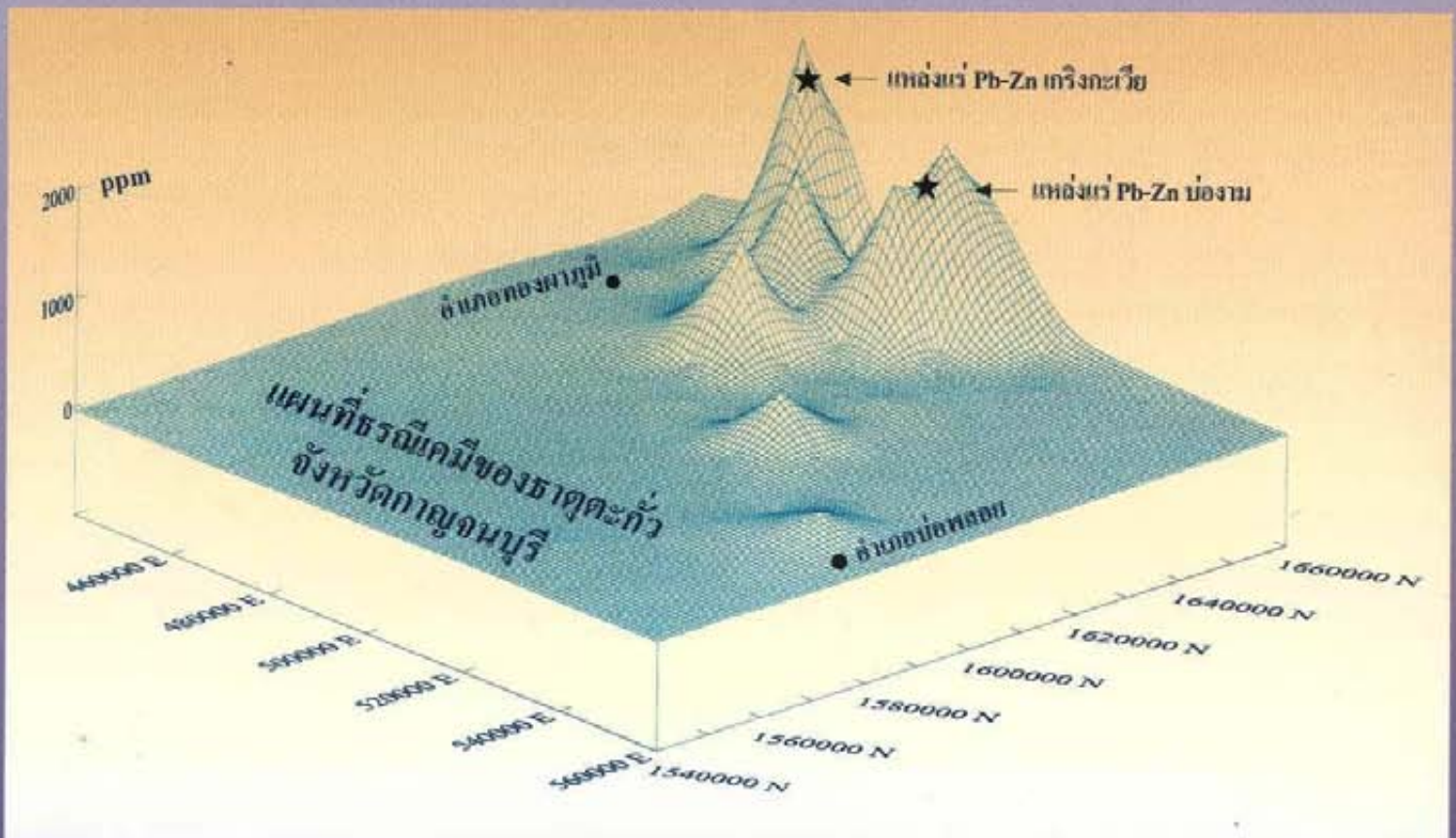




เอกสารเผยแพร่เศรษฐธรณีวิทยา ฉบับที่ กศ 4/2544

# การสำรวจธรณีเคมี

สมบูรณ์ เสกธีระ



กองเศรษฐธรณีวิทยา  
กรมทรัพยากรธรณี

เอกสาร "การสำรวจธรณีเคมี" ฉบับนี้ ผู้เขียนได้ปรับปรุงเพิ่มเติมเนื้อหาจากเอกสารเดิม เรื่อง "การสำรวจธรณีเคมี" ซึ่งผู้เขียนได้รวบรวมขึ้นจากเอกสารและหนังสือต่าง ๆ เกี่ยวกับวิชาการด้านธรณีเคมี และได้จัดพิมพ์ขึ้นในปี พ.ศ. 2528 สำหรับนักธรณีวิทยา ฝ่ายสำรวจธรณีเคมี กองเศรษฐธรณีวิทยา ใช้เป็นคู่มือประกอบการวางแผนงานและปฏิบัติงานสำรวจธรณีเคมีในสนาม เนื้อหาต่าง ๆ ในเอกสารนี้ ประกอบด้วยความรู้เบื้องต้น หลักเกณฑ์ วิธีการสำรวจ การวิเคราะห์ทางเคมี การวิเคราะห์ข้อมูลแปลความหมายข้อมูลทางธรณีเคมีอย่างย่อ ๆ เพื่อเป็นความรู้พื้นฐานเบื้องต้นเกี่ยวกับวิชาการด้านธรณีเคมี อนึ่ง เนื่องจากวิชาการด้านธรณีเคมีในประเทศไทยค่อนข้างจะอยู่ในวงจำกัด การใช้ศัพท์ต่าง ๆ ในภาษาไทยบางครั้งไม่สามารถแปลให้มีความหมายชัดเจนได้ เนื่องจากยังไม่มีการบัญญัติศัพท์ที่แน่นอนไว้ จึงจำเป็นต้องใช้รากศัพท์เดิม ซึ่งเป็นภาษาอังกฤษควบคู่ไปด้วย

จุดมุ่งหมายในการเขียนเอกสารเล่มนี้ เพื่อเผยแพร่ให้ผู้สนใจด้านการสำรวจธรณีเคมีได้ศึกษาเป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับคุณสมบัติทางธรณีเคมีของธาตุต่าง ๆ อันนำไปสู่การเกิดแหล่งแร่หลักเกณฑ์เบื้องต้นในการสำรวจธรณีเคมี ตั้งแต่การวางแผน การสำรวจ การเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์ตัวอย่าง และการแปลความหมายข้อมูล เพื่อเป็นแนวทางในการค้นคว้าเอกสารเพิ่มเติม และเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานสำรวจธรณีเคมี เพื่อค้นหาแหล่งแร่

เอกสารฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือของเจ้าหน้าที่จากฝ่ายธรณีเคมี และฝ่ายประเมินผล และจัดการทรัพยากรแร่ กองเศรษฐธรณีวิทยา ทั้งการให้คำแนะนำ การจัดพิมพ์และตรวจแก้ไข โดยเฉพาะ นายมานิตย์ จำนงค์ไทย นายทศพร นุชอนงค์ นายไพรัตน์ จรรย์หาญ นายสุวิทย์ เจียรระมันคง น.ส.ทวีพร สำเร็จทรัพย์ และ น.ส.จีระนันท์ หวังดี ซึ่งผู้เขียนขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ข้อเขียนต่าง ๆ ในเอกสารเล่มนี้ ยังคงมีข้อบกพร่องอีกมาก ผู้เขียนยินดีน้อมรับความผิดพลาด และขอแนะนำจากท่านทั้งหลาย กรุณาตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดต่าง ๆ และเสนอแนะข้อคิดเห็นต่าง ๆ ไปยัง กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี เพื่อจะได้มีการปรับปรุงเอกสารเรื่องนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น



(นายสมบุรณ์ เสกธีระ)

ผู้อำนวยการกองเศรษฐธรณีวิทยา

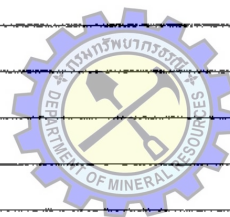


เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

33	ผลการสำรวจธรณีเคมีโดยการเก็บตัวอย่างดินแสดงด้วยเส้น Contour แทนค่าปริมาณธาตุตะกั่วสูงกว่าปกติ	44
34	ภาพตัดขวางแสดงลักษณะของชั้นดินชนิดต่าง ๆ	48
35	ภาพตัดขวางแสดง Lateritic iron crust บนชั้นดินบริเวณที่มีฝนตกชุก	49
36	ธาตุที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer	59
38	ธาตุที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ด้วยเครื่อง INAA	60
39	ธาตุที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ด้วยเครื่อง XRF	61
40	แผนภูมิแห่งการแผ่กระจายของข้อมูลในลักษณะต่าง ๆ กัน	66
41	การแผ่กระจายของข้อมูลในลักษณะที่ซ้อนกัน 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม A, B และ C	66
42	เส้นกราฟของผลวิเคราะห์สังกะสี 173 ตัวอย่าง เขียนลงใน Lognormal probability paper โดยมีเส้นขอบเขตของ 95% confidence Limits แสดงให้เห็น	68
43	กราฟซึ่งประกอบด้วยกลุ่มข้อมูล 2 กลุ่ม คือกลุ่ม A และ B โดยสามารถเลือกค่า threshold ที่ 99% ของ A และ 1% ของ B คือที่ 44 ppm. และ 78 ppm. ตามลำดับ	68
44	จุดเก็บตัวอย่างดินจากแหล่งแร่ทองแดง ภูโล้น บ้านน้อย อำเภอสังขาม จังหวัดหนองคาย	71
45	เส้นกราฟของผลวิเคราะห์สังกะสี จากแหล่งแร่ทองแดง ภูโล้น อำเภอบ้านน้อย อำเภอสังขาม จังหวัดหนองคาย	72
46	เส้นกราฟของผลวิเคราะห์ตะกั่ว จากแหล่งแร่ทองแดง ภูโล้น บ้านน้อย อำเภอสังขาม จังหวัดหนองคาย	73
47	เส้นกราฟของผลวิเคราะห์ทองแดง จากแหล่งแร่ทองแดง ภูโล้น บ้านน้อย อำเภอสังขาม จังหวัดหนองคาย	74
48	เส้นกราฟของผลวิเคราะห์ Ni จากตัวอย่างดิน 116 ตัวอย่าง บริเวณแหล่งแร่ Ni-Cu, Hope area, B.C.	76
49	ความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูล 2 กลุ่ม (A และ B) ในลักษณะต่าง ๆ	77
50	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุตามระยะทาง แสดงให้เห็น Anomaly Contrast	79
51	รูปแบบ Anomaly contrast ที่คำนวณมาจากข้อมูลทั้งหมด เปรียบเทียบกับ Anomaly contrast	79
52	การหาขนาดของดาวหาง โดยวิธีของ Geoffroy	80
53	การเขียนแผนที่ธรณีเคมี ในลักษณะต่าง กัน	81
	A การเขียนแผนที่ธรณีเคมี โดยใช้สัญลักษณ์หรือตัวเลข	
	B การเขียนแผนที่ธรณีเคมี โดยใช้ Isopleths	
	C การเขียนแผนที่ธรณีเคมี โดยใช้เส้น Contour	

## สารบัญตาราง

1.	ตารางธาตุ (Periodic Table)	9
2.	ตารางเปรียบเทียบปริมาณของธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่บนเปลือกโลก	10
3.	ค่าเฉลี่ยปริมาณของธาตุปริมาณน้อย (Minor elements) และธาตุร่องรอย (Trace elements) ในเปลือกโลก หินชนิดต่างๆ ดิน และน้ำ	11
4.	ตัวอย่างการอยู่ร่วมกันของธาตุต่างๆ ที่พบในหินชนิดต่าง ๆ	16-17
5.	การอยู่ร่วมกันของธาตุที่พบในแหล่งแร่ประเภทต่าง ๆ	18
6.	การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของธาตุต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมทุติยภูมิ	24
7.	ธาตุที่ใช้เป็น Pathfinders ในการหาแหล่งแร่ประเภทต่าง ๆ	25
8.	ตะกั่วกรดขนาดมาตรฐานขนาดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับขนาดของตะกั่ว	47
9.	การแบ่งกลุ่มข้อมูลจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดย probability graph	70
10.	สรุปข้อมูลทางสถิติของการแผ่กระจายของธาตุ ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีในดินตกบริเวณแหล่งแร่ภูโล้น	75
11.	สรุปข้อมูลทางสถิติของ Ni ในดิน Hope Area, B.C. แยกเป็นกลุ่มข้อมูล A, B และ C	76



# การสำรวจธรณีเคมี



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

**ธรณีเคมี (geochemistry)** เป็นวิทยาศาสตร์ประยุกต์แขนงหนึ่ง ซึ่งหมายถึง การศึกษา เกี่ยวกับคุณสมบัติทางเคมีของวัตถุต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติบนพื้นโลก ได้แก่ หิน ดิน น้ำ และพืช เป็นต้น การสำรวจธรณีเคมี (geochemical exploration) เป็นการสำรวจหาแหล่งแร่หรือพื้นที่ศักยภาพแหล่งแร่โดยวิธีธรณีเคมี ทั้งจำพวกแร่โลหะ อโลหะ น้ำมันดิบ หรือแก๊สธรรมชาติ ในการสำรวจธรณีเคมีนี้อาศัยการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุหรือ สารประกอบที่เกิดอยู่ในธรรมชาติ เช่น ในหิน ดิน น้ำ ตะกอนท้องน้ำ อากาศหรือ พืช ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการสำรวจ เพื่อให้ทราบถึงการแพร่กระจาย (distribution) ของธาตุหรือ สารประกอบในบริเวณต่าง ๆ เปรียบเทียบว่ามีมากน้อยเพียงใด แต่ละบริเวณมีค่าแตกต่างกันอย่างไร ถ้าพบบริเวณซึ่งแสดงค่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณธาตุใด ๆ ที่ได้ทำการแปลความหมายโดยวิธีการทางธรณีเคมีแล้วว่ามีค่าสูงกว่าค่าปกติ (anomaly) หรือสูงผิดปกติ (high erratic value) ก็จะเป็นแนวทางให้เห็นว่า บริเวณนั้นน่าจะมีศักยภาพทางแร่ของธาตุนั้น ๆ สูง หรืออาจจะนำไปสู่แหล่งแร่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจต่อไปในอนาคตได้

หนังสือตำราที่เกี่ยวกับวิชาการธรณีเคมีและการสำรวจแร่โดยวิธีธรณีเคมี ได้มีผู้เขียนไว้ไม่มากนัก ที่นิยมใช้กันแพร่หลายและยึดถือเป็นหลักในการสำรวจธรณีเคมีในปัจจุบัน ได้แก่ “Geochemistry in Mineral Exploration” โดย Rose Hawkasand Webb, (1979); “Introduction to Geochemistry” โดย Krowsopt (1967); “Principle of Geochemistry” โดย Mason (1966); Introduction to Exploration Geochemist โดย Levinson (1974) และ “Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits” โดย Beus and Crigorian (1975) นอกจากนี้ยังมีหนังสือ Handbook of Exploration Geochemistry พิมพ์เผยแพร่เป็นชุด (Series) โดย Elsevier และวารสาร “Journal of Geochemical Exploration” ซึ่งจัดทำโดย Association of Exploration Geochemists.

**จุดประสงค์และประโยชน์ของการสำรวจธรณีเคมี**

1. เพื่อหาบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่สูงหรือเป็นแหล่งแร่ ขอบเขต ทิศทางของแหล่งแร่ ให้เป็นข้อมูลในการกำหนดพื้นที่แหล่งแร่ เพื่อการจำแนกพื้นที่ออกจากพื้นที่ใช้สอยอื่น
2. เพื่อหาสัมพันธภาพของแร่ต่าง ๆ ตลอดจนความสัมพันธ์ของธาตุต่าง ๆ ศึกษาลักษณะการแพร่กระจายของธาตุต่าง ๆ จากแหล่งต้นกำเนิดมายังแหล่งสะสมตามขบวนการทางกายภาพและทางเคมี
3. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการค้นคว้าวิจัยทางด้านธรณีวิทยา และวิทยาศาสตร์แขนงอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง
4. เพื่อจำแนกพื้นที่ที่มีธาตุบางอย่างสูงกว่ำปกติ ซึ่งมีผลต่อการเกษตรกรรม
5. เพื่อศึกษาภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ทางด้านนิเวศวิทยา เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับเป็นหลักเกณฑ์พื้นฐานก่อนเกิดมลภาวะ เช่น ก่อนการทำเหมืองแร่ การแต่งแร่ การตั้งโรงงานอุตสาหกรรม ควรมีการศึกษาทางด้านธรณีเคมีก่อน และควรมีการศึกษาถึงผลกระทบภายหลังด้วย

จากผลประโยชน์ต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่า งานสำรวจธรณีเคมี มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับเป็นข้อมูลพื้นฐานซึ่งจะนำไปสู่การวางแผนปฏิบัติงานในด้านต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำมากขึ้น ในสมัยโบราณ การค้นพบแหล่งแร่นั้นได้จากการบอกเล่าของชาวบ้านหรือนักสำรวจภูมิประเทศซึ่งพบเห็นโดยบังเอิญ และนี่ก็เป็นจุดเริ่มต้นของการสำรวจแหล่งแร่ในเวลาต่อมา แหล่งแร่ที่พบในระยะแรก ๆ นั้นจึงเป็นแหล่งแร่ที่โผล่ให้เห็นบนผิวดิน หรือตามลำห้วยเท่านั้น

ในปัจจุบัน แหล่งแร่ต่าง ๆ ที่โผล่ให้เห็นหรือเกิดอยู่ในระดับต้นใกล้ผิวดินกำลังจะหมดไป ดังนั้น จึงได้มีการพยายามที่จะหาวิธีการใหม่ ๆ มาช่วยในการสำรวจหาแหล่งแร่ วิธีการเหล่านี้ ได้แก่ การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ การสำรวจธรณีเคมี การสำรวจธรณีฟิสิกส์ภาคพื้นดิน การศึกษาสภาพทางอากาศ และสภาพจากดาวเทียม



โดยมีการเจาะสำรวจในชั้นสุดท้าย เป็นต้น

ในการสำรวจเพื่อเสาะแสวงหาแหล่งแร่จำเป็นต้องคำนึงถึงหลักสำคัญ 3 ประการ คือ

1. ธรณีวิทยาแหล่งแร่และการกำเนิดของแหล่งแร่โดยทั่ว ๆ ไป
2. ข้อมูลทางด้านธรณีเคมีในบริเวณข้างเคียง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดและลักษณะของแหล่งแร่
3. วิธีการสำรวจที่เหมาะสม

ความรู้ทางด้านธรณีวิทยา เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการสำรวจหาแหล่งแร่แต่ไม่ใช่วิธีสำรวจโดยตรง เนื่องจากกรกำเนิดแหล่งแร่มักจะถูกควบคุมโดยปัจจัยทางธรณีวิทยาหลาย ๆ อย่างประกอบกัน เช่น โครงสร้างของหิน ลักษณะ และชนิดของหิน รวมทั้งลักษณะภูมิประเทศ และสภาพแวดล้อมในอดีต เป็นต้น ดังนั้นในการสำรวจเพื่อจำกัดขอบเขตบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่หรือเป็นแหล่งแร่ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำแผนที่ธรณีวิทยาโดยละเอียด เพื่อหาข้อจำกัดของปัจจัยที่ควบคุมการกำเนิดของแหล่ง เช่น ในการสำรวจแหล่งแร่ดีบุกในประเทศไทย จะหาได้ในบริเวณที่มีหินแกรนิต (granite) หรือบริเวณใกล้เคียงกับหินแกรนิต เป็นต้น แต่ในการสำรวจแร่ส่วนใหญ่เราไม่สามารถจะใช้ความรู้ทางธรณีวิทยาเพียงอย่างเดียวเพื่อหาแหล่งแร่ได้ จำเป็นต้องอาศัยเทคนิคอย่างอื่นมาประกอบในการสำรวจเพื่อจำกัดขอบเขตของแหล่งแร่ด้วย

การสำรวจแร่โดยวิธีธรณีเคมีเป็นเทคนิคที่ทันสมัยและมีการใช้อย่างต่อเนื่องแพร่หลายในการสำรวจหาแหล่งแร่ เป็นการศึกษาแก่กระจายของธาตุในบริเวณต่าง ๆ ที่เกิดอยู่ในธรรมชาติ ในปัจจุบันนี้เทคนิคต่าง ๆ ทั้งทางด้านการวิเคราะห์และการแปลความหมายได้มีวิวัฒนาการก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว มีการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำการวิเคราะห์ รวบรวมข้อมูล แปลความหมายทางธรณีเคมี และทำแผนที่ธรณีเคมี ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า วิธีการสำรวจธรณีเคมีนั้นเป็นที่ยอมรับว่ามีประสิทธิภาพในการหาแหล่งแร่ที่ถูกปกคลุมด้วยดิน หิน หรือสิ่งปกคลุมอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี แต่ในกรณีที่แหล่งแร่อยู่ในระดับลึกมาก ๆ นั้น การแปลความหมายทางธรณีเคมีจากการสำรวจโดยการเก็บตัวอย่างดิน ตะกอนตื้น น้ำ หรือวัสดุธรรมชาติอื่นคงเป็นปัญหาบ้าง เนื่องจากการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ทางธรณีเคมีนั้นต้องการศึกษาหรือหาค่าปริมาณโลหะที่อยู่ในรูปของรูปแบบการแพร่กระจายทุติยภูมิ (secondary dispersion pattern) ซึ่งหมายถึงโลหะที่แตกแยกตัวผุพังหรือละลายมาจากการแพร่กระจายจากแหล่งปฐมภูมิ (primary dispersion pattern) ในกรณีที่แหล่งปฐมภูมิ (primary source) อยู่ในบริเวณลึกมากเกินไป ก็ไม่สามารถจะถูกทำลาย ผุพังหรือละลายไปสะสมตัวในแหล่งทุติยภูมิได้ หรือเป็นไปได้น้อยมาก นอกจากบริเวณนั้นมีรอยแตกมากพอที่จะให้เกิดการแพร่กระจายของธาตุต่าง ๆ ได้ ฉะนั้น การเลือกวิธีการสำรวจธรณีเคมี เป็นเพียงขั้นตอนเบื้องต้นขั้นตอนหนึ่งในการสำรวจหาแหล่งแร่ แต่ในบางครั้งก็จำเป็นต้องทำการสำรวจโดยวิธีการอื่น ๆ เช่น การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ การสำรวจธรณีฟิสิกส์ภาคพื้นดิน การศึกษาภาพถ่ายจากดาวเทียม และการศึกษาภาพถ่ายทางอากาศ เป็นต้น

ในการสำรวจธรณีเคมีเพื่อหาแหล่งแร่ จะต้องศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับธรณีวิทยาแหล่งแร่ การกำเนิดแหล่งแร่ ตลอดจนข้อมูลธรณีวิทยาในบริเวณที่ต้องการสำรวจและบริเวณใกล้เคียงเพื่อการวางแผนในการสำรวจ เนื่องจากการกำเนิดของแหล่งแร่จะถูกควบคุมด้วยปัจจัยทางธรณีวิทยาหลาย ๆ ด้านประกอบกัน เช่น โครงสร้างทางธรณีวิทยา ลักษณะภูมิประเทศ สภาพแวดล้อมในอดีต และชนิดของหิน ซึ่งเป็นตัวการหรือต้นกำเนิดของแหล่งแร่ชนิดต่าง ๆ แหล่งแร่ต่าง ๆ ที่เกิดอยู่ภายในโลกหรือบนผิวโลกนั้นโดยปกติแล้วจะประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ หลายชนิดอยู่ร่วมกันหรือมีความสัมพันธ์กัน การอยู่ร่วมกันของธาตุนี้จะมีคุณสมบัติเฉพาะตามสภาพการกำเนิดและสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี จะเกิดอยู่ร่วมกันในแหล่งแร่ประเภทซัลไฟด์ แร่ดีบุก และ วุลแฟรม จะเกิดอยู่ร่วมกันในสายควอตซ์หรือสายเพกมาไทต์ เป็นต้น การเกิดร่วมของธาตุเหล่านี้จะมีธาตุร่องรอยชนิดอื่น ๆ ประปนอยู่ด้วยตามลักษณะของแหล่งแร่แต่ละประเภท ความสัมพันธ์ระหว่างธาตุนี้เองที่เป็นคุณสมบัติที่น่าค้นหาอย่างหนึ่งที่น่าสนใจในการสำรวจธรณีเคมี เนื่องจากธาตุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเคมีไม่เหมือนกัน บางธาตุละลายน้ำและเคลื่อนที่แพร่กระจายได้ดี บางธาตุไม่ละลายน้ำและเคลื่อนที่ยาก ฉะนั้นในการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ทางเคมี จะต้องเลือกชนิดของตัวอย่างและธาตุที่จะวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการสำรวจ ทั้งนี้เนื่องจากการวิเคราะห์หาธาตุที่ต้องการสำรวจโดยตรงจะกระทำได้อย่าง เสียค่าใช้จ่ายสูง หรือไม่เหมาะสมที่จะใช้วิธีการสำรวจธรณีเคมี เพราะมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมที่จะวิเคราะห์ทางเคมี จึงต้องวิเคราะห์หาธาตุอื่นที่เกิดร่วมหรือมีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่ที่ต้องการสำรวจ ซึ่งเป็นธาตุที่วิเคราะห์ง่ายกว่า เสียค่าใช้จ่ายน้อย และสามารถเป็นตัว

ชี้นำไปสู่แหล่งแร่ได้ดีกว่า เช่น การสำรวจหาแหล่งแร่ทองคำ แทนที่จะวิเคราะห์ทองคำโดยตรง อาจวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุสารหนูหรือทองแดง ธาตุที่ทำการวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นตัวชี้้นำสำหรับหาแหล่งแร่ชนิดอื่นนี้เรียกว่า ธาตุชี้นำ (Pathfinder element) การเลือกธาตุชี้นำจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติการอยู่ร่วมกันของธาตุ ความสามารถในการเคลื่อนที่ของธาตุจากต้นกำเนิดหรือจากแหล่งแร่ไปในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ กัน และความสะดวกในการวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อให้การสำรวจถูกต้องมากที่สุด ง่ายต่อการแปลความหมาย และเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

การสำรวจธรณีเคมีอย่างเป็นระบบ โดยทั่ว ๆ ไป สามารถแยกออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

### 1. การสำรวจหาข้อมูลเบื้องต้น (Orientation survey)

เป็นการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของบริเวณที่จะทำการสำรวจเพื่อให้ทราบสภาพทางธรณีวิทยาและสภาพทางธรณีเคมีของพื้นที่ซึ่งในแต่ละพื้นที่จะมีปัญหาแตกต่างกันตามลักษณะภูมิประเทศและธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้อง ฉะนั้นจะต้องทำการศึกษาก่อนว่าควรจะมีตัวอย่างชนิดใด ระยะเวลาระหว่างตัวอย่างเท่าใด และควรวิเคราะห์ธาตุอะไรบ้าง โดยวิธีใด ทั้งนี้ในการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจะต้องศึกษาในบริเวณที่พบแหล่งแร่แล้ว (ถ้ามี) และไม่เคยมีการทำเหมืองมาก่อน คือ ยังคงสภาพธรรมชาติจึงจะได้ข้อมูลถูกต้องตามความเป็นจริง เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการสำรวจต่อไป

### 2. การสำรวจธรณีเคมีบริเวณไพศาล (Regional geochemical survey)

เป็นการสำรวจเพื่อทำแผนที่ธรณีเคมีพื้นฐานในบริเวณกว้างๆ โดยการเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ มีพลัง (Action stream sediment) พร้อมร่อนหาแร่หลักในลำธาร เกลี่ยความหนาแน่นของตัวอย่างประมาณ 1 ถึง 10 ตารางกิโลเมตรต่อหนึ่งตัวอย่าง ในต่างประเทศที่มีพื้นที่กว้างมาก ๆ ในทำแผนที่ธรณีเคมีพื้นฐานขั้นต้นอาจเก็บตัวอย่างมีความหนาแน่นเพียง 100 ตารางกิโลเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง (การทำแผนที่ธรณีเคมีของโลก) การวิเคราะห์ทางเคมีควรทำการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ให้มากที่สุดตามที่เครื่องมือจะวิเคราะห์ได้ ซึ่งในปัจจุบันนี้มีเครื่องมือที่ทันสมัยสามารถวิเคราะห์ธาตุได้เป็นจำนวนมากในเวลาเดียวกัน เช่น เครื่องมือ Atomic Absorption Spectrometry (AAS) เครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES) เครื่องมือ Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) หรือเครื่องมือ X-ray Fluorescence Spectrometry (XRF) เป็นต้น เครื่องมือเหล่านี้สามารถทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุละเอียดถึงส่วนต่อล้านส่วน (ppm) หรืออาจวิเคราะห์ได้ละเอียดถึงส่วนต่อพันล้านส่วน (ppb) ผลผลิตที่ได้จากการประมวลผลและแปลความหมายข้อมูลจะแสดงถึงการแพร่กระจายของธาตุในบริเวณต่าง ๆ บริเวณไหนที่มีค่าปริมาณธาตุสูงผิดปกติจะเป็นบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่ของธาตุนั้นหรือธาตุที่เกิดร่วมสูง ซึ่งสามารถเลือกสรรพื้นที่เพื่อทำการสำรวจติดตามผลในขั้นตอนต่อไป นอกจากนี้แผนที่นี้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจำแนกพื้นที่เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านการเกษตร การควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

### 3. การสำรวจธรณีเคมีกึ่งรายละเอียด (Semi-detailed geochemical survey)

เป็นการสำรวจในบริเวณพื้นที่เลือกสรรที่ไม่กว้างขวางนักและพบว่ามีศักยภาพทางแร่ชนิดหนึ่งชนิดใดสูง ซึ่งเป็นผลมาจากการสำรวจธรณีเคมีบริเวณไพศาลที่ดำเนินการมาแล้ว หรือจากการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศและผลการสำรวจธรณีวิทยาแสดงว่าเป็นบริเวณที่น่าจะมีแหล่งแร่ จึงทำการสำรวจติดตามผลเพื่อหาขอบเขตของบริเวณที่คาดว่าจะมีแหล่งแร่ โดยการเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำหรือตัวอย่างดิน 2 ซ้ำงฝั่ง โดยมีระยะห่างระหว่างตัวอย่างน้อยลง คือ ประมาณ 200-500 เมตรต่อหนึ่งตัวอย่าง แล้วเลือกวิเคราะห์เฉพาะธาตุที่เกี่ยวข้องหรือมีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่เท่านั้น

### 4. การสำรวจธรณีเคมีขั้นรายละเอียด (Detailed geochemical survey)

เป็นการสำรวจหาแหล่งแร่ในบริเวณแคบ ๆ ที่คาดว่าจะมีแหล่งแร่หรือซ่อนอยู่ใต้พื้นผิว โดยการตัดแนว ขุดหลุมทดลอง เก็บตัวอย่างดินหรือตัวอย่างหินให้มีระยะห่างระหว่างตัวอย่างประมาณ 10-100 เมตร มาทำการวิเคราะห์หาธาตุที่เกี่ยวข้องกับแหล่งแร่เพื่อหาขอบเขตและทิศทางของแหล่งแร่ สำหรับเป็นแนวทางในการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่โดยละเอียด โดยการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ขุดหลุม หลุมทดลอง และเจาะสำรวจหาปริมาณและคุณภาพของแหล่งแร่ต่อไป

การสำรวจตามขั้นตอนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วจะเริ่มจากขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ลักษณะขนาดพื้นที่ที่ต้องการสำรวจ และข้อมูลที่มีอยู่แล้ว เช่น แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่ธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ หรือ

ข้อมูลอื่น ๆ เป็นตัวกำหนด ถ้าเป็นพื้นที่ขนาดเล็กก็สามารถทำการสำรวจชั้นกึ่งรายละเอียดหรือชั้นรายละเอียด เช่น ในกรณีของภาคเอกชนที่ขอขออนุญาตตรวจสอบพื้นที่ไม่มากนักก็อาจจะสำรวจชั้นกึ่งรายละเอียดหรือรายละเอียดได้เลย

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างทางเคมีไม่สามารถที่จะใช้กำหนดบริเวณที่เป็นแหล่งแร่โดยตรง จำเป็นต้องนำผลวิเคราะห์ทางเคมีมาศึกษาถึงคุณสมบัติการแพร่กระจายของธาตุ และเปรียบเทียบปริมาณธาตุในบริเวณต่าง ๆ โดยอาศัยวิธีการทางสถิติ แล้วทำการศึกษาแปลความหมายข้อมูลว่า บริเวณไหนมีค่าปริมาณธาตุสูงผิดปกติและน่าจะมีสาเหตุมาจากปัจจัยอะไรบ้าง ฉะนั้นจะต้องจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่ว่าบริเวณที่มีค่าผิดปกติ บริเวณใดมีความสำคัญกว่ากัน เพื่อวางแผนการสำรวจชั้นต่อไปให้ประสบผลสูงสุด ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงผลตอบแทนที่จะได้รับเพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการติดตามผลโดยการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ในระดับลึกต่อไป

วิธีการสำรวจธรณีเคมีเพื่อหาแหล่งแร่ ได้มีการใช้กันแพร่หลายในบริเวณภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งครอบคลุมประเทศไทย อินโด-จีน่า ผ่านแหลมมาเลเซีย สุอินโดนีเซียและฟิลิปปินส์ จนถึงปาปัวนิวกินี และหมู่เกาะโซโลมอน ได้มีรายงานการสำรวจธรณีเคมีในบริเวณเหล่านี้พิมพ์เผยแพร่ไว้ในวารสารต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น Watters and others, (1990); Andrew and others, (1991); Van Leau Wen, (1994); Dugmore and other, (1996); Lecompte and Zeegers (1992) และ Built and Zeegers (1992) ได้ศึกษาและอธิบายถึงวิธีการและรูปแบบของการสำรวจธรณีเคมี โดยการเก็บตัวอย่างดินในบริเวณที่มีฝนตกชุก (Tropical) Appleton and Ridgeway (1994) ได้ศึกษาและอธิบายถึงวิธีการเก็บตัวอย่างตะกอนธารน้ำ ในการสำรวจธรณีเคมีบริเวณที่มีฝนตกชุก Silletoe (1995) ได้สรุปรวบรวมผลการสำรวจธรณีเคมีและการค้นพบแร่โลหะพื้นฐานและทองคำในบริเวณ Cercean-Pacific และ SE Asian ในช่วง 25 ปีที่ผ่านมา Flether (1990), Flether and others (1984, 1987, 1995, 1996a, 1996b, 1999) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติในภาชนะผสมตัวของดินบุกและทองคำในตะกอนธารน้ำและวิธีการสำรวจธรณีเคมีเพื่อหาแร่ดีบุกและทองคำจากการเก็บตัวอย่างตะกอนธารน้ำ ในประเทศมาเลเซียและประเทศไทย นอกจากรายงานเอกสารดังกล่าวแล้ว Nichol (1994) ได้รวบรวมและจัดทำเอกสารเรื่อง "Geochemistry and Gold Exploration" กล่าวถึงหลักเกณฑ์และการเก็บตัวอย่างธรณีเคมีโดยวิธีการต่าง ๆ โดยเฉพาะการสำรวจทองคำในบริเวณที่มีฝนตกชุก

ประเทศไทย เริ่มทำการสำรวจหาแหล่งแร่โดยวิธีเก็บตัวอย่างธรณีเคมีมาตั้งแต่ปี 2506 เริ่มจาก กองเศรษฐกิจธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี ร่วมกับเจ้าหน้าที่จากสหประชาชาติ โดยผู้เชี่ยวชาญจาก United State Geological Survey (U.S.G.S) ได้ร่วมกันสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่บริเวณจังหวัดเลย ภายใต้โครงการสำรวจแร่ลุ่มแม่น้ำโขง (United Nation Makhong Minerals Project) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างเขื่อนฝายกั้นและผลกระทบจากการสร้างเขื่อน ผลการสำรวจธรณีเคมี ธรรมิฟิสิกส์ และการเจาะสำรวจในครั้งนั้นสามารถค้นพบแหล่งแร่ต่าง ๆ จำพวก ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี เหล็ก และแบไรต์ ฯลฯ จำนวน 58 แหล่ง (Jacobson and others, 1969) ต่อมาในปี 2518 กองเศรษฐกิจธรณีวิทยา โดยฝ่ายสำรวจธรณีเคมี ได้เริ่มทำการสำรวจธรณีเคมีบริเวณไพศาล แผนที่มาตราส่วน 1:250,000 อย่างเป็นทางการ โดยการเก็บตัวอย่างตะกอนธารน้ำ (stream sediments) เฉลี่ยความหนาแน่นของตัวอย่างประมาณ 10 ตารางกิโลเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง เริ่มจากพื้นที่ตามแผนที่ระวางจังหวัดลำปาง (สมบูรณ์ เสกธีระ และคณะ, 2521ก) และจังหวัดอุตรดิตถ์ (สมบูรณ์ เสกธีระ และคณะ, 2521ข) และขยายพื้นที่การสำรวจไปในบริเวณอื่น ๆ พร้อมกับสำรวจติดตามผลโดยการธรณีเคมีกึ่งรายละเอียดและชั้นรายละเอียด โดยการเก็บตัวอย่างดินพร้อมกันไปด้วย รวมทำการสำรวจไปจนถึงปี 2528 ประมาณ 10 ระวางแผนที่ จึงได้ปรับเปลี่ยนแผนงานการสำรวจธรณีเคมีบริเวณไพศาล เป็นการสำรวจธรณีเคมีเพื่อติดตามผลการบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ ภายใต้โครงการพัฒนาทรัพยากรธรณี ทำให้การดำเนินการสำรวจธรณีเคมีเพื่อทำแผนที่ธรณีเคมี มาตราส่วน 1:250,000 ได้หยุดชั่วคราว ไม่สามารถจัดทำแผนที่ธรณีเคมี มาตราส่วน 1:250,000 ได้ทั่วประเทศ ทั้ง 52 ระวาง อย่างไรก็ตาม กองเศรษฐกิจธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี ได้ดำเนินการสำรวจหาแหล่งแร่โดยวิธีธรณีเคมีอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ตัวอย่างรายงานสรุปผลการสำรวจธรณีเคมีที่ได้ดำเนินการไปแล้ว เช่น รายงานการสำรวจธรณีเคมี แผนที่ระวางอำเภอบ้านหมี่ โดย มานิตย์ จำนงค์ไทย และ สมบูรณ์ เสกธีระ (2526), รายงานการสำรวจธรณีเคมีบริเวณไพศาล แผนที่มาตราส่วน 1:250,000 ระวางจังหวัดสุพรรณบุรี โดย เพชรเยี่ยมทรัพย์ทวีรัง (2533) การสำรวจธรณีเคมีกึ่งรายละเอียดเบื้องต้นบริเวณอำเภอแม่สะเรียง และอำเภอแม่ลาน้อย จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดย มานิตย์ จำนงค์ไทย และสมบูรณ์ เสกธีระ (2529) การสำรวจธรณีเคมีรายละเอียดเบื้องต้น

บริเวณอำเภอแม่สะเรียง อำเภอแม่ลาน้อย และอำเภอขุนยวม จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดย นานิตย์ จำนงค์ไทย (2531), การสำรวจธรณีเคมีกึ่งรายละเอียดบริเวณพื้นที่โครงการพัฒนาตอตุ้ง จังหวัดเชียงราย โดย สมใจ เย็นสบาย (2531), รายงานการสำรวจธรณีเคมีเพื่อศึกษามูลเหตุการแพร่กระจายของสารหนูบริเวณ อำเภออ่อนพิบูลย์ จังหวัด นครศรีธรรมราช โดย สมบูรณ์ เสกธีระ และคณะ (2531), การสำรวจธรณีเคมีกึ่งรายละเอียดติดตามผลพื้นที่เขากระดาศ-เขาปลายคลองพลูทึบ อำเภอวังน้ำเย็น จังหวัดปราจีนบุรี โดย สมบูรณ์ เสกธีระ และคณะ (2532), การสำรวจธรณีเคมีกึ่งรายละเอียด พื้นที่ อำเภอเมือง-ชนแดน (PBI) จังหวัดเพชรบูรณ์ โดย ธงไชย หงษ์ทอง (2533), Geochemical Investigation in the Loei Region โดย Sudham Yaeminiyom (2531), รายงานเรื่อง Exploration Drilling Program on Phulon Copper Deposit, Amphoe Sand Kom, Changwat Nong Kai โดย Sudham Yaeminiyom and Ngarmpis Yaemiyon, (1983) เอกสารเรื่อง Geochemical dispersion of gold related to copper yold minialigation in northeastern Thailand โดย Nutchanon และคณะ (1991), และเอกสารเรื่อง Critical Reviews on Regional Geochemical Exploration for Base Metal and Gold Mineralizations along the Loei Phetchabun Fold, belt โดย Jumnongthai และคณะ เป็นต้น



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

## หลักการเบื้องต้น (Basic Principle)

การสำรวจธรณีเคมีต้องอาศัยคุณสมบัติทางเคมีของธาตุที่เกิดอยู่ตามธรรมชาติ จะต้องทำการสำรวจอย่างมีระบบ การวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุอาจจะเป็นธาตุเดี่ยวหรือหลายธาตุ วัสดุที่จะเก็บเป็นตัวอย่งสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีนั้นอาจจะเป็นหิน ดิน น้ำ ตะกอนท้องน้ำ หรือพืชขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแต่ละสภาพการจุดประสงค์ในการสำรวจและวิเคราะห์นี้ เพื่อหาบริเวณที่มีรูปแบบธรณีเคมีที่มีค่าสูงกว่าปกติจากบริเวณอื่น (anomalous geochemical pattern) ซึ่งอาจเป็นผลจากการมีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่

ในการศึกษาธรณีเคมีนั้น แยกออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. ทำการวิเคราะห์ทางเคมีเปรียบเทียบปริมาณของธาตุแต่ละชนิดที่เกิดอยู่บนผิวโลก
2. ศึกษาถึงการแพร่กระจาย และการเคลื่อนที่ของธาตุจากแหล่งเดิมไปสู่แหล่งใหม่ รวมทั้งความแตกต่างของปริมาณธาตุในบริเวณต่างๆ ในการศึกษาด้านธรณีเคมีนั้น ควรที่จะได้ศึกษาหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับธรณีเคมีก่อน เพื่อที่จะได้ใช้เป็นแนวทางในการวางแผนปฏิบัติงานให้ถูกต้อง เพื่อที่จะให้งานนั้นสัมฤทธิ์ผลอย่างมีประสิทธิภาพ

หลักการเบื้องต้นที่ควรจะได้ศึกษา คือ

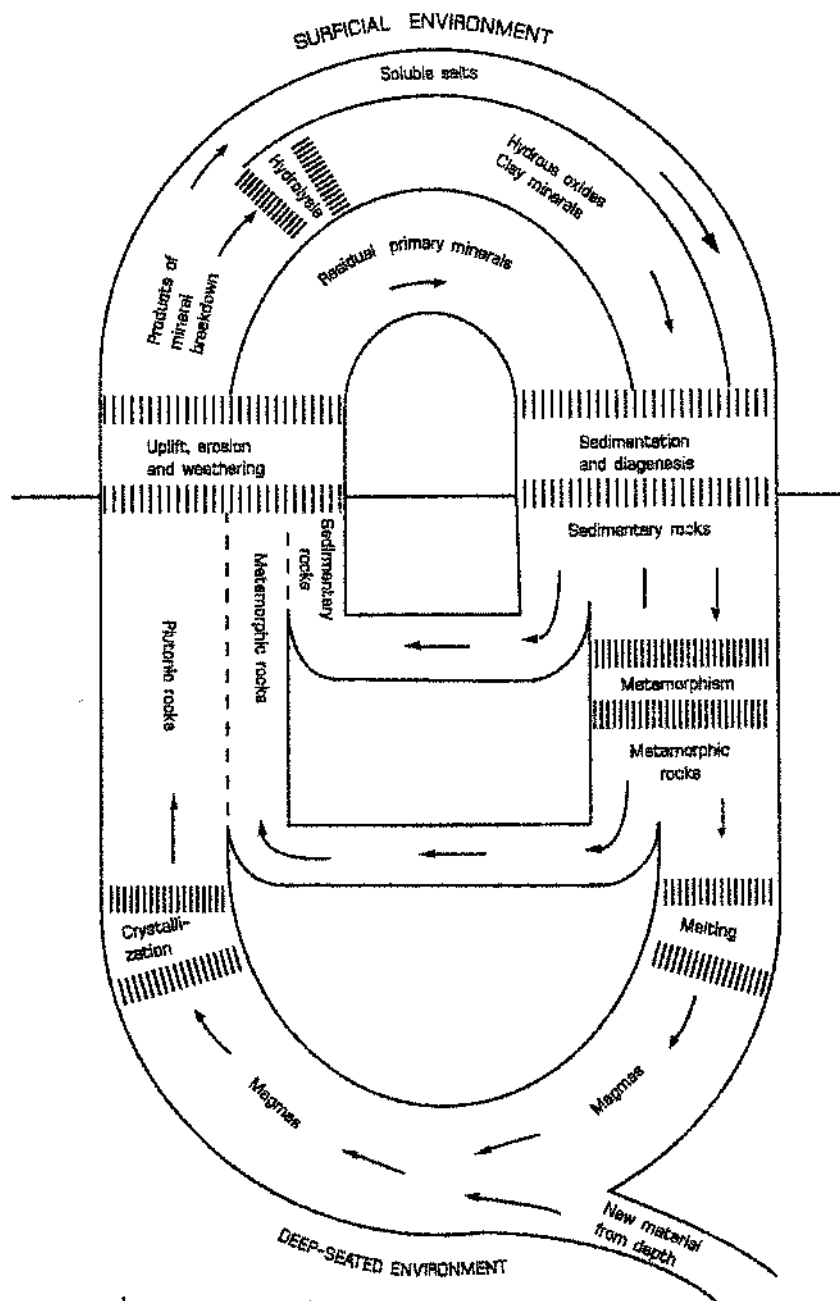
1. สภาพแวดล้อมทางธรณีเคมี
2. การแพร่กระจายทางธรณีเคมี
3. การเลือกชนิดของธาตุสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี

### 1. สภาพแวดล้อมทางธรณีเคมี (Geochemical environment)

ในทางธรณีวิทยาและทางธรณีเคมี วัสดุธรรมชาติจะมีการเคลื่อนที่อย่างมีระบบ (dynamic system) จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง และอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปและส่วนประกอบโดยขบวนการหลายๆ อย่าง เช่น การหลอมละลาย การตกผลึก การผุพัง ทำลายการละลาย การตกตะกอน การระเหย และการสลายตัวของแร่กัมมันตรังสี เป็นต้น ขบวนการเหล่านี้มีความซับซ้อนมากในภาวะทางธรณีเคมีได้กำหนดองค์ประกอบใหญ่ ๆ ได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ ส่วนประกอบทางเคมี และภาวะความคงทน (stability) ของแร่ในสารละลาย ดังนั้นสามารถแบ่งภาวะทางธรณีเคมีออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ภาวะภายใต้เปลือกโลกในระดับลึก (deep-seated) หรือสภาพแวดล้อมปฐมภูมิ (primary environment) และภาวะบนผิวโลก (surficial) หรือสภาพแวดล้อมทุติยภูมิ (secondary environment) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต



รูปที่ 1 วงจรธรณีเคมี คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Web (1979)

