเท่ากับบริเวณต้นน้ำแม่ดาวก่อนผ่านแหล่งแร่สังกะสี และจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินเพิ่มเติม 13 ตัวอย่างในการศึกษาคั้งนี้ พบว่าปริมาณแคดเมียมที่สูงสุดมีค่าเท่ากับ 166.93 ± 2.2895 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม บริเวณไร่ข้าวโพดบ้านแม่ดาวใหม่ ตำบลพระธาตุผาแดง และ

ปริมาณแคดเมียมที่ต่ำสุดมีค่า 0.80 ± 0.2943 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม บริเวณไร่อ้อยบ้านแม่กุน้อย ตำบลแม่กู่ ซึ่งค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินเพิ่มเติม 13 ตัวอย่างมีค่าสอดคล้องกับค่าการปนเปื้อนที่ได้จากรายงานรายงานโครงการสำรวจการกระจายตัวและแหล่งที่มาการปนเปื้อนของสารแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ของกรมควบคุมมลพิษ (2554)

5.3 สรุปผลการวิเคราะห์ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ

การประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ เป็นการประเมินหาโอกาสที่มลสารจากแหล่งกำเนิดจะปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลเพื่อจัดทำแผนที่ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนของแคดเมียม โดยพิจารณาจากทั้งความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ และศักยภาพของมลสารในการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในอัตราส่วนที่เท่ากัน (มีค่าตั้งแต่ 1 – 5 เหมือนกัน) ผลการวิเคราะห์ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะสามารถจัดระดับความเสี่ยงออกเป็น 4 ระดับ คือ ต่ำมาก ต่ำ ปานกลาง และสูง ซึ่งพื้นที่ศึกษาที่มีความเสี่ยงสูง หรือความเสี่ยงในระดับ 4 ได้แก่ บริเวณบ้านแม่ตาวแพะ บ้านแม่ตาวกลาง ตำบลแม่ตาว บ้านแม่ตาวใหม่ บ้านพะเต๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง บ้านแม่กุน้อย บ้านแม่กู่เหนือ ตำบลแม่กู่ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ของทำนน้ำของลุ่มน้ำห้วยแม่ตาว ช่วงที่ผ่านเหมืองสังกะสีนั่นเอง และจากการเปรียบเทียบข้อมูลค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินตามระดับความลึกจากกรมอุตสาหกรรมและการเหมืองแร่ ปี พ.ศ. 2558 กับค่าความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนแคดเมียมที่ได้จัดทำขึ้นในรูปแบบแผนที่นั้น พบว่าในดินที่ระดับลึกลงไปจากผิวดินจนถึงระดับความลึก 100 เซนติเมตร จุดศึกษาที่มีค่าปนเปื้อนแคดเมียมสูงจะพบในบริเวณพื้นที่ที่มีค่าความเสี่ยงสูงเท่านั้น ทำให้สรุปได้ว่าแคดเมียมที่มีการปนเปื้อนในดินบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนในน้ำบาดาลสูงนั้นกำลังเคลื่อนที่ลงไปสู่แหล่งน้ำบาดาล

5.4 ข้อเสนอแนะ

ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้นี้ยังไม่ได้ศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมในน้ำบาดาล ทั้งการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองและไม่ผ่านการกรอง เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะของชั้นน้ำบาดาลที่เป็นหินปูน จึงสันนิษฐานว่าธาตุโลหะหนัก (ในที่นี้หมายถึง แคดเมียม) ที่ปะปนอยู่ในน้ำอาจอยู่ในรูปของคอลลอยด์ ซึ่งการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเป็นเรื่องสำคัญที่จะเชื่อมโยงความสัมพันธ์กับแผนที่ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนแคดเมียมที่ได้จัดทำขึ้น จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการศึกษาครั้งต่อไป และควรมีแบบจำลองการไหลของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาเพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

- Al-Adamat, R.A.N., Foster, I.D.L., and Baban, S.M.J. Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC. Applied Geography 23: 303-324. 2003.
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H. and Petty, R.J. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings, Illinois: U.S. Environmental Protection Agency. 1-29. 1987.
- Ersoy, A. and Gultekin, F., DRASTIC-based methodology for assessing groundwater vulnerability in Gümüşhaciköy and Merzifon basin (Amasya, Turkey). Universidad Nacional De Columbia, 2013
- Foster, S.S.D. Fundamental concepts in aquifervulnerability, pollution risk and protection strategy. In: van Duijvenbooden, W. and van Waegeningh, H.G. (eds) TNO Committee on Hydrological Research, The Hague. Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, Proceedings and Information 38: 69-86. 1987.
- Kates, R.W. Risk Assessment of Environmental Hazard. Scope 8. Clark University, Worcester, USA., John Wiley & Sons, 1978.
- Maneewong, P. Cadmium distribution in stream sediment and suspended solids along Huai Mae Tao and Huai Mae Ku, Mae Sot district, Tak province. Graduate School, Chulalongkorn University, 2005.
- Simmons, R.W., Sukreeyapongse, O., Noble, A.D., and Chinabut, N. Report of LDD-IWMI Land Zoning and Cd Risk Assessment Activities Undertaken in Phatat Pha Daeng and Mae Tao Mai Sub-districts, Mae Sot, Tak Province, Thailand, (2004-2005).
- Smith, K. Risk Assessment and Perception. Environmental Hazards: Assessing risk and reducing disaster. Routledge London and New York, 46-65. 1992”
- Thamjedsada, T., and Chaiwiwatworakul, P. Evaluation of Cadmium contamination in the Mae Tao Creek sediment. Interdisciplinary Postgraduate Program for Environmental Management, Graduate School, Chulalongkorn University, 2012.
- Umar, R., Ahmed, I. and Alam, F. Mapping groundwater vulnerable zones using modified DRASTIC approach of an alluvial aquifer in parts of central Ganga plain, Western Uttar Pradesh. Journal of the Geological Society of India 73(2): 193-201. 2009.
- Unhalekhaka, U., and Kositanont, C. Distribution of Cadmium in Soil around Zinc Mining Area. Thai Journal Toxicology 23: 170-174. 2008.