จากรูปที่ 1 วงจรทางธรณีเคมี เริ่มต้นจากสารหรือวัตถุที่ละลายตัวอยู่ในระดับลึกภายใต้ผิวโลกในลักษณะของหินหนืด และของไหล (magma and deep-seated fluids) ถูกดันตัวขึ้นมา ทำให้อุณหภูมิและความดันลดลง ทำให้เกิดการรวมตัวของธาตุตกผลึกเป็นแร่ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของหินอัคนีที่ระดับลึก (plutonic rocks) พร้อมกับการแยกตัวของส่วนที่เป็นของเหลว หินบางส่วนจะถูกแรงดันยกตัว ขึ้นสู่ผิวโลก และเกิดผุพังเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพและทางเคมี บางส่วนจะละลายไปกับน้ำผิวดิน บางส่วนจะระเหยไปในอากาศทำให้ส่วนประกอบเปลี่ยนแปลงไป ในที่สุดจะถูกพัดพาไปสะสมตัวและทับถมเป็นหินชั้น (Sedimentary rocks) เมื่อมีการทับถมกันมากขึ้น และถูกแรงกดดันมาก ๆ และอุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการแปรสภาพเป็นหินแปร (metamorphic rocks) โดยกระบวนการแปรสภาพ (metamorphism) และเมื่อได้รับความร้อน และความดันเพิ่มขึ้นก็จะเกิดหลอมตัวใหม่ เปลี่ยนสภาพเป็นของไหลรวมตัวกันเป็นหินหนืด และเกิดต้นตัวตกผลึกใหม่รวมตัวกันเป็นหินอัคนีชนิดต่าง ๆ หมุนเวียนเป็นวงจร เรียกวงจรนี้ว่า "วัฏจักรธรณีเคมี" ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน หรือ 2 สถานะ คือ ส่วนล่าง ประกอบด้วยกระบวนการแปรสภาพและกระบวนการแยกตัวของหินอัคนี (igneous differentiation) กระบวนการนี้จะเกิดอยู่ระดับลึก (deep-seated envi-

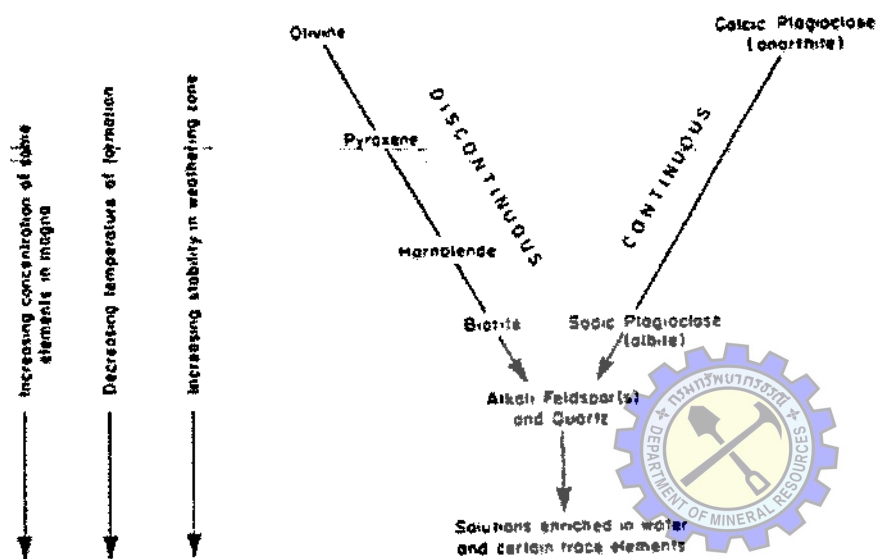
ronment) หรือสภาพแวดล้อมปฐมภูมิ (Primary environment) ส่วนตอนบนจะเป็นส่วนของการกัดกร่อน (erosion) การพัดพา (transportation) การทับถม (sedimentation) และการเกิดหินชั้นในสภาพแวดล้อมบนพื้นผิว (Surficial environment) หรือสภาพแวดล้อมทุติยภูมิ (secondary environment)

กระบวนการหรือปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในสภาพแวดล้อมที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้แก่ การกำเนิดของหินอัคนี การแปรสภาพ การแผ่กระจายของธาตุต่าง ๆ ในหิน การเคลื่อนที่ของธาตุ การแพร่กระจายของธาตุ การอยู่ร่วมกันของธาตุ กระบวนการผุพังสักร่อน กระบวนการพัดพา และกระบวนการสะสมตัวของธาตุ จะถูกควบคุมด้วยปัจจัยต่าง ๆ ทั้งทางเคมีและทางฟิสิกส์ ทำให้เกิดการกำเนิดของหินและแร่ชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติทางธรณีเคมีแตกต่างกัน ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

### 1.1 สภาพแวดล้อมปฐมภูมิ (Primary environment)

สภาพแวดล้อมปฐมภูมิ เป็นสภาพแวดล้อมที่อยู่ลึกลงไปใต้เปลือกโลก ซึ่งมีอุณหภูมิสูง ความดันสูง มีการไหลเวียนของของเหลวในที่ ๆ มีออกซิเจนต่ำ เกิดกระบวนการแปรสภาพ (metamorphism) และการแยกตัวของหินอัคนี หรือการเกิดหินหนืด (magmatism) กระบวนการที่เกิดขึ้นในสภาวะแวดล้อมนี้อาจเรียกได้หลายชื่อ เช่น primary hypogene หรือ endogene

การแผ่กระจายของธาตุในหินอัคนี (Distribution of element in igneous rock) หินอัคนี เกิดจากกระบวนการแยกตัว (differentiation process) ของแร่ธาตุชนิดต่างๆ จากหินหนืดภายในโลก โดยเริ่มต้นการตกผลึกของแร่จากหินหนืดที่มีส่วนประกอบหลักเป็นบะซอลต์ (basaltic composition) ในขณะที่หินหนืดเกิดการเย็นตัวลงอย่างช้า ๆ แร่ที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะเริ่มตกผลึกก่อนและแยกตัวออกมา ทำให้ของเหลวที่เหลือมีส่วนประกอบเปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ และแข็งตัวเกิดเป็นหินชนิดต่าง ๆ ตามสภาพแวดล้อมในการกำเนิด จากสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงจนถึงต่ำสุด ได้แก่ หินแกบโบร (gabbro) หินไดออไรต์ (diorite) หินแกรโนไดออไรต์ (granodiorite) หินแกรนิต (granite) และเพกมาไทต์ (pegmatite) ตามลำดับ โดยจะมีแร่ประกอบหิน (Rock forming minerals) ที่มีธาตุหลัก (major elements) เป็นส่วนประกอบ ได้แก่ ออกซิเจน (O) ซิลิคอน (Si) อะลูมิเนียม (Al) เหล็ก (Fe) แคลเซียม (Ca) โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) เป็นส่วนประกอบในรูปของสารประกอบซิลิเกต (SiO<sub>2</sub>) ธาตุเหล่านี้จะมีปริมาณรวมกันประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ของชั้นเปลือกโลก การกำเนิดของแร่ประกอบหินชนิดต่าง ๆ จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่ลดลงตามที่ Bowen's reaction series ที่แสดงไว้ในรูปที่ 2



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี

รูปที่ 2 Bowen's reaction series คัดลอกจาก Levinson, (1974)

นอกจากธาตุหลักทั้ง 8 ธาตุ ตามที่กล่าวมาแล้ว แร่ประกอบหินยังมีธาตุอื่น ๆ ผสมอยู่ ได้แก่ ธาตุที่มีปริมาณน้อย (minor elements) และธาตุร่องรอย (trace elements) ปนอยู่เป็นส่วนประกอบย่อย โดยการเข้าไปแทนที่ธาตุหลักในแร่ประกอบหิน ธาตุต่าง ๆ ที่พบในโลกปัจจุบัน มีจำนวน 103 ธาตุ ตามตารางธาตุที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 ธาตุเหล่านี้มีปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ธาตุที่มีปริมาณมากกว่า 1% เรียกว่า ธาตุหลัก (Major elements) มีปริมาณระหว่าง 1.0-0.01% เรียกว่า ธาตุปริมาณน้อย (minor elements) และ น้อยกว่า 0.01% เรียกว่า ธาตุร่องรอย (trace elements) ตามตารางที่ 2 ธาตุส่วนใหญ่จะมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตและมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ

ตารางที่ 1 ตารางธาตุ คัดลอกจาก Boyle (1974)

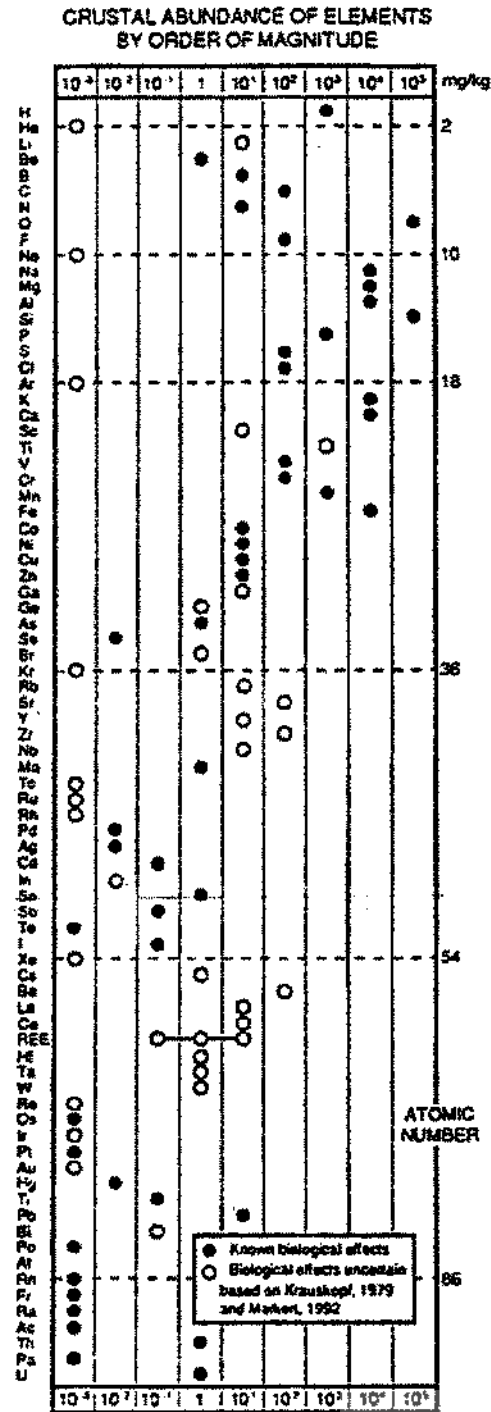
**PERIODIC TABLE**  
**ATOMIC WEIGHT BASED ON C<sup>12</sup> (1961)**

																												O	
IA																											Z		
1 H																											2 He		
1.008																											4.003		
3 Li	4 Be																	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne						
6.941	9.012																	10.81	12.011	14.007	16.00	18.998	20.183						
11 Na	12 Mg																	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar						
22.990	24.31	28.09	26.98	28.09	30.974	32.06	35.453	39.948																	36.97	39.948	39.948	79.904	79.904
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr												
39.102	40.08	44.96	47.88	50.94	51.996	54.94	55.845	58.933	58.71	63.546	65.39	69.723	72.63	74.922	78.96	79.904	83.80												
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe												
85.47	87.62	88.91	91.224	92.91	95.94	98.906	101.1	102.91	106.4	107.870	112.40	114.82	118.69	121.75	127.60	126.905	131.29												
55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu													
132.91	137.34	138.91	140.12	140.91	144.24	144.91	150.35	151.96	157.25	158.92	162.50	164.93	167.26	168.93	173.04	174.967													
87 Fr	88 Ra	89 Ac																											
(223)	(226)	(227)																											
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr																
232.04	(231)	238.03	(237)	(244)	(243)	(247)	(247)	(251)	(252)	(257)	(258)	(261)	(263)																



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรแร่  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบปริมาณของธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่บนเปลือกโลก คัดลอกจาก Damleys, et. al., (1995)



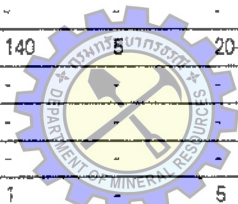
*A bundance of elements in the earth's crust, by order of magnitude*



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุปริมาณน้อย (Minor elements) และธาตุร่องรอย (Trace elements) ในเปลือกโลก  
หินชนิดต่าง ๆ ดิน และน้ำ คัดลอกจาก Levinson (1974)

Element	Earth's crust	Ultra- mafic	Basalt	Grano- diorite	Granite	Lime- Shale	Stone	Soil	River Water
Ag	0.07	0.06	0.1	0.07	0.04	0.05	1	0.1	0.3
As	1.8	1	2	1.5	15	2.5	1.50	2	
Au	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	-	0.002
B	10	5	5	20	15	100	10	2-100	10
Ba	425	2	250	500	600	700	100	100-3000	10
Be	2.8	-	0.5	2	5	3	1	6	-
Bi	0.17	0.02	0.15	-	0.1	0.18	-	-	-
Br	2.5	1	3.6	-	2.9	4	6.2	-	20
Cd	0.2	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	1	-
Ce	60	8	35	40	46	50	10	-	0.06
Cl	130	85	60	-	165	180	150	-	7800
Co	25	150	50	10	1	20	4	1-40	0.2
Cr	100	2000	200	20	4	100	10	5-1000	1
Cs	3	-	1	2	5	5	-	6	0.02
Cu	55	10	100	30	10	50	15	2-100	7
Dy	3	0.59	3	3.2	0.5	5	0.4	-	0.05
Er	2.8	0.36	1.69	4.8	0.2	2	0.5	-	0.05
Eu	1.2	0.16	1.27	1.2	-	1	-	-	0.07
F	625	100	400	-	735	740	330	-	100
Ga	15	1	12	18	18	20	0.06	15	0.09
Gd	5.4	0.65	4.7	7.4	2	6	0.6	-	0.04
Ge	1.5	1	1.5	1	1.5	1.5	0.1	1	-
Hf	3	0.5	2	2	4	3	0.5	-	-
Hg	0.08	-	0.08	0.08	0.08	0.5	0.05	0.03	0.007
Ho	0.1	0.01	0.1	0.1	0.1	0.1	0.02	-	-
Ir	0.0004	-	-	-	-	-	-	-	-
La	30	3.3	10.5	36	25	20	6	-	0.2
Li	20	-	10	25	30	60	20	5-200	3
Lu	0.50	0.064	0.20	-	0.01	0.5	-	-	0.008
Mn	950	1300	2200	1200	500	850	1100	850	7
Mo	1.5	0.3	1	1	2	3	1	2	1
Nb	20	15	20	20	20	20	-	-	-
Ni	75	2000	150	20	0.5	70	12	5-500	0.3
Os	0.0004	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	12.5	0.1	5	15	20	20	8	2-200	3
Pd	0.004	0.02	0.02	-	0.002	-	-	-	-
Pr	8.2	-	1.02	3.9	8.5	4.8	6	1	0.03
Pt	0.002	0.02	-	0.02	-	0.008	-	-	-
Rb	90	-	-	30	120	150	140	-	20-500
Re	0.0005	-	0.0005	-	0.0005	-	-	-	1
Rh	0.0004	-	-	-	-	-	-	-	-
Ru	0.0004	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb	0.2	-	0.1	0.2	0.2	0.2	1	5	1
Sc	16	-	10	38	10	5	15	5	0.004
Se	0.05	-	0.05	-	0.05	0.6	0.08	0.2	0.2
Sm	6	0.57	4.2	6.8	3	6	0.8	0.03	0.03



เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำ อดัดแปลงและแก้ไขใด ๆ ด้รับอนุญาต

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุปริมาณน้อย (Minor elements) และธาตุร่องรอย (Trace elements) ในเปลือกโลก.....(ต่อ)

Element	Earth's crust	Ultra-mafic	Basalt	Grano-diorite	Granite	Lime-Shale	Stone	Soil	River Water
Sn	2	0.5	1	2	3	4	4	10	-
Sr	375	1	465	450	285	300	500	50-1000	50
Ta	2	1	0.5	2	3.5	2	-	-	-
Tb	0.9	0.088	0.63	1.3	0.05	1	-	-	0.008
Te	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01	-	-	-
Th	10	0.003	2.2	10	17	12	2	13	0.1
Ti	5700	3000	9000	8000	2300	4600	400	5000	3
Tl	0.45	0.05	0.1	0.5	0.75	0.3	-	0.1	-
Tm	0.48	0.053	0.21	0.5	-	0.2	0.1	-	0.009
U	2.7	0.001	0.6	3	4.8	4	2	1	0.4
V	135	50	250	100	20	130	15	20-500	0.9
W	1.5	0.5	1	2	2	2	0.5	-	0.03
Y	30	-	25	30	40	25	15	-	0.7
Yb	165	50	160	140	180	160	20	300	-

ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยและร่องรอยที่พบในหินอัคนีแต่ละชนิด เกิดจากการแทนที่ของธาตุในแร่ประกอบหินซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของธาตุ 3 ประการ คือ ขนาดของไอออน (ionic size) วาเลนซี (valency) และชนิดของการจับตัวทางเคมี (type of chemical bond) ธาตุบางอย่างมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมในการแทนที่ ธาตุอื่นในโครงสร้างของแร่ประกอบหิน เนื่องจากขนาดของไอออนใหญ่กว่า และวาเลนซีมากกว่าหรือวาเลนซีสูง จะยังคงสะสมตัวอยู่ในของเหลวที่เหลือจากการแยกตัวของแร่จากหินหนืด ธาตุเหล่านี้ ได้แก่ ลิเทียม (Li) เบริลเลียม (Be) ไนโอเบียม (Nb) แทนทาลัม (Ta) ดีบุก (Sn) ยูเรเนียม (U) ทอเรียม (Th) ทังสแตน (W) เซอร์โคเนียม (Zr) และธาตุจำพวกหายาก (rare-earth elements) เป็นต้น ธาตุพวกนี้จะเกิดตกผลึกเป็นแร่ในระยสุดท้ายของกระบวนการแยกตัวของหินหนืด เกิดเป็นแหล่งแร่ร่วมกับหินเพกมาไทต์ เช่น แหล่งแร่ดีบุกในเพกมาไทต์

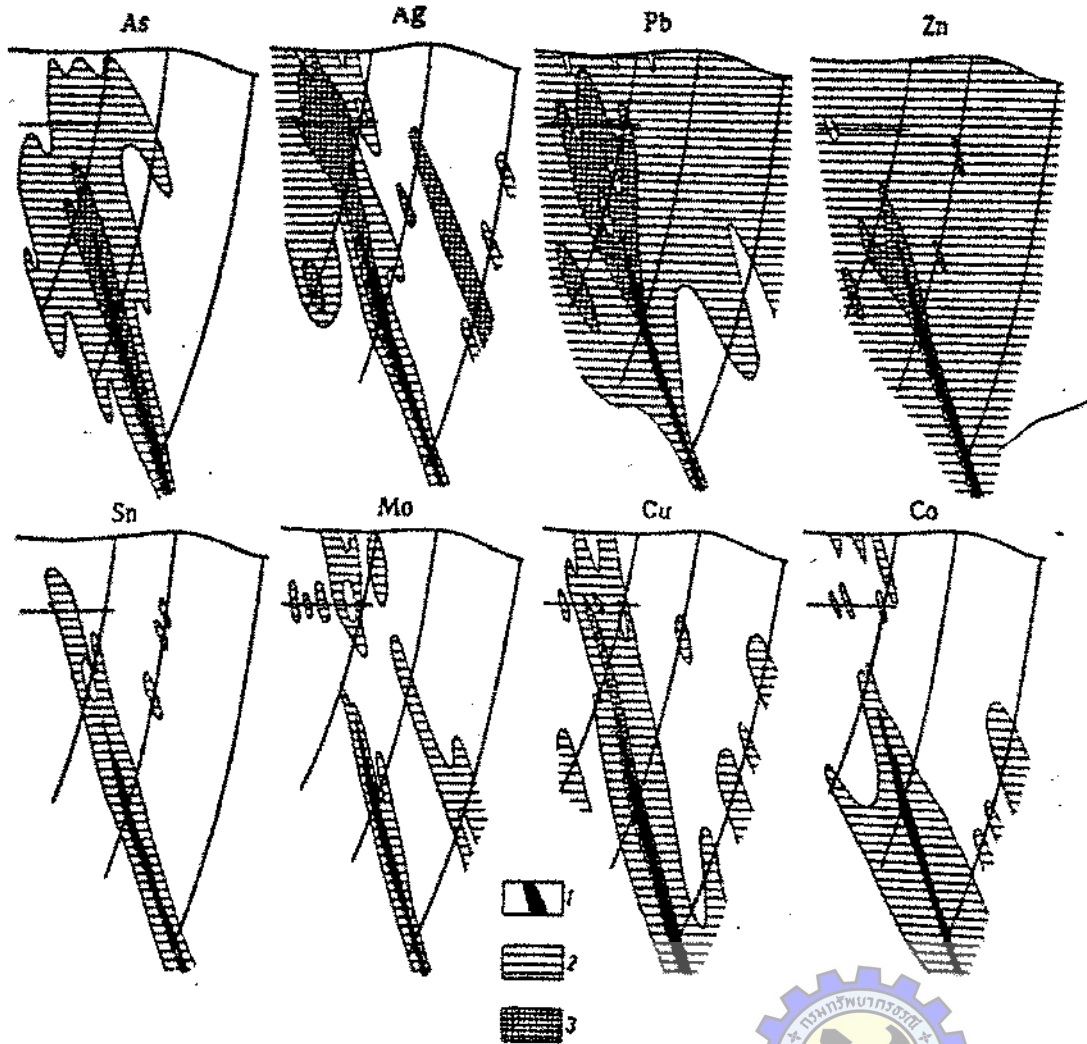
## 1.2 การแพร่ปฐมภูมิ (Primary dispersion)

การแพร่ปฐมภูมิ เป็นกระบวนการแพร่กระจายทางธรณีเคมี (geochemical dispersion) ที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ (Mobility) ของธาตุในสภาพแวดล้อมปฐมภูมิในระดับลึกใต้ผิวโลกในขณะที่มีการแข็งตัวของหินอัคนี การที่ธาตุหนึ่งสามารถแพร่กระจายจากจุดหนึ่งไปสะสมตัวในที่ใด ๆ มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมทั้งทางเคมี และทางฟิสิกส์ โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันทำให้เกิดการตกผลึกของแร่ประกอบหินและธาตุปริมาณน้อยหรือธาตุร่องรอย บางธาตุเข้าไปแทนที่ในโครงสร้างของแร่ประกอบหิน ธาตุเหล่านี้จะค่อย ๆ ถูกขจัดจากหินหนืดไปสะสมตัวอยู่ในหินทำให้ไม่สามารถรวมตัวเป็นแหล่งแร่ได้ ส่วนธาตุ ที่เหลือซึ่งมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมที่จะแทนที่ในโครงสร้างของแร่ประกอบหินก็จะยังคงปะปนอยู่กับหินหนืด และเคลื่อนที่ต่อไปจนพบสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมก็จะตกผลึกเป็นแร่ ซึ่งถ้ามีปริมาณมากพอก็จะประกอบเป็นแหล่งแร่ที่มีค่าทางเศรษฐกิจ เช่น แหล่งแร่ที่เกิดร่วมกับสายเพกมาไทต์ และแหล่งแร่แบบสายน้ำร้อน (Hydrothermal vein) เป็นต้น แหล่งแร่ประเภทนี้จะเกิดเป็นสาย (vein) มีขอบเขตจำกัด โดยจะมีปริมาณลดลงตามระยะห่างจากสายแร่ จนในที่สุดจะมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณธาตุที่มีอยู่ในหินบริเวณนั้น ขอบเขตของบริเวณที่มีปริมาณธาตุในหินมากกว่าบริเวณใกล้เคียง เรียกว่า ขอบเขตปฐมภูมิ (primary halos) ซึ่งจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการกำเนิดของแหล่งแร่ แหล่งแร่ส่วนใหญ่มีต้นกำเนิดจากหินอัคนี (igneous origin) หรือจากน้ำร้อน (Hydrothermal) จะประกอบด้วยบริเวณใจกลางที่เป็นสายแร่ที่มีความ

สมบรูณ์ของแร่สูง และปริมาณของธาตุจะลดลงตามระยะทางที่ห่างจากสายแร่ชนิดต่าง ๆ จะมีความสมบรูณ์ของแร่แตกต่างกันตามชนิดและคุณสมบัติของแร่ เช่น สายแร่แบไรต์และฟลูออไรต์ จะมีเปอร์เซ็นต์ของแร่แบไรต์ และฟลูออไรต์สูงมาก ในขณะที่สายแร่จำพวกซัลไฟด์ของทองแดง ตะกั่ว สังกะสี จะมีเปอร์เซ็นต์ค่อนข้างต่ำ ในขณะที่สายแร่ทองคำในแหล่งแร่ทองคำจะมีทองคำสะสมตัวอยู่ในสายแร่เพียงเล็กน้อยในปริมาณเพียงส่วนในล้านส่วน (ppm) เท่านั้น

คุณสมบัติการแพร่กระจายของธาตุและการเกิด primary halos จะเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่ใช้เป็นหลักในการสำรวจธรณีเคมี โดยการเก็บตัวอย่างหินบริเวณพื้นผิวหรือการเจาะสำรวจในระดับลึก เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุในหินในบริเวณต่าง ๆ กัน ซึ่งสามารถใช้วิธีการสำรวจโดยการเก็บตัวอย่าง หินในการสำรวจโดยวิธีธรณีเคมีทุกขั้นตอน ทั้งการสำรวจบริเวณไพศาล และการสำรวจธรณีเคมีโดยละเอียด และการเจาะสำรวจเพื่อหาปริมาณสำรอง ตัวอย่างขอบเขตการแพร่กระจายของธาตุต่าง ๆ บริเวณแหล่งแร่ ได้แสดง ไว้ตามรูปที่ 3 และรูปที่ 4

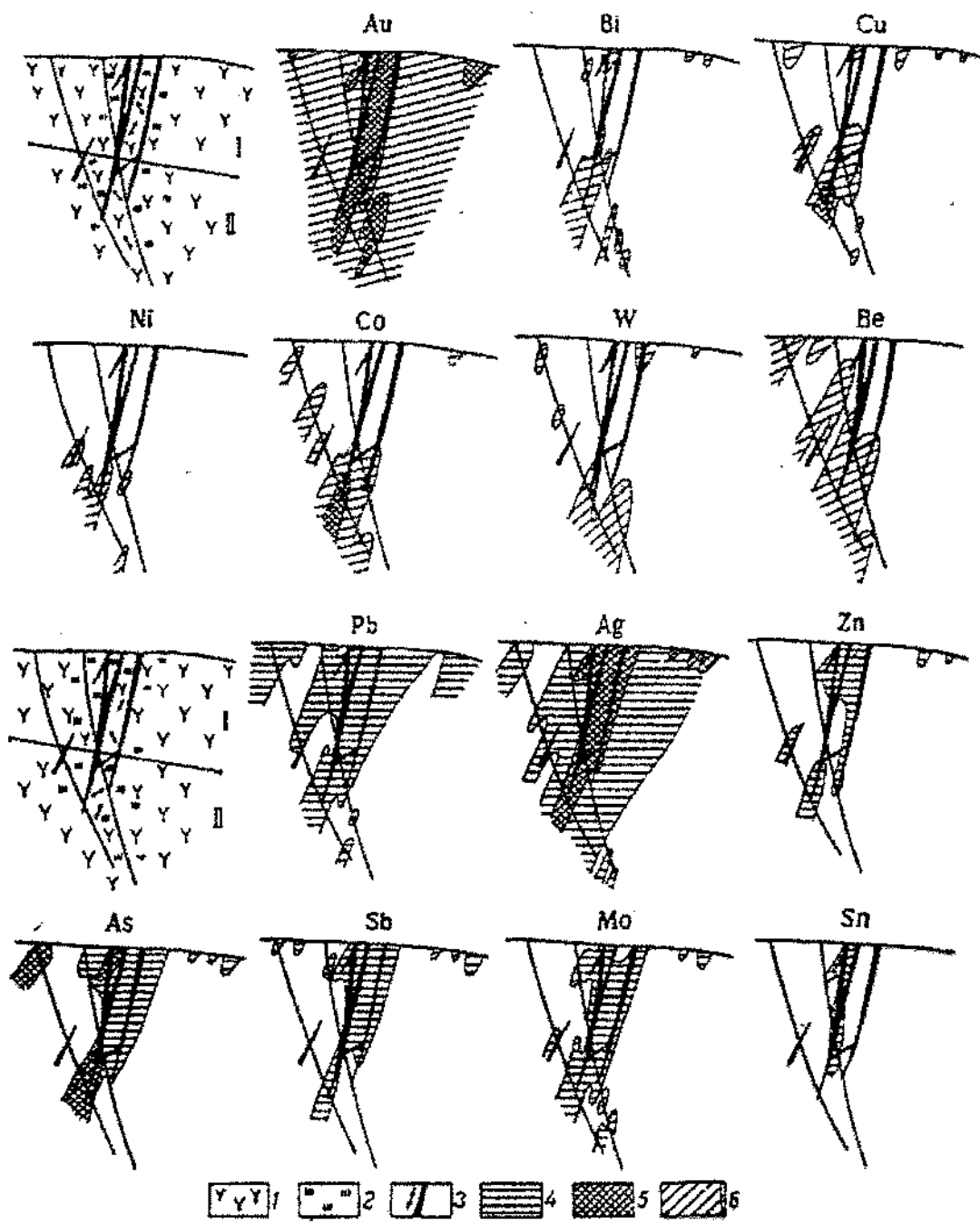
การแพร่ของธาตุไปในหินข้างเคียงในขณะที่เกิดแหล่งแร่ จำแนกได้ 2 ลักษณะ คือ



รูปที่ 3 ตัวอย่างการเกิด Primary halos รอบๆ สายแร่บริเวณแหล่งแร่ของธาตุต่างๆ ในลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกัน

- 1 = สายแร่      2 = บริเวณที่มีปริมาณธาตุมากผิดปกติระดับ 1  
 3 = บริเวณที่มีปริมาณธาตุมากผิดปกติระดับ 2 คัดลอกจาก Beus and Crigorian (1977)





รูปที่ 4 Primary halos ของธาตุต่างๆ บริเวณแหล่งแร่ทองคำในหินอัคนี  
 1 = Andisite porphyries 2 = Altered rocks 3 = Goldbearing vein  
 4, 5, 6 = element contents คัดลอกจาก Beus and Grigorian (1977)



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
 ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

1. การเกิด diffusion aureole โดยการที่ธาตุโลหะในสารละลายน้ำร้อนแพร่กระจายเข้าไปสะสมอยู่ในหินรอบ ๆ สายแร่ขณะเกิดสายแร่ทำให้เกิด dispersion halos ของธาตุแต่ละชนิดแตกต่างกันรอบ ๆ สายแร่

2. การแทรกซึมของน้ำแร่ (infiltration) ของน้ำแร่ไปตามรอยแตกของหินหรือช่องว่างของหิน (porosity) เกิด Leakage anomaly ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ทั้งด้านบนและด้านล่างของสายแร่

ข้อแตกต่างของ diffusion aureole และ Leakage anomaly ดังเกิดได้คือ Leakage anomaly จะแทรกซึมไปได้เป็นระยะทางไกลกว่า อาจไปได้ไกลหลายร้อยเมตร ขึ้นอยู่กับรอยแตกและความพรุนของหิน ส่วน diffusion ส่วนใหญ่จะไปได้ไกลไม่เกิน 30 เมตร

### 1.3 การอยู่ร่วมกันของธาตุ (Association of elements)

ธาตุที่พบบนโลกมักจะเกิดอยู่ร่วมกันเป็นกลุ่มตามคุณสมบัติทางเคมีที่คล้ายคลึงกันขึ้นอยู่กับขนาดของ ionic radiuses จำนวน valency และชนิดของ chemical bond ทำให้ธาตุหลัก (Major elements) จำนวน 8 ธาตุ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว เกิดรวมตัวกันเป็นแร่จำพวกซิลิเกต รวมกันเป็นหินชนิดต่าง ๆ ในขณะที่ธาตุปริมาณน้อยและธาตุร่องรอยบางธาตุจะเข้าไปแทนที่แร่ประกอบหิน และบางธาตุจะรวมตัวเป็นแหล่งแร่หรือแพร่กระจายอยู่รอบ ๆ แหล่งแร่

Goldschmidt (1954) ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของธาตุ และจัดแบ่งกลุ่มธาตุออกเป็นกลุ่ม (รูปที่ 3) ตามความสัมพันธ์ทางธรณีเคมี ออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

1. Siderophile : ได้แก่ ธาตุที่รวมตัวกับออกซิเจนและกำมะถันได้ยาก จึงมักจะรวมตัวอยู่ร่วมกันกับเหล็กภายในใจกลางโลก (Earth's core)
  2. Chalcophile : ได้แก่ ธาตุที่รวมตัวกับกำมะถันได้ง่าย เกิดเป็นแร่ประเภทซัลไฟด์
  3. Lithophile : ธาตุที่รวมตัวกันเป็นแร่จำพวกซิลิเกต ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเปลือกโลก
  4. Atmosphere : ธาตุที่เกิดอยู่ในชั้นบรรยากาศในสภาวะที่เป็นก๊าซ
- รูปที่ 5 เป็นการแบ่งกลุ่มธาตุตาม Goldsmith แบบง่าย ๆ ซึ่งจะเห็นว่าตามความเป็นจริง มี

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	(Tc)	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	RARE EARTH	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	(Po)	(At)	Rn
(Fr)	Ra	ACTINOIDS															

Rare Earth or Lanthanide Group

La	Ce	Pr	Nd	(Pm)	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
----	----	----	----	------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Actinide Group

(Ac)	Th	(Pa)	U
------	----	------	---



รูปที่ 5 Goldschmidt's geochemical classification of element คัดลอกจาก Levinson (1974) เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

บางธาตุที่สามารถอยู่ในกลุ่มได้มากกว่า 1 กลุ่ม เช่น ทองคำ (Au) ในเบื้องต้น จะประกอบอยู่ในกลุ่มของ siderophile แต่มักจะเกิดอยู่ร่วมกับแร่ซัลไฟด์ในกลุ่ม Chalcophile ส่วนโครเมียม (Cr) มักจะพบปนอยู่ในหิน (Lithophile) บนพื้นผิวโลก แต่ในสภาวะแวดล้อมที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอก็สามารถรวมตัวกับธาตุเหล็กและ

กำมะถันเกิดเป็น  $FeCr_2S_4$  ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม Chalcophile อย่างไรก็ตาม การจัดกลุ่มในลักษณะนี้สามารถอธิบายถึงการอยู่ร่วมกันของธาตุตามธรรมชาติ การจัดตารางกลุ่มธาตุแบบนี้มีความสัมพันธ์กับ ตารางธาตุตาม Periodic chart ซึ่งได้จัดกลุ่มไว้ตามคุณสมบัติของ electronic configuration และ periodic characteristic อย่างไรก็ตาม การแบ่งกลุ่มธาตุออกเป็น 4 กลุ่ม ตามวิธีของ Goldsmith ก็ยังมีการใช้กันแพร่หลายในหนังสือวิชาการธรณีเคมี (Lavinson, 1974)

คุณสมบัติของการอยู่ร่วมกันของธาตุต่างๆ ทั้งที่เป็นธาตุหลักและธาตุรองรอย ได้นำมาใช้เป็น หลักการและแนวทางในการสำรวจหาแหล่งแร่โดยวิธีธรณีเคมี ทั้งนี้เนื่องจากแหล่งแร่ต่าง ๆ จะมีกลุ่มธาตุที่อยู่ร่วมกันแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมของการกำเนิด เช่น แหล่งแร่ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี จะเกิดอยู่ร่วมกันในแหล่งแร่ประเภทซัลไฟด์ โดยมีธาตุรองรอยอื่น ๆ เกิดอยู่ร่วมในความสัมพันธ์การสำรวจธรณีเคมี หากพบธาตุหนึ่งก็อาจคาดได้ว่าจะต้องพบอีกธาตุหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างธาตุ จึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่นำมาใช้เป็นหลักในการสำรวจธรณีเคมี เนื่องจากหากจะวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่ต้องการจะสำรวจหาโดยตรง ในบางครั้งอาจจะวิเคราะห์ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูงหรือไม่ได้ผล เพราะมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมที่จะทำการสำรวจ โดยวิธีธรณีเคมีจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ธาตุอื่นที่มักเกิดอยู่ร่วมกันหรือมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ซึ่งวิเคราะห์ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าเช่น การสำรวจหาทองคำในชั้นดิน แทนที่จะวิเคราะห์หาทองคำโดยตรงซึ่งเสียค่าใช้จ่ายสูง ก็ควรจะวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอื่นที่เกิดร่วมเช่น ออร์เซนิก หรือพลวง เป็นต้น ธาตุต่าง ๆ ที่เกิดร่วมนี้เรียกว่า ธาตุชี้แนะ (pathfinder element) การเกิดอยู่ร่วมกันของธาตุต่าง ๆ ในหินและแหล่งแร่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 และที่ 5

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการอยู่ร่วมกันของธาตุต่างๆ ที่พบในหินชนิดต่างๆ คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979)

Group	Association
Generally associated elements	<p><b>K-Rb</b></p> <p><b>Ca-Sr</b></p> <p><b>Al-Ga</b></p> <p><b>Si-Ge</b></p> <p><b>Zr-Hf</b></p> <p><b>Nb-Ta</b></p> <p><b>Rare earths, La, Y</b></p> <p><b>Pt-Ru-Rh-Pd-Os-Ir</b></p>



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรแร่  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการอยู่ร่วมกันของธาตุต่างๆ ที่พบในหินชนิดต่างๆ ..... (ต่อ)

Group	Association
<b>Plutonic rocks</b>	
General association (lithophile elements)	Si-Al-Fe-Mg-Ca-Na-K-Ti-Mn-Zr-Hf- Th-B-U-Be-Ne-Li-Sr-Ba-P-V-Cr-Sn-Ga- Nb-Ta-W-the halogens-rare Earths
<b>Specific associations</b>	
Felsic igneous rocks	Si-K-Na
<b>Specific associations</b>	
Alkaline igneous rocks	Al-Na-Zr-Ti-Nb-Ta-F-P-rare earths
Mafic igneous rocks	Fe-Mg-Ti-V
Ultramafic rocks	Mg-Fe-Cr-Ni-Co
Some pegmatitic differentiates	Li-Be-B-Rb-Cs-rare earths-Nb-Ta-U-Th
Some contact metasomatic deposits	Mo-W-Sn
Potash feldspars	K-Ba-Pb
Many other potash minerals	K-Na-Rb-Cs-Tl
Ferromagnesian minerals	Fe-Mg-Mn-Cu-Zn-Co-Ni
<b>Sedimentary rocks</b>	
Fe-oxides	Fe-As-Co-Ni-Se
Mn-oxides	Mn-As-Ba-Co-Mo-Ni-V-Zn
Phosphorite	P-Ag-Mo-Pb-F-U
Black shales	Al-Ag-As-Au-Bi-Cd-Mo-Ni-Pb-Sb- V-Zn

ตารางที่ 5 การอยู่ร่วมกันของธาตุในแหล่งแร่ประเภทต่าง ๆ คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979)

Type of deposit	Major components	Associated elements
Magnetic deposits		
Chromite ores (Bushveld)	Cr Ni, Fe, Mg	
Layered magnetite (Bushveld)	Fe V, Ti, P	
Immiscible Cu-Ni-sulfide (Sudbury)	Cu, Ni, Cu	Pt, Co, As, Au
Pt-Ni-Cu in layered		
Intrusion (Bushveld)	Pt, Ni, Cu	Cr, Co, S
Immiscible Fe-Ti-oxide		
(Allard Lake)	Fe, Ti	P
Nb-Ta carbonatite (Oka)	Nb, Ta	Na, Zr, P
Rare-metal pegmatite	Be, Li, Cs, Rb	B, U, Th, rare earths
<b>Hydrothermal deposits</b>		
Porphyry copper (Bingham)	Cu, S	Mo, Au, Ag, Re, As, Pb, Zn, K
Porphyry molybdenum (Climax)	Mo, S	W, Sn, F, Cu



เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรแร่  
ห้ามทำซ้ำเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ตารางที่ 5 การอยู่ร่วมกันของธาตุในแหล่งแร่ประเภทต่าง ๆ ..... (ต่อ)

Type of deposit	Major components	Associated elements
Skarn-magnetite (Iron Springs)	Fe	Cu, Co, S
Skarn-Cu (Yerington)	Cu, Fe, S	Au, Ag
Skarn-Pb-Zn (Hanover)	Pb, Zn, S	Cu, Co
<b>Hydrothermal deposits</b>		
Skarn-W-Mo-Sn (Bishop)	W, Mo, Sn	F, S, Cu, Be, Bi
Base-metal veins	Pb, Zn, Cu, S	Ag, Au, As, Sb, Mn
Sn-W greisens	Sn, W	Cu, Mo, Bi, Li, Rb, Si, Cs, Re, F, B
Sn-sulfide veins	Sn, S	Cu, Pb, Zn, Ag, Sb
Co-Ni-Ag vein (Cobalt)	Co, Ni, Ag, S	As, Sb, Bi, U
"Epithermal" precious metal	Au, Ag	Sb, As, Hg, Te, Se, S, U
Mercury	Hg, S	Sb, As
Uranium vein	U	Mo, Pb, F
Copper in basalt (L. Superior type)	Cu	Ag, As, S
Volcanogenic massive-sulfide Cu	Cu, S	Zn, Au
Volcanogenic massive-sulfide Zn-Cu-Pb	Zn, Pb, Cu, S	Ag, Ba, Au, As
Au-As-rich Fe formation	Au, As, S	Sb
Mississippi Valley Pb-Zn	Zn, Pb, S	Ba, F, Cd, Cu, Ni, Co, Hg
Mississippi Valley fluorite	F	Ba, Pb, Zn
Sandstone-type U	U	Se, Mo, V, Cu, Pb
Red-bed Cu	Cu, S	Ag, Pb
Calcrete U	U	V
<b>Sedimentary types</b>		
Copper shale (Kupferschiefer)	Cu, S	Ag, Zn, Pb, Co, Ni, Cd, Hg
Copper sandstone	Cu, S	Ag, Co, Ni



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรแร่  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

#### 1.4 สภาพแวดล้อมทุติยภูมิ (Secondary environment)

สภาพแวดล้อมทุติยภูมิ หมายถึง สภาพแวดล้อมที่อยู่ช่วงบนของเปลือกโลกหรือบนผิวโลกมีการผุพัง (Weathering) ผุพังทำลาย (Erosion) และการทับถม (deposition) เป็นภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันต่ำและค่อนข้างคงที่ มีการถ่ายเทของน้ำและอากาศได้ดี มีออกซิเจน น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ มาก

สภาพแวดล้อมทุติยภูมิ มีความสำคัญสูงสุดในขบวนการทางธรณีเคมี หินและแร่ชนิดต่างๆ ที่มีความคงทนถาวรในสภาพแวดล้อมปฐมภูมิส่วนใหญ่จะไม่คงทนถาวรในสภาพแวดล้อมทุติยภูมิ โดยจะเกิดการสลายตัวหรือถูกกัดกร่อน ผุพัง และพัดพาไปสะสมตัวในดิน ในน้ำ หรือบางส่วนจะระเหยไปอยู่ในชั้นบรรยากาศในรูปของสารประกอบชนิดใหม่ แร่ใดที่มีความคงทนถาวรและมีความแข็งแกร่งทนทานต่อการผุพังก็就会被พัดพาไปสะสมตัวในแหล่งใหม่เป็นเม็ดแร่ (clastic) การที่แร่ต่าง ๆ ที่กำเนิดอยู่เดิมสลายตัวถูกพัดพาไปสะสมตัวใหม่นี้ ทำให้เกิดขอบเขตบริเวณที่มีปริมาณธาตุหรือแร่สูงกว่าบริเวณใกล้เคียงที่เรียกว่าขอบเขตการแพร่ทุติยภูมิ (Secondary dispersion halos) กระบวนการที่ทำให้แร่เคลื่อนที่ไปสะสมตัวในแหล่งใหม่ในภาวะแวดล้อมทุติยภูมินั้นจะแตกต่างจากกระบวนการเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมปฐมภูมิ และขอบเขตการแพร่ก็จะแตกต่างกันออกไปตามคุณสมบัติการเคลื่อนที่ของธาตุ

#### 1.5 กระบวนการผุพัง (Weathering process)

การสลายตัวผุพังของหินและแร่ เกิดจากปัจจัยและกระบวนการที่สำคัญ 3 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ (physical process) กระบวนการทางเคมี (chemical process) และกระบวนการทางเคมีชีวภาพ (Biochemical process) กระบวนการทางกายภาพ หมายถึง กระบวนการที่ทำให้หินหรือแร่เกิดการแตกแยกสลายตัว โดยไม่ทำให้ส่วนประกอบของหินหรือแร่และคุณสมบัติเดิมเปลี่ยนแปลงไป กระบวนการทางเคมี หมายถึง กระบวนการที่ทำให้หินหรือแร่เกิดการสลายตัว ผุพัง ทำให้แร่เดิมเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบใหม่ที่มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากเดิม กระบวนการทางเคมีเกิดจากการที่น้ำ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และตัวการทางเคมีอื่น ๆ ไปทำปฏิกิริยากับแร่เดิม ทำให้แร่เดิมเกิดการสลายตัวเกิดเป็นสารประกอบหรือแร่ชนิดใหม่ กระบวนการทางเคมีชีวภาพ เกิดจากการที่อินทรีย์วัตถุต่าง ๆ เหล่านี้มักจะเกิดร่วมกัน โดยจะขึ้นอยู่กับภาวะแวดล้อมว่ากระบวนการไหนจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงมากกว่ากัน เช่น ในบริเวณที่อากาศแห้งแล้งเป็นทะเลทราย หรือมีความสูงมาก ๆ การผุพังทำลายจะเกิดจากกระบวนการทางกายภาพเป็นส่วนใหญ่ในทางตรงข้ามในบริเวณที่มีฝนตกชุก ปฏิกิริยาทางเคมีจะเป็นตัวการสำคัญทำให้แร่ธาตุละลายตัวผุพัง ส่วนอินทรีย์วัตถุหรือกระบวนการทางชีวภาพมักจะช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะในบริเวณชั้นผิวดิน

องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการสีกกร่อนประกอบด้วยปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่

1. ความคงทนถาวรของแร่
2. สภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ และปริมาณของฝน
3. ลักษณะภูมิประเทศ ความสูงของพื้นที่ และการหลั่งไหลของน้ำ

ความคงทนถาวรและความยากง่ายของการสลายตัวผุพังของหินจะแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่และส่วนประกอบของหินโดยปกติแล้วแร่ที่เกิดในขณะมีอุณหภูมิสูงจะมีความคงทนถาวรน้อยกว่า แร่ที่เกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า โดยความคงทนถาวรของแร่จะเกิดขึ้นตามกระบวนการของ Bowen's reaction series ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2

##### 1.5.1 การผุพังทางกายภาพ (Physical Weathering)

เป็นการผุพังที่เกิดจากกระบวนการหรือตัวการทางฟิสิกส์หรือทางกลศาสตร์ที่กระทำต่อแร่หรือหิน เริ่มจากการแตกแยกภายในหินซึ่งเกิดจากแรงกดดันบีบอัดขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของผิวโลกทำให้เกิดรอยแตกขึ้นระหว่างหน้าสัมผัสของแร่หรือหิน ทั้งนี้ เนื่องจากกการขยายตัวและหดตัวของแร่แต่ละชนิด

ไม่เท่ากัน นอกจากนั้นการหดและขยายตัวของหินที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก็เป็นสาเหตุสำคัญในการผุพังของหินในบริเวณที่มีอากาศหนาวและฝนตกชุก การหดและขยายตัวของหินภายในรอยแตกหรือช่องว่างภายในหินที่มีรูพรุน ก็เป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดการผุพัง นอกจากนี้ยังมีตัวการทางกลศาสตร์อื่น ๆ อีกมากที่ทำให้เกิดการผุพังของแร่ เช่น กระแสน้ำ กระแสลม และจากแรงโน้มถ่วงของโลก เป็นต้น

### 1.5.2 การผุกร่อนทางเคมี (Chemical weathering)

หมายถึง ปฏิกริยาทางเคมีที่จะเกิดขึ้นในธรรมชาติระหว่างหิน หรือแร่กับตัวการอื่น ๆ เช่น อากาศ น้ำ แร่ธาตุอื่น ๆ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดัน กระบวนการเหล่านี้จะเกิดขึ้นในบริเวณผิวโลกหรือใต้ผิวโลกที่มีการหมุนเวียนของน้ำใต้ดิน ในภาวะดังกล่าวนี้ปริมาณของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำจะมีเป็นจำนวนมาก อุณหภูมิ และความดันต่ำ แร่หลายๆ ชนิดทั้งจำพวกซิลิเกต (silicates) และซัลไฟด์ (Sulphides) ซึ่งมีความคงทนถาวรในภาวะแวดล้อมปฐมภูมิจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพื่อให้เกิดความสมดุลย์ในภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไป ด้วยเหตุนี้เองธาตุที่มีความสัมพันธ์กันหรือเกิดอยู่ร่วมกันเป็นสารประกอบในภาวะแวดล้อมปฐมภูมิจะเกิดการแยกตัวออกจากกัน และเคลื่อนที่แพร่กระจายออกไปจากแหล่งเดิมในรูปของสารประกอบชนิดใหม่ได้ในรูปของอิออน (ion) ของธาตุ ไหลไปปะปนอยู่ในน้ำหรือในดิน ปฏิบัติการที่เกิดขึ้นตามกระบวนการเหล่านี้ ค่อนข้างจะสลับซับซ้อนและเกิดขึ้นหลายรูปแบบ เช่น การเกิด hydration, hydrolysis, oxidation, action of acid, dissolution, colloidal formation และการเกิด exchange reactions เป็นต้น

ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผุกร่อนทางเคมีแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ

1. ส่วนประกอบที่ละลายน้ำ เกิดเป็นแร่ใหม่
2. แร่ที่ทำปฏิกริยาแตกตัวออกมาแล้วไม่ละลายน้ำจะสะสมเป็นก้อนอยู่ในบริเวณแหล่งเดิมหรือถูกพัดพาไปสะสมตัวในแหล่งอื่น
3. แร่ธาตุเดิมที่ไม่ทำปฏิกริยาทางเคมี แตกเป็นก้อนเล็ก ๆ ทับถมอยู่ในแหล่งเดิมหรือถูกพัดพาธาตุหรือสารประกอบที่ละลายน้ำได้จะเคลื่อนที่ปะปนไปกับน้ำในลักษณะของสารละลายไปสะสมตัวอยู่ในดินและหินที่รองรับอยู่ด้านล่าง หรือไหลไปกับน้ำในลำห้วยลำคลอง ลงแม่น้ำไปสู่ทะเลหรือทะเลสาบ ธาตุและสารประกอบเหล่านี้จะทิ้งร่องรอยของแร่เดิมไว้ตามที่ต่าง ๆ ที่ไหลผ่าน โดยจะถูกดูดซับไว้ในดินหรือตะกอนท้องน้ำ ทำให้ดินหรือตะกอนท้องน้ำในบริเวณนั้นมีปริมาณของธาตุสูงผิดปกติไปจากบริเวณใกล้เคียง ส่วนแร่ที่ไม่ละลายน้ำ หลังจากเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดเป็นสารประกอบหรือแร่ไปแล้ว จะสะสมตัวอยู่ในบริเวณแหล่งแร่เดิมถึงถูกพัดพาไปสะสมตัวอยู่ในบริเวณใกล้เคียง แร่ประเภทนี้ ได้แก่ เหล็ก ออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์ แร่ดิน (clay minerals) แร่ประเภทซิลิเฟต คาร์บอนเนต และซิลิเกต เป็นต้น แร่พวกนี้บางครั้งจะมีคุณสมบัติพิเศษ สามารถดูดซับเอาธาตุร่องรอยที่ละลายอยู่ในน้ำเข้าไปสะสมตัวอยู่ในตัวแร่พวกนี้ได้ เช่น แร่เหล็กออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์ และแร่ดิน ซึ่งคุณสมบัติอันนี้ได้นำมาใช้เป็นแนวทางในการสำรวจแร่เคมีโดยการเก็บตัวอย่างดินและตะกอนท้องน้ำ เพื่อวิเคราะห์หาธาตุร่องรอยที่ใช้เป็นตัวชี้แนะ

### 1.5.3 การผุกร่อนโดยเคมีชีวภาพ (Biogeochemical weathering)

เป็นกระบวนการผุกร่อนที่มีอินทรีย์วัตถุเป็นตัวการทำให้เกิดการผุพังโดยกระบวนการทั้งทางฟิสิกส์และทางเคมี เช่น การทำปฏิกริยาของธาตุดิน แบคทีเรียบางชนิด สารอินทรีย์ของรากต้นไม้ตามรอยแตกของหินทำให้เกิดการแตกแยกของหิน หรือการเปลี่ยนแปลงของผิวดินจากการดูดซับของสัตว์ เป็นต้น กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดอยู่เฉพาะบนผิวดินซึ่งมีอินทรีย์วัตถุอยู่

### 1.6 การเคลื่อนที่ของธาตุในสภาพแวดล้อมทุติยภูมิ (Mobility of elements in secondary environment)

การเคลื่อนที่ของธาตุใดธาตุหนึ่งภายในโลกและบนผิวโลกเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของธาตุใดธาตุหนึ่ง ที่จะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ภายใต้ภาวะแวดล้อมใด ๆ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ทั้งทางฟิสิกส์และเคมี

การเคลื่อนที่ของธาตุในสภาวะแวดล้อมทุติยภูมิเป็นการเคลื่อนที่ของแร่ธาตุภายหลังจากการกำเนิดของหินหรือแร่ โดยจะเกิดขึ้นบนผิวโลกหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก คุณสมบัติการเคลื่อนที่ของแร่ธาตุในภาวะทุติยภูมินี้เองที่ได้เป็นรากฐานหรือแนวทางในการสำรวจหาแหล่งแร่โดยวิธีธรณีเคมี

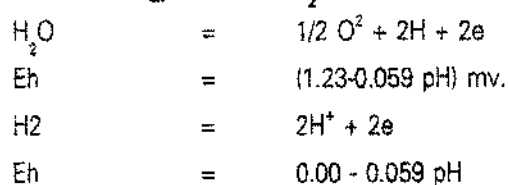
การเคลื่อนที่ของธาตุนบนผิวโลกจะถูกควบคุมด้วยปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่

1. ธรรมชาติของตัวกลาง กล่าวคือ การเคลื่อนที่ในน้ำ หรือตัวกลางที่แตกต่างกัน เป็นต้นว่าการเคลื่อนที่ไปในน้ำใต้ดินจะแตกต่างจากการเคลื่อนที่โดยน้ำบนผิวดิน
2. กลไกการเคลื่อนที่ กล่าวคือ การเคลื่อนที่ในลักษณะที่เป็นของแข็งหรือเป็นก้อนจะแตกต่างจากการเคลื่อนที่ที่อยู่ในรูปของสารละลาย
3. การเปลี่ยนชนิดของหินหรือสภาพแวดล้อมที่รองรับ ตัวอย่างเช่น โลหะบางตัวละลายอยู่ในลักษณะของไอออนในน้ำที่มีสภาพเป็นกรดแล้วจึงตกตะกอน เช่น เมื่อน้ำผ่านเข้ามาสัมผัสกับหินพวกคาร์บอเนตก็จะเกิดปฏิกิริยาแทนที่สารประกอบคาร์บอเนต แล้วตกผลึกในรูปของโลหะคาร์บอเนต
4. จุลินทรีย์หรืออินทรีย์วัตถุที่อยู่ในน้ำบางชนิดสามารถจะดูดเอาธาตุร่องรอยบางตัวเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของตัวมัน ทำให้ธาตุร่องรอยเหล่านั้นเกิดการรวมตัวไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้
5. การเกิดไอออนซับซ้อน (Complex ions) ซึ่งจะเป็นการลดหรือเพิ่มการเคลื่อนที่ได้
6. การเพิ่มหรือลดปริมาณของแก๊ส เช่น การเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์
7. คุณสมบัติทางกายภาพของสิ่งที่รองรับ เช่น ความชื้นขาด ความพรุน ขนาดของวัตถุ ความหนืดของของเหลว เป็นต้น

ในการเคลื่อนที่ของธาตุร่องรอยในภาวะแวดล้อมทุติยภูมิที่มีความสำคัญทางด้านธรณีเคมี ได้แก่ การเคลื่อนที่ในลักษณะของ hydromorphic mobility ซึ่งหมายถึง การเคลื่อนที่โดยการละลายปนไปกับน้ำในลักษณะของไอออน ซึ่งการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้จะถูกควบคุมโดยสภาพความเป็นกรดต่าง และ oxidizing power (Eh-pH) ในภาวะแวดล้อมนั้น ๆ ความแตกต่างของ Eh-pH ในภาวะแวดล้อมต่าง ๆ กันจะเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของธาตุ เนื่องจากธาตุแต่ละชนิดจะอยู่ในรูปของธาตุหรือสารประกอบชนิดต่าง ๆ กันตามสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันไป เพื่อปรับให้อยู่ในภาวะสมดุล รูปที่ 6 แสดงค่า Eh-pH ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในการหาค่า Eh-pH ในภาวะแวดล้อมตามธรรมชาตินั้นอาศัยเครื่องมือ Eh-pH meter เป็นตัววัด ซึ่งค่าต่าง ๆ ที่วัดได้สามารถนำมาเขียนใน Eh-pH 'diagram

ค่าของ pH มีค่า =  $-\log H^+$

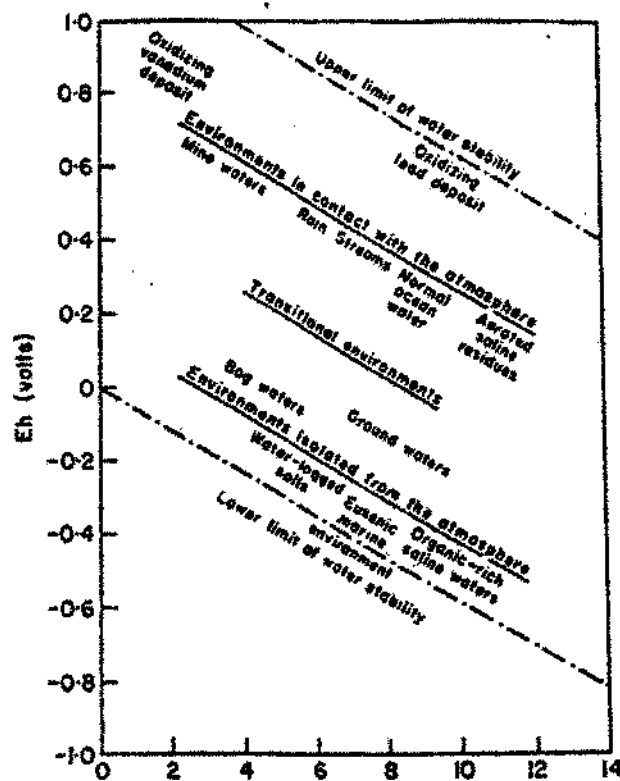
ส่วนค่า Eh ได้จากปฏิกิริยาของ  $H_2O$  ตามสมการ



ค่าของ Eh และ pH ในบริเวณต่าง ๆ จะมีค่าแตกต่างกันไป น้ำผิวดินในธรรมชาติจะมีค่า pH ระหว่าง 4.0-9.0 ถ้าความลึกมากขึ้น ค่า pH จะเพิ่มขึ้นในทางตรงกันข้ามค่าของ Eh จะลดลงในบริเวณที่เป็น oxidizing sulphide deposit ค่าของ pH จะต่ำมาก คือ มีค่าประมาณ 2.6-5.5 และค่า Eh จะสูงมาก ส่วนในบริเวณที่เป็นที่ลุ่มน้ำขัง (swamp) ค่า pH และ Eh จะต่ำ ในบริเวณที่มีค่า Eh สูง จะแสดงถึงสภาวะที่มีการเติมออกซิเจนสูง (oxidizing environment) ซึ่งหมายถึงปฏิกิริยา ไต ๆ ที่ทำให้วาเลนซ์บวก (positive valency) ของแอนไอออน (an ion) สูงขึ้น และวาเลนซ์ลบ (negative valency) ลดลง ส่วนปฏิกิริยาลดออกซิเจน (reducing environment) จะเป็นไปในทางตรงข้ามสภาวะที่ทำให้เกิดการเติมออกซิเจน ได้แก่ สภาวะที่มีออกซิเจนอิสระและน้ำถ่ายเทได้ดี ส่วนในบริเวณที่มีอินทรีย์วัตถุมากจะทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่ลดออกซิเจน (reducing environment)

รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Eh และ pH กับสภาพแวดล้อมในธรรมชาติว่า บริเวณ

ไหนมี Eh และ pH เท่าใดในสภาวะปกติ ซึ่งการที่ธาตุใดธาตุหนึ่งเกิดผสมอยู่ในน้ำในสภาพแวดล้อมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมคือมีค่า Eh และ pH เปลี่ยนแปลงก็สามารถทำให้ธาตุเหล่านั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพเกิดการรวมตัวเป็นสารประกอบหรือตกตะกอนได้



รูปที่ 6 ค่า Eh-pH ของสภาพแวดล้อมต่างๆ ตามธรรมชาติ คัดลอกจาก Rose, Hawks and Webb (1979)

การที่ธาตุร่องรอยที่เคลื่อนที่ปนมากับน้ำและเกิดตกตะกอนสะสมตัวใหม่ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม การสะสมตัวจะเกิดอยู่ 2 ลักษณะ คือ

1. เกิดจากการดูดซึม (adsorb) เข้าไปอยู่ระหว่างช่องว่างของผลึกสารประกอบที่เกิดขึ้นใหม่ เช่น การเกิดดูดซึมของ Co หรือ Cu โดย Fe-Mn -Oxides หรือ Zn โดย มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillinite)
2. เกิดจากการดูดซับ (absorb) ไว้บนผิวของ Fe-Mn-Oxide ดินเหนียว หรืออินทรีย์วัตถุ หรืออยู่ระหว่างชั้นของแร่ดิน การถูกดูดซึมนี้เกิดจากคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าที่ปรากฏอยู่ในสารละลาย

อินทรีย์วัตถุซึ่งปะปนอยู่ในน้ำ เป็นตัวการสำคัญอันหนึ่งที่จะดูดซึมเอาธาตุต่าง ๆ นอกจากนี้โลหะบางตัวอาจรวมตัวกับสารอินทรีย์เกิดเป็น meta-organic complexes เช่น porphyrins และเกลือของ organic acid เช่น การเกิด complex ของทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และยูเรเนียม เป็นต้น

สารประกอบบางชนิดจำพวกซิลิกา อะลูมินา hydrous ของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์สามารถจะละลายอยู่ในน้ำได้ในลักษณะของคอลลอยด์ (colloid) เนื่องจากมีประจุไฟฟ้าสะสมตัวอยู่ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยประจุไฟฟ้าถูกขจัดออกไปสารเหล่านี้ก็จะจับตัวกันเป็นตะกอน แยกออกมาจากสารละลายได้

พืชเป็นตัวการสำคัญอีกอย่างหนึ่งในการทำให้เกิดสะสมตัวของธาตุ การดูดซึมของรากไม้จะนำเอาแร่ธาตุต่าง ๆ เข้าไปไว้ในลำต้น ในขณะที่ใบไม้ร่วงมาทับถมกันและผุพังลง ธาตุที่ละลายได้ก็จะละลายไปกับน้ำ บางส่วนก็ตกตะกอนร่วมกับธาตุเหล็ก แมงกานีส และอลูมิเนียมในดินชั้น B-Horizon ธาตุที่ละลายยากก็จะสะสมตัวอยู่ในชั้น humid พืชบางชนิดสามารถที่จะดูดซึมธาตุแต่ละธาตุได้เป็นพิเศษ ฉะนั้น

ในการสำรวจสามารถใช้พืชเป็นตัวบ่งชี้ (indicator) สำหรับการสำรวจหาแหล่งแร่บางชนิดได้

จุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียหรือราต่าง ๆ ก็เป็นตัวการอีกอันหนึ่งในการสะสมตัวของธาตุ เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้โดยการทำให้เกิดการเพิ่มและลดออกซิเจน ตัวอย่างเช่น การเพิ่มออกซิเจนโดยแบคทีเรียบางชนิดสามารถทำให้เกิดการตกตะกอนของแมงกานีสและเหล็กออกไซด์ และทำให้เกิดสารละลายซัลเฟต (sulphate) นอกจากนี้ยังสามารถดูดซึมหรือนำเอาธาตุบางอย่างเอาไปไว้ในตัวได้ เช่น จำพวกไดอะทอมไมต์ (diatomite) เป็นต้น

ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นการแผ่กระจายหรือเคลื่อนที่ของธาตุต่างๆ ซึ่งถูกควบคุมหรือเป็นผลจากปฏิกิริยาทางเคมี องค์ประกอบอีกชนิดหนึ่งที่ควบคุมการแผ่กระจายหรือการเคลื่อนที่ของธาตุในภาวะแวดล้อมทุติยภูมิ ได้แก่ องค์ประกอบทางกลศาสตร์อันเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของธาตุในลักษณะเป็นก้อนซึ่งเกิดจากแรงกระทำภายนอก ได้แก่

1. การเคลื่อนที่โดยแรงโน้มถ่วงของโลก
2. การเคลื่อนที่โดยการหมุนเวียนของน้ำใต้ดิน
3. การเคลื่อนที่โดยน้ำผิวดิน ซึ่งได้แก่ น้ำผิวดินจากน้ำฝนและการพัดพาไปโดยน้ำใน

แม่น้ำลำธาร

4. การพัดพาโดยธารน้ำแข็ง
5. การพัดพาโดยลม

องค์ประกอบต่างๆ ที่กล่าวมานี้ จะทำให้เกิดการสะสมตัวของธาตุต่าง ๆ ในภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันจากแหล่งกำเนิดในลักษณะต่าง ๆ กัน

จากคุณสมบัติของธาตุที่สามารถเคลื่อนที่ในภาวะแวดล้อมที่มีค่า Eh-pH ต่างกันนี้เอง จึงสามารถแบ่งธาตุออกเป็นกลุ่ม ๆ ตามความสามารถในการเคลื่อนที่ของธาตุในภาวะที่เป็นการเติมออกซิเจน (oxidizing) การลดออกซิเจน (reducing) เป็นกรด เป็นกลาง หรือเป็นด่าง ซึ่งเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของธาตุในภาวะแวดล้อมทุติยภูมิ

Andrew Jones (1968) ได้รวบรวมและแบ่งกลุ่มธาตุ แสดงความสัมพันธ์ของธาตุและความสามารถในการเคลื่อนที่ในภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน โดยแยกภาวะแวดล้อมออกเป็น 4 ภาวะ คือ Oxidizing, Acid, Neutral to Alkaline และ Reducing ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 6

จากตารางจะเห็นได้ว่า ความสามารถในการเคลื่อนที่ของธาตุจะเปลี่ยนแปลงไปตามภาวะแวดล้อม เช่น ทองแดง โคบอลต์ นิกเกิล เงิน และทองคำ สามารถเคลื่อนที่ได้ปานกลางในภาวะแวดล้อมที่มีการเติมออกซิเจน (oxidizing environment) และจะสามารถเคลื่อนที่ได้ดีในภาวะที่เป็นกรด แต่สามารถเคลื่อนที่ได้น้อยมากในภาวะที่เป็นกลางหรือด่าง ในทำนองเดียวกัน ทองแดง และโมลิบดีนัม สามารถเคลื่อนที่ได้ปานกลางและสูงในภาวะที่เป็นการเติมออกซิเจนและเป็นกรด แต่ในภาวะที่เป็นกลางหรือเป็นด่าง โมลิบดีนัมจะเคลื่อนที่สูงมาก ในขณะที่ทองแดงกลับเคลื่อนที่ได้น้อย ทั้งนี้ เนื่องจากว่าโมลิบดีนัมสามารถเคลื่อนที่ได้มากกว่าทองแดงในภาวะเป็นกลางและด่าง และน้ำในผิวดินก็มีภาวะเช่นนี้ ดังนั้น โมลิบดีนัมจึงถูกใช้เป็นธาตุที่นำสำหรับหาแหล่งแร่ทองคำดังกล่าวได้ ในการสะสมตัวหรือตกตะกอนของธาตุต่าง ๆ ที่ละลาย มา กับน้ำและเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่รองรับธาตุนั้นๆ จะเกิดการรวมตัวเป็นสารประกอบเกิดเป็นแร่ทุติยภูมิ (secondary minerals) เพื่อให้เกิดอยู่ในภาวะสมดุลตามสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ธาตุบางชนิดอาจเกิดร่วมกับแร่ชนิดอื่น เช่น เกิดร่วมกับ hydrous iron และ manganese oxides โดย เกิดอยู่ใน crystal lattice หรือลักษณะของ surface และ interlayer sorption ตามกระบวนการที่แสดงไว้ในรูปที่ 7

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

ตารางที่ 6 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของธาตุต่างๆ ในสภาพแวดล้อมทุติยภูมิ คัดลอกจาก Andrews Jones (1968)

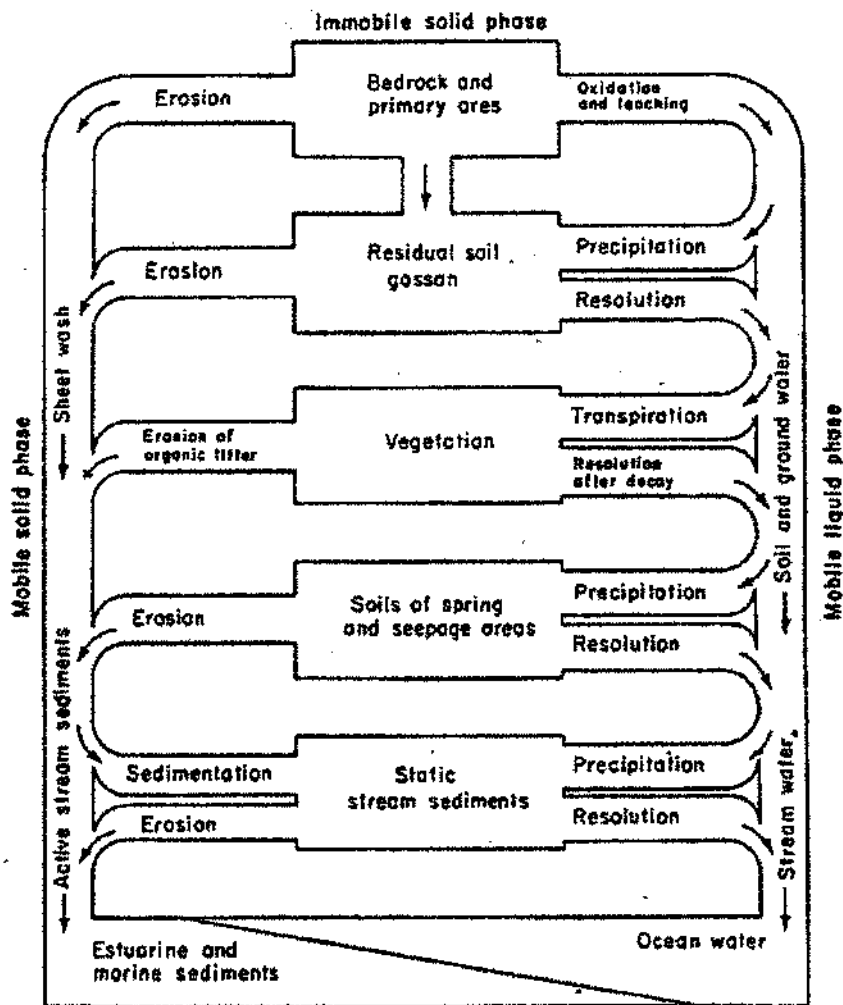
Relative Mobilities	Environmental conditions			
	Oxidizing	Acid	Natural to alkaline	Reducing
Very high	Cl, I, Br S, B	Cl, I, Br S, B	Cl, I, Br S, B Mo, V, U, Se, Re	Cl, I, Br S, B
High	Mo, V, U, Se, Re Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra Zn	Mo, V, U, Se, Re Ca, Na, Mg, F, Sr, Zn Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Ra, Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra
Medium	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, As, Cd	As, Cd	As, Cd	
Low	Si, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl Fe, Mn	Si, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl Fe, Mn	Si, P, K Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl Fe, Mn	Si, P, K
Very low immobile	Fe, Mn Al, Ti, Sn, Tc, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Rare Earths	Al, Ti, Sn, Tc, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Rare Earths	Al, Ti, Sn, Tc, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Rare Earths  Zn Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au As, Cd	Al, Ti, Sn, Tc, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Rare Earths S, B Mo, V, U, Se, Re Zn Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au  Pb, Li, Rb, Ba, Be Bi, Sb, Ge, Cs, Tl

### 1.7 การแพร่กระจายทางธรณีเคมี (Geochemical distribution)

บนผิวโลกจะมีธาตุทุกชนิดสะสมตัวแพร่กระจายอยู่เล็กน้อยแตกต่างกันไป (ตารางที่ 3) รูปแบบการแพร่กระจายของธาตุนบนผิวโลก เรียกว่า ภูมิทัศน์ทางธรณีเคมี (Geochemical Landscape) ซึ่งจะมีปริมาณธาตุแต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามปริมาณธาตุที่สะสมตัวอยู่ในหินที่รองรับ ความแตกต่างของปริมาณธาตุทำให้เกิดลักษณะทางธรณีเคมีที่ เรียกว่า ความสูงต่ำทางธรณีเคมี (Geochemical relief) ค่าปริมาณธาตุที่แพร่กระจายอยู่ตามปกติในบริเวณทั่ว ๆ ไปที่ไม่มีแหล่งแร่ เรียกว่า ค่าภูมิหลัง (background) ซึ่งจะมีค่าปริมาณธาตุ แต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามชนิดของหินที่รองรับ ส่วนบริเวณไหนที่มีแหล่งแร่หรืออยู่ใกล้เคียงกับแหล่งแร่จะมีธาตุส่วนหนึ่งที่แพร่กระจายมาจากแหล่งแร่ และสะสมตัวทำให้บริเวณนั้นมีปริมาณธาตุที่ประกอบอยู่ในแหล่งแร่มากผิดปกติ เรียกว่ามี (Geochemical anomaly) การแพร่กระจาย (Dispersion) ของธาตุหรือแร่จากแหล่งแร่ไปสะสมตัวอยู่บริเวณบนแหล่งแร่เดิมหรือบริเวณใกล้เคียงมีรูปแบบของการแพร่กระจาย (Dispersion pattern) จำแนกได้ 3 ลักษณะด้วยกัน คือ

1. การแพร่กระจายในลักษณะเป็น เม็ดแร่ (Clastic หรือ Syngenetic pattern)
2. การแพร่กระจายโดยการละลายไปกับน้ำโดยมีน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินเป็นตัวทำละลาย โดยการพัดพา (Hydromorphic pattern)
3. การแพร่กระจายของธาตุในพืช (Biogenic pattern)

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต



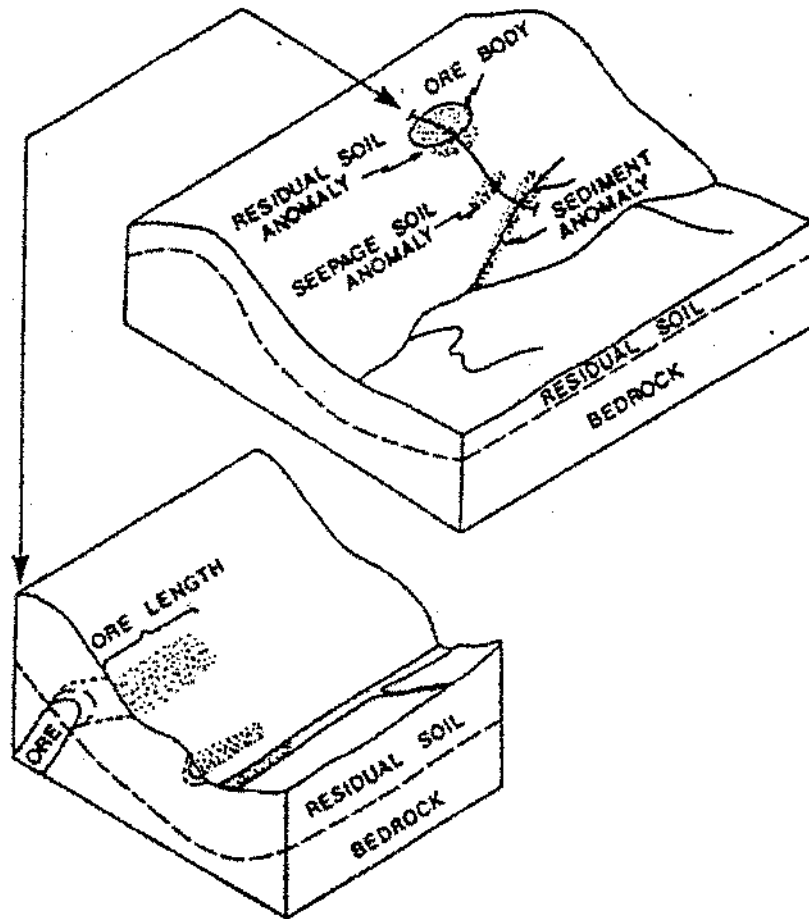
รูปที่ 7 แผนภูมิแสดงวัฏจักรของการผุพังและการแพร่กระจายของธาตุในสภาวะแวดล้อมต่างๆ คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979)

### 1.7.1 การแพร่กระจายแบบเม็ดแร่ (Clastic dispersion pattern)

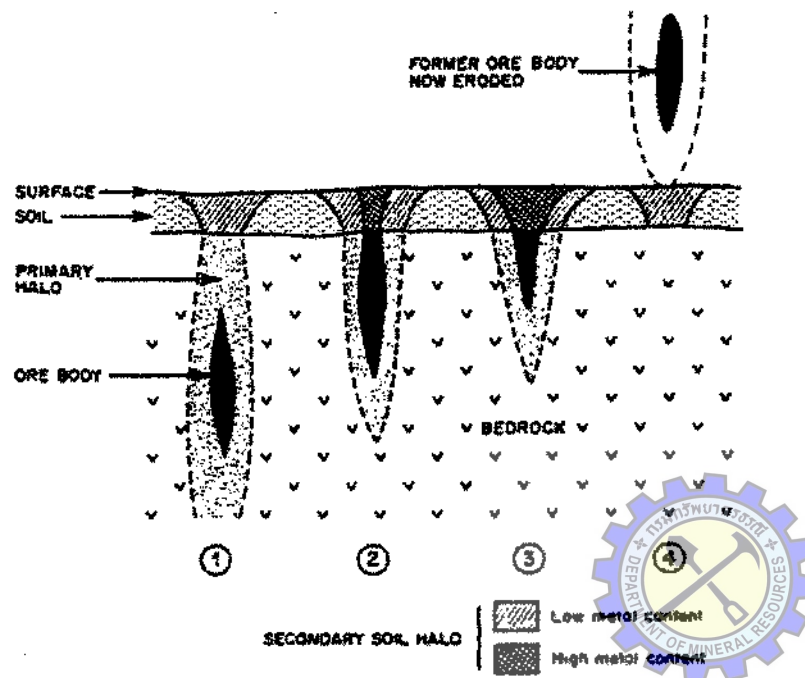
รูปแบบการแพร่กระจายของแร่ในรูปของ clastic pattern เกิดจากการที่แร่ที่มีความคงทนถาวรสูงเกิดผุพังแตกตัวออกจากแหล่งแร่เกิดเป็นก้อนแร่หรือเม็ดแร่และสะสมตัวอยู่กับที่ในดินบนแหล่งแร่ หรือถูกพัดพาเคลื่อนที่ไปสะสมตัวในบริเวณใกล้เคียงตามเชิงเขา หรือสะสมปนอยู่กับตะกอนธารน้ำโดยปกติแล้ว การสะสมตัวแบบ clastic pattern จะเกิดอยู่ไม่ไกลจากแหล่งแร่มากนัก การสะสมตัวของแร่พวกนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าน่าจะมีแหล่งแร่ที่เป็นสายแร่ปฐมภูมิเกิดอยู่บริเวณข้างล่างที่พบก้อนแร่หรือในบริเวณใกล้เคียงที่อยู่ในระดับสูงขึ้นไป ตามตัวอย่างที่แสดงไว้ในรูปที่ 9, 10, 11, 12 และ 13 ทำให้เกิดบริเวณที่มีปริมาณธาตุสูง ตามตัวอย่างที่แสดงไว้ในรูปที่ 14 ถึง 22



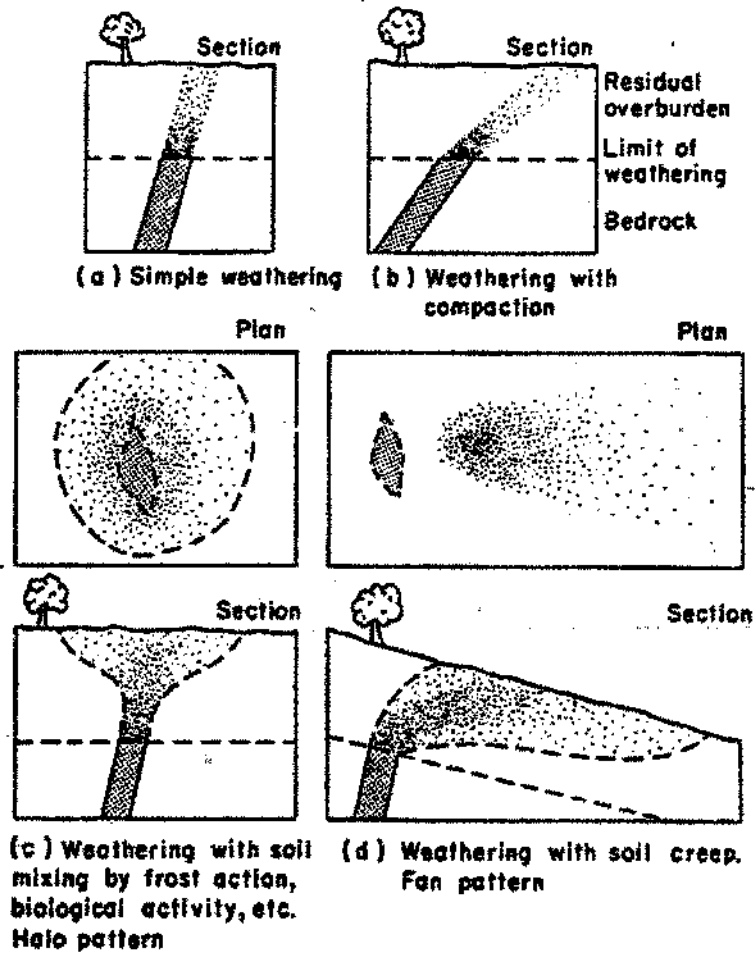
เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต



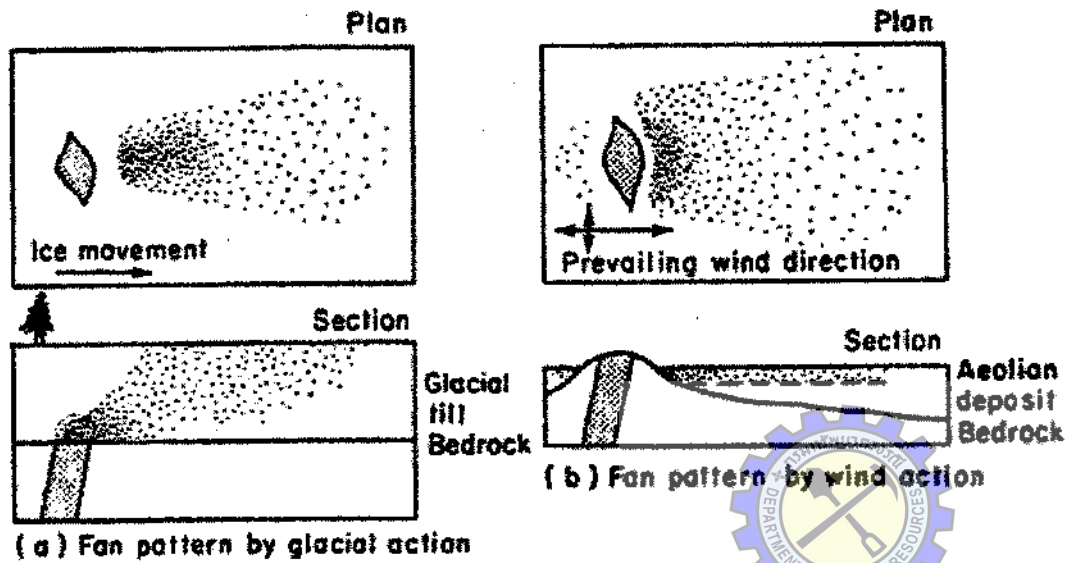
รูปที่ 8 ลักษณะการแพร่กระจายของของธาตุจากแร่ไปสะสมตัวในดินที่ต่าง ๆ  
 คัดลอกจาก Brad show and Thomson (1979)



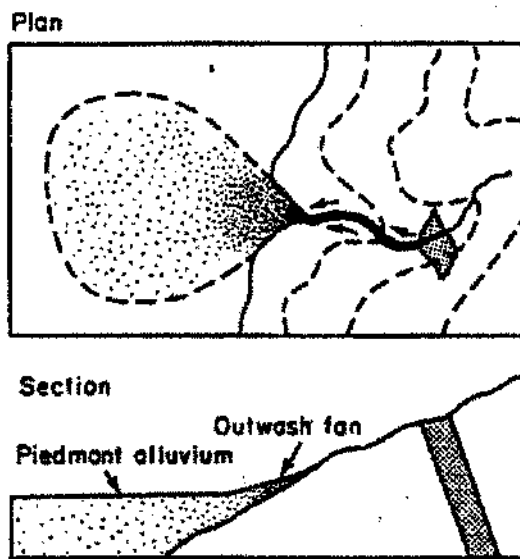
รูปที่ 9 Primary halos รอบแหล่งแร่และการเกิด dispersion halos ในดินลักษณะต่างๆ กันตามลักษณะของสายแร่  
 คัดลอกจาก levinson and others (1987)



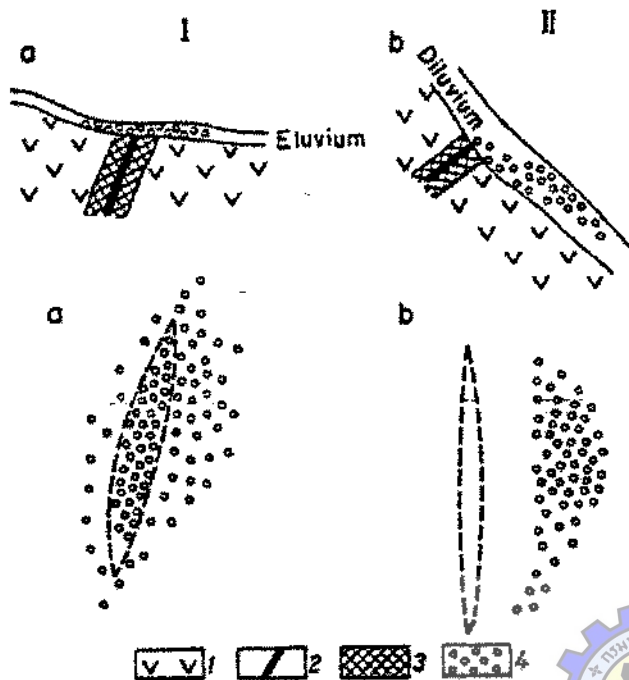
รูปที่ 10 การแพร่กระจายของเม็ดแร่ (clastic) บริเวณแหล่งแร่ปฐมภูมิ จากการผุพังอยู่ที่แหล่งกำเนิดเดิม คัดลอกจาก Rose, Hawked and webb (1979)



รูปที่ 11 การแพร่กระจายของเม็ดแร่ (clastic) จากการผุพังสายแร่ปฐมภูมิ แล้วเคลื่อนที่ไปจากเดิมพร้อมกับดินที่ปกคลุมอยู่ด้านบน คัดลอกจาก Rose, Hawkes and webb (1979)

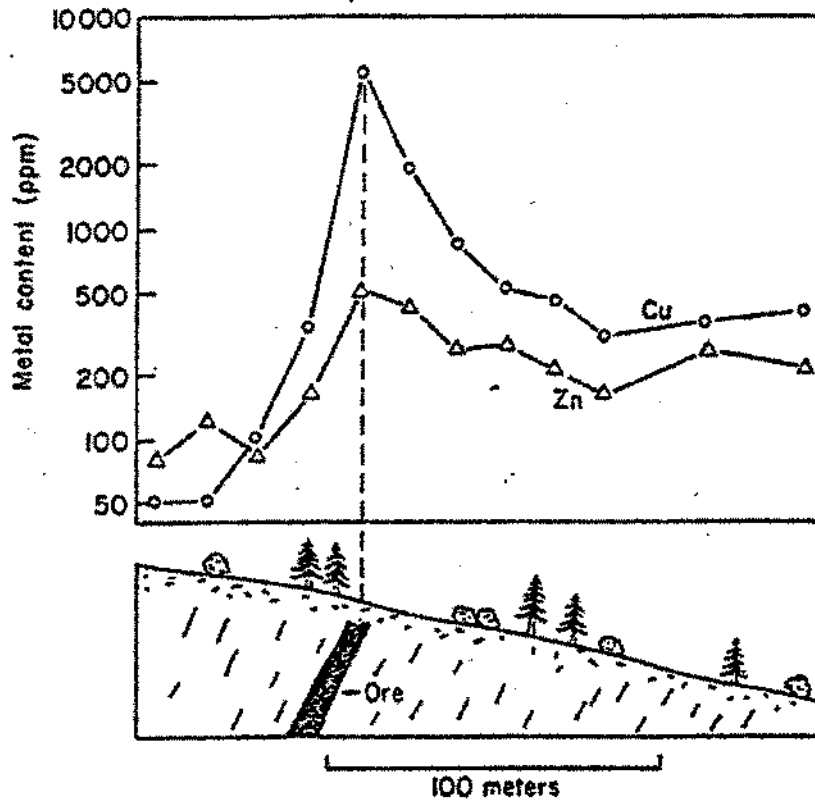


รูปที่ 12 การแพร่กระจายของเม็ดแร่ (clastic) จากสายแร่ปฐมภูมิ โดยการพัดพาของกระแสน้ำไปสะสมตัวบริเวณปากน้ำในลักษณะรูปพัด คัดลอกจาก Rose, Hawks, and Webb (1979)

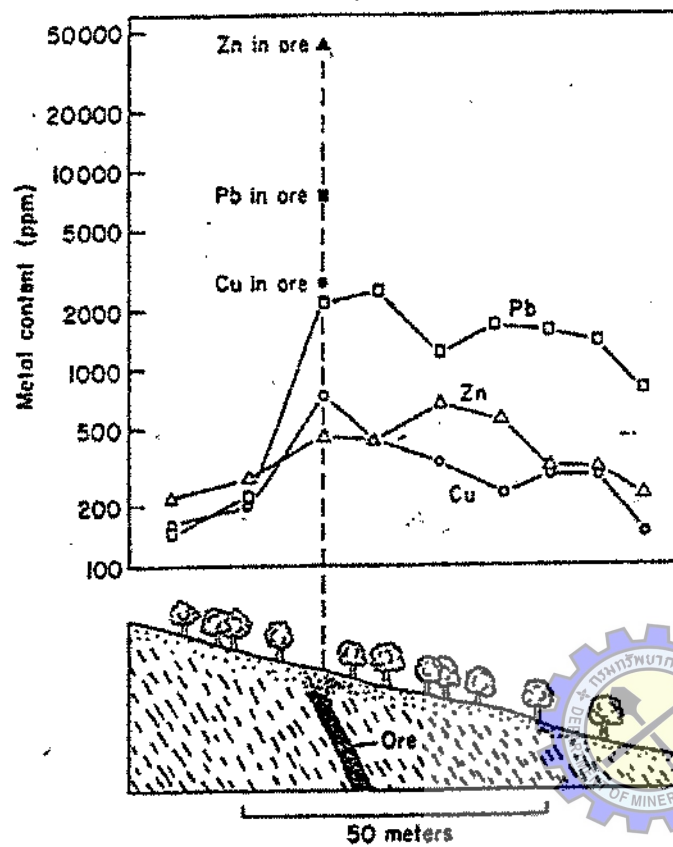


รูปที่ 13 การเกิด Secondary Dispersion Halos จากสายแร่ที่วางตัวต่างกัน คัดลอกจาก Seus and Grigorian (1977)

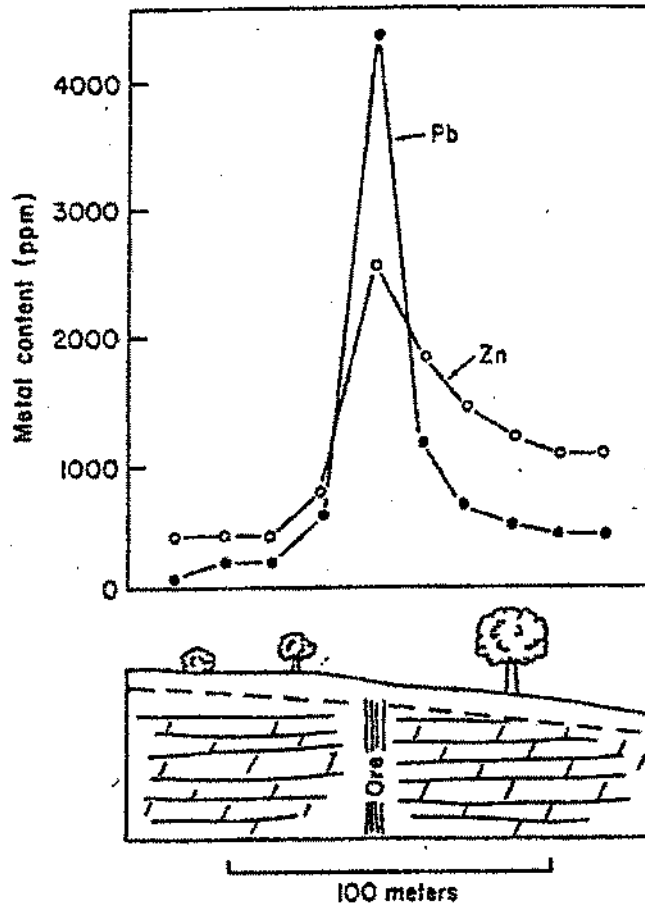
เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต



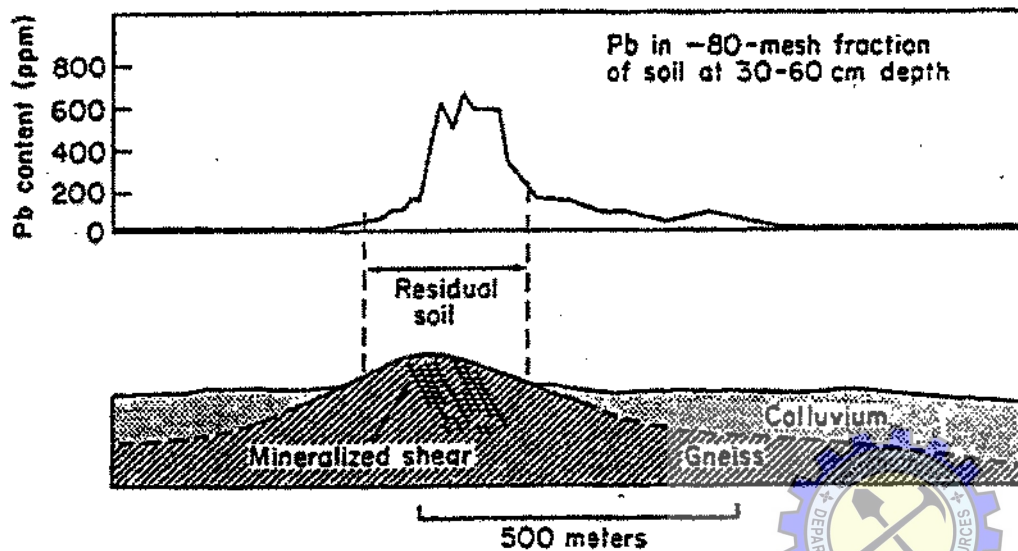
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของ Residual Soil anomalies กับสายแร่ทองแดง คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979)



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ของ Residual Soil anomalies กับสายแร่ บริเวณ Union Copper Mine ที่เมือง North Carolina ตามีแนวขวางของสายแร่ คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979) ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

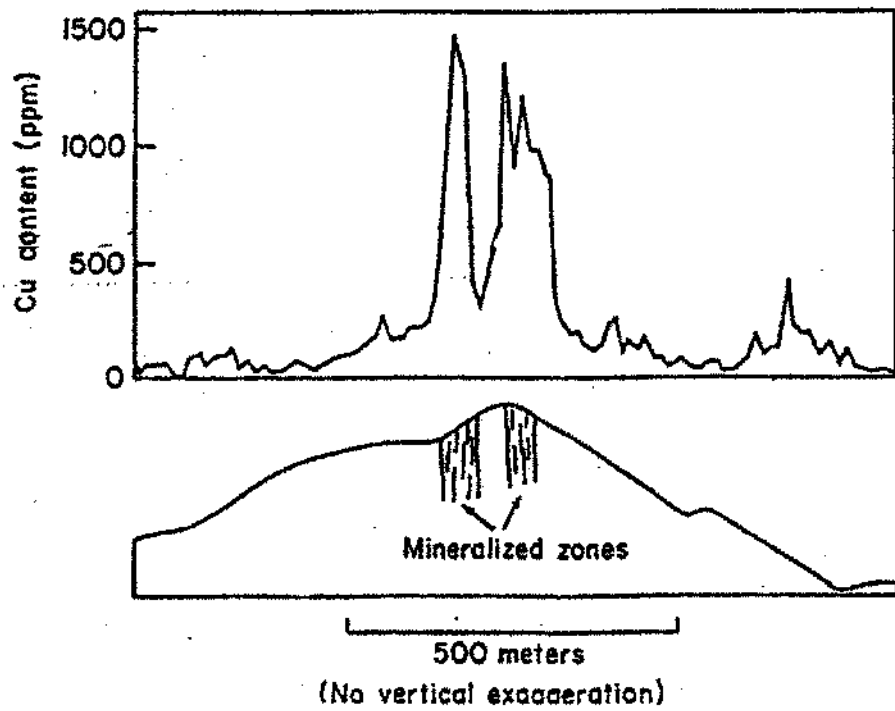


รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสูงผิดปกติของธาตุตะกั่วและสังกะสีในดิน ตามแนวตัดขวางสายแร่ตะกั่ว - สังกะสี คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979)

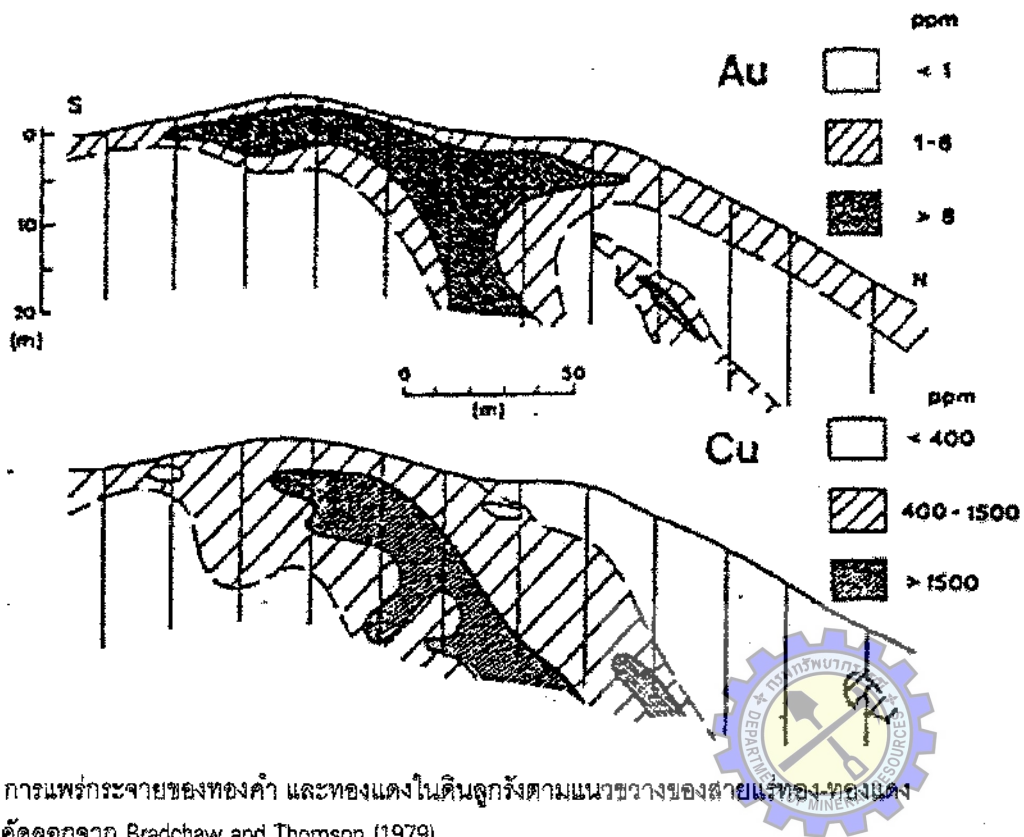


รูปที่ 17 การแพร่กระจายตะกั่วจากสายแร่ที่ไม่ต้นพื้นผิวไปอยู่ในดินตามแนวขวางของสายแร่ คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979)

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

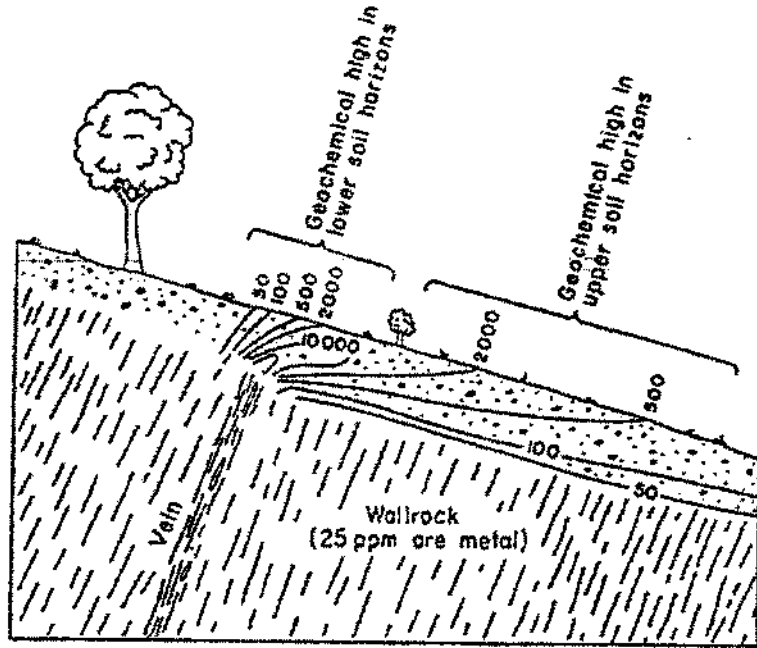


รูปที่ 18 แสดงค่าสูงกว่าปกติของธาตุทองแดงในดินบริเวณด้านบนของสายแร่ คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979)

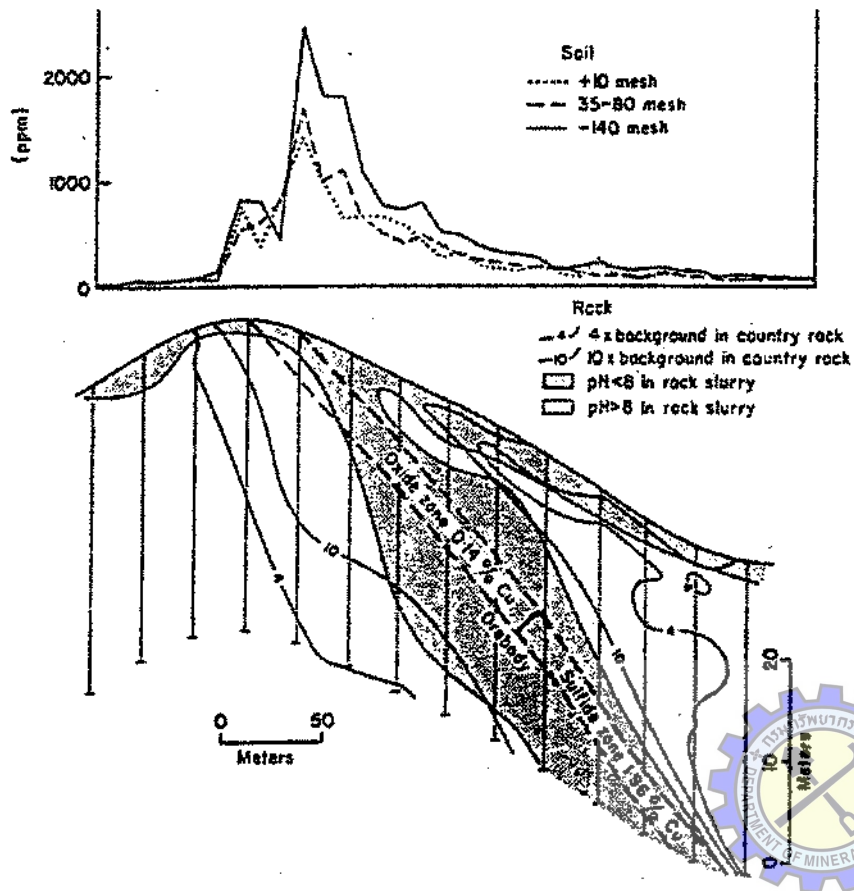


รูปที่ 19 การแพร่กระจายของทองคำ และทองแดงในดินลูกรังตามแนวขวางของสายแร่ทองแดง คัดลอกจาก Bradshaw and Thomson (1979)

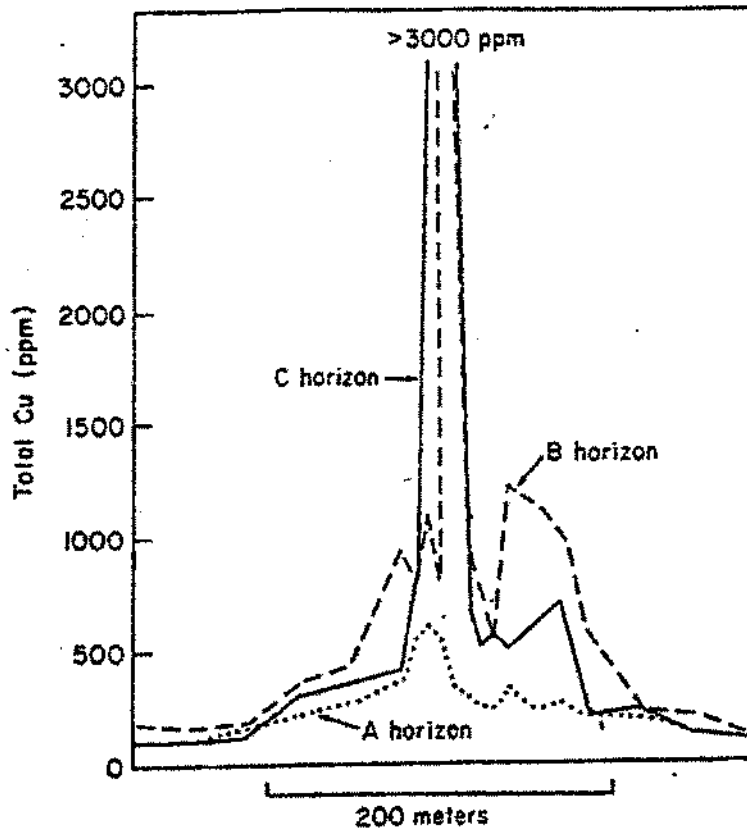
เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต



รูปที่ 20 ความแตกต่างของปริมาณธาตุในดินตามระดับความลึกและระยะห่างจากสายแร่  
คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979)



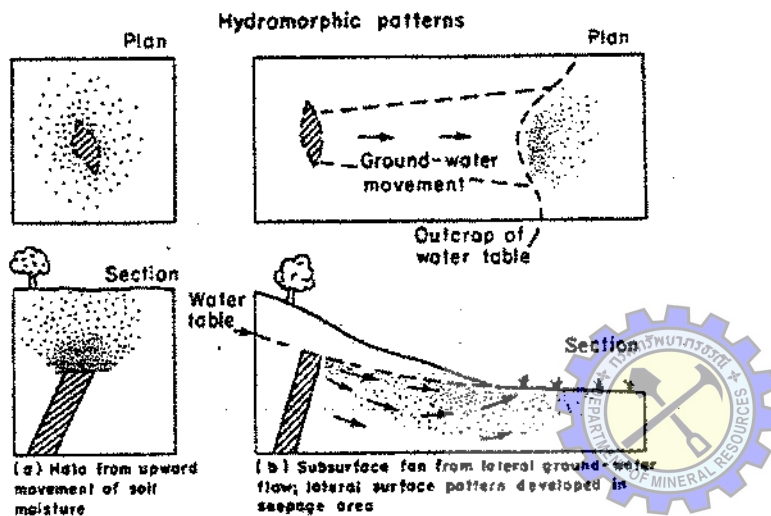
รูปที่ 21 การแพร่กระจายของธาตุทองแดงจากสายแร่ไปสะสมตัวในชั้นหินและชั้นดินเนื่องจากการผุกร่อน  
คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979)



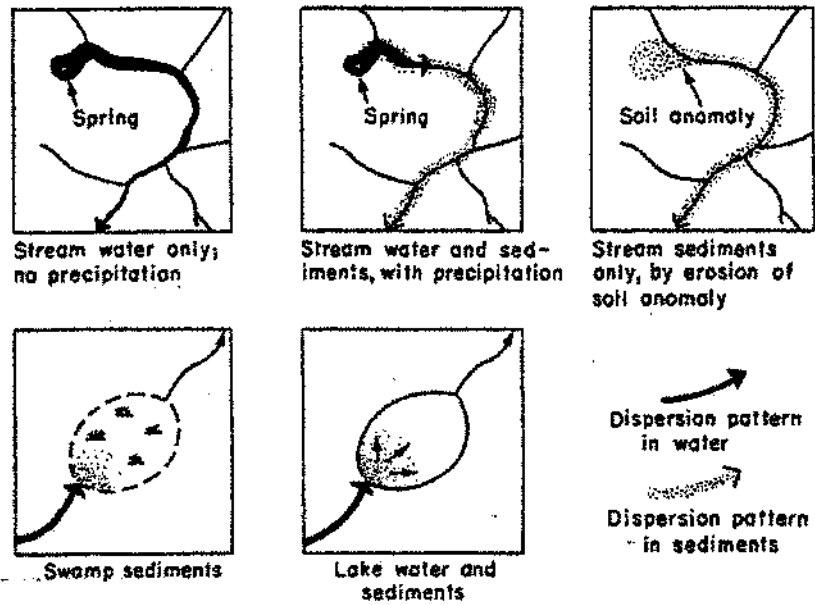
รูปที่ 22 ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะที่มีอยู่ในชั้นดินสูงกว่าปกติ ในแต่ละชั้นดิน คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979)

### 1.7.2. การแพร่กระจายแบบละลายไปกับน้ำ (Hydromorphic dispersion pattern)

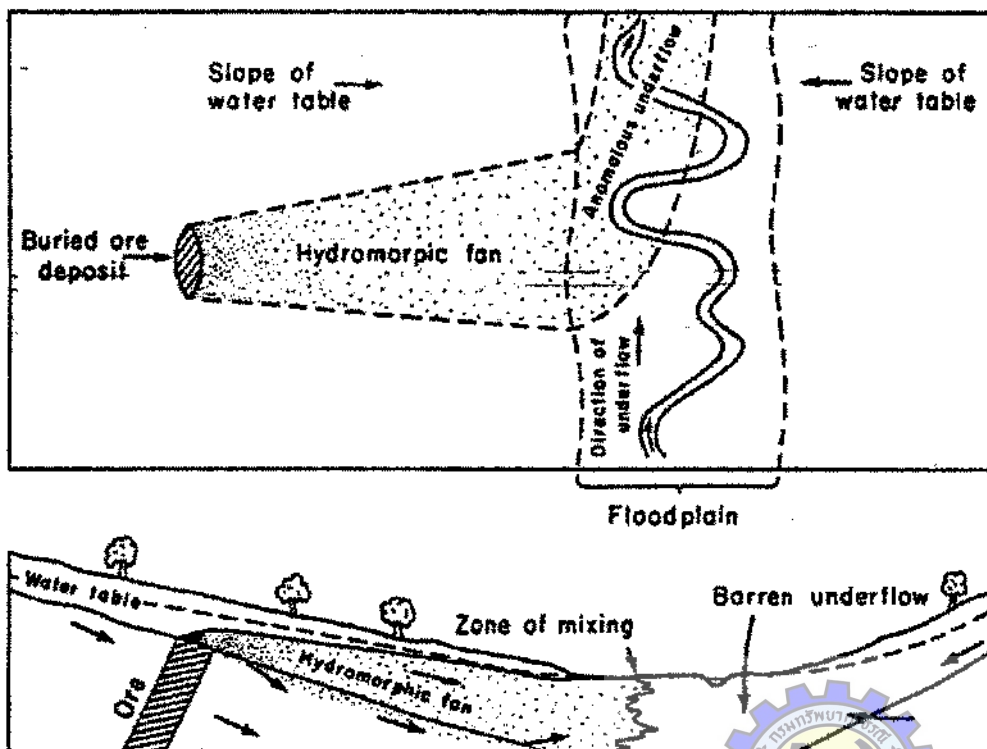
รูปแบบการแพร่กระจายของธาตุแบบ Hydromorphic pattern เกิดจากการที่น้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินละลายเอาธาตุจากแหล่งแร่เดิมไปสะสมตัวในแหล่งใหม่ด้วยกระบวนการทางเคมี และโดยการดูดซึมของตัวการอื่น ๆ ตลอดจนการระเหยของน้ำ ทำให้ธาตุที่ละลายปนมากับน้ำเกิดการสะสมตัวขึ้นใหม่ ปะปนอยู่ในดินตะกอนที่แห้งน้ำ หรือตกตะกอนสะสมตัวเป็นชั้นแร่ รูปแบบการแพร่กระจายแบบ Hydromorphic ได้แสดงไว้ตามตัวอย่าง รูปที่ 23, 24 และ 25



รูปที่ 23 Hydromorphic pattern : a) ในดินบนแหล่งแร่ b) ถูกพัดพาโดยน้ำใต้ดินไปสะสมอยู่ในที่ราบเชิงเขา  
คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979) ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต



รูปที่ 24 การแพร่กระจายของธาตุจากแหล่งกำเนิด โดยการละลายและถูกพัดพาโดยน้ำผิวดินไปสะสมตัวในรูปแบบต่างๆ กัน คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979)



รูปที่ 25 การแพร่กระจายของธาตุจากแหล่งแร่ โดยการละลายและพัดพาไปโดยน้ำใต้ดิน คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979)

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต



### 1.8 ตัวบ่งชี้ (Indicator)

หมายถึง ปฏิกิริยาหรือหลักฐานที่จะเป็นตัวบ่งชี้ในการหาแหล่งแร่ ที่พบในบริเวณสำรวจ ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อสังเกตที่จะนำไปสู่การพบแหล่งแร่ ตัวบ่งชี้เหล่านี้ ได้แก่

1. ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแหล่งแร่โดยตรง เช่น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของหิน การปรากฏของหินที่มีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่
2. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเกิดแหล่งแร่หรือการสะสมตัวของแร่ เช่น ลักษณะ การบุพพังของหิน เป็นต้น
3. ปฏิกิริยาอื่น ๆ ได้แก่ ข้อสังเกตอื่น ๆ ที่เคยพบเห็นในอดีตที่ทำให้มีการพบแหล่งแร่ เป็นต้น

### 1.9 ค่าภูมิหลัง (Background)

ค่าภูมิหลังในทางธรณีเคมี หมายถึง ปริมาณของธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ตามปกติในบริเวณที่ไม่มีแหล่งแร่ ค่าภูมิหลังของแต่ละธาตุจะมีค่าแตกต่างกันออกไปตามชนิดของหินที่รองรับโดยมีค่าพิสัย (range) อยู่ช่วงหนึ่ง ปริมาณของธาตุที่สะสมตัวอยู่ในดินที่ผุพังมาจากหินเดิมจะไม่แตกต่างจากปริมาณธาตุที่มีอยู่ในหินมากนัก แต่ค่าภูมิหลังภายในดินแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป โดยเฉพาะในดินที่มีการทับถมกันมานานแล้ว (mature-soil) จะแสดงความแตกต่างได้ชัดเจนมาก ฉะนั้นในการสำรวจธรณีเคมีโดยการเก็บตัวอย่างดินจึงต้องคำนึงถึงลักษณะของชั้นดิน โดยในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งจำเป็นจะต้องเก็บตัวอย่างในชั้นดินชั้นเดียวกันทุกๆ ตัวอย่าง

ค่าภูมิหลังทางธรณีเคมีสามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ค่าภูมิหลังบริเวณไพศาล (regional background) ซึ่งหมายถึง ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุที่มีอยู่ปกติในหินทั่ว ๆ ไปในบริเวณกว้าง ๆ ส่วนค่าภูมิหลังอีกค่าหนึ่งคือ ค่าภูมิหลังของท้องถิ่น (Local background) เป็นค่าภูมิหลังของปริมาณธาตุที่มีอยู่ในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง เป็นบริเวณแคบเฉพาะแหล่ง ซึ่งเป็นผลจากความแตกต่างของปริมาณธาตุที่ผสมอยู่ในหินแต่ละชนิด หรืออาจเกิดจากปริมาณธาตุที่ถูกพัดพามาจากแหล่งแร่ที่กำเนิดอยู่ในบริเวณนั้น

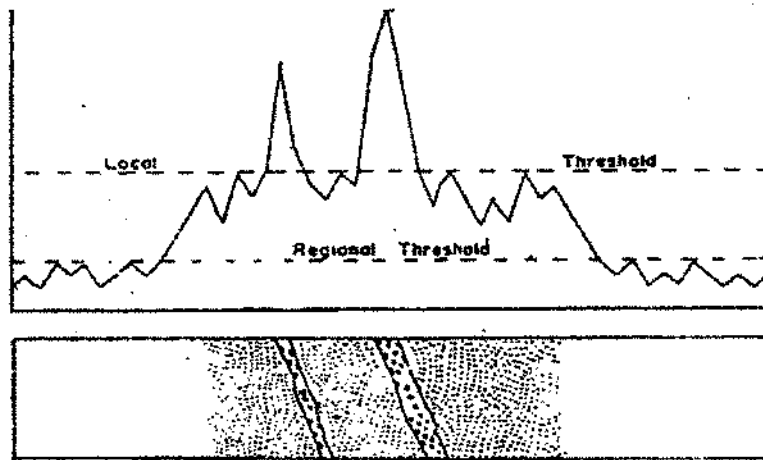
### 1.10 ความเบี่ยงเบนจากปกติ (Anomaly)

ความเบี่ยงเบนจากปกติ คือ ค่าที่แตกต่างออกไปจากค่าภูมิหลัง บริเวณใดก็ตามที่มีปริมาณของธาตุใดธาตุหนึ่งหรือหลาย ๆ ธาตุสูงผิดปกติ (positive anomaly) ถือได้ว่าจะมีคุณค่าทางเศรษฐกิจหรือว่าจะมีแหล่งแร่ชุกชอนอยู่ภายใต้ ส่วนบริเวณที่มีปริมาณธาตุต่ำกว่าปกติ (negative anomaly) ถือว่าไม่นับสำคัญ (non significant) ในการสำรวจธรณีเคมี อย่างไรก็ตาม ในบริเวณที่มีค่าปริมาณโลหะสูงกว่าปกติไม่จำเป็นจะต้องมีแหล่งชุกชอนอยู่เสมอไป อาจเกิดจากองค์ประกอบหรือปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งทำให้มีการสะสมตัวของโลหะมากกว่าปกติในกรณีที่มีค่าสูงกว่าปกตินี้มีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่ก็ถือได้ว่าเป็นบริเวณที่มีความเบี่ยงเบนจากปกติที่มีนัยสำคัญ (significant anomaly) ในการสำรวจธรณีเคมี จึงมีปัญหากเกิดขึ้นว่า อะไรคือองค์ประกอบของความผิดปกติหรือความเบี่ยงเบนจากปกติ และปริมาณของธาตุจำนวนเท่าใดจึงจะถือว่ามีเบี่ยงเบนจากปกติ ฉะนั้นจึงต้องกำหนดขีดจำกัดค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง (threshold) ในการแปลความหมายทางธรณีเคมี เพื่อให้ทราบได้แน่ชัดว่า บริเวณไหนบ้างที่มีปริมาณธาตุเบี่ยงเบนไปจากปกติ

### 1.11 ค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง (Threshold)

ค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง หมายถึง ค่าขีดจำกัดของค่าภูมิหลังของปริมาณธาตุที่แผ่กระจายอยู่ในบริเวณต่างๆ ซึ่งถ้าบริเวณใดที่มีปริมาณธาตุสูงกว่าขีดจำกัดนี้ ก็ถือได้ว่าเป็นบริเวณ ที่มีปริมาณธาตุมาก ผิดปกติหรือเบี่ยงเบนไปจากปกติ ค่าขีดจำกัดนี้สามารถกำหนดได้เป็นสองค่า คือ ค่าสูงสุดของค่าภูมิหลังบริเวณไพศาล (regional threshold) และค่าสูงสุดของค่าภูมิหลังของท้องถิ่น (local threshold) ค่าภูมิหลังบริเวณไพศาลจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยทั่วไปของปริมาณธาตุที่มีอยู่ในหินที่รองรับ ส่วนค่าสูงสุดของค่าภูมิหลังของท้องถิ่นจะมีค่าค่อนข้างสูง คือจะรวมถึงปริมาณธาตุที่มีอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งแร่หรือใน

ขอบเขตของการแพร่ของแหล่งแร่ ตามรูปที่ 28



รูปที่ 28 ภาพตัดขวาง แสดงค่าสูงสุดของค่าภูมิหลังบริเวณไพศาล (regional) และค่าภูมิหลังของท้องถิ่นที่เปรียบเทียบกับแหล่งแร่ คัดลอกจาก Andrews - Jones (1968)

จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าภูมิหลังของท้องถิ่น local threshold จะแสดงขีดจำกัดของค่าภูมิหลังบริเวณที่มีการแพร่ของธาตุในบริเวณหินใกล้เคียงกับแหล่งแร่ ในขณะที่ ค่าภูมิหลังบริเวณไพศาล (regional threshold) จะเป็นขีดจำกัดของค่าภูมิหลังบริเวณกว้าง ๆ ซึ่งมีปริมาณโลหะต่ำหรือน้อยกว่าบริเวณที่มีแหล่งแร่ บริเวณที่แสดงถึงความเบี่ยงเบนจากปกติจะคลุมบริเวณกว้างในการสำรวจธรณีขั้นต้น จะต้องทำการศึกษาถึงค่าภูมิหลังบริเวณไพศาล (regional threshold) อย่างละเอียด เพื่อกำหนดหรือวางแผนงานในงานสำรวจขั้นรายละเอียดต่อไป จึงต้องมีการสำรวจหาข้อมูลเบื้องต้น (orientation survey) ในบริเวณที่มีแหล่งแร่และมีลักษณะธรณีวิทยาใกล้เคียงกับบริเวณที่จะทำการสำรวจ เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนงานสำรวจขั้นต่อไป แต่โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว จะมีโอกาสที่จะทำการสำรวจหาข้อมูลเบื้องต้นในบริเวณที่เหมาะสมได้ไม่มากนัก เนื่องจากบริเวณที่มีแร่ส่วนใหญ่จะมีการทำเหมืองแล้ว

### 1.12 การเลือกชนิดของธาตุสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี

การเลือกธาตุร่องรอยในการวิเคราะห์ตัวอย่างธรณีเคมีต้องอาศัยความชำนาญและความรู้ทางธรณีเคมี เพื่อเลือกชนิดของธาตุที่เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการสำรวจหา hydromorphic dispersion จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติการรวมตัวของธาตุต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ฉะนั้น การเลือกธาตุร่องรอยสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีจะต้องยึดหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้

1. ปริมาณธาตุที่มีปริมาณน้อยและธาตุร่องรอย (minor และ trace element) ในแหล่งแร่ที่ต้องการหา
2. ความเหมาะสมของตัวชี้้นำ (path finders)
3. ความสามารถในการเคลื่อนที่ของธาตุร่องรอย
4. ปริมาณธาตุร่องรอยต่าง ๆ ในหิน
5. ขอบเขตของงานสำรวจ
6. ผลการสำรวจที่ผ่านมา

ในการเลือกธาตุร่องรอยสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีนั้น ก่อนอื่นจะต้องเข้าใจถึงสภาพคุณสมบัติของธาตุร่องรอยชนิดนั้น ๆ ด้วยว่ามีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่อย่างไร ในขั้นต้นจะต้องทราบถึงชนิดของแหล่งแร่ชนิดต่าง ๆ ชนิดของแหล่งแร่ที่กำเนิดอยู่ในโลกซึ่งสรุปตามลักษณะการกำเนิดและชนิดของ



ธาตุที่มีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่ได้กล่าวไปแล้วในเบื้องต้นตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 5 และตารางที่ 6 ตารางที่ 7 ธาตุที่ใช้เป็น Pathfinders ในการหาแหล่งแร่ประเภทต่างๆ คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979)

Pathfinder element	Material sampled	Ore type
As	Wallrock, residual soil, stream sediment	Vein-type Au ore
Hg	Wallrock and soil	Complex Pb-Zn-Ag ores
Se	Gossan, residual soil	Epigenetic sulfides
Ag	Residual soil	Ag-bearing Au ore
Mo	Water, stream sediment, soil	Porphyry-copper deposits
SO <sub>4</sub>	Water	Sulfide deposits

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างธรณีเคมี จำเป็นจะต้องวิเคราะห์กลุ่มธาตุที่เกี่ยวข้องกันตามที่แสดงไว้ข้างต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าธาตุบางธาตุมักจะเกี่ยวข้องกับแหล่งแร่หลาย ๆ ประเภท แต่ก็มีบางธาตุอาจพบเฉพาะแหล่งแร่ใดแหล่งแร่หนึ่งเท่านั้น ฉะนั้น ในการวิเคราะห์หาธาตุแต่ละธาตุสามารถทำให้ทราบถึงการกำเนิดของแหล่งแร่และประเภทของแหล่งแร่ได้ □



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

## วิธีการสำรวจแร่

ในการสำรวจหาแหล่งแร่ต่าง ๆ จะต้องเลือกการสำรวจให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ทำการสำรวจ เนื่องจากการกำเนิดของแหล่งแร่แต่ละชนิดจะมีลักษณะและคุณสมบัติแตกต่างกันทั้งทางด้านธรณีวิทยา ธรณีวิทยาโครงสร้าง คุณสมบัติทางฟิสิกส์ และทางธรณีเคมี ฉะนั้น ก่อนทำการสำรวจจะต้องศึกษาธรณีวิทยาเบื้องต้นโดยละเอียดว่า บริเวณนั้นมีความเหมาะสมที่จะให้กำเนิดแหล่งแร่อะไรได้บ้างแล้วจึงเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการสำรวจแร่นั้น ๆ ต่อไป

**ขั้นตอนในการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ แบ่งออกได้ตามขนาดของพื้นที่ และวัตถุประสงค์ในการสำรวจได้เป็น 3 ขั้นตอน**

1. การสำรวจบริเวณไพศาล (Regional survey) เป็นการสำรวจคลุมบริเวณกว้าง ๆ เพื่อให้ทราบข้อมูลเบื้องต้นว่าบริเวณใดที่มีศักยภาพทางแร่สูง ในการสำรวจบริเวณกว้าง ๆ นี้สามารถทำการสำรวจหรือศึกษาได้หลายวิธี เช่น

1.1 ศึกษาจากภาพถ่ายทางอากาศ หรือภาพถ่ายจากดาวเทียม

1.2 ทำการบินสำรวจทางอากาศ เพื่อหาลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางสนามแม่เหล็ก ทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และทางกัมมันตภาพรังสีในบริเวณต่าง ๆ แล้วนำเอาผลที่ได้มาศึกษากำหนดขอบเขตบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่สูงหรือน่าจะมีแหล่งแร่

1.3 การสำรวจธรณีเคมีบริเวณไพศาล เพื่อหาคุณสมบัติทางเคมีของธาตุในบริเวณต่าง ๆ มากำหนดขอบเขตบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่สูง หรือน่าจะมีแหล่งแร่

1.4 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ภาคพื้นดิน เช่น การสำรวจวัดค่าความสั้นสะท้อน สำรวจหาแรงโน้มถ่วง หรือสำรวจสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กไฟฟ้า หรือความเข้มกัมมันตภาพรังสี

2. การสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่กึ่งรายละเอียด (Semi-detailed survey) การสำรวจในบริเวณที่คลุมพื้นที่น้อยกว่าการสำรวจเบื้องต้น ในบริเวณที่คาดว่าน่าจะมีแหล่งแร่ ทั้งนี้ อาศัยความเหมาะสมทางธรณีวิทยาที่จะให้กำเนิดแหล่งแร่และผลการสำรวจเบื้องต้น เป็นตัวชี้แนะกำหนดขอบเขตที่จะหาแหล่งแร่ให้แคบเข้า การสำรวจกึ่งรายละเอียดทำการสำรวจได้โดยการวิธีการธรณีฟิสิกส์ ธรณีเคมี และการเดินสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่โดยวิธีอื่น เช่น การเลี้ยงแร่ตามลำห้วย ลำธาร และการสำรวจธรณีวิทยาโดยละเอียดเพื่อจำกัดขอบเขตบริเวณที่เป็นแหล่งแร่

3. การสำรวจรายละเอียดแหล่งแร่ (Detailed survey) เป็นการสำรวจขั้นรายละเอียดเฉพาะแห่งในบริเวณที่คาดว่าน่าจะมีแร่ทุกชนิดอยู่ ทั้งนี้เป็นผลที่ได้จากการสำรวจกึ่งรายละเอียด ดังได้กล่าวมาแล้ว จึงทำการสำรวจเพื่อหาขอบเขต ทิศทางของแหล่งแร่ตลอดจนปริมาณแร่สำรอง ในขั้นนี้สามารถทำการสำรวจได้โดยวิธีธรณีฟิสิกส์ ธรณีเคมี และการเจาะสำรวจเพื่อหาปริมาณแร่สำรอง

จากขั้นตอนการสำรวจต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้น สามารถจะใช้วิธีการสำรวจวิธีการใดวิธีการหนึ่ง หรือหลายวิธีพร้อมกันตามความเหมาะสม สิ่งสำคัญที่สุดในการตัดสินใจว่าจะเลือกวิธีการใด ๆ ก็ตามจะต้อง คำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการสำรวจ โดยหลักการแล้วจะต้องเลือกวิธีการสำรวจที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แต่ในบางครั้งก็จำเป็นต้องใช้วิธีการสำรวจซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง แต่ก็ได้ผลคุ้มค่าแก่การลงทุน ในบางครั้งจะเห็นว่าค่าใช้จ่ายส่วนรวมสูงมาก แต่ถ้าคิดตามหน่วยพื้นที่แล้วจะเห็นว่าค่าใช้จ่ายไม่มากนัก เช่น วิธีการบินสำรวจทางอากาศซึ่งเสียค่าใช้จ่ายสูงมากแต่ได้ผลรวดเร็ว สามารถสำรวจคลุมบริเวณกว้างมากเมื่อ

เทียบค่าใช้จ่ายต่อหน่วยพื้นที่แล้ว จะถูกกว่าการสำรวจภาคพื้นดินและใช้เวลาในการสำรวจน้อยกว่ามาก จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการสำรวจหาข้อมูลเบื้องต้นในบริเวณกว้าง ๆ ประสิทธิภาพของการสำรวจจะมีมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของวิธีการสำรวจที่ใช้ ฉะนั้น ในการเลือกวิธีการสำรวจต้องคำนึงถึง

- ♦ ขนาดของพื้นที่
- ♦ ชนิดของแร่
- ♦ งบประมาณ

ในการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ หรือการสำรวจหาแหล่งแร่ให้ได้ผลตามเป้าหมายจะต้องมีการเตรียมข้อมูลเบื้องต้นอย่างละเอียด โดยคำนึงถึงความเหมาะสมด้วยเหตุผลสามประการดังกล่าวแล้ว เพื่อที่จะได้วางแผนปฏิบัติงานให้บรรลุเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองงบประมาณน้อยที่สุด เพื่อก่อให้เกิดการลงทุนที่จะได้ผลตอบแทนคุ้มค่าในการพัฒนาเป็นเหมืองแร่ต่อไป

Rose Hawkes and Webb (1979) ได้จัดทำตารางเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ ในการเลือกวิธีการสำรวจที่เหมาะสมกับพื้นที่สำรวจ กำหนดจากผลการสำรวจโดยวิธีต่าง ๆ ไว้ดังแสดงในรูปที่ 29

Ore guides	Normal target size					Property control		Reliability		Cost/ha <sup>2</sup>					Principal field of applicability						
	1 m	10 m	100 m	1 km	10 km	Required	Desirable	Immaterial	Excellent	Good	Fair	Dollars					Regional appraisal	Resource evaluation	Detailed exploration	Physical exploration	
												0-10	0-1	10	100	1000					10000
<b>Favorable geological features</b>																					
Metallogenic provinces								X										X			
Regional structures								X										X			
Proximity to known ore								X										X		X	
Host rock								X										X		X	
Local structures							X											X		X	
Mineral zoning							X											X		X	
Geosol ore boundaries								X										X		X	
<b>Geophysical anomalies</b>																					
Airborne geophysical anomalies								X										X			
Ground geophysical anomalies						X	X														X
<b>Geochemical anomalies</b>																					
Geochemical provinces								X										X	X		
Hydrothermal dispersion patterns						X	X											X	X	X	
Drainage anomalies							X	X										X		X	
Areal soil anomalies							X	X										X		X	
Localized soil anomalies						X	X													X	
Biogeochemical anomalies							X													X	
Geobotanical indicators								X												X	
<b>Ore exposures</b>																					
Outcrops								X												X	X
Trenches and pits						X															X
Drill core						X															X
Underground workings						X															X

รูปที่ 29 การเลือกวิธีการสำรวจแร่จากปัจจัยต่างๆ คัดลอกจาก Rose, Hawkes and Webb (1979)



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

## วิธีการสำรวจธรณีเคมี

การสำรวจธรณีเคมี ได้เริ่มมีมาตั้งแต่สมัยที่มนุษย์รู้จักใช้โลหะ นักสำรวจสมัยก่อนได้พบว่ สิ่งแวดล้อมต่างๆ ในบริเวณที่เป็นแหล่งแร่จะมีลักษณะพิเศษบางอย่างที่ทำให้ทราบว่าจะมีแหล่งแร่บริเวณนั้น เช่น เศษแร่ที่ผุพังกระจายอยู่ใกล้ ๆ บริเวณแหล่งแร่ หรือพบแร่สะสมตัวอยู่ตามลำธาร การติดตามหา แหล่งแร่เหล่านี้อาจสำรวจดูเม็ดแร่ด้วยตาเปล่า เช่น การร่อนหาแร่ตามลำห้วย ลำธาร ติดตามขึ้นไปเรื่อย ๆ จน พบแหล่งต้นกำเนิดของแหล่งแร่ แร่ที่สามารถสำรวจได้ด้วยตาเปล่ามักจะเป็นแร่ที่คงทนต่อการสึกกร่อน มัก จะพบสะสมตัวอยู่ใกล้ผิวดินหรือไหลอยู่เหนือพื้นดิน สำหรับแหล่งแร่ส่วนใหญ่แล้วมักจะไม่ไหลให้เห็น แต่ก็ สามารถที่จะทำการค้นหาได้โดยการศึกษาการกระจายของธาตุที่ทำให้กำเนิดแหล่งแร่นั้นโดยการสำรวจ ธรณีเคมี

การสำรวจธรณีเคมี เป็นวิธีการสำรวจที่ค่อนข้างสลับซับซ้อนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ มากมาย ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในการวางแผนการสำรวจจะต้องคำนึงถึงลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่ สภาพแวดล้อมทางธรณีเคมี ลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ปริมาณฝนตก ลักษณะทางน้ำ ลักษณะชั้นดิน และคุณสมบัติของธาตุที่เป็นแหล่งกำเนิดเป็นต้นว่าแร่ที่มีคุณสมบัติเคลื่อนที่ได้น้อยในบริเวณที่มีดินปกคลุมหนา จะไม่เหมาะกับการสำรวจธรณีเคมีวิธีการสำรวจธรณีเคมีที่ดีจะต้องเป็นวิธีการที่ง่ายค่าใช้จ่ายต่ำสามารถสำรวจ ในบริเวณกว้าง ๆ ได้ในเวลาที่รวดเร็ว และนำข้อมูลมากำหนดหาแหล่งแร่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

### 1. ขั้นตอนการสำรวจธรณีเคมี

การสำรวจธรณีเคมี แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

#### 1.1 การสำรวจหาข้อมูลเบื้องต้น (Orientation survey)

เป็นการศึกษาขั้นต้นเพื่อหาข้อมูลต่าง ๆ โดยทั่ว ๆ ไปในบริเวณที่จะทำการสำรวจ เช่น วิธี การสำรวจชนิดของตัวอย่างที่จะเก็บ วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างและธาตุที่จะวิเคราะห์ เป็นต้น

#### 1.2 การสำรวจธรณีเคมีในบริเวณไพศาล (Regional geochemical survey)

เป็นการสำรวจทำแผนที่ธรณีเคมีพื้นฐานในบริเวณไพศาลโดยการเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ น้ำ หรือดิน โดยมีความหนาแน่นของตัวอย่างน้อย ทำการวิเคราะห์ทางเคมี หลายธาตุหลาย ๆ ชนิดโดยไม่ใช้ ความสนใจแก่ธาตุใดธาตุหนึ่งเป็นพิเศษ เพื่อหาบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่สูง

#### 1.3 การสำรวจธรณีเคมีกึ่งรายละเอียด (Semi-detailed geochemical survey)

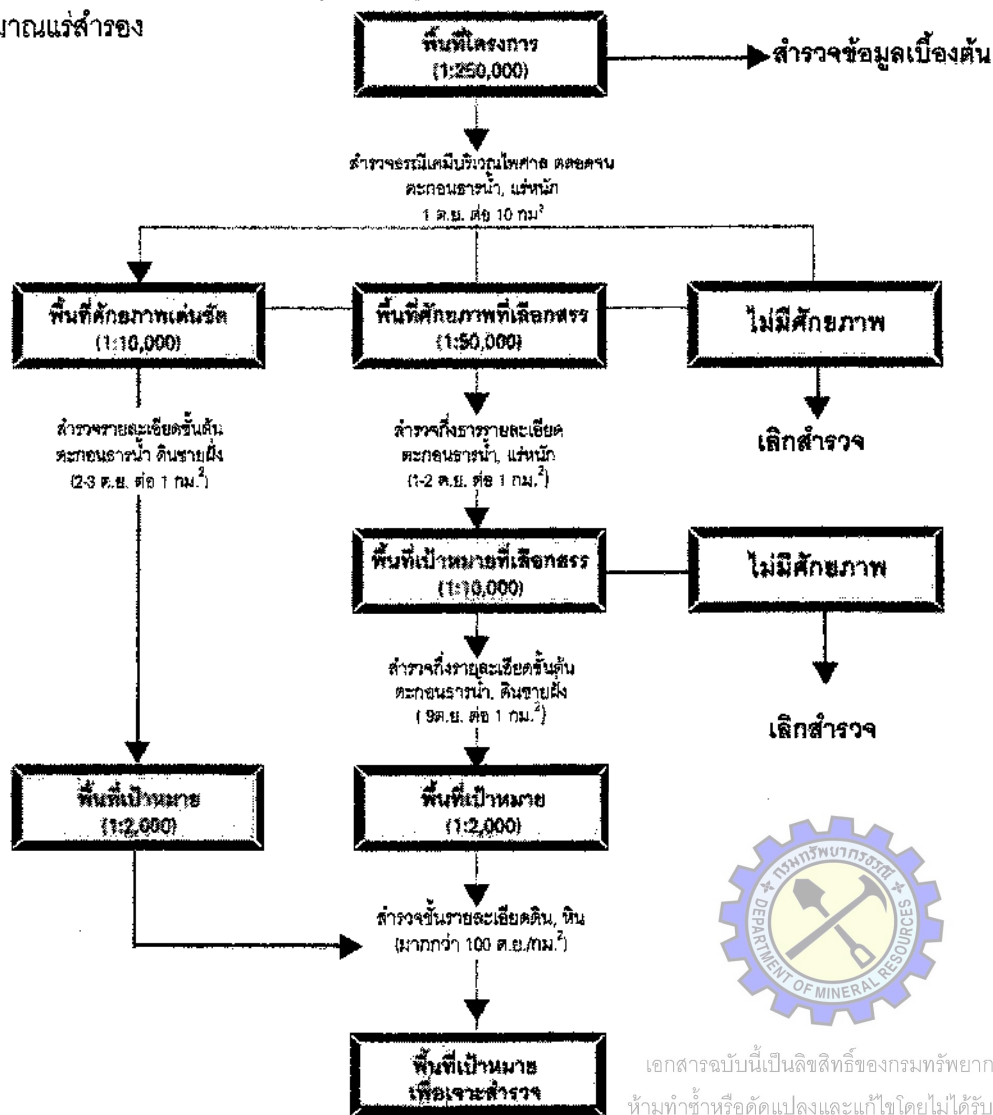
เป็นการสำรวจในบริเวณแคบลง หลังจากทำการสำรวจทำแผนที่ธรณีเคมีพื้นฐานแล้วทราบ ว่ามีศักยภาพทางแร่ชนิดหนึ่งชนิดใดสูงจึงทำการสำรวจค่อนข้างละเอียดขึ้น โดยการเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ ตัวอย่างดินหรือหิน โดยให้ระยะห่างของตัวอย่างน้อยลง และทำการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาปริมาณของธาตุ ที่ได้ศึกษาแล้วว่าจะมีความสัมพันธ์หรือเกี่ยวข้องกับแหล่งแร่เพื่อที่จะจำกัดขอบเขตบริเวณที่คิดว่าจะมีแหล่งแร่ ให้แคบเข้า