Weeraprapan P., Phalaraksh C., Chantara S., and Kawashima M. Water Quality Monitoring and Cadmium Contamination in the Sediments of Mae Tao Stream, Mae Sot District, Tak Province, Thailand. International Journal of Environmental Science and Development. 2015.

กรมควบคุมมลพิษ. โครงการการสำรวจการกระจายตัวและแหล่งที่มาการปนเปื้อนของสารแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตา อำเภอมะสอ จังหวัดตาก. 2554.

กรมทรัพยากรธรณี. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดตาก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัท แอดวานซ์วิชั่น เซอร์วิส จำกัด. 2551.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. โครงการประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนของมลสารทางการเกษตรลงสู่แหล่งน้ำบาดาลและออกแบบแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดสุพรรณบุรี. เล่มที่1/6. กรุงเทพมหานคร: บริษัทเมทริกซ์ แอสโซซิเอทส์ จำกัด. 2552.

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. โครงการสำรวจและวิเคราะห์ผลกระทบจากการทำเหมืองทั่วประเทศเพื่อเสนอแนวทางแก้ไขปัญหา และการใช้ประโยชน์พื้นที่. 2558.

กองพัฒนาแหล่งน้ำ. ศักยภาพน้ำบาดาลในพื้นที่อำเภอมะสอและอำเภอมะระมาด จังหวัดตาก. ใน รายงานสำรวจศักยภาพแหล่งน้ำดิบสำหรับแผนงานปรับปรุงขยายกป.สาขา มะสอ จ.ตาก. หน้า 13-35. 2555.

จิระเดช มาจันแดง. DRASTIC: แบบจำลองระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สำหรับประเมินศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล. ใน วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีที่ 41 ฉบับที่ 3. หน้า 621-637. 2556.

พรรณทิพย์ ห่อศรีสัมพันธ์. การย่อยสลายตัวอย่างด้วยไมโครเวฟ. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. 2552.

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การย่อยสลายตัวอย่างด้วยไมโครเวฟ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/corse_info/2302548/Wk11.pdf. [16 เมษายน 2559]

ราชบัณฑิตยสถาน. พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. จำนวน 3000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: อรุณการพิมพ์, 2544.

รวมเรื่องราวเกี่ยวกับสุขภาพ. พิษจากแคดเมียมและการรักษา. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://thaihealthlife.com/พิษจากแคดเมียม>. [9 พฤศจิกายน 2558]

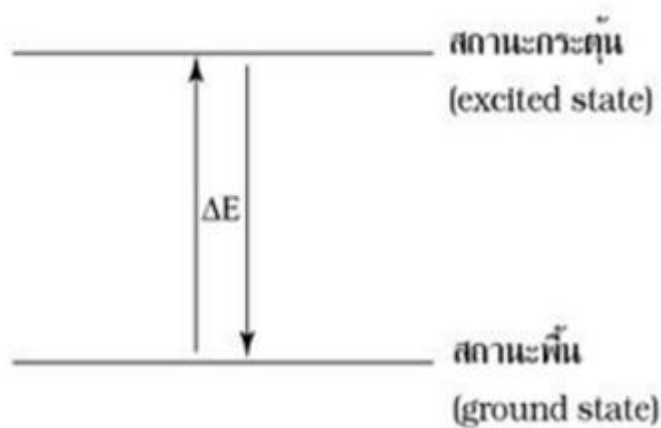
ศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://science.skru.ac.th/ShowToolCame.php?id_skru=SKRU0987654321. [9 มีนาคม 2559]

ภาคผนวก

Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

หลักการทำงานของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ (metal element) ที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบ ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy ซึ่งเป็นกระบวนการที่อะตอมอิสระ (free atom) ของธาตุดูดกลืน (absorb) แสงที่มีความยาวคลื่นระดับหนึ่ง โดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับธาตุแต่ละธาตุ เนื่องจากธาตุแต่ละชนิดมีระดับของพลังงานแตกต่างกันจึงมีการดูดกลืนพลังงานได้แตกต่างกัน พลังงานที่พอดีกับคุณสมบัติเฉพาะของธาตุจะทำให้อิเล็กตรอนของธาตุนั้นๆ เปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น (ground state) ไปเป็นสถานะกระตุ้น (excited state) ดังรูปที่ 6.1 โดยตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบต้องอยู่ในรูปของสารละลาย



รูปที่ 6.1 การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากสถานะพื้น (ground state) เป็นสถานะกระตุ้น (excited state)



รูปที่ 6.2 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

ส่วนประกอบสำคัญของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เครื่อง AAS มีองค์ประกอบสำคัญด้วยกันทั้งหมด 5 ส่วน ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง (light source)

แหล่งกำเนิดแสงของ AAS โดยทั่วไปเป็นหลอดแบบ hollow cathode lamp (HCL) และ electrodeless discharge lamp (EDL) ซึ่งในหลอด (lamp) จะบรรจุ buffer ของแก๊สเฉื่อย (inert gas) เช่น แก๊สอาร์กอน (Ar) หรือ นีออน (Ne) และมีการเคลือบเกลือของธาตุโลหะที่จะวิเคราะห์ไว้ที่ขั้ว cathode ของ lamp เมื่อมีการให้ศักย์ไฟฟ้าให้แก่ขั้ว cathode จะเกิดการ ionization ของ inert gas ไปชนกับเกลือของธาตุโลหะที่เคลือบไว้ ทำให้ธาตุโลหะหลุดออกจากขั้ว cathode แล้วไปชนกับ inert gas ทำให้ธาตุโลหะเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น (ground state) ไปเป็นสถานะกระตุ้น (excited state) แต่ไม่เสถียรจึงปล่อยพลังงานออกมาเป็นพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่นจำเพาะกับธาตุแต่ละธาตุ ซึ่ง hollow cathode lamp มีทั้งแบบ single lame (ปล่อยพลังงานช่วงความยาวคลื่นสำหรับวิเคราะห์ธาตุใดธาตุหนึ่ง) และแบบ multiple lamp (ที่ขั้ว cathode จะเคลือบเกลือของธาตุโลหะหลายชนิด มีการปล่อยพลังงานในหลายช่วงตามระดับพลังงานของธาตุที่เคลือบไว้ จะอาศัย monochromator ในการเลือกแสงที่ระดับความยาวคลื่นที่ต้องการใช้)

2. ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระ (atomizer หรือ atomization process)

การทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานความร้อนเข้าไป ซึ่งพลังงานดังกล่าวอาจอยู่ในรูปต่างๆ เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งส่วนประกอบของเครื่อง AAS ที่ให้พลังงานความร้อนเพื่อทำให้เกิดอะตอมอิสระนั้นเรียกว่า atomizer และกระบวนการที่ทำให้เกิดอะตอมอิสระนั้นเรียกว่า Atomization process ได้แก่ Flam Atomization, Electrothermal atomization หรือ Graphite furnace หรือ flameless atomization , Hydride Generation Techique และ Cold Vapor Technique โดยมีรายละเอียดของแต่ละเทคนิคดังนี้

2.1) Flam Atomization ใช้พลังงานความร้อนจากเปลวไฟทำให้เกิด atomization process แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่

1. Nebulization เป็นกระบวนการเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองฝอยเล็กๆ (mist หรือ aerosol) ด้วยส่วนของเครื่องที่เรียกว่า nebulizer โดยเครื่องจะดูดสารละลายเข้าไปเพื่อพ่นให้สารละลายไปชนกับ glass bead เพื่อให้เกิดเป็นละอองฝอย
2. Droplet precipitation เป็นกระบวนการที่ละอองเล็กบางส่วน รวมกันเป็นหยดสารละลาย ไม่สามารถลอยอยู่ในอากาศได้จึงตกลงมาแล้วออกไปทางท่อระบายน้ำทิ้ง (drain)
3. Mixing เป็นกระบวนการที่ mist หรือ aerosol ผสมกับแก๊สเชื้อเพลิง (fuel) และ ออกซิเจนแก๊ส (oxidant gas) เกิดใน spray chamber ของ nebulizer
4. Desolvation เป็นกระบวนการที่ตัวทำละลายที่อยู่ใน mist หรือ aerosol ถูกกำจัดออกไปทำให้เป็นอนุภาคเล็กๆ ของสารประกอบ (solid particles)

5. Compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ โดยพลังงานความร้อนจากเปลวไฟทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นเป็นออกไซด์ เป็นโมเลกุล และเป็นอะตอมอิสระ
- 2.2) Electrothermal atomization หรือ Graphite furnace หรือ flameless atomization ใช้พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้าทำให้เกิด atomization process แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่
 1. Drying stage เป็นการค่อยๆ ให้ความร้อนแก่สารตัวอย่าง เพื่อระเหยตัวทำละลายออกไป โดยปกติใช้อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 100°C)
 2. Ashing stage เป็นขั้นตอนที่ให้ความร้อนสูงขึ้น (อาจถึง 1,500 °C) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยโมเลกุลของสารเหล่านั้นจะแตกตัวออกไปเหลือแต่สารอนินทรีย์ที่เสถียรเท่านั้น โดยทั่วไปอยู่ในรูปของโลหะออกไซด์
 3. Atomization stage เป็นขั้นตอนที่สารที่เหลืออยู่ถูกเผาที่อุณหภูมิสูง (อาจถึง 3,000°C) เพื่อให้สลายเกิดเป็นอะตอมอิสระ
 - 2.3) Hydride Generation Techique เนื่องจากธาตุบางชนิดจะเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิค Flam Atomization และ Electrothermal atomization ไม่ได้ จำเป็นต้องใช้วิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการรวมกับออกซิเจน ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านั้นกลายเป็นสารที่เป็นไอได้ง่ายๆ ที่อุณหภูมิต่ำด้วยการ reduce ให้เป็น hydrided แล้วให้ผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจนจะทำให้ธาตुकลายเป็นอะตอมอิสระได้ เป็นเทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As, Bi, Se, Pb, Sb, Sn และ Te
 - 2.4) Cold Vapor Technique จัดเป็นวิธี flameless atomization แบบ Vapor Generation ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่เปลี่ยนเป็นไอได้ง่าย ได้แก่ การวิเคราะห์ปรอท โดยการใช้การ reduction ของสารประกอบปรอท
3. Monochromator
 - ใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการ (wavelength selector)
 4. Detector ของ AAS เป็นชนิด Photo Multiplier Tube (PMT)
 5. เครื่องประมวลผลและอ่านผล

หมายเหตุ เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ที่ใช้ในทดสอบตัวอย่างในงานวิจัยครั้งนี้ตั้งอยู่ที่ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นผลิตภัณฑ์บริษัท PerkinElmer precisely รุ่น AAnalyst 200 โดยใช้เพื่อทดสอบหาแคดเมียมเท่านั้น

การย่อยสลายตัวอย่างด้วยไมโครเวฟ (Microwave Digestion)

ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างอินฟราเรดและคลื่นวิทยุ (0.01-1 เมตร) และการใช้งานจะอยู่ในช่วงความถี่ 0.3-30 GHz แต่โดยทั่วไปที่ใช้ในห้องปฏิบัติการจะเป็น 2.45 GHz ไมโครเวฟสามารถแบ่งเป็นช่วงความถี่ย่อยได้ดังตารางที่ 6.1 โดยในช่วงความถี่ต่ำจะใช้ในด้านการสื่อสาร และในช่วงความถี่สูงจะใช้ในเทคนิคเชิงวิเคราะห์ เช่น Spectroscopy เป็นต้น

ตารางที่ 6.1 ช่วงความถี่ย่อยต่างๆ ของไมโครเวฟ

แถบ	ความถี่
L	1-2 GHz
S	2-4 GHz
C	4-8
X	8-12
Ku	12-18
K	18-26
Ka	26-40
Q	30-50
U	40-60
V	46-56
W	56-100

กลไกการให้ความร้อน

กลไกหลักในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ คือ การเขย่าโมเลกุลให้สั่นภายใต้สนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้า อนุภาคเหล่านี้จะปรับตัวให้มีเฟสตรงกับสนาม แต่อย่างไรก็ตาม การเคลื่อนไหวของอนุภาคเหล่านี้จะถูกต้านด้วยแรงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคและแรงต้านไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้อนุภาคเกิดการเคลื่อนที่แบบสุ่มจนเกิดเป็นความร้อน สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. Dipolar Polarisation

เป็นขั้นตอนการให้ความร้อนแก่มอเลกุลมีขั้ว โดยให้โมเลกุลสั่นตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยแรงระหว่างโมเลกุลและแรงเฉื่อยทำให้โมเลกุลเกิดการเคลื่อนที่แบบสุ่มจนทำให้เกิดความร้อน สิ่งสำคัญ คือ ช่วงความถี่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นจะต้องมีค่าเพียงพอที่จะทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุล ถ้าความถี่มีค่าสูงเกินไปจะทำให้แรงระหว่างโมเลกุลไปหยุด

การเคลื่อนไหวของโมเลกุลก่อนที่มันจะเคลื่อนที่ไปตามสนาม หรือถ้าความถี่มีค่าต่ำเกินไปทำให้โมเลกุลมีเวลาเพียงพอที่จะเรียงตัวเองให้สามารถเคลื่อนตามสนามได้โดยไม่เกิดการเคลื่อนที่แบบสุ่ม

2. Conduction Mechanism

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้อิเล็กตรอนหรือไอออนในตัวนำไฟฟ้าเกิดการสั่นจนกลายเป็นกระแสไฟฟ้าซึ่งส่งผลให้เกิดค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในทำให้ตัวนำร้อน ข้อจำกัดของวิธีการนี้คือไม่เหมาะสมสำหรับวัสดุที่มีสภาพการนำไฟฟ้าสูง

3. Interfacial Polarisation

วิธีการนี้เป็นการรวมเอาวิธี Conduction และวิธี Dipolar Polarisation เข้าด้วยกัน เพื่อใช้งานในระบบที่ตัวอย่างเป็นวัสดุนำไฟฟ้ากระจายตัวอยู่ในวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า เช่น การกระจายตัวของโลหะในกัมมะถัน กัมมะถันไม่ตอบสนองต่อไมโครเวฟ ส่วนโลหะจะสะท้อนพลังงานของไมโครเวฟ แต่เมื่อนำสารทั้งสองมารวมกันจะกลายเป็นวัสดุที่ดูดกลืนไมโครเวฟได้เป็นอย่างดี โดยโลหะจะต้องอยู่ในรูปผง ตัวอย่างจะดูดกลืนและทำให้เกิดความร้อนได้ด้วยวิธีการ Dipolar Polarisation กัมมะถันที่อยู่รอบๆ ผงโลหะจะประพุดตัวเสมือนเป็นตัวทำละลายสำหรับโมเลกุลมีขั้ว และด้านการเคลื่อนที่ของไอออนด้วยแรงที่มีค่าเท่ากับอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุล ทำให้ไอออนเกิดการเคลื่อนที่แบบสุ่มจนเกิดความร้อนขึ้น

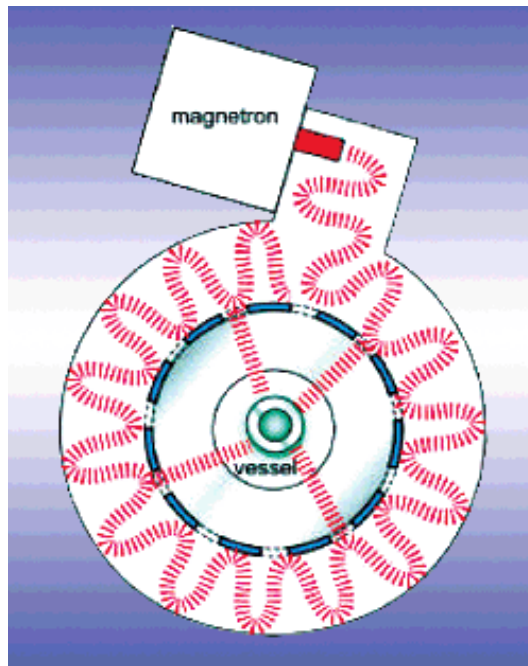
เครื่องมือที่ใช้เทคนิคของไมโครเวฟ

เครื่องมือที่ใช้เทคนิคของไมโครเวฟแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. เครื่องมือแบบ Single-mode

เครื่องมือที่เป็นแบบ Single-mode จะสร้างรูปแบบของคลื่นนิ่งที่เกิดจากการแทรกสอดของสนามที่มีขนาดของแอมพลิจูดเท่ากัน แต่มีทิศทางการสั่นที่แตกต่างกัน ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการออกแบบเครื่องมือแบบ Single-mode คือ ระยะห่างของตัวอย่างจากแมกนีตรอน โดยจะต้องมั่นใจว่าตัวอย่างถูกวางในตำแหน่งปฏิบัพของคลื่น

ข้อจำกัดของเครื่องมือแบบนี้คือ สามารถใส่ขวดตัวอย่างได้เพียงขวดเดียวต่อการฉายรังสีครั้งหนึ่งๆ อย่างไรก็ตาม หลังจากทีปฏิกิริยาเกิดขึ้นจนเสร็จสมบูรณ์ สารผสมจะเย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วย compressed air เครื่องมือเหล่านี้สามารถย่อยสลายสารได้ประมาณ 0.2-50 มิลลิลิตรในขวดแบบปิด (250 องศาเซลเซียส ที่ 20 บาร์) และที่ปริมาตรประมาณ 150 มิลลิลิตรในขวดแบบเปิด ข้อดีของเครื่องมือแบบนี้คือให้อัตราความร้อนที่สูง (ทั้งนี้เพราะตัวอย่างถูกวางไว้ในตำแหน่ง ปฏิบัพของไมโครเวฟ) แต่ในแบบ Multi-mode ความร้อนที่ได้จะเป็นความร้อนเฉลี่ย