#### 1.4 การสำรวจธรณีเคมีโดยละเอียด (Detailed geochemical survey)

เป็นการสำรวจธรณีเคมีโดยละเอียดในบริเวณที่คิดว่าเป็นแหล่งแร่ โดยการตัดแนวชุดหลุม ทดลอง เก็บตัวอย่างดินหรือหิน หรือพืช มาวิเคราะห์ทางเคมีหาธาตุที่เกี่ยวข้องกับแหล่งแร่ให้ทราบถึง ขอบเขตและทิศทางของสายแร่ ซึ่งจะมีความสำคัญต่อการวางแผนสำรวจหารายละเอียดของแหล่งแร่ เพื่อที่ จะสามารถพัฒนาไปถึงขั้นเปิดการทำเหมืองแร่ได้ต่อไป

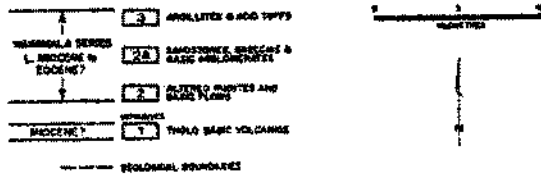
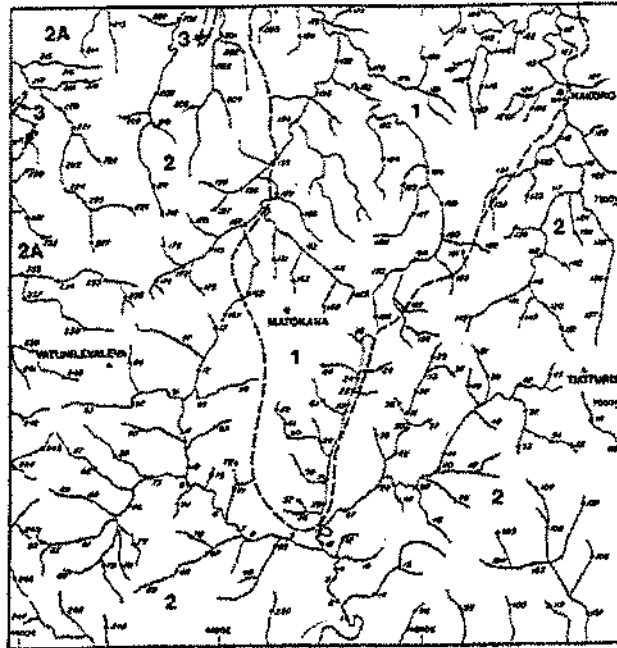
เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

รูปที่ 30 แสดงแผนภูมิการสำรวจธรณีเคมีตามขั้นตอนต่าง ๆ เริ่มจากการเลือกพื้นที่ขนาดใหญ่ เพื่อสำรวจธรณีเคมีบริเวณไพศาลโดยใช้แผนที่มาตราส่วน 1:250,000 มาทำการสำรวจเบื้องต้น (Orientation study) เมื่อจัดทำแผนการสำรวจแล้วทำการสำรวจธรณีเคมีบริเวณไพศาล (Regional) โดยการเก็บตัวอย่างตะกอนในลำห้วยพร้อมเสี้ยนหาแร่หนัก โดยมีความหนาแน่นของตัวอย่างประมาณ 1 ตัวอย่าง ต่อ 10 ตารางกิโลเมตร เพื่อคัดเลือกและกำหนดพื้นที่ที่มีศักยภาพที่เด่นชัดพื้นที่ที่มีศักยภาพที่น่าจะมีแหล่งแร่ และพื้นที่ที่ไม่มีศักยภาพ หลังจากนั้นทำการสำรวจติดตามผล โดยในพื้นที่ที่มีศักยภาพเด่นชัดจะทำการสำรวจขั้นรายละเอียดขั้นต้น (Preliminary detailed) โดยการเก็บตัวอย่างตะกอนธารน้ำและตัวอย่างดิน 2 ซ้ำมั้ง หรือตัวอย่างดินบนสันเขา และเชิงเขาต่างๆ ระยะ 300-500 เมตร หรือความหนาแน่นของตัวอย่างประมาณ 2-3 ตัวอย่างต่อหนึ่งตารางกิโลเมตร ใช้แผนที่มาตราส่วน 1:10,000 ส่วนในบริเวณที่ผลการสำรวจพบว่ามีศักยภาพทางธรณีเคมีไม่เด่นชัดนัก แต่คาดว่าจะน่าจะมีแหล่งแร่อยู่ก็จะทำการสำรวจธรณีเคมีทั้งรายละเอียดโดยการเก็บตัวอย่างตะกอนธารน้ำ และเสี้ยนหาแร่หนัก ความหนาแน่นของตัวอย่างประมาณ 1-2 ตัวอย่างต่อหนึ่งตารางกิโลเมตร โดยใช้แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 บริเวณที่ไม่พบศักยภาพทางธรณีเคมีก็จะถูกกันออกไปไม่ต้องสำรวจเพิ่มเติมอีก ผลที่ได้จากการสำรวจธรณีเคมีขั้นรายละเอียดขั้นต้นจะสามารถจำกัดพื้นที่เป้าหมายที่คาดว่าจะมีแหล่งแร่อยู่ และทำการสำรวจติดตามผลขั้นรายละเอียด โดยการตัดแนวเขตหลุมทดลองเก็บตัวอย่างดินหรือหินโดยใช้แผนที่มาตราส่วน 1:2,000 ผลที่ได้จากการสำรวจธรณีเคมีขั้นรายละเอียดจะสามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่มีศักยภาพทางแร่สูง น่าจะมีแหล่งแร่ทุกชั้นอยู่ใต้ดิน ก็จะพิจารณาจัดทำแผนการเจาะสำรวจเพื่อประเมินผลหาปริมาณแร่สำรอง

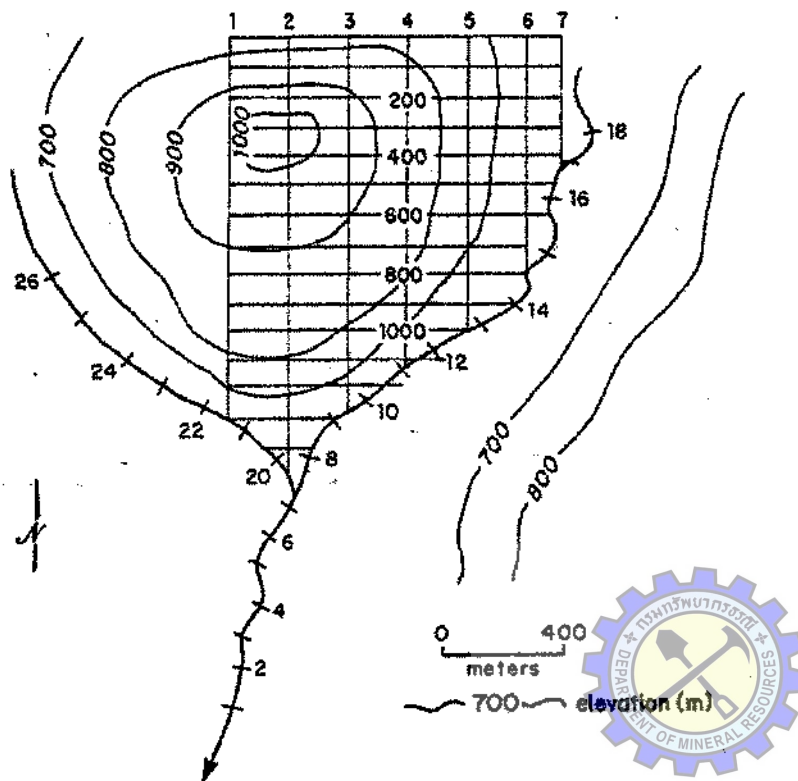


เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

รูปที่ 30 แสดงขั้นตอนการสำรวจธรณีเคมีอย่างเป็นระบบ

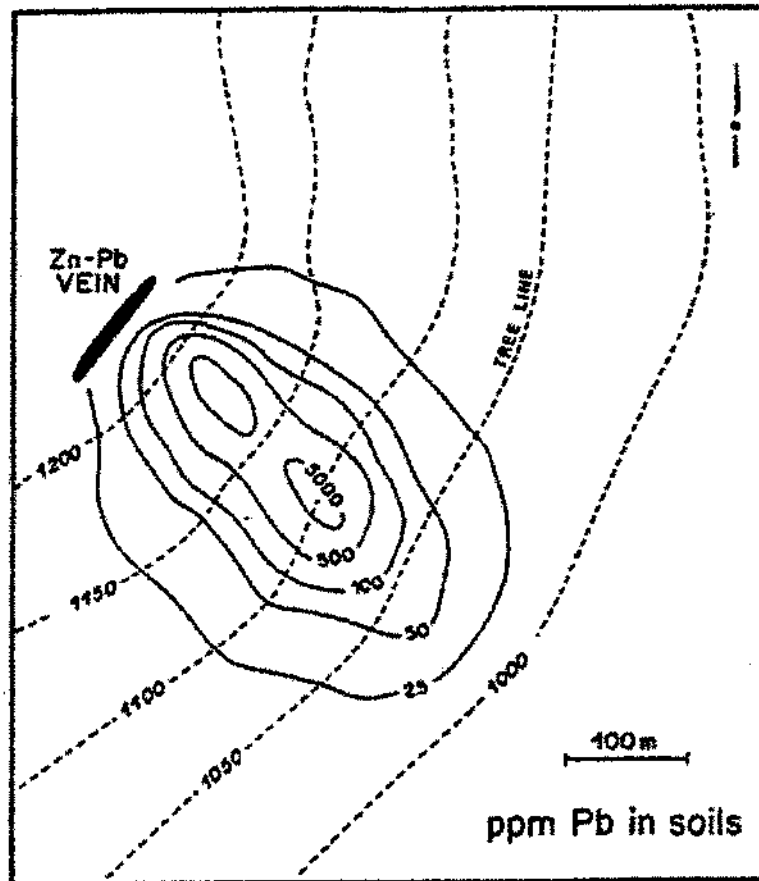


รูปที่ 31 จุดเก็บตัวอย่างตะกอนธารน้ำในการสำรวจธรณีเคมีบริเวณไฟศาลที่ Keiyasi area, Fiji คัดลอกจาก Levinson and others (1987)



รูปที่ 32 จุดเก็บตัวอย่างตะกอนธารน้ำและการตัดแนวเก็บตัวอย่างดินในการสำรวจธรณีเคมีที่ธารน้ำสายละเซียดวันตัน คัดลอกจาก Levinson and others (1987)

ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต



รูปที่ 33 ผลการสำรวจธรณีเคมีโดยการเก็บตัวอย่างดิน แสดงด้วยเส้น Contour แทนค่าปริมาณของตะกั่วที่สูงกว่าปกติ คัดลอกจาก Levinson and others (1987)

## 2. การสำรวจหาข้อมูลเบื้องต้น (Orientation survey)

การสำรวจธรณีเคมีในพื้นที่ใด ๆ จำเป็นต้องทราบข้อมูลพื้นฐานทางธรณีเคมีของพื้นที่ที่จะทำการสำรวจเสียก่อน คุณสมบัติต่าง ๆ ทางธรณีเคมีจะแตกต่างกันไปตามลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และลักษณะทางธรณีวิทยา การสำรวจธรณีเคมีเพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการแพร่กระจายของธาตุต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่หรือธรณีวิทยาที่รองรับ และปัจจัยอื่น ๆ ตามธรรมชาติ เพื่อเลือกชนิดของตัวอย่าง ตำแหน่งที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง ความห่างของจุดเก็บตัวอย่าง ธาตุที่จำเป็นต้องวิเคราะห์และวิธีการวิเคราะห์แปลความหมายข้อมูลที่เหมาะสม

ตามความเป็นจริงพื้นที่ส่วนใหญ่บนผิวโลกได้มีการสำรวจหาแหล่งแร่ และค้นพบแหล่งแร่ไปแล้ว แต่แหล่งแร่ส่วนใหญ่ที่ค้นพบมักจะเป็นแหล่งแร่ที่พบเห็นได้ง่ายหรือค้นพบโดยการสำรวจโดยวิธีธรรมดา ทำให้ยังมีแหล่งแร่ที่ยังไม่มีการค้นพบอีกเป็นจำนวนมากซึ่งซุกซ่อนอยู่ในระดับลึก ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า การสำรวจหาแหล่งแร่ในปัจจุบันจึงจำเป็นต้องค้นหาวิธีการใหม่ ๆ มาประยุกต์ใช้ วิธีการสำรวจธรณีเคมีจำเป็นต้องปรับปรุงอยู่ตลอดเวลา โดยการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น (Nichol, 1994)

ลักษณะรูปร่างการแพร่กระจายของธาตุในแหล่งแร่ประเภทต่าง ๆ จะแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อม ปฐมภูมิ และจะมีความแตกต่างกันมากขึ้นในสภาพแวดล้อมทุติยภูมิซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมบนผิวโลก การสำรวจธรณีเคมีจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับสภาพแวดล้อมทุติยภูมิ การสะสมตัวของธาตุที่ละลายตัวผู้พัง และทับถมอยู่บนแหล่งแร่ หรือถูกพัดพาเคลื่อนที่ไปสะสมตัวอยู่บริเวณนอกเขตแหล่งแร่ในดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ หรือในท้องลำธารที่ระดับลึกต่าง ๆ กัน จะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน วิธีการสำรวจธรณีเคมีจึงต้องใช้เทคนิคที่แตกต่างกัน เช่น การสำรวจแร่ทองคำหรือแร่หนักจะต้องมีวิธีการที่แตกต่างจากการสำรวจหาแร่อื่น ๆ โดยวิธี

การสำรวจที่ขึ้นอยู่กับวิธีการสำรวจหาข้อมูลเบื้องต้นจะต้องสามารถกำหนดวิธีการสำรวจที่เหมาะสมที่จะใช้ในการวางแผนสำรวจทุกขั้นตอนของการสำรวจในพื้นที่ที่กำหนด ซึ่งแต่ละขั้นตอน จะไม่เหมือนกัน

การเลือกพื้นที่เพื่อการสำรวจหาข้อมูลเบื้องต้นจะต้องเลือกพื้นที่สำรวจที่มีประสิทธิภาพที่คาดว่าจะหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยต่าง ๆ ที่สามารถนำมาใช้กับการวางแผนการสำรวจได้ทุกขั้นตอน ฉะนั้นพื้นที่ที่เลือกจะต้องครอบคลุมพื้นที่ทั้งที่มีแหล่งแร่และไม่มีแหล่งแร่ คือมีทั้งบริเวณที่มีปริมาณธาตุสูงผิดปกติและปกติ พร้อมทั้งบริเวณที่มีสิ่งปนเปื้อน (Contamination) ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อสำรวจหรือการแปลความหมายทางธรณีเคมี พื้นที่ที่มีค่าปกติในดินที่รองรับด้วยหินชนิดต่าง ๆ ที่แตกต่างกันจะต้องศึกษาอย่างละเอียดร่วมกับพื้นที่ที่มีสิ่งปนเปื้อน เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของธาตุจากแหล่งที่มาของสิ่งปนเปื้อน (Sources of contamination) ที่จำเป็นต้องดำเนินการในการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นได้

## 2.1 การเก็บตัวอย่างบริเวณแหล่งแร่

การเก็บตัวอย่างแร่จะต้องเก็บตัวอย่างที่สามารถเป็นตัวแทนของแร่ในแต่ละชั้นของสายแร่เพื่อให้ทราบถึงลักษณะ และคุณสมบัติการแพร่กระจายของธาตุที่เกิดขึ้นเป็นแหล่งแร่

ตัวอย่างแร่และหินบริเวณแหล่งแร่จะต้องเก็บมาศึกษาถึงลักษณะของแร่ ขนาดของเม็ดแร่ และคุณสมบัติทางเคมี และส่วนประกอบของธาตุต่าง ๆ ที่ประกอบเป็นแหล่งแร่ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ บริเวณสายแร่ และรอบ ๆ สายแร่

## 2.2 การเก็บตัวอย่างดิน

มีจุดประสงค์เพื่อหาความเหมาะสมที่จะเก็บเป็นตัวอย่างในการสำรวจ การกำหนดระยะห่างของจุดเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมและชั้นดินที่เหมาะสมที่จะเก็บเป็นตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างดิน จะต้องตัดแนวเริ่มจากบริเวณที่อยู่นอกแหล่งแร่ที่คิดว่าเป็นค่าภูมิหลัง ให้ผ่านบริเวณที่เป็นแหล่งแร่ไปสิ้นสุดในบริเวณที่ไม่มีแหล่งแร่ และตัดแนวในบริเวณที่ไม่มีแหล่งแร่ให้ผ่านชั้นหินที่รองรับทุกชนิดทำการเก็บตัวอย่างตามแนวที่ตัดไว้ โดยบริเวณแหล่งแร่ให้มีระยะห่างประมาณ 10-20 เมตรต่อ 1 ตัวอย่าง และมีระยะห่างเพิ่มขึ้นตามระยะห่างจากสายแร่ ทำการขุดดินเก็บตัวอย่างในทุก ๆ ชั้นของดินที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของดิน ตัวอย่างดินที่เป็นค่าภูมิหลังจะต้องเก็บทุกจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของชนิดหินที่รองรับอยู่ข้างล่างและที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของดิน การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นโดยการเก็บตัวอย่างดินจะต้องศึกษา

1. ลักษณะการสะสมตัวของธาตุที่ต้องการหาและธาตุชั้นนำ
2. ความมากน้อยของค่าสูงผิดปกติและค่าปกติ (Anomaly contrast)
3. ความกว้างของบริเวณที่มีปริมาณธาตุสูงผิดปกติ
4. ลักษณะของภูมิประเทศที่ทำให้มีปริมาณธาตุสูงผิดปกติ
5. ความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity)
6. ความแตกต่างของปริมาณธาตุที่สะสมอยู่ในดินที่ความลึกแตกต่างกัน ชนิดของชั้นดิน

และประเภทของดิน

## 2.3 การเก็บตะกอนธารน้ำ

มีจุดประสงค์เพื่อหาความเหมาะสมที่จะเก็บเป็นตัวอย่าง ชนิดของตัวอย่างที่ควรเก็บ และระยะห่างของจุดเก็บตัวอย่าง

วิธีเก็บตัวอย่างตะกอนธารน้ำ จะต้องเก็บตะกอนหลายชนิดในสภาพแวดล้อมของทางน้ำต่าง ๆ กัน ทั้งที่มีกระแสน้ำไหลช้าหรือในห้วงที่ไม่มีน้ำ เนื่องจากการสะสมตัวของธาตุแต่ละธาตุในตะกอนจะแตกต่างกันหลายรูปแบบ ทั้งที่เป็น Clastic และ Hydromorphic dispersion pattern ฉะนั้น จะต้องเก็บทั้งตัวอย่างเม็ดละเอียดบนพื้นผิวของลำธาร ตัวอย่างระดับลึก ชั้นทรายหยาบ และชั้นกรวดทรายที่มีการสะสมตัวของ

ทองคำและแร่หนักอื่น ๆ เช่น ดีบุก อุลแฟรมฯ โดยร่อนเอาตะกอนขนาดเล็ก การเก็บตัวอย่างแร่หนักในชั้น กรวดทรายระดับลึกโดยการเลี้ยงแร่ ในการหาข้อมูลเบื้องต้นจากการเก็บตะกอนที่ห้องน้ำจะต้องศึกษา

1. ลักษณะการสะสมตัวของธาตุทั้งที่ต้องการหาและธาตุอื่น ๆ
2. ความมากน้อยของค่าผิดปกติ (Anomaly contrast)
3. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดปกติในสภาพแวดล้อมในการสะสมตัวที่แตกต่างกัน
4. ระยะเวลาที่แสดงค่าผิดปกติ
5. ความสามารถหรือความเหมาะสมของตัวอย่างที่จะเป็นตัวแทนของบริเวณที่เก็บตัวอย่าง

#### 2.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่เก็บจากการสำรวจหาข้อมูลเบื้องต้น ทั้งตัวอย่างแร่ หิน ดิน และตะกอนธารน้ำหรือ แร่หนัก จะต้องนำมาวิเคราะห์ โดยวิธีเคมีหรือใช้เครื่องมือที่เหมาะสมทำการวิเคราะห์เพื่อหา

1. ความสัมพันธ์ของธาตุที่ประกอบเป็นแหล่งแร่กับหินที่รองรับ หิน และตะกอนธารน้ำ
2. ความกว้างและความยาวของขอบเขตการแพร่กระจายของธาตุในลักษณะต่าง ๆ
3. สถานภาพของธาตุต่าง ๆ ที่เกิดอยู่ตามธรรมชาติในแหล่งแร่ดินและตะกอนธารน้ำ
4. การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะในตัวอย่างที่เป็นเม็ดขนาดต่าง ๆ
5. ลักษณะการแพร่กระจายของธาตุในชั้นดินและตะกอนธารน้ำที่แตกต่างกัน
6. ความแตกต่างของปริมาณโลหะที่วิเคราะห์ได้จากภาควิเคราะห์โดยวิธีต่าง ๆ

#### 2.5 การแปลความหมายข้อมูล

การแปลความหมายข้อมูลที่ได้จากการสำรวจหาข้อมูลเบื้องต้นจะต้องทำการศึกษา :-

1. ค่าสูงผิดปกติของธาตุที่มีความสัมพันธ์กับดิน แหล่งแร่ และตะกอนธารน้ำ
2. ความยาวและความกว้างของบริเวณที่มีปริมาณธาตุสูงผิดปกติในดินและตะกอนธารน้ำ เพื่อใช้ในการกำหนดระยะห่างของจุดเก็บตัวอย่างในการสำรวจแต่ละขั้นตอน
3. การเลือกชั้นดินที่เหมาะสมเพื่อให้ผลวิเคราะห์สามารถครอบคลุมบริเวณที่มีค่าสูงผิดปกติมากที่สุดในการสำรวจธรณีเคมีบริเวณไพศาล และครอบคลุมบริเวณที่มีค่าสูงผิดปกติที่แคบที่สุดในการสำรวจธรณีเคมีชั้นรายละเอียด เพื่อจะได้กำหนดขอบเขตพื้นที่เป้าหมายที่คาดว่าจะมีแหล่งแร่ให้แคบที่สุด
4. เลือกขนาดของเม็ดตัวอย่างที่เหมาะสมเพื่อให้ผลวิเคราะห์แสดงความแตกต่างของปริมาณโลหะในตัวอย่างที่มีค่าสูงผิดปกติและค่าปกติได้มากที่สุด
5. เลือกวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสม

กล่าวโดยสรุป การสำรวจหาข้อมูลเบื้องต้นก็เพื่อให้ทราบว่าจะสามารถใช้วิธีการสำรวจโดยการเก็บตัวอย่างทางธรณีเคมีได้อย่างไร ซึ่งถ้าผลการสำรวจพิสูจน์ได้ว่าไม่สามารถจะสำรวจโดยการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ทางเคมีได้ก็จะได้วางแผนการสำรวจโดยวิธีอื่น ๆต่อไป โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย หรือถ้าสำรวจธรณีเคมีไปแล้วก็อาจทำให้เกิดความเข้าใจผิด จากผลการแปลความหมายทางธรณีเคมีที่ไม่ถูกต้องสืบเนื่องมาจากการใช้วิธีการเก็บตัวอย่างธรณีเคมีที่ไม่เหมาะสมทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายโดยไม่สามารถค้นพบแหล่งแร่ได้ ถึงแม้ว่าจะมีแหล่งแร่ชุกช่อนอยู่ก็ตาม

ผลที่ได้รับจากการสำรวจธรณีเคมีเบื้องต้น จะสามารถทำให้ทราบถึงข้อมูลดังนี้

1. ชนิดของตัวอย่างที่จะเก็บ
2. ระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนของการสำรวจ
3. วิธีการเก็บตัวอย่าง
4. วิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ที่เหมาะสม
5. ขนาดของเม็ดตัวอย่างที่วิเคราะห์ให้ได้ผลวิเคราะห์ที่ดีที่สุดตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ



6. วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ให้ผลวิเคราะห์ที่ดีที่สุด
7. การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณธาตุที่แพร่กระจายอยู่ในบริเวณที่เป็นแหล่งแร่ กับบริเวณที่มีปริมาณธาตุปกติในบริเวณที่รองรับด้วยหินชนิดต่าง ๆ
8. ค่ามวลค่าใช้จ่ายในการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

### 3. หลักการและวิธีการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างธรณีเคมี สามารถเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ได้หลายชนิดด้วยกัน เช่น หิน ดิน ตะกอนท้องน้ำ น้ำ อากาศ และพืช เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และความเหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างที่จะให้ผลดีจะต้องให้ตัวอย่างที่เก็บสามารถแทนค่าการแพร่กระจายบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง และบริเวณใกล้เคียงได้ดีที่สุด ฉะนั้น จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติการแพร่กระจายของธาตุในบริเวณที่เก็บตัวอย่างและเก็บตัวอย่างให้มีความหนาแน่นของจุดเก็บตัวอย่างที่เหมาะสม ความหนาแน่นของจำนวนตัวอย่างขึ้นอยู่กับ

1. ขนาดพื้นที่ที่จะทำการสำรวจ
2. ข้อมูลต่างๆ ที่เคยได้สำรวจมาแล้ว
3. ขอบเขตบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่ตามที่คาดหมายเอาไว้
4. ระยะเวลาและงบประมาณ

ในการเตรียมการเพื่อเก็บตัวอย่างในสนามจะต้องจัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในงานสำรวจ เช่น แผนที่ภูมิประเทศและธรณีวิทยามาตราส่วน 1:250,000 และ 1:50,000 เข็มทิศหรืออุปกรณ์หาตำแหน่ง (GPS) ซ้อนธรณี และซ้อนปอนด์ กรวดเกลือ 1:1 เลียงสำหรับเลียงแร่ จอบ เสียม บังกี มีด ถังน้ำ พลาสติกขนาดต่างๆ เชือก และยางรัด ตะแกรงขนาด 1 ซม. ตะแกรงมาตรฐานขนาด 80 เมช, 100 เมช, 200 เมช และแบบบันทึกข้อมูลในสนาม เป็นต้น

ตารางที่ 8 ตะแกรงคัดขนาดมาตรฐานขนาดต่างๆ เปรียบเทียบกับขนาดรูของตะแกรง

Common Sieve Sizes

Tyler	US/Canada	Microns	Inches
10	12	1680	0.0661
20	20	841	0.0331
35	40	420	0.0165
60	60	250	0.00984
80	80	177	0.00697
100	100	149	0.00587
150	200	74	0.00291
250	230	63	0.00248
400	400	37	0.00146

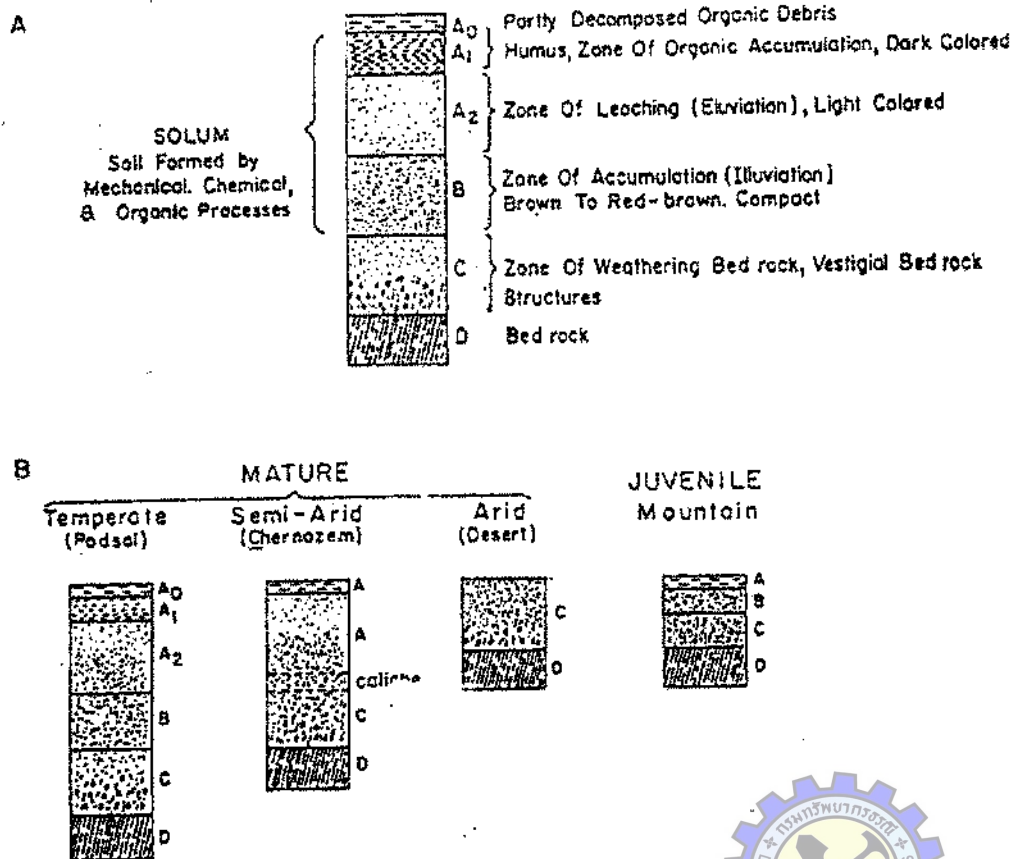
#### 3.1 การเก็บตัวอย่างหิน

การเก็บตัวอย่างหินเพื่อนำมาวิเคราะห์เคมีนั้น จุดประสงค์เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของธาตุ ขณะที่ให้กำเนิดแหล่งแร่ (primary dispersion) เพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของบริเวณโลหะจากจุดกำเนิดแหล่งแร่ไปในบริเวณรอบ ๆ ว่าเปลี่ยนแปลงอย่างไร ตัวอย่างหินส่วนมากแข็งและทำความยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์เสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก จึงไม่ค่อยนิยมในการสำรวจธรณีเคมีทั่วไป ส่วนใหญ่ที่เก็บจะเป็นงานวิจัยและการสำรวจรายละเอียดแหล่งแร่เท่านั้น ในการเก็บตัวอย่างจะต้องเก็บตัวอย่างที่สด คือ ยังคงสภาพเดิม และขนาดตัวอย่างที่เก็บประมาณ 2 x 3 x 4 นิ้ว

### 3.2 การเก็บตัวอย่างดิน

โดยทั่ว ๆ ไป เราแบ่งประเภทของดินเป็น 2 ชนิด คือ Residual soil ซึ่งหมายถึง ดินที่เกิดอยู่กับที่ จากการผุพังทำลายของหินเดิมและไม่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งดินพวกนี้จะมีความสัมพันธ์กับหินที่รองรับ อีกประเภทหนึ่ง คือ Transport soil ซึ่งเป็นดินที่ถูกพัดพามาจากที่อื่น ได้แก่ ดินตามที่ลุ่ม และที่ราบในหุบเขา ดินพวกนี้จะไม่มีความสัมพันธ์กับชั้นหินที่รองรับในการสำรวจธรณีเคมีโดยการเก็บตัวอย่างดินนั้น เราจะเก็บเฉพาะดินที่เป็น Residual soil เท่านั้น เพราะสามารถจะเป็นตัวแทนของบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างได้

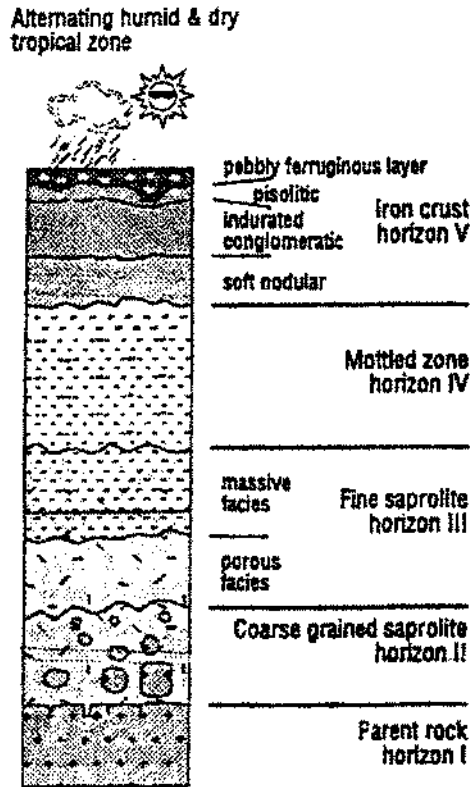
ชั้นดินโดยทั่ว ๆ ไป สามารถแยกออกได้เป็น 3 ชั้น คือ ชั้นบนสุด หรือชั้น A เป็นชั้นที่ประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ เป็นส่วนมาก เช่น พืช รากไม้ ใบ ที่สะสมอยู่ ธาตุต่าง ๆ ที่อยู่ในชั้นนี้ส่วนใหญ่จะละลายไปสะสมตัวอยู่ในชั้นกลาง หรือชั้น B ส่วนชั้น C เป็นชั้นที่อยู่ล่างสุด ประกอบด้วยเศษหินของชั้นหินเดิม ชั้นดินทั้งสามนี้สังเกตได้จากลักษณะสีและส่วนประกอบทางกายภาพ ในการเก็บตัวอย่างดินเพื่อทำการวิเคราะห์นั้น ส่วนใหญ่จะเป็นงานสำรวจธรณีเคมีชั้นรายละเอียด ในบริเวณที่ทราบว่ามีศักยภาพทางแร่สูงจึงทำการเก็บตัวอย่างดินโดยการตัดแนวจุดหลุมเก็บตัวอย่างโดยมีระยะระหว่างตัวอย่างค่อนข้างแคบ ตั้งแต่ 10-200 เมตร ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการสำรวจ ตัวอย่างที่เก็บได้ส่วนใหญ่มักจะเก็บบริเวณตอนบนของชั้น B ที่ระดับความลึกไม่เกิน 1 ฟุต จากผิวดิน ทั้งนี้ เนื่องจากชั้น B จะมีปริมาณธาตุสะสมตัวอยู่ค่อนข้างสูงกว่าชั้นอื่น ทำให้สะดวกต่อการวิเคราะห์และแปลความหมายของธรณีเคมี ลักษณะของชั้นดินชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 34



รูปที่ 34 ภาพตัดขวางแสดงลักษณะของชั้นดินชนิดต่างๆ คัดลอกจาก Andrews Jones (1968)  
A ลักษณะของชั้นดินที่สมบูรณ์แบบ B ลักษณะของชั้นดินในบริเวณที่มีภูมิอากาศต่างๆ กัน

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

ลักษณะการเกิดชั้นดินในบริเวณที่มีฝนตกชุก (Tropical zone) โดยเฉพาะในประเทศไทย ซึ่งมีฝนตกชุกในฤดูฝนเป็นเวลานาน มีความแห้งแล้งและอากาศร้อนในฤดูร้อน จะทำให้เกิดชั้นดินหนาและเกิดการสะสมตัวของแร่ทุติยภูมิ เช่น แร่ดิน โดยเฉพาะคาโอลิไนต์มากทำให้อัตราส่วนของ A ต่อ Si ในชั้นดินเพิ่มขึ้น และมักจะเกิดการสะสมตัวของดินลูกรังหรือศิลาแลง (Lateritic) เป็นชั้นหนาดังแสดงในรูปที่ 35



รูปที่ 35 ภาพตัดขวางแสดง Lateritic iron crust บนชั้นดินบริเวณที่มีฝนตกชุก คัดลอกจาก Darnley and others (1995)

### 3.3 การเก็บตัวอย่างตะกอนธารน้ำ (stream sediment)

การเก็บตัวอย่างตะกอนธารน้ำเป็นวิธีการสำรวจธรณีเคมีที่ใช้กันแพร่หลายในการสำรวจธรณีเคมีบริเวณไพศาล การสำรวจกิ่งรายละเอียดและรายละเอียดชั้นดิน เพื่อหาการแพร่กระจายของธาตุทั้งที่เป็นเม็ดแร่และละลายปนมากับน้ำโดยอาศัยหลัก

1. ตัวอย่างตะกอนธารน้ำ จะเป็นตัวแทนของวัตถุที่อยู่เหนือน้ำขึ้นไป
2. ถ้าบริเวณเหนือน้ำมีแหล่งแร่อยู่ ตัวอย่างที่เก็บจะให้ค่าปริมาณธาตุที่ประกอบเป็นแหล่งแร่หรือธาตุที่เกี่ยวข้องมากกว่าปกติ

3. ปริมาณโลหะที่พบบริเวณแหล่งแร่หรือรอบ ๆ แหล่งแร่จะมีมากกว่าในบริเวณที่ไม่มีแหล่งแร่ จากหลักเกณฑ์ตามทีกล่าวมานี้ จึงสามารถเก็บตะกอนธารน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่ได้ การเก็บตัวอย่างวิธีนี้โดยทั่ว ๆ ไปจะต้องเก็บตัวอย่างตะกอนที่ถูกพัดพามาใหม่ ๆ (Active Stream Sediments) คือถูกพัดพามาในฤดูกาลเดียว ซึ่งมี 2 ลักษณะ คือ ตะกอนเม็ดละเอียดที่สะสมอยู่บนบริเวณผิวบนของพื้นลำธาร ซึ่งจะดูดซึมไว้ในลักษณะของ Hydromorphic dispersion และตะกอนที่สะสมตัวอยู่ข้างล่างในชั้นกรวดทรายซึ่งประกอบด้วยเม็ดแร่ที่ถูกพัดพามาจากแหล่งแร่นั้น ในการเก็บตัวอย่างจึงสามารถเก็บตัวอย่างได้ 2 วิธี จะใช้วิธีใดวิธีหนึ่งหรือทั้ง 2 วิธี ก็ได้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ว่าต้องการหาแร่ประเภทใด โดยจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของวิธีการสำรวจและพื้นที่ที่สำรวจเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องและเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด นอกจากนี้การเก็บตัวอย่างตะกอนที่องน้ำจะต้องเก็บในฤดูกาลเดียวกันสำหรับงานสำรวจแต่ละพื้นที่

### 3.3.1 การเก็บตัวอย่างตะกอนพื้นผิว

ตัวอย่างตะกอนพื้นผิว เหมาะสำหรับการสำรวจหาแร่ที่สามารถละลายปนมากับน้ำได้ดี และจะถูกดูดซับไว้ในดินโคลนและตะกอนเม็ดเล็ก ๆ ที่ชั้นผิวบนของพื้นลำธาร ได้แก่ แร่โลหะพื้นฐานต่าง ๆ เช่น Pb, Zn, Cu, Sb ฯลฯ ซึ่งสามารถสลายตัวและถูกพัดพาแพร่กระจายไปสะสมตัวในรูปของ Hydromorphic dispersion pattern สะสมตัวปนอยู่ในตะกอนธารน้ำ การเลือกจุดเก็บตัวอย่างจะต้องเก็บบริเวณกลางลำห้วยที่มีกระแสไหลช้ามีตะกอนเม็ดเล็กมาก โดยใช้มือหรือวัสดุอื่นที่ทำด้วยไม้ช้อนเก็บตัวอย่างพื้นผิวที่ระดับความลึก 1-2 ซม. หลาย ๆ ตัวอย่าง (ไม่ต่ำกว่า 5 ตัวอย่าง) ในรัศมี 10-20 เมตร ในแต่ละตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างได้ในฤดูกาลที่น้ำซึมผ่านได้หรืออุณหภูมิต่ำ 2 ชั้น ปริมาณตัวอย่างประมาณครึ่งกิโลกรัม พร้อมเขียนหมายเลขตัวอย่างกำกับการเลือกจุดเก็บตัวอย่าง จะต้องเก็บในลำธารขนาดเล็ก ที่มีน้ำไหล (Secondary stream) หรือลำธารแห้งที่มีขนาดใหญ่ โดยให้มีความหนาแน่นของตัวอย่างประมาณ 5-10 ตารางกิโลเมตร สำหรับการสำรวจธรณีเคมีบริเวณไพศาลหรือระยะห่างของตัวอย่างประมาณ 300-500 เมตร ในการสำรวจธรณีเคมีทั้งรายละเอียดและรายละเอียดขั้นต้น ในการเก็บตัวอย่างจะต้องหลีกเลี่ยงบริเวณที่คาดว่าจะมีสิ่งปนเปื้อน เช่น กองขยะหรืออาคารบ้านเรือน เพราะจะทำให้เกิดการวิเคราะห์และแปลความหมายทางธรณีเคมีผิดพลาดได้ ตัวอย่างที่เก็บจะต้องนำมาตากให้แห้งและคัดขนาดด้วยตะแกรงตามขนาดที่ต้องการ

### 3.3.2 การเก็บตัวอย่างตะกอนระดับลึก

ในการสำรวจหาทองคำและแร่หนัก ซึ่งมีความคงทนต่อการสึกกร่อน ไม่ค่อยละลายในน้ำแร่จำพวกนี้ ได้แก่ ทองคำ แพลทินัม ดีบุก วุลแฟรม โคลัมไบต์ แทนทาลิต หรือแร่หนักอื่น ๆ จะเคลื่อนที่ไปสะสมตัวในดินหรือในลำธารในลักษณะเป็นเม็ด (clastic) โดยจะจมไปอยู่ในดินชั้นล่างหรือชั้นกรวดทรายจากแรงโน้มถ่วงของโลก การเก็บตัวอย่างตะกอนธารน้ำเพื่อหาแร่ประเภทนี้ จะต้องเก็บตัวอย่างในชั้นกรวดทรายในบริเวณที่กระแสน้ำแรงและลดความเร็วอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นบริเวณที่ตะกอน พร้อมเม็ดแร่ ที่พัดพามากับน้ำโดยกระแสน้ำจะตกตะกอนในขณะที่ความเร็วของกระแสน้ำลดลง และแร่หนักจะจมตัวลงไปสะสมตัวปนอยู่กับชั้นทรายหรือในดินเหนียวตามช่องว่างของชั้นกรวดทราย การเก็บตัวอย่างกระทำโดยการขุดเอาตะกอนชั้นกรวดทรายมาคัดเอากรวดและทรายหยาบออกโดยร่อนผ่านตะแกรงขนาดเม็ดทราย แล้วร่อนคัดขนาดอีกครั้งหนึ่งในน้ำโดยตะแกรงขนาด 80 เมช ( $177 \mu\text{m}$ ) ให้ได้ตัวอย่างเม็ดละเอียดประมาณ 100 กรัม ใส่ถุงพลาสติกแล้วนำมาตากให้แห้งเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมีตามขนาดที่ต้องการ

Day and Fletcher (1989) ได้ศึกษาถึงลักษณะการสะสมตัวของทองคำในตะกอนท้องน้ำ และขนาดของตะกอนที่เหมาะสมในการวิเคราะห์พบว่า ตะกอนขนาดใหญ่มากกว่า  $105 \mu\text{m}$  จะให้ค่าผิดพลาดที่ไม่ค่อยชัดเจน คลาดเคลื่อนมาก เป็นผลจาก Nugget effect ในการสำรวจหาทองคำโดยการเก็บตะกอนท้องน้ำ จึงควรวิเคราะห์ตะกอนขนาดน้อยกว่า  $105 \mu\text{m}$  (-150 เมช) ขนาดที่เหมาะสมควรใช้ตะกอน ขนาดน้อยกว่า  $74 \mu\text{m}$  (-200 เมช) หรือน้อยกว่า  $63 \mu\text{m}$  (-250 เมช) ซึ่งให้ผลวิเคราะห์ที่แสดงค่าผิดพลาดค่อนข้างชัดเจนกว่าตะกอนขนาดใหญ่

Kantawong (1993) ได้ศึกษาคุณสมบัติการแพร่กระจายของเม็ดแร่ทองคำในดินและตะกอนท้องน้ำของแหล่งแร่ทองคำ บ้านแม่ต่างกลาง จังหวัดเชียงราย โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างขนาด -80 เมช และ -230 เมช พบว่า ตัวอย่างขนาด -80 เมช ให้ค่าผิดพลาดที่แสดงทิศทางที่ไม่ชัดเจนในขณะที่ตัวอย่างขนาด -230 เมช ให้ค่าผิดพลาดที่แสดงทิศทางของการแพร่ได้ชัดเจนกว่า ทั้งนี้เกิดจากการที่เม็ดทองคำขนาดใหญ่ที่ไหลไปกับน้ำจะถูกดึงดูดโดยแรงโน้มถ่วงไปเก็บกักไว้ในชั้นกรวดทรายได้ง่ายกว่าการวิเคราะห์ ตัวอย่างขนาด -230 เมช จึงเหมาะสำหรับการสำรวจขั้นต้น (บริเวณไพศาล) ในขณะที่การวิเคราะห์ตัวอย่างขนาด -80 เมช สามารถใช้ในการสำรวจติดตามผลได้ดีโดยเฉพาะในบริเวณกระแสน้ำไหลแรง

### 3.4 การเก็บตัวอย่างแร่หนักจากตะกอนท้องน้ำ

การเก็บตัวอย่างแร่หนัก มีจุดประสงค์เพื่อสำรวจหาแร่ปฐมภูมิที่ฝังมากจากแหล่งกำเนิดเดิม

ซึ่งเป็นแร่จำพวกแร่หนักที่คงทนถาวรต่อการผุพัง และเคลื่อนที่ไปได้ไม่ไกล เช่น ทองคำ ดีบุก วุลแฟรม โคลัมไบต์ แทนทาไลต์ เป็นต้น แร่พวกนี้จะถูกพัดพาโดยกระแสน้ำรวมไปกับตะกอนดินทรายและทับถมอยู่ในลำธาร ซึ่งจะค่อย ๆ จมลงไปอยู่ข้างล่าง ในการเก็บตัวอย่างแร่หนักกระทำโดยการร่อนหรือเลียงแร่ โดยใช้ถาด หรือ เลียงซึ่งทำด้วยไม้หรือโลหะ ทำการเลียงดินทรายที่ขุดขึ้นมาจากส่วนลึกของลำธารบริเวณในชั้นกะละ หรือ ประมาณ 30-50 เซนติเมตร ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 เซนติเมตร ให้ได้ตัวอย่างประมาณ 15 ลิตร นำตัวอย่างมาเลียง เก็บตัวอย่างแร่หนักใส่ถุงพลาสติก เขียนหมายเลขกำกับเพื่อนำไปศึกษาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทั้งทางด้านศิลาวรรณาและวิเคราะห์ทางเคมี พร้อมบันทึกตำแหน่งและสภาพแวดล้อมของพื้นที่ตามรูปแบบการบันทึกข้อมูล ตัวอย่างแร่หนักจะนำมาศึกษาเพื่อหาชนิดของแร่ ลักษณะ คุณสมบัติของแร่ ทางฟิสิกส์และทางเคมี เช่น ขนาดของเม็ดแร่ รูปร่างของเม็ดแร่ ส่วนประกอบของแร่ และคุณสมบัติอื่น ๆ ทางศิลาวรรณา โดยการนำตัวอย่างมาร่อนล้างให้สะอาด แยกแร่ชนิดต่าง ๆ โดยแม่เหล็ก คัดขนาด ศึกษาแร่ด้วยกล้องจุลทรรศน์ และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุทางเคมี ในการเก็บตัวอย่างแร่หนักสามารถกระทำได้พร้อม ๆ กับการเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ ทั้งนี้ เพื่อจะได้ทำการเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ