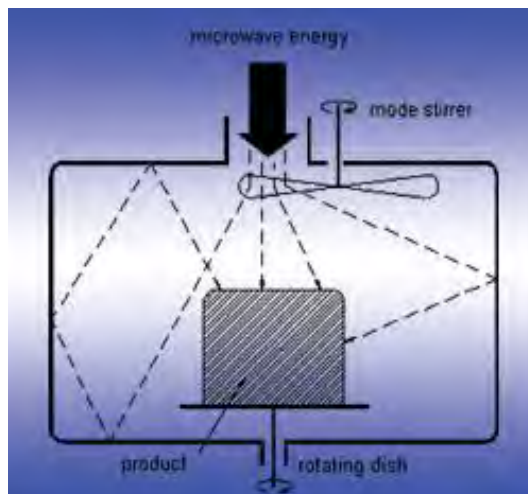


รูปที่ 6.3 การออกแบบเครื่องมือแบบ Single - mode ให้ตัวอย่างอยู่ในตำแหน่งปฏิบัติของคลื่นไมโครเวฟ

2. เครื่องมือแบบ Multi-mode

เครื่องมือแบบ Multi-mode จะมีส่วนประกอบที่จะทำให้ไม่เกิดคลื่นนิ่งภายใน แต่จะทำให้เกิดลักษณะ chaos (ความไม่เป็นระเบียบ) ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ยิ่งรังสีมีการกระจายออกมากเท่าไรก็จะยิ่งทำให้เกิดความร้อนมากขึ้นเท่านั้น Multi-mode สามารถให้ความร้อนแก่ตัวอย่างหลายๆ ขวดได้พร้อมกัน

ข้อจำกัดของเครื่องมือแบบนี้ คือ เมื่อรังสีกระจายรอบๆ ตัวอย่าง การควบคุมความร้อนของตัวอย่างจะทำได้ไม่ตื้นัก



รูปที่ 6.4 เครื่องมือแบบ Multi-mode

ข้อจำกัดของเครื่องมือ

ข้อจำกัดของเครื่องมือ ได้แก่ จะสามารถให้ความร้อนได้เฉพาะตัวอย่างที่มีการดูดกลืนไมโครเวฟเท่านั้น ปริมาณของสารที่เครื่องมือสามารถรองรับได้ในตอนนี้ยังอยู่ในระดับกรัมเท่านั้น จึงเป็นโจทย์สำคัญให้ผู้ผลิตทำการพัฒนาเครื่องมือให้สามารถนำไปใช้งานในระดับอุตสาหกรรมใหญ่ๆ ได้

นอกจากนี้อาจเกิดอันตรายขึ้นจากการใช้งาน แม้ว่าผู้ผลิตจะมีการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นด้วยวิธีการต่างๆ แล้ว แต่ก็ยังไม่สามารถควบคุมปฏิกิริยาที่อาจเกิดการระเบิดของสารระเหยภายใต้เงื่อนไขความร้อนยิ่งยวดได้ หรืออย่างในปฏิกิริยาของกรดซัลฟิวริกอาจไปทำลายขวดบรรจุสารที่ทำจากโพลีเมอร์ ด้วยอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นถึง 300 องศาเซลเซียสในระยะเวลาอันสั้น การใช้งานไมโครเวฟอาจส่งผลต่อร่างกายได้ โดยในช่วงความถี่ต่ำไมโครเวฟจะสามารถทะลุผ่านชั้นผิวหนังส่วนในช่วงความถี่สูงจะทะลุผ่านอวัยวะต่างๆ ซึ่งการที่ร่างกายได้รับไมโครเวฟเป็นระยะเวลานานอาจทำให้เนื้อเยื่อและเซลล์ของร่างกายตายและไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ หรืออาจจะไปทำลายสายดีเอ็นเอได้

เทคโนโลยีของไมโครเวฟได้กลายมาเป็นเทคโนโลยีทางเลือกในการเตรียมตัวอย่าง และการย่อยสลายสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ ที่มีความแข็งแรงมาก ในตอนหน้าติดตามกันต่อกับพัฒนาการของเครื่องย่อยสลายตัวอย่างด้วยไมโครเวฟในปัจจุบัน

ข้อมูลแคดเมียมที่ใช้ในการจัดทำแผนที่

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2554)