### 3.5 การเก็บตัวอย่างน้ำ

น้ำก็เป็นตัวอย่างอีกอย่างหนึ่งที่ใช้ในการสำรวจธรณีเคมี สามารถเก็บตัวอย่างน้ำจากลำธาร น้ำซับ น้ำพุ หรือจากบ่อน้ำ มาวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำเพื่อติดตามหาบริเวณที่เป็นแหล่งแร่ได้ ส่วนใหญ่จะใช้ในการสำรวจธรณีเคมีทั่วไปข้างต้นเพื่อหาขอบเขตบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่สูง ปริมาณตัวอย่างน้ำโดยทั่ว ๆ ไปจะเก็บประมาณ 1 ลิตร ใส่ในขวดพลาสติก และจะต้องวิเคราะห์ภายในระยะเวลาอันสั้น ถ้าจำเป็นต้องเก็บไว้นานจะต้องหยุดกรดลงไปประมาณ 2-3 หยด

### 3.6 การเก็บตัวอย่างพืช

การเก็บตัวอย่างพืช เป็นอีกวิธีหนึ่งในการสำรวจธรณีเคมีเบื้องต้นและโดยละเอียดโดยอาศัยคุณสมบัติพิเศษของพืชชนิดที่สามารถดูดซึมธาตุบางชนิดได้มาก การสำรวจโดยการเก็บตัวอย่างพืชนั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. ทำแผนที่ความหนาแน่นของพืชชนิดหนึ่งที่ชอบขึ้นในดินที่มีธาตุที่ต้องการสำรวจนั้นมากเป็นพิเศษ พืชชนิดนี้เรียกว่า Indicator plants มักเป็นพืชเล็ก พุ่ม เตี้ย รากสั้น
2. โดยการวิเคราะห์ส่วนต่าง ๆ ของพืช พืชพวกนี้เป็นพืชรากลึกดูดซึมธาตุบางชนิดได้ดีแล้วสะสมธาตุนั้นไว้ในส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะที่ใบ พืชประเภทนี้เรียกว่า Accumulator plants การสำรวจทำโดยเก็บตัวอย่างจากส่วนเดียวกันของพืช จากพืชชนิดเดียวกัน อายุไล่เลี่ยกัน และควรเก็บด้านทิศเดียวกันด้วยการวางแนว หรือระยะเหมือนเก็บตัวอย่างดินแล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุที่ต้องการบริเวณใดที่แสดงค่าปริมาณธาตุสูงก็ทำการสำรวจรายละเอียดต่อไป

สิ่งที่สำคัญที่สุดในการเก็บตัวอย่างทุกชนิด คือ ต้องระวังหลีกเลี่ยงสิ่งที่จะเข้ามาปะปน ทำให้ผลวิเคราะห์ผิดพลาด ทำให้การแปลความหมายทางธรณีเคมีผิดพลาดไป คือ เกิดความเบี่ยงเบนจากปกติเทียม (false anomaly) ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการวิเคราะห์เอง หรือมลภาวะอื่น ๆ ได้แก่

1. การทำเหมือง ซึ่งทำให้ตัวอย่างที่เก็บจะมีธาตุสะสมตัวมากผิดปกติ
2. มลภาวะจากโรงงานอุตสาหกรรม
3. จากที่อยู่อาศัย ชยะต่าง ๆ
4. จากการเกษตรกรรม
5. จากเศษโลหะต่าง ๆ

สาเหตุต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้ จะทำให้ปริมาณของธาตุที่สะสมตัวอยู่ในดิน ตะกอนท้องน้ำ น้ำ หรือในพืชสูงผิดปกติทำให้เกิด false anomaly ฉะนั้น ในการเก็บตัวอย่างจะต้องสังเกตโดยละเอียด และต้อง



จุดข้อมูลต่าง ๆ ไว้ให้ละเอียด เพื่อใช้ในการแปลความหมายทางธรณีเคมี นอกจากนี้ จะต้องพยายามเลือกจุดเก็บตัวอย่างให้เหมาะสมและพยายามหลีกเลี่ยงสิ่งทำให้เกิดมลทินให้มากที่สุด

#### 4. การวางแผนการเก็บตัวอย่าง

ในการเก็บตัวอย่าง จะต้องวางแผนการสำรวจหรือการเก็บตัวอย่างอย่างมีแบบแผน เคยมีการเก็บตัวอย่างธรณีเคมีพร้อม ๆ กับการสำรวจเพื่อทำแผนที่ธรณีวิทยา ปรากฏว่าการเก็บตัวอย่างไม่ได้ ข้อมูลเพียงพอเนื่องจากการเดินสำรวจธรณีวิทยานั้นไม่จำเป็นต้องเดินสำรวจทั่วทุกพื้นที่ ทำให้การเก็บตัวอย่างเป็นไปอย่างกระจัดกระจายไม่สามารถจะมาศึกษาทางธรณีเคมีให้ได้ผลดีได้ ฉะนั้น ในการสำรวจธรณีเคมี จำเป็นจะต้องศึกษาถึงแนวทางในการเดินเก็บตัวอย่างโดยศึกษาถึงสภาพภูมิประเทศ และการหลังไหลของน้ำ แล้วจึงวางแผนการเก็บตัวอย่าง ซึ่งในขณะเดียวกันก็สามารถที่จะศึกษาธรณีวิทยาได้ด้วยไม่ทำให้การปฏิบัติงานซ้ำไปมากนัก

ในการเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ จะใช้เจ้าหน้าที่ชุดหนึ่งประมาณ 3-4 คน ทำการเก็บตัวอย่างโดยพักแรมในบริเวณที่ทำการสำรวจหรือบริเวณใกล้เคียง สำหรับงานสำรวจที่ต้องการความหนาแน่นของจุดเก็บตัวอย่าง 1-2 ตารางกิโลเมตรต่อตัวอย่าง จะต้องเก็บตัวอย่างในลำธารทุก ๆ ระยะ 1.5-1 กิโลเมตรในลำห้วยใหญ่ และประมาณ 1.5 กิโลเมตรในห้วยแยก แต่ในกรณีที่มีห้วยแยกมากก็ไม่จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างในห้วยใหญ่ให้ถี่นัก

ในการเดินเก็บตัวอย่างควรเดินเก็บไปในแนวลำห้วยใหญ่เพื่อให้สะดวกต่อการเก็บตัวอย่าง และการหาตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง ส่วนด้านการหลีกเลี่ยงมลทินต่าง ๆ ในการเก็บตัวอย่าง (contamination) นั้น จะต้องพยายามเก็บตัวอย่างให้อยู่ห่างจากถนนหรือทางรถไฟไปทางด้านน้ำหรือห่างจากบริเวณที่ทำเหมืองหรือหมู่บ้านออกไป และจะต้องบันทึกไว้ให้ละเอียดว่ามีตัวการที่จะทำให้เกิดมลทินอยู่ในบริเวณไหนบ้าง

ตัวอย่างตะกอนท้องน้ำที่เก็บนั้น จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของตัวอย่างที่เก็บโดยเฉพาะขนาดของตะกอนซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะเก็บตะกอนที่ขนาดเล็ก คือ ขนาด silt และ clay เนื่องจากมีคุณสมบัติในการดูดซึมได้ดี ส่วนประกอบของตะกอนท้องน้ำจะขึ้นอยู่กับลักษณะของธรณีวิทยาในบริเวณที่รองรับปริมาณการสึกกร่อนทำลาย ลักษณะการกำเนิดชั้นดิน ลักษณะความหนาแน่นของพีชความสูงชันของภูมิประเทศตลอดจนลักษณะการหลังไหลของน้ำและอื่น ๆ ฉะนั้น ผู้เก็บตัวอย่างควรจะต้องเก็บตัวอย่างในบริเวณกึ่งกลางของลำธารให้มากที่สุดโดยหลีกเลี่ยงการเก็บตัวอย่างที่ผุพังมาจากตลิ่ง

วิธีการเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ สามารถเก็บโดยใช้มือเก็บหรือใช้วัสดุอย่างอื่นที่ทำด้วยไม้ โดยจะต้องเก็บตัวอย่างหลาย ๆ จุดในระยะ 10-12 เมตร รอบ ๆ บริเวณนั้นให้ได้ปริมาณตัวอย่างประมาณ 1.5 กิโลกรัม โดยเลือกเป็นเฉพาะเม็ดละเอียด ขนาด silt หรือ clay เท่านั้น ตัวอย่างที่เก็บใส่ไว้ในถุงกระดาษหุพูนหรือพลาสติก 2 ชั้น ในกรณีที่ไม่มียุงกระดาษ โดยเขียนชื่อ เลขที่ตัวอย่าง สอดไว้ระหว่างกลางเพื่อนำมาตากในสำนักงาน ในขณะที่เก็บตัวอย่างจะต้องกำหนดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างที่แน่นอนลงไปบนแผนที่และบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ของบริเวณที่เก็บตัวอย่างโดยละเอียด เป็นต้นว่า ลักษณะธรณีวิทยา ลักษณะการไหลของน้ำ ความกว้างของทางน้ำ ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะของตัวอย่างที่เก็บ และลักษณะของป่าไม้ เป็นต้น ตามปกติมักจะบันทึกใน field card ซึ่งจัดเตรียมไว้โดยมีรายละเอียดรายการที่จะต้องบันทึกแสดงไว้เป็นช่อง ๆ รายละเอียดข้อมูลที่ต้องบันทึก ได้แก่

- ชื่อโครงการ (Name of Project)
- ผู้เก็บตัวอย่าง (Sampler)
- วันที่ (Date)
- หมายเลขตัวอย่าง (Sample No.)
- ตำแหน่งพิกัด (Location-Co-Ordinate X, Y)
- ชนิดของตัวอย่าง (Sample Type)



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

- ◆ ชนิดของหินรองรับ (Geological Unit)
- ◆ ความกว้างของลำธาร (Width of stream)
- ◆ ความลึกของลำธาร (Depth of stream)
- ◆ ความเร็วกระแสน้ำ (Rate of flow)
- ◆ ระดับน้ำ (Water level)
- ◆ ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง (Sample position)
- ◆ ลักษณะของฝั่ง (Nature of banks)
- ◆ ความลาดชัน (Relief)
- ◆ สีของน้ำ (Colour of water)
- ◆ ขนาดและส่วนประกอบ (Size, Composition of sediment sample)
- ◆ มลพิษ (Contamination)
- ◆ สภาพการใช้ที่ดิน (Land use)

ในการเขียนหมายเลขของตัวอย่างจะต้องเขียนอย่างมีระบบ โดยทั่ว ๆ ไปแล้วในการสำรวจธรณีเคมีทั่วไป การเขียนหมายเลขตัวอย่างมักจะเขียนเริ่มต้นด้วยหมายเลขของแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ก่อนแล้วเขียนตามด้วยหมายเลขตัวอย่าง เช่น 53441-1 53441-2 เป็นต้น เมื่อเริ่มต้นแผนที่ใหม่ก็เริ่มเลขที่ตัวอย่างใหม่ ทั้งนี้เพื่อให้สืบสวนเวลาทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ส่วนตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างในการสำรวจธรณีเคมีบริเวณไพศาลควรใช้ grid system โดยเขียนหมายเลขด้านเหนือ 7 หลัก ตะวันออก 6 หลัก เช่น 1944350N 574500E หรือ 1954350/574500

#### ข้อแนะนำในการเก็บตัวอย่าง

1. ในการเก็บตัวอย่างธรณีเคมีโดยการเก็บตัวอย่างดิน ตะกอนท้องน้ำ ในแต่ละตำแหน่ง จะต้องเก็บตัวอย่างหลาย ๆ จุด ประมาณ 5-8 จุด ในตำแหน่งเดียวกันภายในรัศมีประมาณ 10 เมตร เพื่อหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาด (error) ในการเก็บตัวอย่างและประหยัดค่าใช้จ่าย
2. ควรเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง (Duplicate sample) อย่างน้อย 30 จุดเก็บตัวอย่างต่อ 1 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์หาความแปรปรวนของผลวิเคราะห์ (Variance) ตัวอย่างที่เก็บที่จุดเดียวกันสำหรับเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูล □



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

## การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์

ตัวอย่างที่เก็บจากสนามเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุ ทั้งตัวอย่างดิน ตะกอนธำหรือน้ำ หิน หรือ แร่หนักจะต้องนำมาจัดเตรียมด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสม จะต้องทำอย่างระมัดระวังอย่าให้หมายเลขตัวอย่างสลับกัน และทุก ๆ ขั้นตอนจะต้องหลีกเลี่ยงจากการเกิดมลพิษโดยทุก ๆ ขั้นตอน ทุกอย่างจะต้องรักษาความสะอาดและระมัดระวังไม่ให้วัตถุอื่น ๆ ตกลงปะปนกับตัวอย่าง

ขั้นตอนต่าง ๆ ในการเตรียมตัวอย่างกล่าวโดยย่อ ๆ คือ

1. ตัวอย่างดินและตะกอนท้องน้ำ เอามาตากให้แห้งหรืออบในเตาที่มีอุณหภูมิต่ำ บดค่อย ๆ ให้ดินที่จับตัวแตกออกจากกัน ร่อนผ่านตะแกรงในลอนขนาด 80 เมช 120 เมช หรือ 200 เมช ตามความประสงค์ที่จะใช้วิเคราะห์โดยเอาส่วนที่ลอดตะแกรงไปวิเคราะห์

2. ตัวอย่างน้ำ ถ้าวิเคราะห์ทันทีที่ไม่ได้ให้หยดกรดเกลือบริสุทธิ์ลงไป 2-3 หยด เพื่อไม่ให้ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ตกตะกอนหรือจับขอบภาชนะที่เก็บแล้ววิเคราะห์ภายในระยะเวลาเร็วที่สุด

3. ตัวอย่างพืช ผ่านกรรมวิธี Ashing คือ ทำให้เป็นเถ้าถ่าน ซึ่งมีทั้ง Dry Ashing และ Wet Ashing แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ต่อไป

4. ตัวอย่างหิน ล้างให้สะอาด ทำให้แห้งบดละเอียด แบ่ง 4 เอา 1 ส่วน

วิธี ดันกุล (2541) ได้จัดทำคู่มือการเตรียมตัวอย่างธรณีเคมี สำหรับใช้เป็นคู่มือในห้องปฏิบัติการทางเคมีเพื่อให้นักปฏิบัติงานมีมาตรฐานเป็นแบบอย่างถูกต้อง มีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่สำคัญดังนี้

1. การทำให้ตัวอย่างอยู่ในสภาพที่เหมาะสมในการขนย้าย

2. กำจัดน้ำออกไป (ทำให้ตัวอย่างแห้ง) เพื่อให้สามารถดำเนินการเตรียมตัวอย่างในขั้นตอนต่อไปโดยสะดวก ไม่เกิดปัญหา

3. คัดแต่ส่วนที่ต้องการวิเคราะห์ เช่น การร่อน คัดขนาดตัวอย่างดินหรือตะกอน และการแยกแร่หนัก เป็นต้น

4. ทำตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenous) เพื่อขจัดปัญหาความแตกต่างในตัวอย่างแต่ละส่วน

5. บดตัวอย่างให้มีขนาดเหมาะสมที่จะใช้ทำการวิเคราะห์

### ข้อปฏิบัติในการเตรียมตัวอย่าง

1. ผู้เตรียมตัวอย่างต้องสวมเสื้อกันเปื้อนและหน้ากากกันฝุ่นให้เรียบร้อยก่อนทำการเตรียมตัวอย่าง

2. ตรวจสอบความถูกต้องเกี่ยวกับรายละเอียดของตัวอย่าง และหมายเลขตัวอย่างที่ได้รับมอบหมายให้ทำการวิเคราะห์

3. จัดแยกประเภทตัวอย่างที่ได้รับมาให้เป็นหมวดหมู่ และเตรียมตัวอย่างตามวิธีการเตรียมตัวอย่างแต่ละชนิดและประเภท

4. เขียนทำเครื่องหมายหรือปิดฉลากหมายเลขตัวอย่างที่ภาชนะใส่ตัวอย่างทุกครั้งที่มีการเปรียบเทียบตัวอย่าง โดยดำเนินการที่ใส่ตัวอย่างเพื่อป้องกันการผิดพลาดเกี่ยวกับหมายเลขตัวอย่าง

5. ระมัดระวังเป็นพิเศษเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนระหว่างตัวอย่างต่อตัวอย่างหรือชุดตัวอย่าง (samples and batch of sample) ในการเตรียมตัวอย่าง

6. ทำความสะอาดเครื่องมือทุกครั้งเพื่อใช้เตรียมตัวอย่างเสร็จ 1 ตัวอย่าง และเมื่อเลิกใช้งาน Jaw crusher, plate pulverizer และตะแกรงคัดขนาดต้องทำความสะอาดด้วยแปรง เช็ดด้วยผ้าแห้ง และเป่า

ทำความสะอาดด้วยลมและบีบลม หัวบดเครื่องบดแบบ Swing mill ต้องล้างเช็ดด้วยผ้าสะอาด และเช็ดด้วย acetone เป่าด้วยลมร้อนจนแห้ง แล้วจึงใช้งานต่อไปได้

### 1. วิธีเตรียมตัวอย่างดินและตะกอนธาณน้ำ

1) เปิดถุงตัวอย่าง เหน้าซึ่งอยู่ที่ส่วนบนทิ้งด้วยความระมัดระวัง เรียงถุงตัวอย่างใส่ในถาดตั้งตัวอย่างไว้ให้ตัวอย่างแห้ง (การดำเนินการตามข้อนี้เป็นกรทำให้ตัวอย่างแห้งด้วยอากาศ ใช้ในกรณีที่มีตัวอย่างที่จะเตรียมเป็นจำนวนมาก และเดอบมีไม่พอใช้งานหรือเป็นการดำเนินการเพื่อลดระยะเวลาการอบตัวอย่างในเดอบให้สั้นลง หากจะอบตัวอย่างให้แห้งโดยใช้เดอบให้ดำเนินการตั้งแต่ข้อ 2 เป็นต้นไป

2) ถ่ายตัวอย่างจากถุงตัวอย่างลงในถ้วยกระเบื้อง (porcelain disc) ขนาดเหมาะสมกับปริมาณตัวอย่างซึ่งได้ทำเครื่องหมายหรือหมายเลขตัวอย่างไว้แล้ว นำไปอบในเดอบอุณหภูมิ 105 °C จนตัวอย่างแห้ง กรณีที่จะต้องทำการวิเคราะห์ Hg ด้วย อบที่อุณหภูมิ 50-55 °C ตัวอย่างควรแห้งภายใน 2-3 วัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่าง

3) นำตัวอย่างที่แห้งแล้วมาคั้นเบาๆ ในโถรงบดยาโบราณ (agate mortar) เพื่อให้เม็ดตัวอย่างหลุดออกจากกันระวังอย่าคั้นด้วยความรุนแรงจะกลายเป็นการบดจนทำให้เม็ดตัวอย่างถูกบดจนแตก

4) คัดตัวอย่างที่คั้นแล้วผ่านตะแกรง (U.S. standard sieve or equivalent) ขนาด 80 เมช รวบรวมตัวอย่างขนาด 80 เมช เพื่อดำเนินการต่อไป

กรณีที่ผู้ขอรับบริการมีความประสงค์ให้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างขนาดตามที่ระบุมาในคำขอ ให้คัดขนาดตัวอย่างโดยใช้ตะแกรงขนาดที่ระบุและรวบรวมตัวอย่างขนาดนั้นๆ เพื่อดำเนินการต่อไป

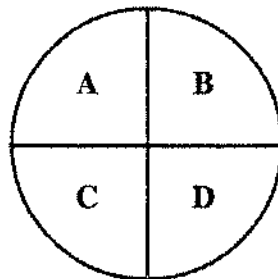
5) เทตัวอย่างขนาดที่ต้องการลงกลางแผ่นพลาสติกขนาดประมาณ 40x40 ซม. ที่ทำเครื่องหมายที่มุม "1", "2", "3", "4" เรียงตามเข็มนาฬิกาไว้แล้ว

6) เกลี่ยตัวอย่างให้ราบลงโดยหมุนตามเข็มนาฬิกา เริ่มต้นจากยอดตัวอย่างลดลงไปที่ฐาน ให้ตัวอย่างแผ่เป็นรูปวงกลม ยกแผ่นพลาสติกมุม "1" ขึ้น และดึงมันมาทางมุม "3" ในลักษณะเดียวกัน ดำเนินการในทำนองเดียวกันโดยยกมุม "2" มาทางมุม "4" และยกมุม "4" มาทางมุม "2" ตามลำดับ ให้ทำการผสมตัวอย่างในลักษณะดังกล่าวข้างต้นอย่างน้อย 32 ครั้ง เพื่อให้ตัวอย่างผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

7) ตัวอย่างที่ผสมแล้ว

7.1 หากมีปริมาณไม่เกิน 100 กรัม ให้เทใส่ขวดตัวอย่างและทำเครื่องหมายติดหมายเลขตัวอย่างให้เรียบร้อย จัดเป็นหมวดหมู่ เรียงหมายเลข เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ต่อไป

7.2 หากมีปริมาณเกิน 100 กรัม ให้เทตัวอย่างลงบนตรงกลางของแผ่นพลาสติกในลักษณะรูปกรวย (Cone shape) ใช้ spatula ที่สะอาดแบ่งตัวอย่างออกเป็น 4 ส่วน เท่า ๆ กันดังรูป



ปาดเอาส่วน A และ D ทิ้งไป ผสมส่วน B และ C ที่เหลือเข้าด้วยกัน ทำซ้ำจนเหลือตัวอย่างประมาณ 100 กรัม จึงเทลงขวดตัวอย่าง ติดหมายเลขตัวอย่างจัดเก็บเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

7.3 ในกรณีเตรียมตัวอย่างเพื่อ duplicate sample ให้เก็บตัวอย่างเพื่อแบ่ง 4 เป็นครั้งสุดท้าย ส่วน A และ D ผสมให้เข้ากัน ใช้เป็นตัวอย่างสำหรับ duplicate

7.4 ในกรณีตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ขนาดใหญ่มากกว่า -80 เมช เช่น ขนาด -20+80 เมช

ให้ทำตัวอย่างที่ผ่านการแบ่ง 4 แล้วมาบดด้วยเครื่อง Swing mill เพื่อให้มีขนาดประมาณ 200 เมช แล้วจึงบรรจุขวดจัดเก็บเพื่อใช้ทำการวิเคราะห์ต่อไป

## 2. วิธีเตรียมตัวอย่างหิน และแท่งหินจากการเจาะ (rock and core sample)

1) ทูบตัวอย่างด้วยฉนวนให้มีขนาดพอที่จะนำมาย่อยด้วยเครื่องบด Jaw crusher ได้ (ขนาดประมาณ 1-1.5 นิ้ว)

2) นำตัวอย่างมาย่อยด้วยเครื่องบด Jaw crusher ให้มีขนาดประมาณ 1/8 นิ้ว

3) นำตัวอย่างที่ผ่านการบดด้วย Jaw crusher แล้วมาบดครั้งที่ 2 ด้วยเครื่องบด Plate pulverizer

4) ผสมและแบ่งตัวอย่างตามวิธีการ เตรียมตัวอย่างดิน และตะกอนธารน้ำ ช้อ 5, 6 และ 7 (ยกเว้นช้อ 7.4) หรือใช้ zone riffle splitter เพื่อให้ได้ตัวอย่างประมาณ 100 กรัม

5) นำตัวอย่างไปอบให้แห้งในเตาอบอุณหภูมิ 105°C

6) บดตัวอย่างด้วย swing mill ให้ตัวอย่างมีขนาด 100 เมช

7) เติตัวอย่างใส่ขวดติดหมายเลข และจัดเก็บเพื่อใช้ทำการวิเคราะห์ต่อไป □



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

## การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตัวอย่างธรณีเคมีที่ได้เตรียมไว้แล้วตามขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่างจะต้องนำมาวิเคราะห์ทางเคมี ตัวอย่างส่วนใหญ่จะมีปริมาณธาตุแต่ละชนิดผสมอยู่น้อยมาก คือ มีปริมาณเป็นส่วนต่อล้าน (ppm) หรือส่วนต่อพันล้าน (ppb) เท่านั้น ฉะนั้นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์จะต้องมีประสิทธิภาพในการวัดค่าปริมาณธาตุสูงมาก และจะต้องประหยัดค่าใช้จ่าย วิเคราะห์ได้รวดเร็ว และสามารถวิเคราะห์ได้หลาย ๆ ธาตุในการเตรียมตัวอย่างเพียงครั้งเดียว การวิเคราะห์ตัวอย่างสามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น

1. โดยการเทียบสี (colorimetry, Paper chromatography, Spot tests, Gravimetric, Volumetric, Specific Ion Electrodes) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โดยวิธี Wet process โดยการเติมสารละลายให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี

2. โดยการใช้เครื่องมือทำให้เกิดการแผ่รังสี เช่น เครื่องมือ Atomic Absorption Spectrometry (AAS), Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (IGP-AES), Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) และ X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) เป็นต้น

การเลือกวิธีการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับความสะดวกและความเหมาะสมในการวิเคราะห์แต่ละธาตุหรือกลุ่มธาตุ ในอดีตการวิเคราะห์ด้วยวิธี Colorimetric ค่อนข้างจะถูกกว่าวิธีอื่น แต่มีข้อจำกัดคือ วิเคราะห์ได้ช้าและในการเตรียมตัวอย่างแต่ละครั้งสามารถวิเคราะห์ได้ธาตุเดียวเท่านั้น ในปัจจุบันจึงนิยมใช้เครื่องมือที่ทันสมัย ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้รวดเร็ววัดค่าได้ละเอียดกว่า และสามารถวัดค่าได้หลาย ๆ ธาตุในการเตรียมตัวอย่างครั้งเดียว

### 1. การทำละลายตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างบางครั้งหรือส่วนใหญ่จะต้องนำตัวอย่างมาทำละลายในสารละลาย ก่อนที่จะวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ การทำละลายมี 3 ลักษณะ คือ Cold extraction, Hot extraction และ Total extraction ซึ่งแต่ละวิธีจะมีความสามารถในการทำละลายแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการสำรวจธรณีเคมีโดยการเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำหรือตัวอย่างดิน นิยมใช้วิธี Hot extraction โดยการทำละลายด้วยกรด ซึ่งกรดแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการทำละลายไม่เหมือนกัน ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดย Total Analysis อาจจะต้องนำตัวอย่างมาหลอมละลาย (Fusion) แล้วละลายด้วยกรด

#### 1.1 การละลายตัวอย่างด้วยกรด (Acid digestion)

การละลายตัวอย่างด้วยกรดใช้ทั้งวิธี Cold extraction เพื่อหา partial analysis และ Hot extraction หรือ Total extraction

กรดที่ใช้ละลายมีหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งมีคุณสมบัติในการทำละลายเหมาะสมกับธาตุแต่ละชนิด และเครื่องมือในการวิเคราะห์ไม่เหมือนกัน กรดที่นิยมใช้ ได้แก่

*Weak hydrochloric acid (0.5 N HCl)* สำหรับใช้ละลายธาตุที่ถูกดูดซับโดยดินเหนียว หรือ สารอินทรีย์ซึ่งสามารถละลายได้ง่าย บางครั้งก็ใช้ organic acid เช่น EDTA แทนได้

*กรดเกลือเข้มข้น (Conc-HCl)* เป็นกรดแก่ที่สามารถละลายสารประกอบจำพวก Carbonate, Phosphates, Borates และ Sulphates (ยกเว้น Barite)

*กรดไนตริก (HNO<sub>3</sub>)* ใช้ละลายสารประกอบจำพวก Sulphides, Selenides, Tellurides, Arsenides, Sulphoarsenides และ Phosphates

*กรดกัดแก้ว (HF)* มีคุณสมบัติในการละลาย SiO<sub>2</sub> โดยการทำปฏิกิริยากับ SiO<sub>2</sub> เกิดสารประกอบ SiF<sub>4</sub> และยังใช้เป็นตัวทำละลายสารประกอบ Oxides และ Sulphides

*กรดเปอร์คลอริก (HClO<sub>4</sub>)* ใช้ละลายแร่จำพวก Sulphides และธาตุที่ถูกดูดซับไว้ในดินหรือ

อินทรีย์วัตถุ ปัจจุบันนี้ไม่ค่อยนิยมใช้เนื่องจากอาจทำปฏิกิริยากับอินทรีย์วัตถุทำให้เกิดระเบิดได้

กรดกัดทอง (Aquaregia) เป็นส่วนประกอบของ HCl และกรด  $\text{HNO}_3$  ในอัตราส่วน 3:1 ใช้ในการละลายสารประกอบ Sulphides, Arsenides, Selenides, Tellurides, Sulphosalt และธาตุ Au, Pt และ Pd ใช้ละลายธาตุที่ถูกดูดซับในดินเหนียวและสารอื่น ๆ ที่มีการสลายตัวแล้ว

ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometry (AAS) หรือ Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES) นิยมใช้ Aqua region หรือส่วนประกอบของ  $\text{HF-HClO}_4\text{-HNO}_3\text{-HCl}$  ตามอัตราส่วนที่เหมาะสม เป็นตัวทำละลายโดยวิธี Hot Extraction

## 1.2 การหลอมละลาย (Fusion)

เป็นการเตรียมตัวอย่างโดยการหลอมละลายตัวอย่างที่อุณหภูมิสูง ( $500^\circ\text{-}1000^\circ\text{C}$ ) เพื่อหา Total attach analysis การหลอมละลายของตัวอย่างมี 2 ลักษณะ คือ Acid base และ Oxidation-reduction ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อหลอมละลายจึงต้องผสม Flux ในตัวอย่าง เพื่อช่วยทำปฏิกิริยากับสารประกอบของธาตุในตัวอย่างทำให้ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างสามารถละลายในตัวทำละลายเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุได้ Flux ที่ใช้ผสมตัวอย่างมี 2 ชนิด คือ Alkaline Flux และ Acid flux

Alkaline flux ได้แก่  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{HCO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{HO}_3$ , NaOH, KOH, Lithium meta or tetraborate และ Na tetraborate

Acid flux ได้แก่  $\text{NaHSO}_4$ ,  $\text{KHSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ,  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ , Boran trioxide และ hydrofluoride

Oxidative reagent ได้แก่  $\text{Na}_2\text{O}_2$ ,  $\text{KNO}_3$  และ  $\text{KClO}_3$

ในการหลอมละลายจะต้องเติมสารผสมคาร์บอนเช่น แป้งลงไปด้วย เพื่อชะลอการหลอมละลายให้ช้าลง

วิธีการหลอมละลายกระทำโดยการนำเอาตัวอย่างผสมกับ flux ที่เหมาะสมใส่ใน crucible ที่ทำด้วย graphite หรือ pt แล้วเผาที่อุณหภูมิ  $500^\circ\text{-}1000^\circ\text{C}$  ประมาณครึ่งชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วทำละลายด้วยกรด  $\text{HNO}_3$  หรือ HCl เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ต่อไป

## 2. การวิเคราะห์ตัวอย่างโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometry (AAS)

เครื่องมือ AAS มี 2 แบบ คือ Flame AAS และ Graphite furnace (GF) AAS เครื่อง F-AAS สามารถวิเคราะห์ได้ทั้ง Major, Minors และ Trace elements ได้แก่ Si, Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Ti, Mn, Ba, Be, Co, Cr, Li, Ni, Pb, Rb, Sr, V และ Zn และมีบางธาตุเช่น Ag, Bi, Cd, Mo, Sb, As, Ga, In, Tl และ Se ซึ่งจะต้องทำให้มีความเข้มข้นที่มากพอเสียก่อนที่จะวิเคราะห์ด้วย F-AAS GF-AAS สามารถจะวิเคราะห์ปริมาณธาตุได้ละเอียดกว่า F-AAS ถึงประมาณ 1-3 เท่า แต่มักจะมีปัญหาเกี่ยวกับ Interferences และวิเคราะห์ได้ช้ากว่า ธาตุที่จำเป็นจะต้องหาปริมาณโดยละเอียดโดย GF-AAS ได้แก่ Ag, Cd, In, Sn, Tl, Pb และที่สำคัญคือ Au, Pt, Pd และ Rh ธาตุต่างๆ ที่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วย AAS ได้แสดงไว้ในรูปที่ 36



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรแร่  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

ELEMENTS BY AAS																															
<b>KEY</b> a - FIRE ASSAY PRECONC. c - CVA e - EXTRACTION PRECONC. f - FAA g - GFAA h - HGAA																															
<b>COMPLEXITY</b> 1. SIMPLE 2. MODERATE 3. MOST																															
H	He	B	C	N	O	F	Ne												Ar	Kr	Xe	Rn									
Li	Be	Al	Si	P	S	Cl	Ar	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr												Xe	Rn					
Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr												Xe	Rn				
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe												Rn				
Ce	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn												Rn			
Fr	Ra	Ac	(Rf)	(Ha)															Rn												Rn
Indicates "best" element by this technique																															
① Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu ② Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No (Lr)																															

รูปที่ 36 ธาตุที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer คัดลอกจาก Darnley and others (1995)

AAS ได้เริ่มใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุตั้งแต่ปี 1960 แต่เริ่มจะหมดความนิยม ภายหลังจากได้มีการคิดค้นวิธีวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง ICP-AES หลังปี 1970 เนื่องจากการวิเคราะห์โดย AAS เสียเวลามาก คือ วิเคราะห์ได้ครั้งละ 1 ธาตุเท่านั้น ไม่สามารถวิเคราะห์หลาย ๆ ธาตุในครั้งเดียวกัน และในการวิเคราะห์ต้องทำให้ความเข้มข้นของสารละลายอยู่ในช่วงที่เครื่องมือจะวัดได้ ทำให้ต้องลดความเข้มข้นของสารละลายอยู่ตลอดเวลาและมีความผิดพลาดได้สูง ในปัจจุบันจึงนิยมใช้เครื่องมือ ICP-AES แทน

### 3. การวิเคราะห์ตัวอย่างโดยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES)

เครื่อง ICP-AES ได้เริ่มนำมาใช้ในปี ค.ศ. 1975 สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ 20-60 ธาตุ ในเวลาเพียง 2-3 นาที เท่านั้น และสามารถวัดหาปริมาณธาตุที่มีความเข้มข้นกว้าง จึงสามารถจะทำการวิเคราะห์ในการทำละลายครั้งเดียว ธาตุที่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วย ICP-AES จะหาตัวอย่างที่ทำละลายด้วย HCl HNO<sub>3</sub> และ HF-HClO<sub>4</sub>-HNO<sub>3</sub>-HCl ได้แสดงไว้ในรูปที่ 37

ELEMENTS BY ICP-AES																															
<b>KEY</b> h - HYDRIDE p - PRECONCENTRATION BY EXTRACTION, FIRE ASSAY OR RESIN																															
<b>COMPLEXITY</b> 1. SIMPLE 2. MODERATE 3. MOST																															
H	He	B	C	N	O	F	Ne												Ar	Kr	Xe	Rn									
Li	Be	Al	Si	P	S	Cl	Ar	Ca	Ge	As	Se	Br	Kr												Xe	Rn					
Rb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu												Rn		
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe												Rn				
Ce	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn												Rn			
Fr	Ra	Ac	(Rf)	(Ha)															Rn												Rn
Indicates "best" element by this technique																															
① Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu ② Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No (Lr)																															

รูปที่ 37 ธาตุที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณด้วยเครื่อง ICP-AES คัดลอกจาก Darnleys and others (1995)



**ELEMENTS BY XRF**

KEY		COMPLEXITY																	
1. FUSED DISC		1. SIMPLE		B	C	N	O	F	Ne										
p-PRESSED POWDER		2. MODERATE		Al	Si	P	S	Cl	Ar										
		3. MOST		Ti	Fe	As	Se	Br	Kr										
H	He	Li	Be	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
		Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
		Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
		Fr	Ra	Ac	(Rf)	(Ha)													

① Indicates "best" element by this technique

①	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
②	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	(Lr)

รูปที่ 39 ธาตุที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ด้วยเครื่อง XRF คัดลอกจาก Darley and others (1995)

**6. การวิเคราะห์ตัวอย่างโดยวิธี Fire Assay**

ในการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุโลหะมีค่า (Precious metal) ในตัวอย่าง เช่น Au, Ag และ Pt นอกจากวิธีด้วยการละลายตัวอื่นด้วย Aqua-regia และหาปริมาณด้วย AAS แล้ว วิธีที่นิยมใช้คือ Fire Assay เนื่องจากในตัวอย่างส่วนใหญ่จะมี Au, Ag หรือ Pt ผสมอยู่เพียงจำนวนน้อยมาก ในการวิเคราะห์จำเป็นต้องใช้ตัวอย่างเป็นจำนวนมาก จึงไม่สะดวกในการทำละลาย จึงนิยมใช้วิธี Fire Assay โดยการนำตัวอย่างมาผสมกับ Flux ใน Fire clay fusion pot (Crucible) นำไปหลอมละลายในเตาไฟฟ้าแล้วแยกเอาตะกั่วออกโดยการเผา เหลือแต่เม็ดตัวอย่างที่มีโลหะมีค่า (Au, Ag หรือ Pt) ผสมอยู่เป็นเม็ด จึงเอาเม็ดตัวอย่างมาทำละลาย และหาปริมาณของ Au, Ag และ Pt โดยเครื่องมือ GF-AAS หรือ NAA ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาปริมาณทองคำได้ไม่ต่ำกว่า 1ppb. ถึง 10 ppm.

**7. การวิเคราะห์ตัวอย่างโดยวิธี Dithizone Field Test**

การสำรวจธรณีเคมีในสนาม ในบางครั้งก็จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในสนาม Dithizone field test หรือ Bloom test เป็นวิธีการทดสอบปริมาณธาตุจำพวกโลหะหนักที่มีอยู่ในตัวอย่างทั้งหมด (total metal) ที่นิยมใช้กันแพร่หลายในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี ในหิน ดิน และอินทรีย์วัตถุที่เกิดอยู่ตามธรรมชาติ "Dithizone" ย่อมาจาก diphenyl thiocarbo-zone ซึ่งเป็นสารละลายที่มีคุณสมบัติคล้ายกรด คือ มีคุณสมบัติที่จะให้ metal cation แทนที่ hydrogen ion ทำให้เกิดสารประกอบ dithizonate เช่น copper dethizonate (CuDz) การวิเคราะห์ตัวอย่างโดยวิธี Dithizone test สามารถทำได้ในสนามโดยวิธี cold-extractable เพื่อหาปริมาณโลหะที่ถูกดูดซึมไว้ในดิน อินทรีย์วัตถุ หรือหินผุ โดยผลวิเคราะห์จะแสดงปริมาณธาตุหลายธาตุรวมกัน การหาปริมาณของธาตุโลหะกระทำโดยการเทียบสีกับ Mo Phar Scale หรือเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานของสังกะสีและคำนวณปริมาณค่าเทียบเท่ากับสังกะสี (zinc equivalents) การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะโดยวิธี Dithizone fiel test นี้เหมาะสำหรับการสำรวจธรณีเคมีขั้นรอยละเอียดเพื่อคำนวณขอบเขตบริเวณที่มีศักยภาพของแร่จำพวก base metal sulphide อย่างคร่าว ๆ สำหรับเป็นแนวทางในการตัดแนวเก็บตัวอย่างดินให้ครอบคลุมบริเวณที่เป็นแหล่งแร่ให้ถูกต้องแม่นยำ และกำหนดพื้นที่เป้าหมายที่แน่นอน การวิเคราะห์วิธี Dithizone test ควรกระทำไปพร้อม ๆ กับการเก็บตัวอย่างในสนามเพื่อวางแผนการเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์โดยละเอียดในห้องปฏิบัติการทางเคมี ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

### 8. ความผิดพลาดในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างในการสำรวจธรณีเคมี

ในการเก็บตัวอย่างธรณีเคมี เช่น ตัวอย่างหิน ดิน ตะกอนท้องน้ำ ฯลฯ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุต่าง ๆ นั้น ปัญหาอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นและมีผลกระทบต่อความหมายทางธรณีเคมี ได้แก่ ข้อผิดพลาดของการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง (Sampling and Analytical errors)

การเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ธรณีเคมีนั้น ค่าปริมาณโลหะที่วิเคราะห์ได้จะแสดงถึงปริมาณโลหะที่แพร่กระจายอยู่ในบริเวณนั้น ซึ่งหมายความว่า ค่าที่วิเคราะห์ได้จะเป็นตัวแทนของปริมาณโลหะรอบ ๆ บริเวณที่เก็บตัวอย่าง และบริเวณที่อยู่เหนือจุดเก็บตัวอย่างขึ้นไป ซึ่งจะคลุมบริเวณกว้างเพียงใดขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของจุดเก็บตัวอย่างหรือระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุด การที่จะเอาค่าปริมาณโลหะที่เก็บจากจุด ๆ เดียวมาเป็นตัวแทนค่าปริมาณโลหะในบริเวณทั้งหมดอาจทำให้ค่าที่ได้ผิดพลาดจากความไม่เป็นจริง ซึ่งจะผิดพลาดมากขึ้นอยู่กับลักษณะการแพร่กระจายของโลหะและข้อผิดพลาดอื่น ๆ ในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง เป็นต้นว่า ตัวอย่างที่เก็บแต่ละตัวอย่างมีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน มีปริมาณดินโคลนแตกต่างกัน หรือเก็บในชั้นดินระดับต่างกัน ซึ่งข้อผิดพลาดเหล่านี้เกิดขึ้นจากผู้เก็บตัวอย่างเอง และสามารถแก้ไขได้โดยการใช้ความระมัดระวังในการเก็บตัวอย่าง โดยการเก็บตัวอย่างที่มีลักษณะใกล้เคียงกันหรือที่ระดับเดียวกัน ส่วนข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์ตัวอย่างอาจเกิดจากผู้วิเคราะห์น้ำยาเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ หรือเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ในการแก้ไขข้อผิดพลาดของการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างนั้น โดยทั่ว ๆ ไปอาจแก้ไขได้โดยการเก็บตัวอย่างหลายๆ ตัวอย่างในบริเวณเดียวกันแล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยซึ่งจะทำให้ข้อผิดพลาดน้อยลงแต่วิธีนี้จะเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูงจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในงานสำรวจธรณีเคมีเพราะทำให้ผลที่ได้ไม่คุ้มค่า

ตามความเป็นจริงหรือโดยทั่ว ๆ ไปแล้ว งานสำรวจธรณีเคมีไม่ต้องพะวงถึงความผิดพลาดในการเก็บตัวอย่างมากนัก เพราะผู้สำรวจได้พยายามใช้วิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลและแปลความหมายทางธรณีเคมี ซึ่งความผิดพลาดในการเก็บ และวิเคราะห์ตัวอย่างจะไม่ค่อยมีผลต่อการแปลความหมายทางธรณีเคมี ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อหาค่าพิคกของค่าภูมิหลัง หรือที่เป็น anomaly ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงบริเวณสำรวจที่มีศักยภาพทางแร่สูง การหาค่าพิคกสูงสุดค่าภูมิหลังที่นิยมใช้กันทั่วไปจะมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งหมด บวก กับสองเท่าของความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Anchews-Jones, 1968)

$$\begin{aligned} \text{Threshold} &= \bar{V} + 2S \quad \dots\dots\dots 1 \\ \bar{V} &= \frac{\sum v_i}{N} \quad \dots\dots\dots 2 \\ S &= \sqrt{\frac{\sum v_i^2 - N\bar{V}^2}{N-1}} \quad \dots\dots\dots 3 \\ \bar{V} &= \text{ค่าเฉลี่ย} \\ v_i &= \text{ผลวิเคราะห์ตัวอย่าง } i \\ N &= \text{จำนวนตัวอย่างทั้งหมด} \end{aligned}$$

แต่ในบางโอกาส ข้อผิดพลาดในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างมีมาก ทำให้ค่าที่ได้ไม่ถูกต้อง ทำให้การแปลความหมายทางธรณีเคมีผิดพลาดไป คือ เกิดความผิดปกติเทียม (false anomaly) ขึ้นได้ โดยเฉพาะในบริเวณที่มี anomaly ต่ำ หรือในบริเวณที่มีการแพร่กระจายของโลหะแตกต่างกันน้อย (low anomaly contrast) ในกรณีเช่นนี้จำเป็นจะต้องวิเคราะห์หาความผิดพลาดในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อให้นักวิเคราะห์ข้อมูลและแปลความหมายทางธรณีเคมีถูกต้องแน่นอนยิ่งขึ้น

Garrett (1969) ได้ศึกษาและอธิบายถึงวิธีหาข้อผิดพลาดในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างทางธรณีเคมีไว้ดังนี้

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

การหาความผิดพลาดในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง อาจหาได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กัน คือ วิธี Duplicate sampling หมายถึง การเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง โดยการเก็บตัวอย่างในบริเวณที่เคยเก็บแล้ว มาวิเคราะห์ใหม่ โดยเลือกเก็บตัวอย่างประมาณ 10 % ของปริมาณตัวอย่างที่เคยเก็บทั้งหมด หรืออย่างน้อย 30 ตำแหน่ง ต่อ 1 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่เก็บนี้ให้คลุมบริเวณที่มีค่าต่ำสุดและสูงสุดอยู่ด้วย แล้วนำมาวิเคราะห์ใหม่เปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ของตัวอย่างที่เก็บมาครั้งแรกเพื่อหาความผิดพลาดของการเก็บตัวอย่าง โดยคำนวณออกมาเป็นผลรวมความแปรปรวนของการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง (standard sampling and analytical error) โดยคำนวณจากสมการ

$$\sigma_{SA}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{1i} - X_{2i})^2 \dots\dots\dots 4$$

เมื่อ  $\sigma_{SA}$  = ผลรวมความแปรปรวนของการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง  
 $X_{1i}$  = ค่า Log ของผลวิเคราะห์ตัวอย่างที่เก็บครั้งแรก  
 $X_{2i}$  = ค่า Log ของผลวิเคราะห์ตัวอย่างที่เก็บครั้งที่สอง  
 $N$  = จำนวนตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 2 ทั้งหมด  
 ค่าแปรปรวนของตัวอย่างสามารถหาได้จาก

$$\sigma_D^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_{1i} - X_1)^2 \dots\dots\dots 5$$

$$\sigma_D^2 = \frac{1}{N-1} \left[ \sum_{i=1}^N X_{1i}^2 - \left( \frac{\sum_{i=1}^N X_{1i}}{N} \right)^2 \right] \dots\dots\dots 6$$

$\sigma_D^2$  = ความแปรปรวนของตัวอย่างทั้งหมด (Data variance)  
 $\bar{X}_1$  = ค่าเฉลี่ยของค่า Log ของปริมาณโลหะที่เก็บครั้งแรก N ตัวอย่าง

เหตุผลการใช้ Log ในการคำนวณเนื่องจากโดยทั่วไปแล้ว การแผ่กระจายของธาตุ หรือข้อมูลทางธรณีเคมีส่วนใหญ่ที่ได้จากการสำรวจมักจะเป็น Log normal มากกว่า Normal distribution

ค่า  $\sigma_{SA}^2$  และ  $\sigma_D^2$  ที่ได้นำมาใช้หาค่าความผิดพลาดของการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อดูว่าค่า  $\sigma_{SA}^2$  มีค่ามากน้อยแค่ไหนเมื่อเปรียบเทียบกับ  $\sigma_D^2$  โดยวิธี Single-factor fixed analysis of variance modal ใช้คำนวณเพื่อหา variance ratio F จาก

$$F = \sigma_D^2 / \sigma_{SA}^2 \dots\dots\dots 7$$

ค่า F นี้จะต้องมากพอที่จะทำให้ความผิดพลาดในการเก็บและวิเคราะห์น้อยมากอย่างมีนัยสำคัญ (Significantly small) เพื่อที่จะให้การแปลความหมายทางธรณีเคมีผิดพลาดน้อย จากการศึกษทางสถิติพบว่าในกรณีของตัวอย่าง 30 ตัวอย่าง ค่า F นี้จะต้องมากกว่า 4 ที่ความเชื่อถือ 95% (P = 0.05) จึงจะถือว่าผิดพลาดน้อยมาก แต่ถ้าจำนวนตัวอย่างเพิ่มขึ้นเป็น 120 ตัวอย่าง ค่า F อาจลดลงเหลือแค่ 3.8 ค่าวิกฤติของ F นี้ ดูได้จากตาราง F-distribution โดยใช้ P = 0.05 และ 1 และ 2N-2 degree of freedom ถ้าหากว่าค่า F มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติจากตาราง การแผ่กระจายของโลหะที่เกิดขึ้นอาจมีโอกาสมากกว่า 1 ต่อ 20 ส่วนที่เกิดจากความผิดพลาดในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง ซึ่งในกรณีเช่นนี้อาจทำให้การแปลความหมายทางธรณีไม่แน่นอน อาจเกิดความเบี่ยงเบนจากปกติเทียม (False anomaly) ขึ้นได้

ในการหาความผิดพลาดในการวิเคราะห์ตัวอย่างหรือความเชื่อถือได้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง (precision) ก็สามารถจะหาได้โดยหลักการเดียวกัน คือ ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง 2 ครั้ง (duplicate analysis)

แล้วหาความผิดพลาดในการวิเคราะห์ตัวอย่างแต่เพียงอย่างเดียว ตามสูตรกล่าวมาแล้วโดยถือหลักที่ว่า

	$\sigma^2_{total}$	=	$\sigma^2_{Sample} + \sigma^2_{SA}$	
	$\sigma^2_{SA}$	=	$\sigma^2_s + \sigma^2_A$	
เมื่อ	$\sigma^2_{total}$	=	ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นทั้งหมด	
	$\sigma^2_{sample}$	=	ความแปรปรวนของปริมาณโลหะในตัวอย่าง	
	$\sigma^2_{SA}$	=	ความแปรปรวนในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง	
	$\sigma^2_s$	=	ความแปรปรวนในการเก็บตัวอย่าง	
	$\sigma^2_A$	=	ความแปรปรวนในการวิเคราะห์ตัวอย่าง	
	ค่า $\sigma^2_A$ ที่ได้ให้นำมาหาค่าความเชื่อถือได้ หรือ Precision ในการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยเทียบ			
	จากระดับความเชื่อถือได้ 95% จากสูตร			
	Precision	=	$\frac{1.98 \times \sigma_A \times 100\%}{\bar{X}}$ .....	8
เมื่อ	X	=	ค่าเฉลี่ยของค่า Log ปริมาณโลหะของตัวอย่างที่วิเคราะห์	
			ครั้งที่ 2	
	$\sigma_A$	=	ความผิดพลาดมาตรฐานของการวิเคราะห์ตัวอย่าง	

การหาความผิดพลาดของการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นวิธีที่ง่ายเหมาะที่จะใช้วิเคราะห์ข้อมูลทางธรณีเคมี ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการแผ่กระจายของโลหะในบริเวณต่างๆ มักจะเกิดอยู่ในรูปของ Log-normal distribution ในการคำนวณจึงนิยมเปลี่ยนค่าที่วิเคราะห์ได้ให้อยู่ในรูปค่า Log เสียก่อนจึงนำมาคำนวณหาความผิดพลาดในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง ทั้งนี้เนื่องจากในกรณี ที่ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีความสูงต่ำต่างกันมาก ความเชื่อถือได้ของการวิเคราะห์ (analytical precision) ของตัวอย่างที่มีค่าสูงหรือต่ำมีความแตกต่างกันมาก ทำให้การหาความผิดพลาดมาตรฐานของการวิเคราะห์ผิดพลาดมาก จึงเปลี่ยนมาใช้ค่า Log ซึ่งทำให้การหาความผิดพลาดมาตรฐานของการวิเคราะห์ถูกต้องยิ่งขึ้น □



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

# การวิเคราะห์ข้อมูล

ผลวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างธาตุนั้นจะนำมาเขียนลงในแผนที่ในมาตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อเป็น ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการแปลความหมายทางธรณีเคมี แผนที่ที่ลงตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างและแสดง ปริมาณของธาตุที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี เรียกว่าแผนที่ข้อมูลดิบ (raw data map) ซึ่งจะต้งนำมาศึกษา ถึงการแผ่กระจายของธาตุในบริเวณต่าง ๆ ที่เก็บตัวอย่างว่ามีค่าสูงต่ำแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งถ้าหากว่าค่า ปริมาณธาตุในบริเวณต่าง ๆ แสดงความแตกต่างให้เห็นได้เด่นชัด (significantly different) ก็จะสามารถแปล ความหมายทางธรณีเคมีจากแผนที่ข้อมูลดิบได้โดยตรงและกำหนดบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่ได้ทันที แต่โดย ทั่วไป แล้ว การแผ่กระจายของธาตุมักจะแสดงความแตกต่างให้เห็นไม่เด่นชัด ทำให้ยุ่งยากต่อการแปล ความหมายทางธรณีเคมี หรือการกำหนดขอบเขตบริเวณที่มีค่าเบี่ยงเบนจากปกติ (anomalous area) จะต้อง นำข้อมูลมาศึกษาทางสถิติ หรือทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการต่าง ๆ เพื่อที่จะสามารถกำหนดขอบเขต บริเวณที่มีศักยภาพทางแร่ ตลอดจนศึกษาถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้การแผ่กระจายของธาตุมืดปกติไป

ในการวิเคราะห์ข้อมูลธรณีเคมี สามารถศึกษาได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น

การศึกษาข้อมูลทางสถิติและโดยวิธีแสดงด้วยเส้นกราฟบน Probability graph paper

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีตารางเฉลี่ย (Cell average)

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีตารางเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving cell average or rolling mean analysis)

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี Trend surface analysis

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี Factor analysis หรือ Linear regression analysis

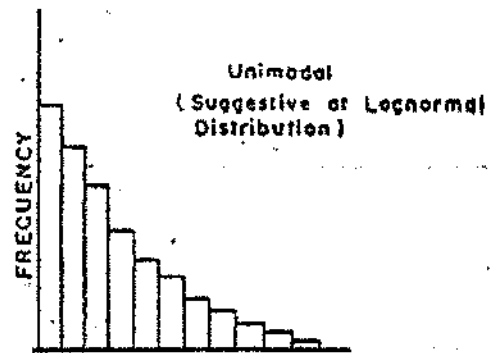
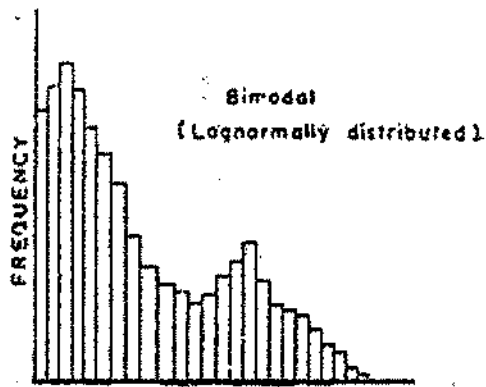
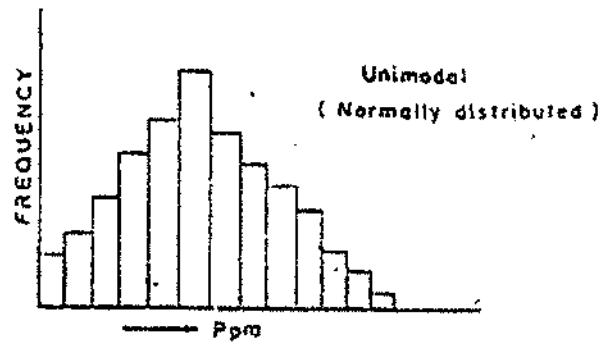
## 1. การศึกษาข้อมูลทางสถิติ โดยเส้นกราฟบน Probability graph paper

การศึกษาข้อมูลทางสถิติ เป็นการศึกษาเพื่อหาลักษณะการแผ่กระจายของธาตุโดยใช้วิธีการ สถิติ (Spiegel, 1961, Davis, 1963 และ Howorth, 1983) โดยการนำข้อมูลทั้งหมดของแต่ละธาตุที่ได้จากการ วิเคราะห์เคมีมาหาค่าพิสัย (range) ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) จากการ แจกแจงความถี่ (frequency distribution) โดยแสดงเป็นแผนภูมิแท่ง (histogram) และการหาเส้นโค้งความถี่สะสม (cumulative frequency curve) บนกระดาษเส้นโค้งความถี่ (probability graph paper) ซึ่งสามารถหาได้โดยวิธีของ Lepeltier (1969) และ Sinclair (1974) มีรายละเอียดดังนี้

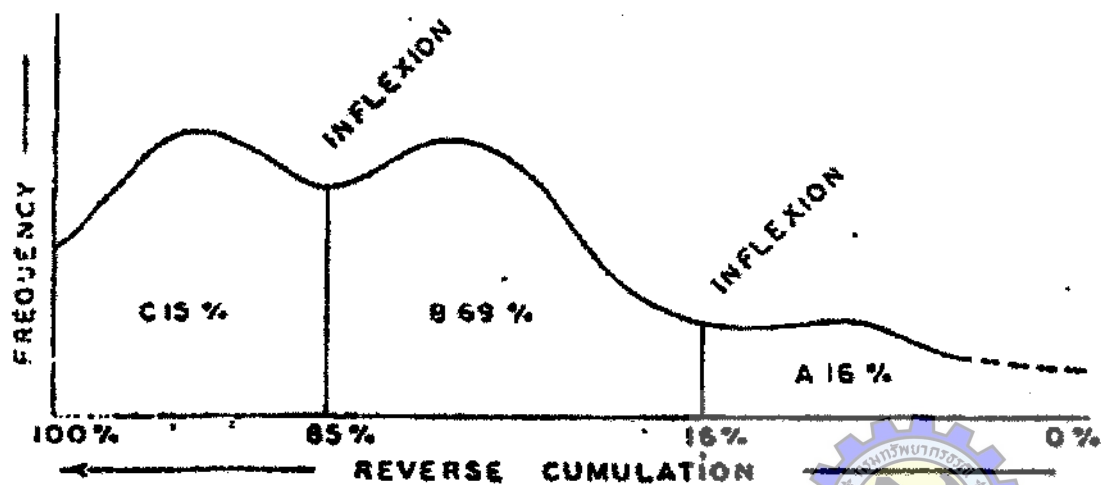
1.1 นำข้อมูลทั้งหมดมาจัดลำดับความมากน้อยของปริมาณธาตุเพื่อหาค่าพิสัย ค่าใดที่สูง ผิดปกติมากๆ หรือ ค่าที่สูงผิดปกติ (erratic high values) ก็ตัดทิ้งออกไป ไม่นำมาใช้ในการแจกแจงความถี่

1.2 กำหนดค่าสูงสุดของชั้นต่ำสุดและค่าต่ำสุดของชั้นสูงสุด (lower and upper class limited)

1.3 กำหนดจำนวนชั้น (number of classes) และช่วงระหว่างชั้น (class interval) ในการ กำหนดจำนวน ชั้นทางสถิติ โดยปกติจะใช้ประมาณกรณีที่สองของจำนวนข้อมูลหรือประชากรทั้งหมด หรือ ถ้าจำนวนข้อมูลมีมากก็กำหนดชั้นประมาณ 20-30 ชั้น และชั้นสูงสุดควรมีข้อมูลอย่างน้อย 5 ตัวอย่าง ส่วนช่วงระหว่างชั้นจะมีค่าเท่ากับผลต่างของค่าสูงสุดของชั้นต่ำสุด กับค่าต่ำสุดของชั้นสูงสุด หากด้วย จำนวนชั้นที่กำหนดระหว่างค่าสูงสุดของชั้นต่ำสุดและค่าต่ำสุดของชั้นสูงสุด ซึ่งช่วงระหว่างชั้นนี้จะต้องไม่กว้าง เกินไปเพื่อจะให้ข้อมูลอยู่ทุกๆชั้นอีกประการหนึ่งการกำหนดค่าขีดจำกัดของแต่ละชั้นควรใช้ตัวเลข ที่ไม่มีปรากฏ อยู่ในข้อมูลเพื่อจะได้แน่ชัดว่าค่าใดอยู่ในชั้นไหนยกตัวอย่างเช่นค่าปริมาณโลหะจากผลวิเคราะห์ มีค่าเท่ากับ 5, 10, 12, 18, 21.... ฯลฯ ถ้ากำหนดให้ค่าขีดจำกัดของแต่ละชั้นมีค่าเท่ากับ 5, 10, 15, 20... ฯลฯ โดยมีช่วง ระหว่างชั้นเท่ากับ 5 ซึ่งจะได้ค่าระหว่างชั้นเป็น 5-10, 10-15, 15-20... ฯลฯ ซึ่งในกรณีนี้ผลวิเคราะห์ที่มีค่า 5 และ 10 จะมีค่าเท่ากับขีดจำกัดของชั้นพอดี ดังนั้นจะต้องกำหนดขีดจำกัดของชั้นให้แตกต่างออกไป เช่น 5.5, 10.5, 15.5, 20.5... ซึ่งจะทำให้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์อยู่ในช่วงระหว่างชั้นใดชั้นหนึ่ง เช่น 10 ก็จะอยู่ระหว่าง



รูปที่ 40 แผนภูมิแท่งการแจกแจงของข้อมูลในลักษณะต่างๆ กัน คัดลอกจาก Cepetier (1969)



รูปที่ 41 การแจกแจงของข้อมูลในลักษณะที่ซ้อนกัน 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม A, B และ C คัดลอกจาก Lepeltier (1969)



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

5.5-10.5 เป็นต้น หลังจากกำหนดจำนวนชั้นช่วงระหว่างชั้นแล้ว จึงนำข้อมูลมาแจกแจงความถี่เพื่อเขียนแผนภูมิแท่งและเขียนเส้นโค้งความถี่สะสมในกระดาษ Probability graph ทั้งใน normal และ log normal probability paper โดยเริ่มจากค่าต่ำสุดของชั้นสูงสุด เพื่อดูว่ากลุ่มข้อมูลมีการแจกกระจายแบบไหน ซึ่งอาจเป็นได้ทั้ง normal, lognormal, bimodel หรือ polymodel

รูปที่ 40 แสดงแผนภูมิแท่งการแจกกระจายของข้อมูลในลักษณะต่างๆ กัน ส่วนรูปที่ 41 แสดงถึงการแจกกระจายของกลุ่มข้อมูลในลักษณะที่ซ้อนกัน 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม A, B และ C

ในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกกระจายแบบกลุ่มข้อมูลเดียว ในลักษณะของ Normal distribution เราสามารถหาค่า threshold ได้จากการคำนวณทางสถิติ คือ จะมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ย mean) บวกสองเท่าของความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

จากสูตร

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{N}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N V_i^2 - N\bar{V}^2}{N-1}}$$

$$\bar{V} = \text{ค่าเฉลี่ย (mean)}$$

$$S = \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)}$$

$$V_i = \text{ค่าปริมาณโลหะของตัวอย่างที่ } i$$

$$N = \text{จำนวนตัวอย่างทั้งหมด}$$

ในการหาค่าความเบี่ยงเบนจากปกติ เราหาระดับความเบี่ยงเบนจากปกติที่ระดับความเชื่อถือต่างๆ กัน คือ  $V+S$ ,  $V+2S$ ,  $V+3S$ ,  $V+4S$  เพื่อนำค่าเหล่านี้มาใช้ในการเขียนเส้นระดับ (contours) หรือ discrete values ในการเขียนแผนที่ธรณีเคมี เพื่อให้เส้นหรือค่าแต่ละค่าในแผนที่ธรณีเคมีแสดงความหมายทางธรณีเคมีให้เห็นเด่นชัดว่าบริเวณไหนมีความเบี่ยงเบนจากปกติขนาดไหน

โดยทั่วไปแล้ว การแจกกระจายของโลหะมักจะไม่เป็น normal distribution คือ จะอยู่ในลักษณะของ lognormal, bimodel หรือ polymodel distribution ฉะนั้น ในการคำนวณหาค่าสูงสุดของค่าภูมิหลังโดยใช้ค่า  $V+2S$  จะทำให้การแปลความหมายทางธรณีเคมีผิดพลาด จึงใช้วิธีเขียนกราฟความถี่สะสมลงใน lognormal probability paper

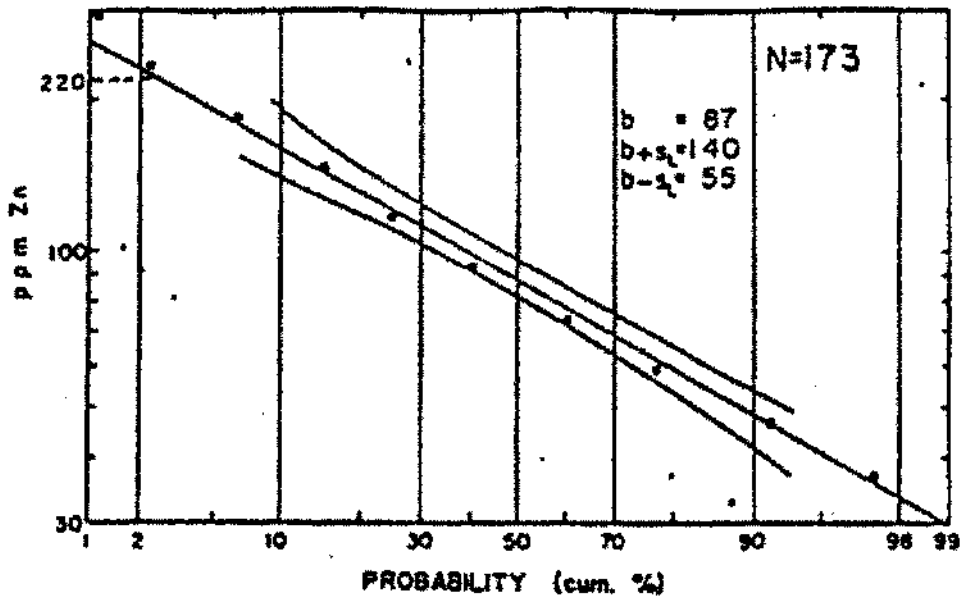
ถ้าหากว่าเส้นกราฟที่ได้เป็นเส้นตรง คือ กลุ่มข้อมูลทั้งหมดประกอบด้วยกลุ่มข้อมูลเดียว เราสามารถหาค่าสูงสุดของค่าภูมิหลังได้ที่ 97.72 cumulative percentile ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $V+2S$  แต่ถ้าเส้นกราฟแสดงลักษณะที่มีการเปลี่ยนความชันเห็นได้ชัด คือเป็นเส้นโค้งแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยมีจุดเปลี่ยนความโค้งก็แสดงว่ากลุ่มข้อมูลแยกออกได้เป็นสองกลุ่มย่อยคือกลุ่มที่มีค่าต่ำจะเป็นกลุ่มของค่าภูมิหลัง (background population) ส่วนที่มีค่าสูงจะเป็นกลุ่มข้อมูลเบี่ยงเบนจากปกติ (anomalous population) แต่ในบางครั้งเส้นกราฟสามารถจะแบ่งออกได้เป็น 3 หรือ 4 กลุ่มข้อมูล

รูปที่ 42 แสดง probability graph ของผลวิเคราะห์สังกะสี จำนวน 173 ตัวอย่าง ซึ่งเขียนลงใน lognormal probability paper ผลจากกราฟแสดงลักษณะเป็นเส้นตรง ในการทดสอบจึงเป็นเส้นตรงหรือไม่ใช้วิธีการทดสอบ โดยวิธีของ Lepeltier (1969) ที่ 95% confident limit ซึ่งสังเกตได้จากจุดต่างๆ ที่กำหนดในกราฟ อยู่ในโซนของ 95% confident limit จากผลการเขียนกราฟแสดงว่ากลุ่มข้อมูลของสังกะสีนี้แสดงถึงกลุ่มข้อมูล

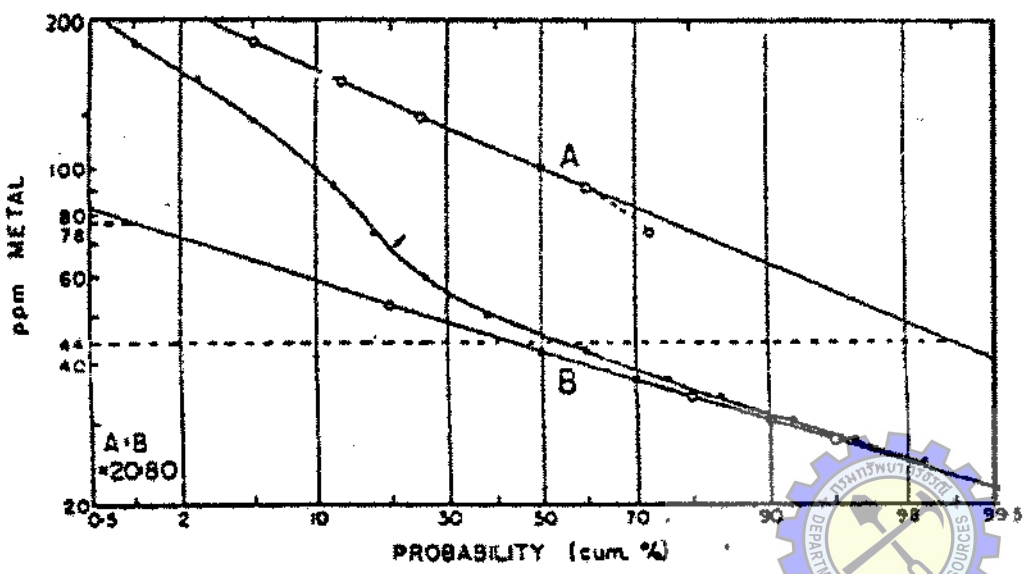
เดียวซึ่งสามารถหาค่า threshold ได้ที่  $\text{mean} + 2 \text{ standard deviation}$  หรือที่ประมาณ 2.5 cumulative percentile หรือเท่ากับ 220 ppm.

**การแยก polymodel distribution**

ในกรณีที่เส้นโค้งความถี่สะสมแสดงลักษณะที่เป็น polymodel distribution เราต้องแยกกลุ่มข้อมูลที่แสดงถึง single distribution แต่ละกลุ่มออกมาจาก polymodel distribution เช่น กรณีที่เป็น bimodel distribution ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 43



รูปที่ 42 เส้นกราฟของผลวิเคราะห์สังกะสี 173 ตัวอย่าง เขียนลงใน Lognormal probability paper โดยมีเส้นขอบเขตของ 95% confidence Limits แสดงให้เห็น คัดลอกจาก Lepeltier (1969)



รูปที่ 43 กราฟซึ่งประกอบด้วยกลุ่มข้อมูล 2 กลุ่ม คือกลุ่ม A และ B โดยสามารถเลือกค่า threshold ที่ 99% ของ A และ 1% ของ B คือที่ 44 ppm. และ 78 ppm. ตามลำดับ คัดลอกจาก Sinclair (1975)

ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

จากกลุ่มข้อมูลรวม A+B สามารถแยกกลุ่ม A และ B ได้ดังนี้

จากกราฟ เส้น cumulative percentile curve ซึ่งเริ่ม plot จาก lower class limit ของ class สูงสุด แสดงลักษณะ 2 กลุ่มข้อมูล คือ A+B โดยมีจุดแบ่งที่ลูกศร ประกอบด้วย A:B = 20:80 จึงเอาค่ากลุ่ม A และกลุ่ม B มาเขียนกราฟใหม่

#### การเขียนกราฟ A

1. จากจุดบน combined curve A+B ที่ 180 ppm. ค่า ordinate level เท่ากับ 1 cum.% ของ total population (A+B) หรือเท่ากับ  $1/20 \times 100$   
= 5 cum.% ของ A
2. จากจุด 150 ppm. แสดงค่า 2.6 cum.% ของ A+B  
=  $2.6 \times 100/20 = 13$  cum.% ของ A
3. จากจุด 140 ppm. แสดงค่า 5 cum.% ของ A+B  
=  $5/20 \times 100 = 25$  cum.% ของ A
4. จากจุด 100 ppm แสดงค่า 5 cum.% ของ A+B  
=  $10/20 \times 100 = 50$  cum.% ของ A

นำค่านี้มาเขียนกราฟ A ได้

#### การเขียนกราฟ B

ทำได้โดยอาศัย complementary หรืออาศัยค่า cum.% ด้านบนของ graph ซึ่งจะแสดงค่าตรงกันข้ามกับด้านล่างอยู่แล้ว

1. ถ้า cum.% ของ A+B อ่านค่าได้ 36 cum.% จะได้  
=  $(100 - 36) / 80 \times 100 = 80$  cum.% B
2. ถ้า cum.% ของ A+B อ่านค่าได้ 60 cum.% จะได้  
=  $(100 - 60) / 80 \times 100 = 50$  cum.% B
3. ถ้า cum.% ของ A+B อ่านค่าได้ 76 cum.% จะได้  
=  $(100 - 76) / 80 \times 100 = 30$  cum.% B
4. ถ้า cum.% ของ A+B อ่านค่าได้ 84 cum.% จะได้  
=  $(100 - 84) / 80 \times 100 = 20$  cum.% B
5. ถ้า cum.% ของ A+B อ่านค่าได้ 92 cum.% จะได้  
=  $(100 - 92) / 80 \times 100 = 10$  cum.% B
6. ถ้า cum.% ของ A+B อ่านค่าได้ 96 cum.% จะได้  
=  $(100 - 96) / 80 \times 100 = 5$  cum.% B

นำที่คำนวณได้มาเขียนกราฟ B โดยอาศัย cum.% ด้านบนของ graph

ในการแยกกลุ่มข้อมูล เป็น A และ B นี้จะต้องกำหนดจุดร่วมระหว่าง A และ B ให้ถูกต้อง ฉะนั้นจะต้องทดสอบว่ากราฟของ A และ B ที่แยกมานี้ถูกต้องหรือเปล่า โดยการหาค่าบนเส้นกราฟ A+B โดยคำนวณจากกราฟ A และ B จากสูตร

$$P_m = f_A P_A + f_B P_B$$

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

$P_m$	=	total probability
$P_A$	=	cum. Probability ของ A
$P_B$	=	cum. probability ของ B
$f_A$	=	proportion ของ A
$f_B$	=	proportion ของ B = $1-f_A$
ถ้า A : B	=	20 : 80
$f_A$	=	20/100
$f_B$	=	80/100

1. ที่ Ordinate 78 ppm.	$P_A$	=	76 cum. %
	$P_B$	=	1 cum. %
	$P_m$	=	$(0.2 \times 75) + (0.8 \times 1)$
2. ที่ Ordinate 60 ppm.	$P_A$	=	93 cum. %
	$P_B$	=	9.5 cum. %
	$P_m$	=	$(0.2 \times 93) + (0.8 \times 9.5)$
		=	18.6 + 7.6
3. ที่ Ordinate 44 ppm.	$P_A$	=	99 cum. %
	$P_B$	=	42 cum. %
	$P_m$	=	$(0.2 \times 99) + (0.8 \times 42)$
		=	19.8 + 33.6
		=	53.4 cum. % (A+B)

ซึ่งถ้าการเขียนกราฟถูกต้อง  $P_m$  ที่ได้จะต้องอยู่ในเส้นกราฟ (A+B) ที่เขียนจากข้อมูลเดิมทั้งหมด จากกราฟ สามารถแยกหาค่า threshold ได้คือ ที่ 99% และ 1% cumulative percentile ของ A และ B ตามลำดับ ซึ่งแยกกลุ่มข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่ม คือต่ำกว่า 44 ppm. และสูงกว่า 78 ppm. ซึ่งจากกราฟ ที่ได้นั้นพบว่า 16% ของตัวอย่างทั้งหมดจะมีค่าสูงกว่า 78 ppm. ซึ่งประกอบด้วย 76% ของ anomalous population และ 1% ของ background population ส่วนกลุ่มที่มีค่าน้อยกว่า 44 ppm. จะมี 46% ของตัวอย่างทั้งหมด ซึ่ง ประกอบด้วย 57% ของ background population และ 1% ของ anomalous population ส่วนที่อยู่ระหว่าง 44 ถึง 78 ppm. ซึ่งมีจำนวน 38% ของตัวอย่างทั้งหมด ประกอบด้วย 42% ของ background population และ 23% ของ anomalous population ซึ่งค่าทั้งหมดที่ได้นี้ได้แสดงไว้ตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การแบ่งกลุ่มข้อมูลจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดย probability graph ตามรูปที่ 43

	Total Data		Population A		Population B	
	%	N	%	N	%	N
<u>GROUP I</u> 78 ppm.	16	16	76	15	1	0.8
<u>GROUP II</u> 44 ppm.	38	38	23	4.8	42	33.6
<u>GROUP III</u>	46	46	1	0.2	57	45.6
<b>TOTALS</b>	100	100	100	20	100	80

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นกรณีวิเคราะห์ข้อมูลธรณีเคมีของธาตุทองแดง ตะกั่ว สังกะสี โดยการแสดงด้วยเส้นกราฟจากผลการสำรวจธรณีเคมีโดยละเอียด บริเวณแหล่งแร่ทองแดงภูโถน บ้านน้อย ตำบลม่วง อำเภอลำปาง จังหวัดพิจิตร (สุธรรม แยมเนียม และคณะ 2526) ทำการสำรวจโดยการตัดแนว ขุดหลุม ทดลองเก็บตัวอย่างดิน ห่างกันแนวละ 100 เมตร ทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ ระยะ 50 เมตร รวมจำนวนตัวอย่าง 419 ตัวอย่าง ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 44

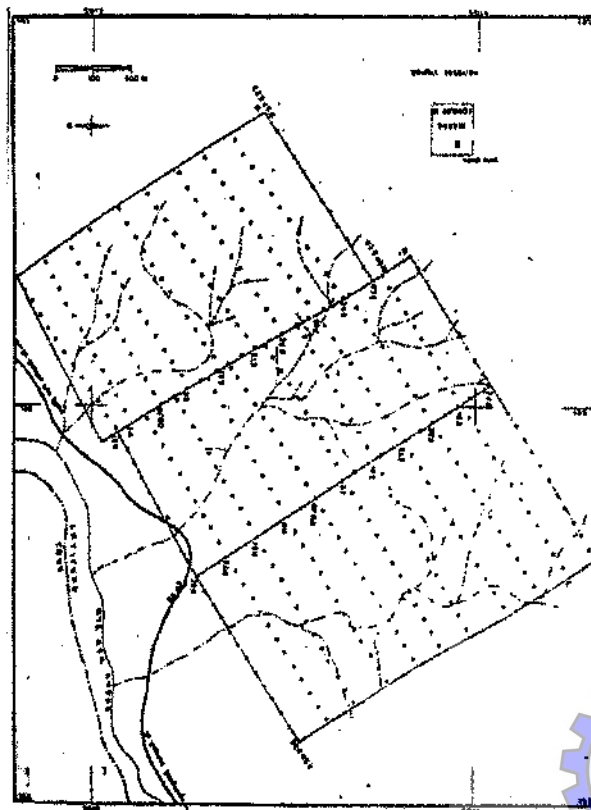
ผลวิเคราะห์ทางเคมีของธาตุทองแดง ตะกั่ว สังกะสี ได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการแจกแจงความถี่ (frequency distribution) โดยแสดงเป็นแผนภูมิแท่ง (histogram) และหาเส้นโค้งความถี่สะสม (cumulative frequency curve) บนกระดาษเส้นโค้งความถี่ (probability graph paper) ดังนี้

### การแจกแจงความถี่

การแจกแจงความถี่เป็นการกระทำเพื่อหาการแผ่กระจายของธาตุที่มีอยู่ในดินให้เห็นเด่นชัด โดยแสดงเป็นรูปแผนภูมิแท่ง ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลผลวิเคราะห์เคมีทั้ง 419 ตัวอย่างแล้ว พบว่าธาตุทองแดง ตะกั่ว สังกะสี มีค่าสูงผิดปกติ (erratic high values) อยู่หลายตัวอย่าง จึงได้ละเว้นไม่นำมาแจกแจงความถี่ ทั้งนี้เพราะถือว่า ค่าสูงผิดปกติเหล่านี้เป็นค่าที่เบี่ยงเบนจากปกติอย่างมีนัยสำคัญ (significant anomalous values) อย่างเด่นชัด การแจกแจงความถี่โดยแผนภูมิแท่งของธาตุทั้งสามแสดงไว้ในรูปที่ 45, 46 และ 47

### การเขียนเส้นโค้งความถี่สะสม

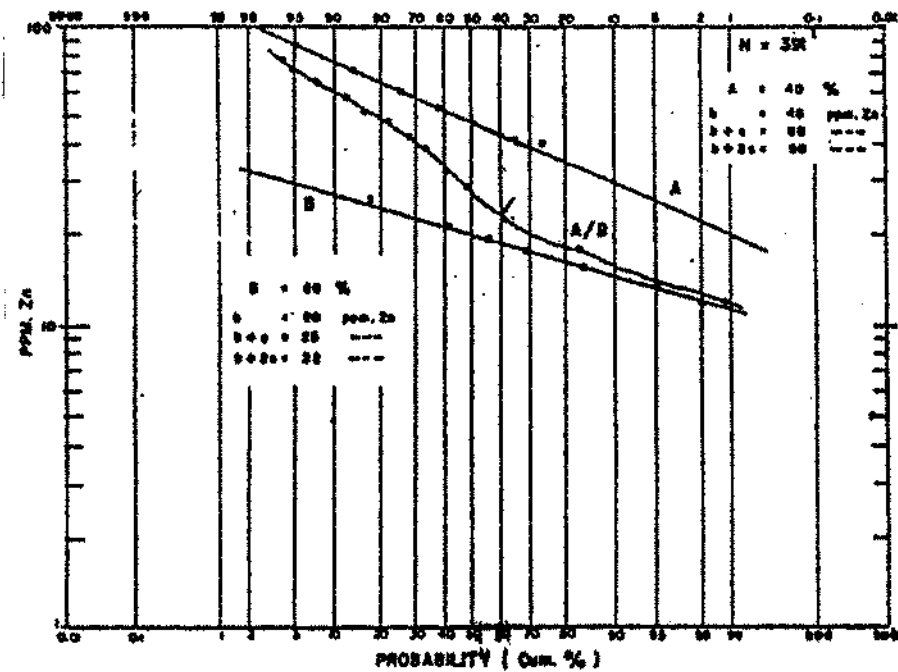
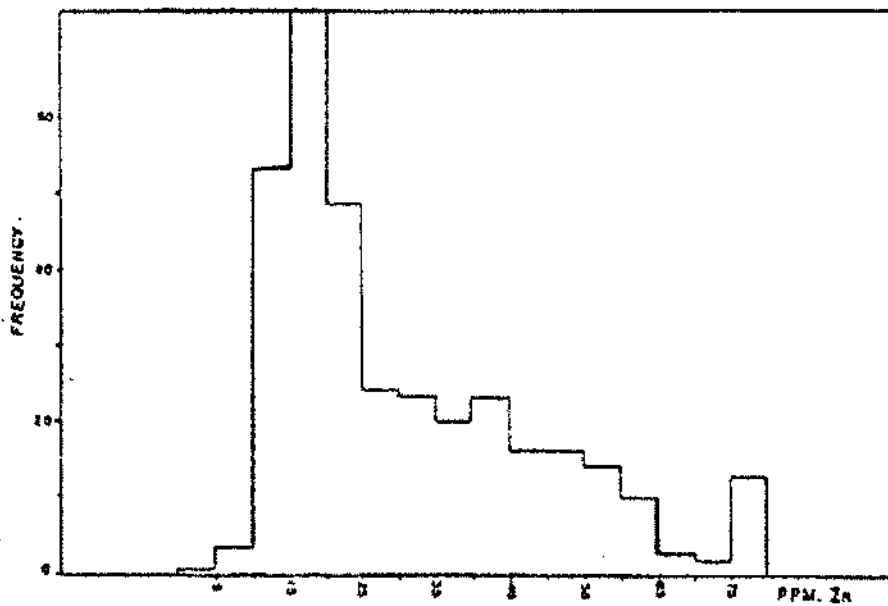
จากการแจกแจงความถี่ที่แสดงแผนภูมิแท่ง จะเห็นได้โดยประมาณว่า ธาตุทั้งสามนั้นมีการแผ่กระจายแบบ lognormal distribution ดังนั้นจึงนำข้อมูลของธาตุทั้งสามไปศึกษา โดยวิธีแสดงเส้นโค้งความถี่สะสมบนกระดาษ probability graph ตามรูปที่ 45, 46 และ 47



รูปที่ 44 จุดเก็บตัวอย่างดินจากแหล่งแร่ทองแดง ภูโถน บ้านน้อย อำเภอลำปาง จังหวัดพิจิตร

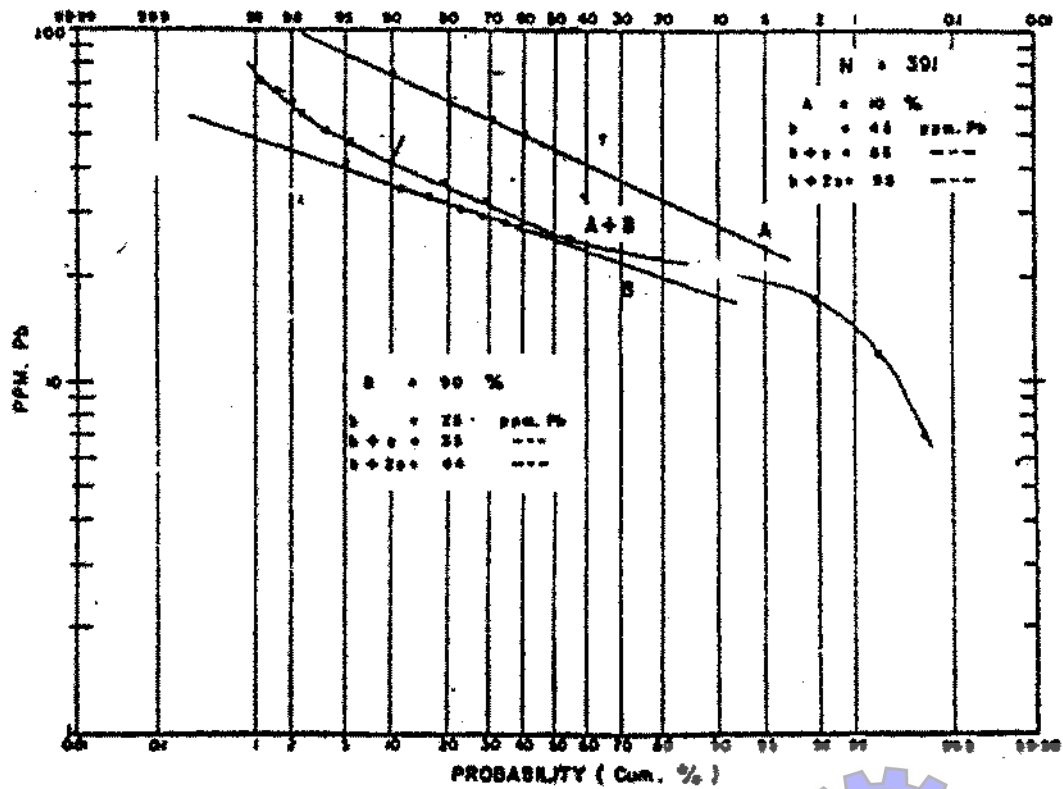
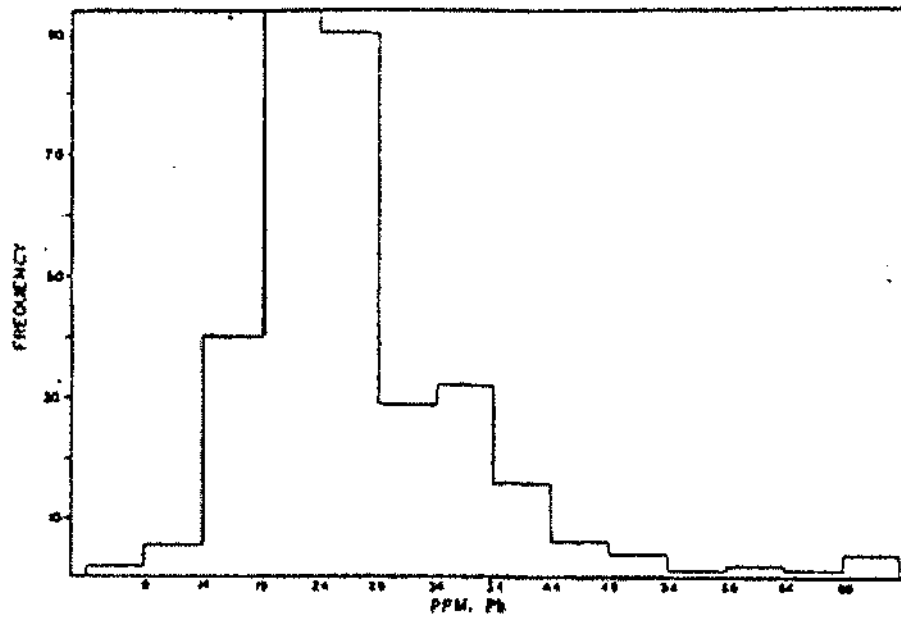
คัดลอกจาก สุธรรม แยมเนียม และคณะ (2526)

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรแร่  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต



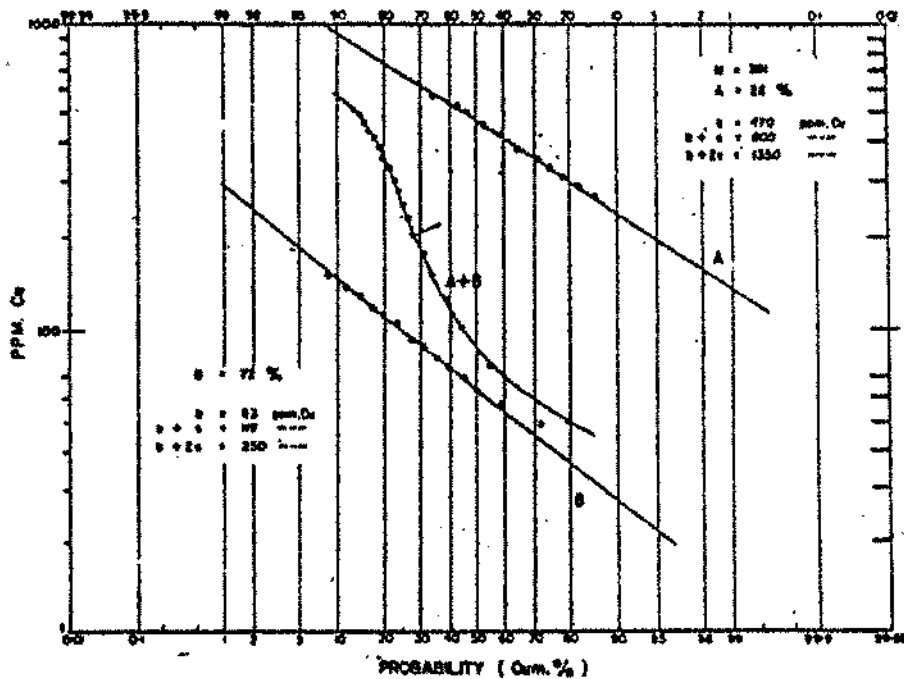
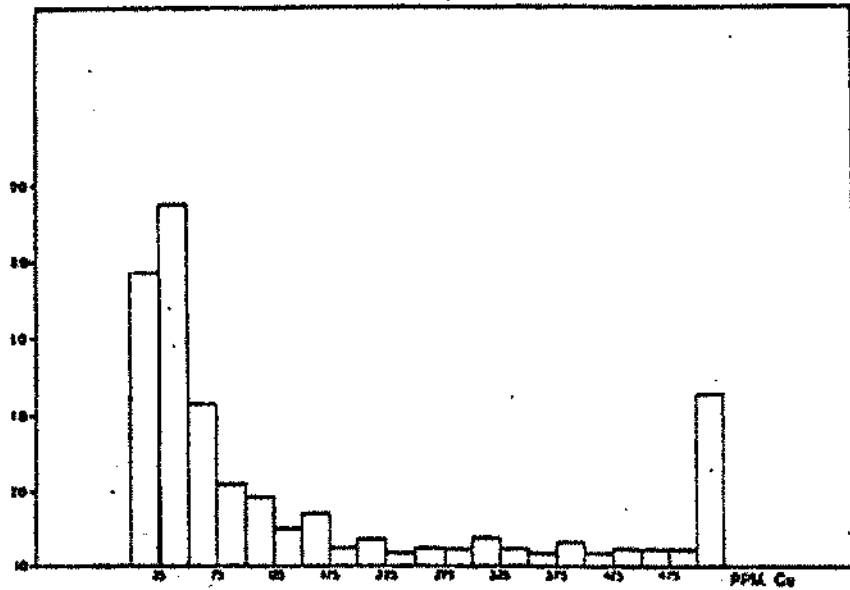
รูปที่ 45 เส้นกราฟของผลวิเคราะห์สังกะสี จำนวน 391 ตัวอย่าง จากแหล่งแร่ทองคำภูผาบ้านน้อย อำเภอสังขม จังหวัดหนองคาย ซึ่งแสดงให้เห็นกลุ่มข้อมูล 2 กลุ่ม คือ A+B ซึ่งแยกออกเป็นกลุ่ม ข้อมูล A และ B โดยมีอัตราส่วน A:B = 40:60 คัดลอกจาก สุธรรม แยมเนียม และคณะ (2526)

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต



รูปที่ 46 เส้นกราฟของผลวิเคราะห์ตะกั่ว จำนวน 391 ตัวอย่าง จากแหล่งแร่ทองแดง ภูโล้น บ้านน้อย อำเภอสังขาม จังหวัดหนองคาย ซึ่งแสดงให้เห็นกลุ่มข้อมูล 2 กลุ่ม คือ A+B ซึ่งแยกออกเป็นกลุ่มข้อมูล A และ B โดยมีอัตราส่วน A:B = 10:90 คัดลอกจาก สุธรรม แยมเนียม และคณะ (2526)

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต



รูปที่ 47 เส้นกราฟของผลวิเคราะห์ทองแดง จำนวน 391 ตัวอย่าง จากแหล่งแร่ทองแดง ภูโล้น บ้านน้อย อำเภอสังขาม จังหวัดหนองคาย ซึ่งแสดงให้เห็นกลุ่มข้อมูล 2 กลุ่ม คือ A+B ซึ่งแยกออกเป็นกลุ่มข้อมูล A และ B โดยมีอัตราส่วน A:B = 28:72 คัดลอกจาก สุธรรม แย้มนิยม และคณะ (2526)



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

จากกราฟในรูปที่ 45, 46 และ 47 สามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่ม B เป็นกลุ่มข้อมูลภูมิหลัง (background population) และกลุ่ม A เป็นกลุ่มข้อมูลเบี่ยงเบนจากปกติ (anomalous population) พร้อมทั้งแสดงค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง (threshold value) ซึ่งถือว่าค่าที่สูงกว่านี้เป็นค่าที่เบี่ยงเบนจากปกติ (anomalous value) และถ้ามีค่าที่เบี่ยงเบนจากปกติหลาย ๆ ค่าอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน ก็อาจแสดงถึงความสัมพันธ์กับแหล่งแร่โดยตรงได้ ซึ่งจากการศึกษา เส้นโค้งความถี่สะสมของธาตุทั้งสามสามารถหาค่าภูมิหลังค่าสูงสุดของค่าภูมิหลังในระดับความเชื่อมั่นต่างๆ กัน ของกลุ่มข้อมูลต่างๆ สรุปได้ตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สรุปข้อมูลทางสถิติของการแจกกระจายของธาตุ ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีในดินจากบริเวณแหล่งแร่ ภูโล้น คัดลอกจาก สุธรรม แย้มนิยม และคณะ (2526)