ลำดับ	ชื่อจุด	ชื่อแหล่งน้ำ	แคดเมียม	
			มก./กก. น้ำหนักแห้ง	มก./กก. น้ำหนักเปียก
1	Sed-BM-211	ห้วยสาขาแม่น้ำเมย	<0.05	<0.05
2	Sed-BM-212	ห้วยสาขาแม่น้ำเมย	0.065	0.048
3	Sed-BM-213	ห้วยสาขาแม่น้ำเมย	0.057	0.029
4	Sed-HK-208	ห้วยน้ำขาว	<0.05	<0.05
5	Sed-HK-209	ห้วยน้ำขาว	<0.05	<0.05
6	Sed-HK-210	ห้วยน้ำขาว	<0.05	<0.05
7	Sed-HL-182	ห้วยหลวง	0.545	0.435
8	Sed-HL-183	ห้วยหลวง	0.714	0.480
9	Sed-HL-184	ห้วยหลวง	3.59	2.62
10	Sed-HL-185	ห้วยหลวง	0.082	0.061
11	Sed-HL-186	ห้วยหลวง	0.089	0.074
12	Sed-HL-187	ห้วยหลวง	8.54	5.50
13	Sed-HL-188	ห้วยหลวง	<0.05	<0.05
14	Sed-HL-189	ห้วยหลวง	0.146	0.112
15	Sed-HL-190	ห้วยหลวง	<0.05	<0.05
16	Sed-HL-191	ห้วยหลวง	<0.05	<0.05
17	Sed-HL-192	ห้วยหลวง	<0.05	<0.05
18	Sed-HL-193	ห้วยหลวง	0.067	0.054
19	Sed-HL-194	ห้วยหลวง	<0.05	<0.05
20	Sed-HL-195	ห้วยหลวง	<0.05	<0.05
21	Sed-HL-196	ห้วยหลวง	0.052	0.042
22	Sed-HL-197	ห้วยหลวง	0.148	0.113
23	Sed-HL-198	ห้วยหลวง	<0.05	<0.05
24	Sed-HL-199	ห้วยหลวง	0.106	0.082
25	Sed-HL-200	ห้วยหลวง	<0.05	<0.05
26	Sed-HM-093	ห้วยม่วง	0.233	0.190
27	Sed-HM-094	ห้วยม่วง	1.16	0.957
28	Sed-HM-095	ห้วยม่วง	0.216	0.172
29	Sed-HM-096	ห้วยม่วง	0.074	0.062
30	Sed-HM-097	ห้วยม่วง	0.504	0.377
31	Sed-HM-098	ห้วยม่วง	3.20	2.58
32	Sed-HM-099	ห้วยม่วง	0.575	0.471

ลำดับ	ชื่อจุด	ชื่อแหล่งน้ำ	แคดเมียม	
			มก./กก. น้ำหนักแห้ง	มก./กก. น้ำหนักเปียก
33	Sed-HM-100	ห้วยม่วง	2.23	1.72
34	Sed-HM-101	ห้วยม่วง	0.492	0.462
35	Sed-HM-102	ห้วยม่วง	1.54	1.12
36	Sed-HM-103	ห้วยม่วง	0.294	0.223
37	Sed-HM-104	ห้วยม่วง	0.501	0.436
38	Sed-HM-105	ห้วยม่วง	0.169	0.143
39	Sed-HM-106	ห้วยม่วง	6.72	5.66
40	Sed-HM-107	ห้วยม่วง	0.389	0.346
41	Sed-HM-108	ห้วยม่วง	5.33	3.39
42	Sed-HM-109	ห้วยม่วง	0.910	0.669
43	Sed-HM-110	ห้วยม่วง	0.352	0.248
44	Sed-HM-111	ห้วยม่วง	0.572	0.456
45	Sed-MK-127	ห้วยแม่กุ	0.368	0.276
46	Sed-MK-128	ห้วยแม่กุ	0.778	0.558
47	Sed-MK-129	ห้วยแม่กุ	0.598	0.415
48	Sed-MK-130	ห้วยแม่กุ	0.539	0.318
49	Sed-MK-131	ห้วยแม่กุ	0.394	0.257
50	Sed-MK-132	ห้วยแม่กุ	1.41	1.24
51	Sed-MK-133	ห้วยแม่กุ	1.01	0.865
52	Sed-MK-134	ห้วยแม่กุ	0.363	0.289
53	Sed-MK-135	ห้วยแม่กุ	2.29	1.70
54	Sed-MK-136	ห้วยแม่กุ	0.851	0.592
55	Sed-MK-137	ห้วยแม่กุ	26.8	16.4
56	Sed-MK-138	ห้วยแม่กุ	11.6	9.26
57	Sed-MK-139	ห้วยแม่กุ	0.753	0.516
58	Sed-MK-140	ห้วยแม่กุ	0.258	0.197
59	Sed-MK-141	ห้วยแม่กุ	9.37	5.62
60	Sed-MK-142	ห้วยแม่กุ	15.6	12.3
61	Sed-MK-143	ห้วยแม่กุ	52.8	38.6
62	Sed-MK-144	ห้วยแม่กุ	40.1	34.4
63	Sed-MK-145	ห้วยแม่กุ	2.95	2.24
64	Sed-MK-146	ห้วยแม่กุ	17.4	12.3
65	Sed-MK-147	ห้วยแม่กุ	4.20	2.92
66	Sed-MK-148	ห้วยแม่กุ	6.37	4.64
67	Sed-MK-149	ห้วยแม่กุ	0.666	0.458

ลำดับ	ชื่อจุด	ชื่อแหล่งน้ำ	แคดเมียม	
			มก./กก. น้ำหนักแห้ง	มก./กก. น้ำหนักเปียก
68	Sed-MK-150	ห้วยแม่กุ	5.78	3.04
69	Sed-MK-151	ห้วยแม่กุ	3.28	2.36
70	Sed-MK-152	ห้วยแม่กุ	2.51	2.04
71	Sed-MK-153	ห้วยแม่กุ	3.61	2.85
72	Sed-MK-154	ห้วยแม่กุ	7.35	5.50
73	Sed-MK-155	ห้วยแม่กุ	6.95	5.05
74	Sed-MK-156	ห้วยแม่กุ	9.81	7.99
75	Sed-MK-157	ห้วยแม่กุ	3.73	2.87
76	Sed-MK-158	ห้วยแม่กุ	3.04	2.18
77	Sed-MK-159	ห้วยแม่กุ	2.56	1.94
78	Sed-MK-160	ห้วยแม่กุ	0.081	0.063
79	Sed-MK-161	ห้วยแม่กุ	0.183	0.139
80	Sed-MK-162	ห้วยแม่กุ	0.476	0.335
81	Sed-MK-163	ห้วยแม่กุ	0.346	0.263
82	Sed-MK-164	ห้วยแม่กุ	1.34	0.999
83	Sed-MK-165	ห้วยแม่กุ	0.131	0.108
84	Sed-MK-166	ห้วยแม่กุ	1.09	0.788
85	Sed-MK-167	ห้วยแม่กุ	<0.05	<0.05
86	Sed-MK-168	ห้วยแม่กุ	<0.05	<0.05
87	Sed-MK-169	ห้วยแม่กุ	<0.05	<0.05
88	Sed-MK-170	ห้วยแม่กุ	<0.05	<0.05
89	Sed-MK-171	ห้วยแม่กุ	0.370	0.357
90	Sed-MK-172	ห้วยแม่กุ	0.357	0.281
91	Sed-MK-173	ห้วยแม่กุ	0.254	0.182
92	Sed-MK-174	ห้วยแม่กุ	<0.05	<0.05
93	Sed-MK-175	ห้วยแม่กุ	0.092	0.071
94	Sed-MK-176	ห้วยแม่กุ	1.96	0.888
95	Sed-MK-177	ห้วยแม่กุ	11.7	8.20
96	Sed-MK-178	ห้วยแม่กุ	1.95	1.44
97	Sed-MK-179	ห้วยแม่กุ	1.11	0.476
98	Sed-MK-180	ห้วยแม่กุ	4.08	2.69
99	Sed-MK-181	ห้วยแม่กุ	0.257	0.157
100	Sed-MK-223	ห้วยแม่กุ	5.630	4.36
101	Sed-MK-224	ห้วยแม่กุ	0.238	0.196
102	Sed-MK-225	ห้วยแม่กุ	0.50	0.391

ลำดับ	ชื่อจุด	ชื่อแหล่งน้ำ	แคดเมียม	
			มก./กก. น้ำหนักแห้ง	มก./กก. น้ำหนักเปียก
103	Sed-MS-214	ห้วยแม่สอด	0.268	0.217
104	Sed-MS-215	ห้วยแม่สอด	1.22	0.888
105	Sed-MS-216	ห้วยแม่สอด	0.376	0.267
106	Sed-MS-217	ห้วยแม่สอด	0.054	0.047
107	Sed-MS-218	ห้วยแม่สอด	0.561	0.418
108	Sed-MS-219	ห้วยแม่สอด	0.448	0.296
109	Sed-MT-001	ห้วยแม่ตาว	2.78	2.11
110	Sed-MT-002	ห้วยแม่ตาว	1.35	0.888
111	Sed-MT-003	ห้วยแม่ตาว	2.96	2.29
112	Sed-MT-004	ห้วยแม่ตาว	20.8	14.2
113	Sed-MT-005	ห้วยแม่ตาว	5.58	4.48
114	Sed-MT-006	ห้วยแม่ตาว	7.32	4.96
115	Sed-MT-007	ห้วยแม่ตาว	3.99	3.09
116	Sed-MT-008	ห้วยแม่ตาว	6.42	4.32
117	Sed-MT-009	ห้วยแม่ตาว	6.26	5.20
118	Sed-MT-010	ห้วยแม่ตาว	6.45	4.53
119	Sed-MT-011	ห้วยแม่ตาว	0.916	0.819
120	Sed-MT-012	ห้วยแม่ตาว	1.92	1.66
121	Sed-MT-013	ห้วยแม่ตาว	7.61	5.41
122	Sed-MT-014	ห้วยแม่ตาว	8.97	6.81
123	Sed-MT-015	ห้วยแม่ตาว	17.7	13.7
124	Sed-MT-016	ห้วยแม่ตาว	5.24	4.26
125	Sed-MT-017	ห้วยแม่ตาว	14.0	11.0
126	Sed-MT-018	ห้วยแม่ตาว	7.54	4.10
127	Sed-MT-019	ห้วยแม่ตาว	17.8	14.0
128	Sed-MT-020	ห้วยแม่ตาว	5.05	3.56
129	Sed-MT-021	ห้วยแม่ตาว	5.14	3.41
130	Sed-MT-022	ห้วยแม่ตาว	33.2	25.2
131	Sed-MT-023	ห้วยแม่ตาว	6.53	4.83
132	Sed-MT-024	ห้วยแม่ตาว	5.16	3.05
133	Sed-MT-025	ห้วยแม่ตาว	4.33	4.16
134	Sed-MT-026	ห้วยแม่ตาว	24.0	18.8
135	Sed-MT-027	ห้วยแม่ตาว	23.5	17.5
136	Sed-MT-028	ห้วยแม่ตาว	16.9	13.6
137	Sed-MT-029	ห้วยแม่ตาว	1.65	0.947

ลำดับ	ชื่อจุด	ชื่อแหล่งน้ำ	แคดเมียม	
			มก./กก. น้ำหนักแห้ง	มก./กก. น้ำหนักเปียก
138	Sed-MT-030	ห้วยแม่ตาว	24.6	21.4
139	Sed-MT-031	ห้วยแม่ตาว	1.30	1.18
140	Sed-MT-032	ห้วยแม่ตาว	<0.05	<0.05
141	Sed-MT-033	ห้วยแม่ตาว	9.95	7.18
142	Sed-MT-034	ห้วยแม่ตาว	52.8	43.7
143	Sed-MT-035	ห้วยแม่ตาว	23.8	22.8
144	Sed-MT-036	ห้วยแม่ตาว	7.26	5.75
145	Sed-MT-037	ห้วยแม่ตาว	15.2	11.9
146	Sed-MT-038	ห้วยแม่ตาว	7.55	5.55
147	Sed-MT-039	ห้วยแม่ตาว	17.7	14.7
148	Sed-MT-040	ห้วยแม่ตาว	9.26	7.72
149	Sed-MT-041	ห้วยแม่ตาว	5.94	3.06
150	Sed-MT-042	ห้วยแม่ตาว	21.5	18.9
151	Sed-MT-043	ห้วยแม่ตาว	16.5	13.0
152	Sed-MT-044	ห้วยแม่ตาว	0.190	0.144
153	Sed-MT-045	ห้วยแม่ตาว	0.129	0.102
154	Sed-MT-046	ห้วยแม่ตาว	0.086	0.062
155	Sed-MT-047	ห้วยแม่ตาว	0.126	0.113
156	Sed-MT-048	ห้วยแม่ตาว	0.153	0.149
157	Sed-MT-049	ห้วยแม่ตาว	0.226	0.161
158	Sed-MT-050	ห้วยแม่ตาว	0.129	0.119
159	Sed-MT-051	ห้วยแม่ตาว	0.204	0.156
160	Sed-MT-052	ห้วยแม่ตาว	30.5	21.2
161	Sed-MT-053	ห้วยแม่ตาว	78.0	59.4
162	Sed-MT-054	ห้วยแม่ตาว	7.26	5.77
163	Sed-MT-055	ห้วยแม่ตาว	21.7	13.5
164	Sed-MT-056	ห้วยแม่ตาว	0.251	0.202
165	Sed-MT-057	ห้วยแม่ตาว	0.169	0.126
166	Sed-MT-058	ห้วยแม่ตาว	0.114	0.077
167	Sed-MT-059	ห้วยแม่ตาว	0.081	0.051
168	Sed-MT-060	ห้วยแม่ตาว	13.1	11.7
169	Sed-MT-061	ห้วยแม่ตาว	7.77	6.18
170	Sed-MT-062	ห้วยแม่ตาว	2.84	2.31
171	Sed-MT-063	ห้วยแม่ตาว	2.80	2.04
172	Sed-MT-064	ห้วยแม่ตาว	2.67	2.30

ลำดับ	ชื่อจุด	ชื่อแหล่งน้ำ	แคดเมียม	
			มก./กก. น้ำหนักแห้ง	มก./กก. น้ำหนักเปียก
173	Sed-MT-065	ห้วยแม่ตาว	1.52	1.37
174	Sed-MT-073	ห้วยแม่ตาว	1.96	1.42
175	Sed-MT-074	ห้วยแม่ตาว	0.170	0.133
176	Sed-MT-075	ห้วยแม่ตาว	0.142	0.097
177	Sed-MT-076	ห้วยแม่ตาว	0.141	0.116
178	Sed-MT-077	ห้วยแม่ตาว	0.194	0.140
179	Sed-MT-078	ห้วยแม่ตาว	0.212	0.180
180	Sed-MT-079	ห้วยแม่ตาว	0.696	0.584
181	Sed-MT-080	ห้วยแม่ตาว	0.213	0.163
182	Sed-MT-081	ห้วยแม่ตาว	0.181	0.147
183	Sed-MT-082	ห้วยแม่ตาว	0.230	0.202
184	Sed-MT-083	ห้วยแม่ตาว	0.252	0.205
185	Sed-MT-084	ห้วยแม่ตาว	0.226	0.174
186	Sed-MT-085	ห้วยแม่ตาว	0.196	0.152
187	Sed-MT-086	ห้วยแม่ตาว	0.219	0.171
188	Sed-MT-087	ห้วยแม่ตาว	0.085	0.070
189	Sed-MT-088	ห้วยแม่ตาว	0.060	0.048
190	Sed-MT-089	ห้วยแม่ตาว	0.087	0.071
191	Sed-MT-090	ห้วยแม่ตาว	0.058	0.051
192	Sed-MT-091	ห้วยแม่ตาว	0.101	0.092
193	Sed-MT-092	ห้วยแม่ตาว	<0.05	<0.05
194	Sed-MT-220	ห้วยแม่ตาว	13.9	10.5
195	Sed-MT-221	ห้วยแม่ตาว	0.318	0.282
196	Sed-MT-222	ห้วยแม่ตาว	0.117	0.100
197	Sed-NK-201	ห้วยหนองเขียว	2.73	2.05
198	Sed-NK-204	ห้วยหนองเขียว	<0.05	0.030
199	Sed-NK-205	ห้วยหนองเขียว	0.219	0.132
200	Sed-NK-206	ห้วยหนองเขียว	0.103	0.076
201	Sed-NK-207	ห้วยหนองเขียว	<0.05	<0.05
202	Sed-PD-226	รางระบายน้ำ A	10.48	8.62
203	Sed-PD-227	รางระบายน้ำ C	1.74	1.01
204	Sed-PD-228	รางระบายน้ำ C	18.53	15.9
205	Sed-PD-229	รางระบายน้ำ B	33.98	31.8
206	Sed-PD-230	รางระบายน้ำ B	32.65	29.9
207	Sed-PD-231	รางระบายน้ำ D	48.43	43.2

ลำดับ	ชื่อจุด	ชื่อแหล่งน้ำ	แคดเมียม	
			มก./กก. น้ำหนักแห้ง	มก./กก. น้ำหนักเปียก
208	Sed-PD-232	วางระบายน้ำ A	24.88	20.8
209	Sed-PD-233	วางระบายน้ำ D	42.98	33.1
210	Sed-YU-112	ห้วยย่ำคำเอ้อย	0.142	0.111
211	Sed-YU-113	ห้วยย่ำคำเอ้อย	10.9	9.66
212	Sed-YU-114	ห้วยย่ำคำเอ้อย	8.40	4.94
213	Sed-YU-115	ห้วยย่ำคำเอ้อย	5.25	4.78
214	Sed-YU-116	ห้วยย่ำคำเอ้อย	1.60	0.753
215	Sed-YU-117	ห้วยย่ำคำเอ้อย	0.757	0.594
216	Sed-YU-118	ห้วยย่ำคำเอ้อย	2.29	1.77
217	Sed-YU-119	ห้วยย่ำคำเอ้อย	6.27	4.92
218	Sed-YU-120	ห้วยย่ำคำเอ้อย	1.85	1.53
219	Sed-YU-121	ห้วยย่ำคำเอ้อย	0.623	0.428
220	Sed-YU-122	ห้วยย่ำคำเอ้อย	0.708	0.513
221	Sed-YU-123	ห้วยย่ำคำเอ้อย	5.33	3.72
222	Sed-YU-124	ห้วยย่ำคำเอ้อย	0.777	0.602
223	Sed-YU-125	ห้วยย่ำคำเอ้อย	5.15	3.74
224	Sed-YU-126	ห้วยย่ำคำเอ้อย	0.982	0.742
ร่างมาตรฐานตะกอนดินในแหล่งน้ำผิวดินของประเทศไทย			0.09	