	ค่าภูมิหลัง (background value) ppm.	ค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง (threshold value) ppm.	
		84.13% confident limit	97.72% confident limit
		(1)	(2)
Cu B	63	119	230
A	170	800	1350
Pb B	25	25	44
A	45	66	95
Zn B	20	25	32
A	48	68	98

หมายเหตุ

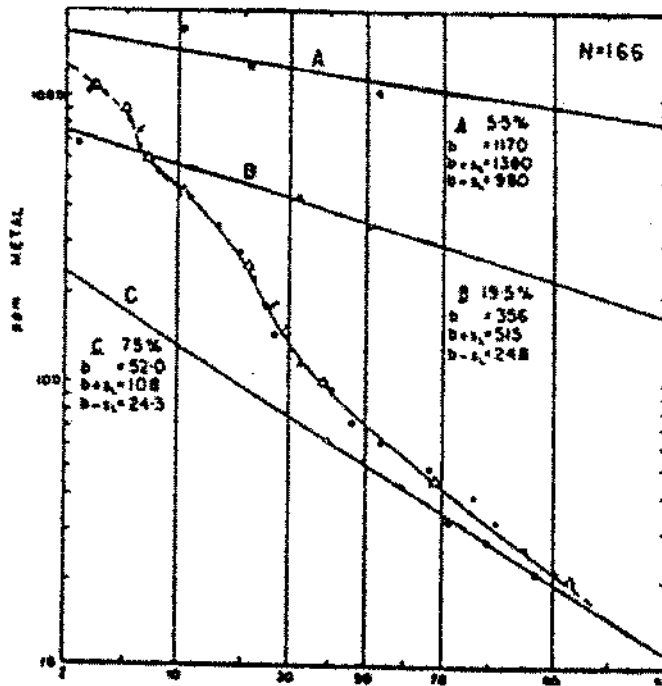
- B = กลุ่มข้อมูลหลัง
- A = กลุ่มข้อมูลสูงกว่าปกติ

รูปที่ 48 แสดง Probability curve ของผลวิเคราะห์ Ni จากตัวอย่างดินบริเวณแหล่งแร่ Ni-Cu จำนวน 166 ตัวอย่าง เป็นลักษณะของ 3 กลุ่มข้อมูล คือที่จุดเปลี่ยนความชันของกราฟที่ 5.4 และ 25 cumulative percentile จึงแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็นกลุ่ม A, B และ C สามารถจะนำมาเขียนกราฟได้ตามวิธีที่กล่าวแล้ว ส่วนกลุ่มข้อมูล B สามารถจะหาได้จากสูตร

$P_m = f_A P_A + f_B P_B + f_C P_C$  ซึ่งจากสมการจะได้  $f_A = 0.055$ ,  $f_B = 0.195$ ,  $f_C = 0.75$   $P_m$ ,  $P_A$ ,  $P_C$  สามารถหาได้จากกราฟที่ coordinate ต่างๆ ฉะนั้น สามารถหา  $P_B$  ได้จากสูตร จากกราฟกลุ่มข้อมูล A แสดงค่าไม่เด่นชัดนัก เนื่องจากมีข้อมูลน้อยและจากกราฟ A, B และ C สามารถหาค่า threshold ได้ 3 ค่า คือ ที่ 98 cumulative percentile B หรือ 170 ppm. ที่ 2 cumulative percentile ของ C หรือ 236 ppm. และที่ 2 cumulative percentile ของ B ซึ่งเท่ากับ 780 ppm. ค่าต่าง ๆ ที่หาได้แสดงไว้ในตารางที่ 11



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรแร่  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต



รูปที่ 48 เส้นกราฟของผลวิเคราะห์ Ni จากตัวอย่างดิน 116 ตัวอย่าง บริเวณแหล่งแร่ Ni-Cu, Hope area, B.C. แยกออกเป็น 3 กลุ่มข้อมูลคือ A, B และ C มีอัตราส่วน 5.5 : 19.5 : 75 ตามลำดับ คัดลอกจาก Sinclair (1975)

จากตัวอย่างการนำเสนอข้อมูลโดยวิธีเขียนกราฟนี้ ค่า threshold ที่ได้นี้จะต้องนำมาใช้ในการเขียนแผนที่ธรณีเคมี ซึ่งอาจใช้เป็นค่าของเส้น isopleth หรือใช้เป็น discrete values ในการเขียนแผนที่ธรณีเคมี เพื่อแสดงการแพร่กระจายของปริมาณโลหะในบริเวณต่างๆ โดยสามารถแยกบริเวณที่เป็นค่าภูมิหลังกับบริเวณที่มีค่าสูงผิดปกติได้เด่นชัด

ตารางที่ 11 สรุปข้อมูลทางสถิติของ Ni ในดิน Hope Area, B.C. แยกเป็นกลุ่มข้อมูล A, B และ C จาก Sinclair (1975)

Population	Proportion %	No. of samples	Value in ppm Ni		
			b	b+sL	b-sL
A:	5.5	9	1170	1380	980
	Anomalous				
B:	19.5	32	356	515	248
Background (Ultramafic)					
C:	75	125	52	108	24.5
Background (Metaseds)	100	166			

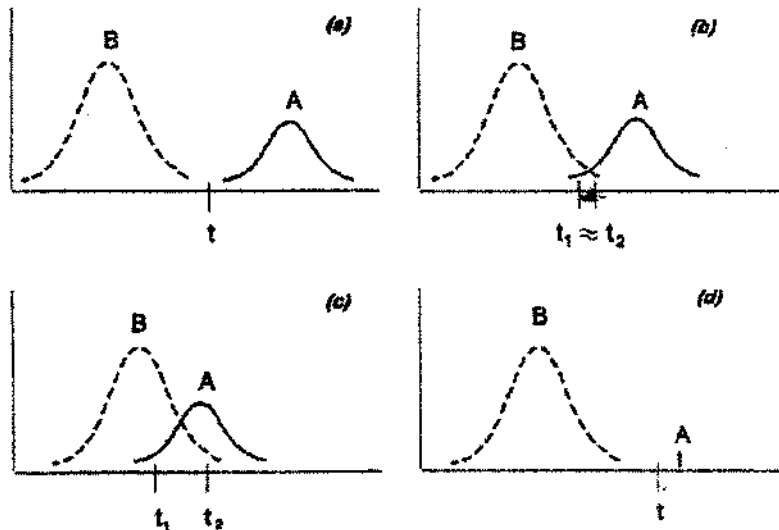
การเขียนกราฟความถี่สะสมโดยวิธีของ Sinclair (1975) ตามที่กล่าวมาแล้ว เป็นการเขียนโดยวิธีธรรมดา ซึ่งล้าสมัยไปแล้ว ในปัจจุบันได้มีการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์แปลความหมายข้อมูลทางธรณีเคมี โดยใช้โปรแกรมสำเร็จ Proplot ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

- จัดเตรียมข้อมูลให้เป็น Ascii-file
- เข้าโปรแกรมโดย CplotP

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

- ใส่ชื่อแฟ้มข้อมูลและเลือกธาตุที่จะนำมาเขียนกราฟ
- กำหนดค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด
- กำหนดชั้นโปรแกรมแสดงกราฟแสดงแผนภูมิเป็นแท่ง Histogram (H.), Probability plot (P), ไม่แสดงทั้งหมด (Neither, N.) หรือแสดงทั้งหมด (Both, B) ก็ได้
- เลือกค่า Arithmetic value (A) Logarithmic value (L), Neither (N) หรือ Both (B)
- บนจอจะแสดงเส้นกราฟต่างๆ ตามที่เลือกไว้ข้างต้น จากนั้น Enter
- เลือกให้โปรแกรมแสดงรูปแบบการกระจายตัวแบบ Normal หรือ Lognormal
- เลือกให้โปรแกรมแสดงกราฟแบบ Arithmetic หรือ Logarithmic (A or L)
- ต้องการตัดกราฟในบางช่วงหรือไม่ (Y or N)
- ใส่จำนวนกลุ่มข้อมูล (Population) และจุดเส้นกราฟหักเห (Inflection point) จากนั้น Enter หน้าจอจะแสดงเส้นกราฟ
- เลือกให้เครื่องปรับแก้ค่าเฉพาะจุดบนเส้นโค้ง
- เมื่อปรับแก้เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะแสดงกราฟค่าการกระจาย, ค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง รวมถึงค่าสถิติต่างๆ

การเลือกค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง Sinclair (1975) ได้เลือกไว้หลายระดับขึ้นอยู่กับความเหมาะสมที่ระดับความเชื่อถือต่างๆ ส่วนใหญ่จะเลือกที่ 98% ของกลุ่มข้อมูลภูมิหลังหรือที่ 2% ของกลุ่มข้อมูลผิดปกติ Sinclair (1991) ได้ศึกษาเพิ่มเติมถึงแนวทางการหาค่าสูงสุดของค่าภูมิหลังพบว่าการแบ่งกลุ่มข้อมูลย่อยออกเป็นหลายกลุ่ม บางกลุ่มจะมีการทับซ้อนกัน (overlap) ดังนั้นการเลือกค่าสูงสุดของกลุ่มข้อมูล จึงมีหลายระดับดังแสดง



รูปที่ 49 ความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูล 2 กลุ่ม (A และ B) ในลักษณะต่างๆ คัดลอกจาก Sinclair (1991)  
 จากรูป B คือกลุ่มข้อมูลภูมิหลัง และ A คือ กลุ่มข้อมูลค่าผิดปกติ t คือ ค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง (Threshold)  
 รูป (a) แสดง t ใน 2 กลุ่มข้อมูลที่ไม่ทับซ้อนกัน  
 รูป (b) แสดง  $t_1$  และ  $t_2$  ซึ่งมีค่าเกือบเท่ากัน เนื่องจากมีการทับซ้อนของกลุ่มข้อมูลเพียงเล็กน้อย  
 รูป (c) แสดง  $t_1$  และ  $t_2$  มีค่าแตกต่างกันมาก เนื่องจากมีการทับซ้อนของกลุ่มข้อมูลทั้งสองกลุ่มมาก  
 รูป (d) แสดง t ในกรณีที่กลุ่มข้อมูลค่าผิดปกติ (A) จำนวนน้อยมาก

Sinclair (1991) ได้สรุปว่าในกรณีที่อัตราส่วนของกลุ่มข้อมูล A : B ไม่เกิน 20:80 การเลือกค่า  $t = \text{ค่า Mean} + 2\text{SD}$  ของกลุ่มข้อมูล B หรือ  $\text{mean} = 2\text{SD}$  ของกลุ่มข้อมูล A น่าจะเหมาะสม แต่ถ้ามีจำนวน

กลุ่มข้อมูล A มากไปหรือน้อยไป อาจทำให้พื้นที่ศักยภาพที่หาได้อาจจะมากขึ้นหรือน้อยเกินไป  
ขนาดของพื้นที่ศักยภาพ คำนวณได้ตามสูตร

1. ในกรณีพื้นที่สำรวจกว้าง (สำรวจกรณีเพิ่มบริเวณไพศาล)

	Aa	=	Pa x S
เมื่อ	Aa	=	พื้นที่ศักยภาพ (Anomalous Area)
	Pa	=	สัดส่วนของกลุ่มข้อมูลสูงผิดปกติต่อกลุ่มข้อมูลทั้งหมด
	S	=	พื้นที่สำรวจทั้งหมด
	Pa	=	Na / (Na+Nb)
	Na	=	จำนวนตัวอย่างที่มีค่าสูงผิดปกติ
	Nb	=	จำนวนตัวอย่างที่มีค่าภูมิหลัง

2. ในกรณีที่สำรวจโดยการตัดแนวเป็น grid

	Aa	=	Na x a1 x a2
เมื่อ	a1	=	ระยะห่างระหว่างแนว
	a2	=	ระยะห่างของจุดเก็บตัวอย่างในแนว

การเทียบเคียง Anomaly Contrast

Anomaly Contrast จะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลสูงผิดปกติต่อค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลค่าภูมิหลังจากสูตร

	C <sub>1</sub>	=	$\bar{X}_a / \bar{X}_b$
เมื่อ	C <sub>1</sub>	=	Anomaly contrast
	X <sub>a</sub>	=	ค่าเฉลี่ยกลุ่มข้อมูลสูงผิดปกติ
	X <sub>b</sub>	=	ค่าเฉลี่ยกลุ่มข้อมูลค่าภูมิหลัง

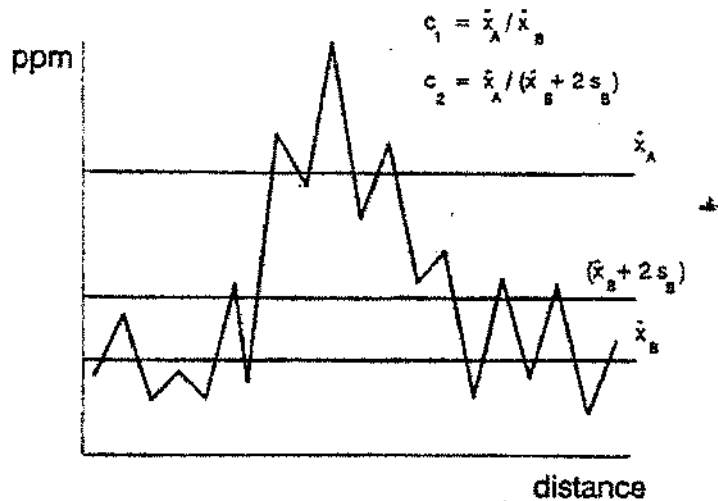
หรืออาจหาได้จากสูตร

เมื่อ	C <sub>2</sub>	=	$\bar{X}_a / \bar{X}_b + 2S_b$
	C <sub>2</sub>	=	Anomaly contrast
	X <sub>a</sub>	=	ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลสูงผิดปกติ
	X <sub>b</sub>	=	ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลภูมิหลัง
	S <sub>b</sub>	=	Standard deviation

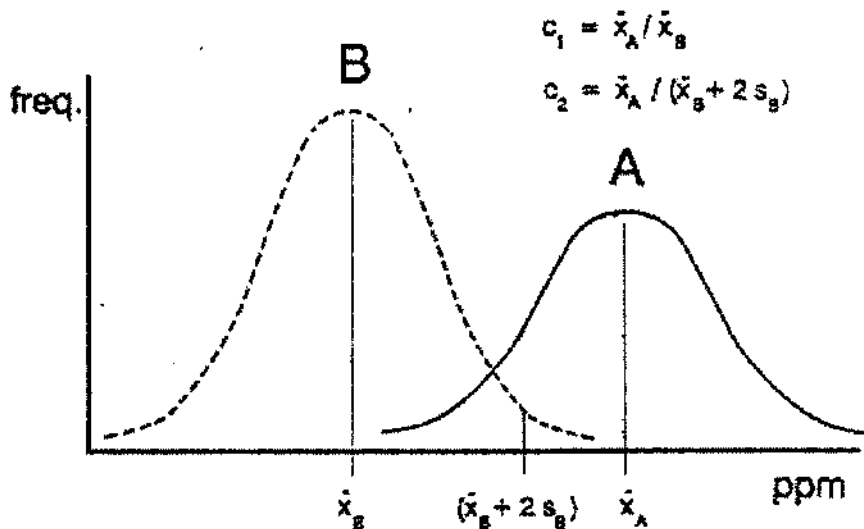
ค่า Anomaly contrast C<sub>1</sub> และ C<sub>2</sub> ที่หาได้จากทั้ง 2 วิธี อาจมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แต่สามารถใช้ได้ทั้ง 2 วิธี (Sinclair, 1991) ดังแสดงในรูปที่ 50 และ 51



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต



รูปที่ 50 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุตามระยะทาง แสดงให้เห็น Anomaly Contrast ตามสูตร คัดลอกจาก Sinclair (1991)



รูปที่ 51 รูปแบบ Anomaly contrast ที่คำนวณมาจากข้อมูลทั้งหมด เปรียบเทียบกับ Anomaly contrast ในรูปที่ 50 คัดลอกจาก Sinclair (1991)

ค่า Anomaly contrast (C) จะเป็นค่าที่เป็นตัวกำหนดระดับชั้นของพื้นที่ศักยภาพที่แสดงถึงโอกาสที่จะพบแหล่งแร่ คือ หากมี Anomaly contrast สูง ก็จะมีโอกาสพบแหล่งแร่ได้สูง

## 2. การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีตารางเฉลี่ย (Cell Average)

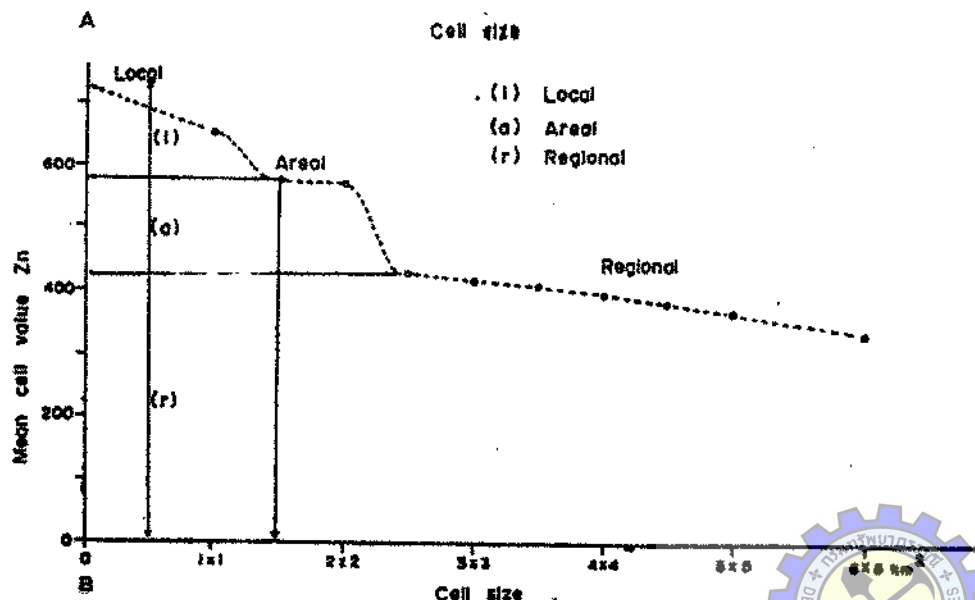
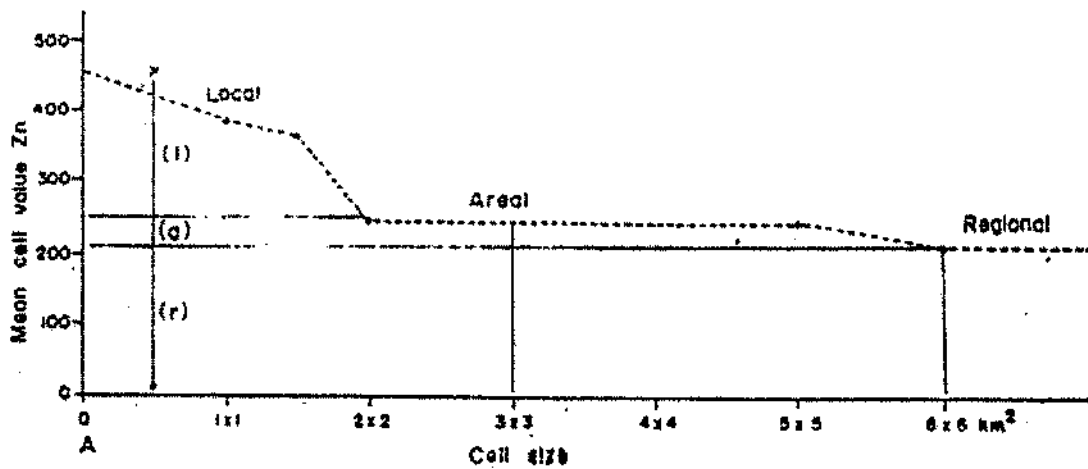
ในการเขียนแผนที่ธรณีเคมีโดยใช้เส้น Contour, Colour Plot หรือ discrete map การกำหนดเส้นจากจุดเก็บตัวอย่างทุก ๆ จุด บางครั้งจะเขียนเส้น contour ล้ำบาก และแสดงแนวโน้มทิศทางของ geochemical trend ไม่ชัดเจน จึงใช้วิธีตารางเฉลี่ยตามวิธีของ Geofloy (Sektheera, 1972) มากใช้ในการเขียนแผนที่เพื่อแสดง regional trend surface หรือ areal trend surface โดยการแบ่งบริเวณที่ทำการสำรวจออกเป็นตารางเล็ก ๆ แล้วหาค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะจากจุดเก็บตัวอย่างที่อยู่ภายใต้ตารางทั้งหมดมาลงไว้ที่จุดกึ่งกลางของตาราง จากนั้นก็เขียนเส้น contour โดยวิธี interpolation จากค่าเฉลี่ยภายในตารางแต่ละตาราง โดยใช้เส้น contour ที่ระดับต่าง ๆ กัน ซึ่งจะได้แผนที่ geochemical contour map ซึ่งในการเขียนแผนที่โดยวิธีนี้ เราสามารถเลือก

ขนาดของตารางขนาดต่าง ๆ กัน เพื่อให้เห็นแสดงถึง regional trend surface หรือ areal trend surface โดยถ้าเราใช้ตารางขนาดใหญ่ก็จะได้ regional trend surface ซึ่งจะแสดงถึง regional component เพียงอย่างเดียว แต่ถ้าเราใช้ตารางขนาดเล็ก ก็จะได้ areal trend surface ซึ่งจะแสดงถึง regional component รวมกับ areal component แต่ถ้าเขียนจากปริมาณโลหะที่จุดเก็บตัวอย่างโดยตรง ก็จะได้ regional + areal + local component

ในการเลือกขนาดของตารางเพื่อให้แสดงถึง regional หรือ areal trend surface นั้นจะต้องเลือกขนาดของตารางที่เหมาะสม โดยใช้วิธีของ Geoffroy ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

1. เลือกจุดเก็บตัวอย่างในบริเวณที่ทำการสำรวจที่แสดงถึงค่าปริมาณโลหะที่ค่อนข้างสูงกว่าจุดอื่น เป็นจุดศูนย์กลางของตาราง แล้วเขียนตารางขนาดต่างๆ กัน โดยเอาจุดที่เลือกไว้เป็นจุดศูนย์กลาง เช่น ในขนาดตาราง 1x1, 2x2, 3x3, 4x4 ฯลฯ ตารางกิโลเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะที่จุดเก็บตัวอย่างที่อยู่ในตารางแต่ละขนาด

2. เขียนกราฟค่าเฉลี่ย เปรียบเทียบกับขนาดของตารางจะได้เส้นกราฟ แสดงถึงความสัมพันธ์ของขนาดตารางกับค่าเฉลี่ย



รูปที่ 52 การหาขนาดของตาราง โดยวิธีของ Geoffroy คัดลอกจาก Sektheera (1972)

A กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยภายในตารางกับขนาดของตารางจากผลการวิเคราะห์สังกะสีจากตะกอนท้องน้ำ โดยมีความหนาแน่นของตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง ต่อ 4 ตารางกิโลเมตร

B กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยภายในตารางกับขนาดของตารางจากผลการวิเคราะห์สังกะสีจากตะกอนท้องน้ำ โดยมีความหนาแน่นของตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง ต่อ 2 ตารางกิโลเมตร

เส้นกราฟจะมีจุดเปลี่ยนอยู่ 3 ช่วง คือ

(1) แสดงถึง local component

(a) แสดงถึง areal component

(r) แสดงถึง regional component

จากกราฟของรูปที่ 52-A สรุปได้ว่า

1) ตารางขนาด 6x6 ตารางกิโลเมตร ค่าเฉลี่ยที่จะได้แสดงถึง regional component

2) ตารางขนาด 3x3 ตารางกิโลเมตร ค่าเฉลี่ยจะได้แสดงถึง regional + areal component

3) ตารางขนาด 1.5x1.5 ตารางกิโลเมตร จะแสดงถึง regional + areal + local component รวมกัน

ฉะนั้น ในการเขียนแผนที่โดยใช้ตารางขนาด 6x6 ตารางกิโลเมตร และ 3x3 ตารางกิโลเมตร จะได้แผนที่ของ regional trend surface และ areal trend surface ตามลำดับ

รูปที่ 52-B เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับขนาดของตารางจากผลวิเคราะห์ของสังกะสีในตะกอนหอน้ำโดยมีความหนาแน่นของตัวอย่าง 2 ตัวอย่างต่อ 1 ตารางกิโลเมตร จากกราฟพบว่า ตาราง 1.5x1.5 ตารางกิโลเมตร จะแสดงถึง areal trend surface และ 2.5x2.5 ตารางกิโลเมตร จะแสดงถึง regional trend surface

ในการเขียนแผนที่ geochemical contour map จากขนาดของตารางที่ต่างกันนี้จะได้ regional trend surface และ areal trend surface เมื่อเอา regional trend ลบออกจาก areal trend surface จะได้ residue map ซึ่งจะแสดงถึง areal component เพียงอย่างเดียว แผนที่ residual map นี้จะมีประโยชน์มากในการแปลความหมายทางธรณีเคมี บริเวณไหนที่ค่าของ residue แสดงค่าที่เป็นบวกสูงมากจนเห็นได้เด่นชัด ก็แสดงถึงบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่สูง ซึ่งน่าจะมีแหล่งแร่อยู่ ข้อดีในการเขียนแผนที่โดยวิธีนี้สามารถทำให้เราสามารถสังเกตเห็น regional component และ areal component หรือ local component ได้เด่นชัด แต่ในกรณีที่ค่าปริมาณโลหะในบริเวณที่ทำการสำรวจแต่ละจุดมีการเปลี่ยนแปลงสูง (high local fluctuation) โดยใช้วิธีตารางเฉลี่ยจะทำให้ local trends และ trend direction หายไป เนื่องจากผลของการที่เราเอาค่าที่จุดต่างๆ มาเฉลี่ยเข้าด้วยกัน ทำให้บางบริเวณมีค่าสูงจากความเป็นจริง และบางบริเวณก็จะต่ำกว่าความเป็นจริง ฉะนั้นในบริเวณที่มีค่าปริมาณโลหะแตกต่างกันมาก และมีลักษณะธรณีวิทยาที่สามารถแยกได้เด่นชัดและสังเกตได้ว่าค่าปริมาณโลหะที่ได้จากการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กับลักษณะธรณีวิทยาของหินที่รองรับ เราจึงคำนวณหาค่าเฉลี่ยในบริเวณที่มีหินรองรับแต่ละชนิด คือภายในตาราง อาจมีค่าเฉลี่ยหลายค่า โดยวิธีนี้เราสามารถที่จะแก้ปัญหาการประเมินค่าที่สูงหรือต่ำไปได้

### 3. การวิเคราะห์ข้อมูล โดยวิธีตารางเฉลี่ยเคลื่อนที่ (moving cell average หรือ rolling mean analysis)

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีตารางเฉลี่ยเคลื่อนที่ อาศัยหลักการเดียวกับวิธีตารางเฉลี่ย คือ แบ่งเป็นตารางสี่เหลี่ยมหาค่าเฉลี่ยแล้วเคลื่อนตารางไป 50% ทั้งแนวขวางและแนวนอน หาค่าเฉลี่ยใหม่ เอาค่าที่เฉลี่ยได้ทุกครั้งใส่ไว้ในจุดกึ่งกลางของตารางเพื่อใช้ในการเขียน contour การใช้วิธีเคลื่อนที่ตารางนี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มากขึ้น สำหรับแก้ปัญหาการประเมินค่าสูงหรือต่ำเกินไป วิธีนี้จะสามารถหาได้ทั้ง regional trend surface areal trend surface และ Residual map เช่นเดียวกับวิธีตารางเฉลี่ยที่กล่าวแล้ว เป็นวิธีที่สามารถจะจัดทำได้โดยวิธีง่ายๆ แต่ปัจจุบันนิยมใช้วิธี Rolling mean analysis โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อจัดทำ trend surface และ residual map residual map จะแสดงถึงบริเวณที่มีค่าปริมาณธาตุสูงกว่าปกติหลังจากลบค่าภูมิหลังออกแล้ว ซึ่งจะแสดงถึงบริเวณที่น่าจะมีศักยภาพทางแร่

### 4. การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี trend surface analysis

เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการคำนวณค่าปริมาณโลหะตามจุดที่กำหนดจากสูตร polynomial function มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เคมี เริ่มจากการกำหนดสูตร polynomial function เพื่อหาค่า trend values ด้วย โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

1. A linear หรือ first order trend surface ใช้สูตร

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$$

2. A quadratic surface หรือ second order trend surface ใช้สูตร

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1^2 + b_4x_2^2 + b_5x_1x_2$$

3. A cubic or third order trend surface

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1^2 + b_4x_2^2 + b_5x_1x_2 + b_6x_1^3 + b_7x_2^3 + b_8x_1^2x_2 + b_9x_1x_2^2$$

เมื่อ  $y =$  ค่าปริมาณโลหะที่จุด

$x_1 =$  East-West co-ordinate component

$x_2 =$  North-South co-ordinate component

$b_0 - b_9 =$  ค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณจากผลวิเคราะห์ที่จุดต่างโดยวิธี least square

หลักเกณฑ์ในการคำนวณหาสูตรหรือค่าคงที่ใน polynomial function โดยการกำหนดหรือสร้าง trend surface ขึ้นโดยให้มีค่าแตกต่างกันจากค่าที่ได้จากการวิเคราะห์น้อยที่สุด หรือโดยวิธี least square คือ ให้ผลรวมกำลังสองของผลต่างระหว่างค่า trend value กับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เคมี ที่จุด ๆ เดียวกันมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งโดยวิธีนี้เราสามารถจะคำนวณหาค่าคงที่ของ  $b_0, \dots, b_9$  เพื่อนำมาใช้ในสูตรต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วได้ ลักษณะของ trend surface ที่เขียนได้จากการคำนวณจะมีลักษณะต่างๆ ตาม order ต่าง ๆ คือถ้าเป็น linear หรือ first order ลักษณะจะเป็นพื้นราบ แต่ถ้า order สูงขึ้นกับจะมีความนูนหรือเว้าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ คือจะมีความใกล้เคียงกับความจริง มากขึ้น

ค่าแตกต่างระหว่างค่า trend value กับค่าที่วิเคราะห์ได้เรียกว่า residue ซึ่งจะแสดงถึงความเบี่ยงเบนของปริมาณโลหะนั้น ๆ จาก regional trend ค่าที่แตกต่างนี้เกิดขึ้นจากปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจาก trend function ซึ่งค่า residue นี้สามารถนำมาเขียนเป็นแผนที่ได้เป็น residual map เพื่อนำมาใช้ในการแปลความหมายทางธรณีเคมีบริเวณไหนที่มีค่า residue สูง ก็ถือว่ามีความผิดปกติทางธรณีเคมีสูงคือเป็นบริเวณที่มีค่าปริมาณโลหะสูงกว่าปกติ ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับแหล่งแร่ได้

ในการทดสอบว่า trend surface ที่เขียนขึ้นจาก polynomial ใน order ต่าง ๆ มีความถูกต้องกับความเป็นจริงขนาดไหน จะต้องทำการพิสูจน์โดยการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ที่จุด ๆ เดียวกันโดยการทดสอบ goodness of fit

## 5. การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี linear regression analysis หรือ factor analysis

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีตัวแปรหลายตัว (Multivariate Analysis) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของธาตุใดธาตุหนึ่งว่ามีความสัมพันธ์กับธาตุอื่นหรือปัจจัยอื่น ๆ อย่างไร โดยตั้งสมมติฐานที่ว่าปริมาณของธาตุใดธาตุหนึ่งจะมากหรือน้อย จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของธาตุอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กันแล้วคำนวณหาค่าปริมาณธาตุที่ต้องการด้วยคอมพิวเตอร์ จากสูตร

$$y = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n \text{ เมื่อ}$$

$y =$  function of "n" independent variable terms

$b_0 =$  intercept ( $X_0 = 1$ )

$b_1 - b_n =$  the regression coefficients of the independent variable  $X_i$

$X_1, \dots, X_n$  ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้ในสูตรเป็นปริมาณของธาตุแต่ละธาตุหรือปริมาณของตัวแปร

ต่าง ๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งหาได้จากการศึกษา inter-element correlation study และ cluster analysis โดยการใช้อคอมพิวเตอร์ คำนวณหา inter-element correlation coefficient และธาตุรวมเนื่องจากโดยปกติแล้วธาตุต่าง ๆ จะเกิดอยู่ร่วมกันเป็นกลุ่มธาตุหลายธาตุ โดยมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ซึ่งการอยู่ร่วมกันของธาตุต่าง ๆ

แตกต่างกันไป ตามลักษณะพื้นที่และชนิดของหินที่รองรับ หรือชนิดของแหล่งแร่ ฉะนั้น ในการวิเคราะห์ข้อมูล ในบริเวณกว้าง ๆ จำเป็นต้องแบ่งบริเวณออกเป็น ส่วน ๆ ตามลักษณะของหินที่รองรับ เพื่อให้ข้อมูลถูกต้องยิ่งขึ้น เพราะในหินแต่ละประเภทอาจมี element association ไม่เหมือนกัน เมื่อทำการศึกษา cross correlation และ correlation coefficient ได้แล้วก็ทำการศึกษา cluster analysis โดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อเขียน dendrogram เราสามารถแบ่งธาตุที่มีความสัมพันธ์กันออกเป็นกลุ่ม ๆ ซึ่งในการศึกษา linear regression analysis เพื่อเขียน geochemical trend surface ของธาตุใดธาตุหนึ่ง เราก็สามารถเขียนได้โดยนำเอาปริมาณของธาตุต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับธาตุนั้นมาคำนวณในสูตรดังที่กล่าวแล้ว

ในการทำแผนที่ธรณีเคมีจาก linear regression analysis เขียนโดยการใส่ค่าที่คำนวณได้จาก สูตรมาเขียน contour แสดง regional geochemical surface ซึ่งถูกควบคุมด้วยปัจจัยต่าง ๆ ที่จำกัดอยู่ในสูตรที่ นำมาคำนวณ ซึ่งจะมีปริมาณของธาตุอีกส่วนหนึ่งที่เกิดจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของธรณีวิทยา สภาพแวดล้อม หรือจากแหล่งแร่ที่มีอยู่ในบริเวณนั้น ๆ ฉะนั้น ค่า trend value จะแตกต่างออกไปจากค่าที่ วิเคราะห์ได้ จึงต้องคำนวณหาความแตกต่างของค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่วิเคราะห์ได้ เพื่อหา residue และเขียน residual map เพื่อแสดงค่าปริมาณโลหะที่ถูกควบคุมโดยปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งอาจจะรวมไปถึงแหล่งแร่ แผนที่ residue ที่ได้ อาจจะเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ ซึ่งทั้งสองค่านี้ต่างก็มีความสำคัญในทางธรณีเคมี บริเวณที่มีค่า เป็นบวกแสดงว่าบริเวณนั้นมีค่าธาตุนั้นสูง คือมีศักยภาพทางธาตุหรือแร่ที่เกี่ยวข้องกับธาตุนั้นสูง ส่วนบริเวณ ที่มีค่าเป็นลบ อาจแสดงว่ามีศักยภาพทางแร่ที่ประกอบด้วยธาตุที่ใช้คำนวณในสูตรดังกล่าว

## 6. การหา goodness of fit

ในการเขียนแผนที่ธรณีเคมี เพื่อแสดงถึง geochemical trend surface โดยวิธีต่างๆ ตามที่กล่าว มาแล้ว ค่าบนแผนที่จะมีความแตกต่างจากค่าปริมาณโลหะที่มีอยู่จริง ๆ ที่ทำการเก็บตัวอย่างหรือค่าที่ได้ จากการวิเคราะห์ ในการที่จะทดสอบว่าแผนที่ที่เขียนมีความถูกต้องแค่ไหน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณ โลหะที่มีอยู่จริง ๆ เราสามารถทดสอบ โดยวิธีหา goodness of fit ของ trend surface

Goodness of fit สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Goodness of fit (\%)} = 100 (1 - S_d^2) / S^2_{\text{total}} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{หรือ} = 100 (1 - \frac{\sum (Z_m - Z_{tr})^2}{\sum (Z_m - \bar{Z}_m)^2}) \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{เมื่อ } S^2_{\text{total}} = (\sum (Z_m - \bar{Z}_m))^2$$

$$\text{และ } S^2_{\text{total}} = S^2_{tr} + S^2_d$$

$$S^2_{tr} = \sum (Z_{tr} - \bar{Z}_m)^2$$

$$S^2_d = \sum (Z_m - Z_{tr})^2$$

$$Z_m = \text{ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์}$$

$$Z_m = \text{ค่าเฉลี่ยของผลวิเคราะห์ทั้งหมด}$$

$$Z_{tr} = \text{ค่า trend value ที่คำนวณได้}$$

$$S_{\text{total}} = \text{ค่าเบี่ยงเบนของค่าปริมาณโลหะที่วิเคราะห์ได้ของ ตัวอย่างทั้งหมด จากค่าเฉลี่ย} = \sum (Z_m - \bar{Z}_m)$$

$$S_{tr} = \text{ความเบี่ยงเบนของค่า trend value จากค่าเฉลี่ย} = \sum (Z_{tr} - \bar{Z}_m)$$

$$S_d = \text{ค่าเบี่ยงเบนของค่าที่วิเคราะห์ได้จากค่าที่คำนวณได้}$$

$$= \sum (Z_m - Z_{tr})$$

Goodness of fit จะคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงถึงความถูกต้องของ trend surface เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ ถ้าหากว่าค่า trend value มีค่าเท่ากับค่าที่วิเคราะห์ได้ทุก ๆ จุดที่เก็บตัวอย่าง ก็แสดงว่าแผนที่ที่ได้มีความถูกต้อง 100% แต่ถ้ามีค่าต่ำกว่า 100% คือมี goodness of fit ต่ำ

ก็แสดงว่า trend surface ของเราแตกต่างจากค่าปริมาณโลหะที่มีอยู่จริงๆ ซึ่งค่าที่แตกต่างไปนี้จะเป็นค่าที่เกิดขึ้นจากปัจจัยอื่นๆ ซึ่งเป็นตัวแปรนอกเหนือจาก trend function ซึ่งค่าที่แตกต่างนี้ สามารถเขียนเป็นแผนที่ได้ในรูปของ residual map ซึ่งแสดงเฉพาะ areal หรือ local component หลังจากหักเอาค่าของ regional background ออกไปแล้ว ซึ่งจะเป็นบริเวณที่มีความสำคัญหรือเป็นบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่สูง □



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

## การเขียนแผนที่ธรณีเคมี

ผลการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลธรณีเคมี จะต้องแสดงให้เห็นในรูปของแผนที่ธรณีเคมีในการเขียนแผนที่ธรณีเคมี จะต้องให้มีความสมบูรณ์ที่สุด เส้นและสัญลักษณ์ต่างๆ ในแผนที่จะต้องมีความหมายเข้าใจง่าย สะดวกต่อการแปลความหมาย และมีรายละเอียดและความถูกต้องสามารถที่จะนำไปใช้เป็นรากฐานในการสำรวจหรือทำงานในขั้นต่อไป

การเขียนแผนที่ธรณีเคมี อาจแสดงได้หลายแบบด้วยกัน ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้สำรวจว่าจะแสดงผลการสำรวจในลักษณะไหนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน หรือบริเวณที่ทำการสำรวจว่ามีความละเอียดขนาดไหน ลักษณะการแผ่กระจายของจุดเก็บตัวอย่างห่างกันมากน้อยแค่ไหน และวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการแบบไหนปกติแล้วการเขียนรายงานการสำรวจธรณีเคมี แผนที่ที่จำเป็นจะต้องใช้ประกอบรายงานการสำรวจประกอบด้วย

1. แผนที่ธรณีวิทยาแหล่งแร่ และแหล่งแร่
2. แผนที่แสดงจุดตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง และเลขที่ตัวอย่าง
3. แผนที่ข้อมูลดิบ (Raw data map)
4. แผนที่ธรณีเคมี (Geochemical map)

หลักสำคัญประการหนึ่งในการเขียนแผนที่ซึ่งผู้สำรวจธรณีเคมีจะละเลยมิได้คือการเลือกมาตราส่วนของแผนที่ (scale) ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้มาตราส่วนที่เหมาะสม โดยให้เหมาะสมกับปริมาณเนื้อที่ที่ทำการสำรวจและรายละเอียดที่ทำการสำรวจ ในกรณีที่ทำการสำรวจบริเวณกว้างขวางมาก ๆ ก็จำเป็นจะต้องใช้แผนที่มาตราส่วน เช่น 1:250,000; 1:100,000; 1:50,000 เป็นต้น แต่ถ้าปริมาณที่สำรวจ เป็นบริเวณเล็กก็ใช้มาตราส่วนให้ใหญ่ขึ้น เช่น 1:10,000; 1:5,000; 1:2,000; 1:1,000 เป็นต้น ทั้งนี้ถือหลักที่ว่าในเวลาปฏิบัติงานเขียนแผนที่ ระยะห่างระหว่างจุดข้อมูลต่างๆ ที่เขียนลงในแผนที่ ไม่ควรจะห่างกันต่ำกว่า 1 เซนติเมตร เพื่อให้สะดวกในการเขียนและสะดวกแก่ผู้ใช้แผนที่ให้อ่านง่ายนอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงทิศทางของแผนที่ด้วย ซึ่งโดยทั่วไปมักจะกำหนดให้ทิศเหนือมีทิศไปตามด้านบนของแผนที่

การแสดงผลข้อมูลในแผนที่ธรณีเคมี อาจแสดงได้หลายวิธี เช่น

1. แสดงข้อมูลด้วยตัวเลข
2. แสดงข้อมูลด้วยเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์
3. แสดงข้อมูลด้วยเส้นระดับหรือเส้นที่มีค่าเท่ากัน (contour or isopleth)
4. แสดงด้วยสีหรือความเข้มของสี

### 1. การเขียนแผนที่โดยใช้ตัวเลข

เขียนโดยใช้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โดยตรง (raw data) จากการเขียนแผนที่แบบนี้ไม่มีอะไรยุ่งยาก เพียงแต่นำผลการวิเคราะห์มาเขียนลงที่จุดเก็บตัวอย่างเลย อาจจะเป็นธาตุเดียว หรือหลายธาตุก็ได้วิธีนี้เหมาะสำหรับข้อมูลที่ไม่ซับซ้อนมองเห็นค่าแตกต่างสูงต่ำได้ชัดเจนโดยไม่ต้องวิเคราะห์ข้อมูล เพียงแต่มองดูตัวเลขก็สามารถแปลความหมายทางเคมีได้

### 2. การเขียนแผนที่โดยใช้เครื่องหมายหรือสัญลักษณ์

วิธีนี้เป็นวิธีที่ยุ่งยากขึ้นจะต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และแบ่งค่าปริมาณโลหะออกเป็นช่วง ๆ โดยให้แต่ละช่วงมีความหมายทางธรณีเคมี เช่น แสดงถึงค่าปกติ ค่าเบี่ยงเบนจากปกติ (anomaly) ในระดับต่าง ๆ กัน เช่น 0-100, 100-200, 200-400 เป็นต้น การแบ่งขั้นหรือช่วงของปริมาณโลหะ ไม่จำเป็นจะ



ต้องมีความแตกต่างกันตลอด แต่จะต้องให้แต่ละช่วงมีความหมายทางธรณี คือต้องให้ผู้อ่านแผนที่เข้าใจได้ง่ายที่สุดว่า เครื่องหมายชนิดใดมีความหมายอย่างไร ฉะนั้น จะต้องวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติให้รู้ว่ามีปริมาณโลหะขนาดใดเป็นค่าปกติ ขนาดใดที่เบี่ยงเบนไปจากปกติ และสูงกว่า ค่าใดจึงจะเป็นบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่จริง ๆ โดยทั่วไปแล้วถ้าข้อมูลมีลักษณะเป็นข้อมูลเดี่ยวก็จะใช้ค่า mean, mean +2S, mean +3S, mean +4S เป็นเกณฑ์ โดยถือเอา mean +2S เป็นค่า threshold แต่ถ้าข้อมูลมีหลายกลุ่มข้อมูลก็สามารถจำกัดช่วงของแต่ละเครื่องหมายโดยแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็นพวก ๆ ตามวิธีการ graphical representation ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ข้อควรระวังในการแบ่งชั้นข้อมูลเพื่อแสดงความแตกต่างแต่ละช่วง คือ ค่าระหว่างชั้นจะต้องมากกว่าค่าความเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ย (deviation of mean)

การเขียนแผนที่ธรณีเคมีโดยใช้เครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ที่นิยมใช้กันในการสำรวจธรณีเคมี ในกรณีที่การแพร่กระจายจุดเก็บตัวอย่างไม่แน่นอน (irregular sample points) คือ ระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างไม่เท่ากัน เช่นในการเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ การเก็บตัวอย่างหิน ซึ่งถูกควบคุมด้วยลักษณะทางน้ำและทางธรณีวิทยาไม่สามารถเก็บตัวอย่างให้เป็นระบบได้ จึงไม่สามารถเขียนแผนที่โดยใช้เส้น contour ได้ แผนที่ชนิดนี้สามารถใช้อ่านค่าปริมาณโลหะได้เฉพาะจุด จึงทำให้สังเกตเห็นลักษณะการแพร่กระจายทางธรณีเคมีของธาตุไม่ชัดเจน คือแสดงแนวและทิศทางของบริเวณที่มีค่าเบี่ยงเบนไปจากปกติไม่เด่นชัด แต่สามารถจะแสดงจุดที่มีค่าสูงต่ำได้ชัดเจน

### 3. การเขียนแผนที่ธรณีเคมีโดยใช้เส้น contour หรือ isopleth

วิธีนี้ก็เช่นเดียวกับวิธีที่ 2 คืออาศัยค่าปริมาณโลหะที่หาได้จากวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีต่างๆ มาจัดเป็นกลุ่มแล้วใช้เส้น contour หรือ isopleth แทนค่าเหล่านั้นโดยลากผ่านจุดที่มีค่าปริมาณโลหะเท่ากัน การแสดงการแพร่กระจายของปริมาณโลหะโดยใช้เส้น contour จะมีลักษณะคล้าย ๆ กับเส้น contour ของแผนที่ภูมิประเทศแต่จะแตกต่างกัน คือ ค่าแตกต่างระหว่างเส้น contour แต่ละเส้นจะไม่เท่ากัน (unequal contour interval) เส้นแต่ละเส้นจะแสดงความหมายได้ชัดเจน คือต่ำกว่าเส้นไหนเป็นค่าปกติสูงกว่าเส้นไหนเป็นค่าที่เบี่ยงเบนไปจากปกติ ค่าขีดจำกัดของเส้น contour หรือเส้น isopleth ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีต่าง ๆ จะมีลักษณะไม่เหมือนกันแล้วแต่ผู้วิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ตามความเหมาะสม สำหรับแผนที่ที่จะได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล โดยวิธี trend surface analysis, cell average, moving cell average, linear regression analysis จะสามารถเขียนได้หลายรูปแบบ คือแสดงถึง regional trend surface, areal trend surface, local trend surface หรือ residual map ซึ่งแสดงผลต่างของ regional component กับ local component

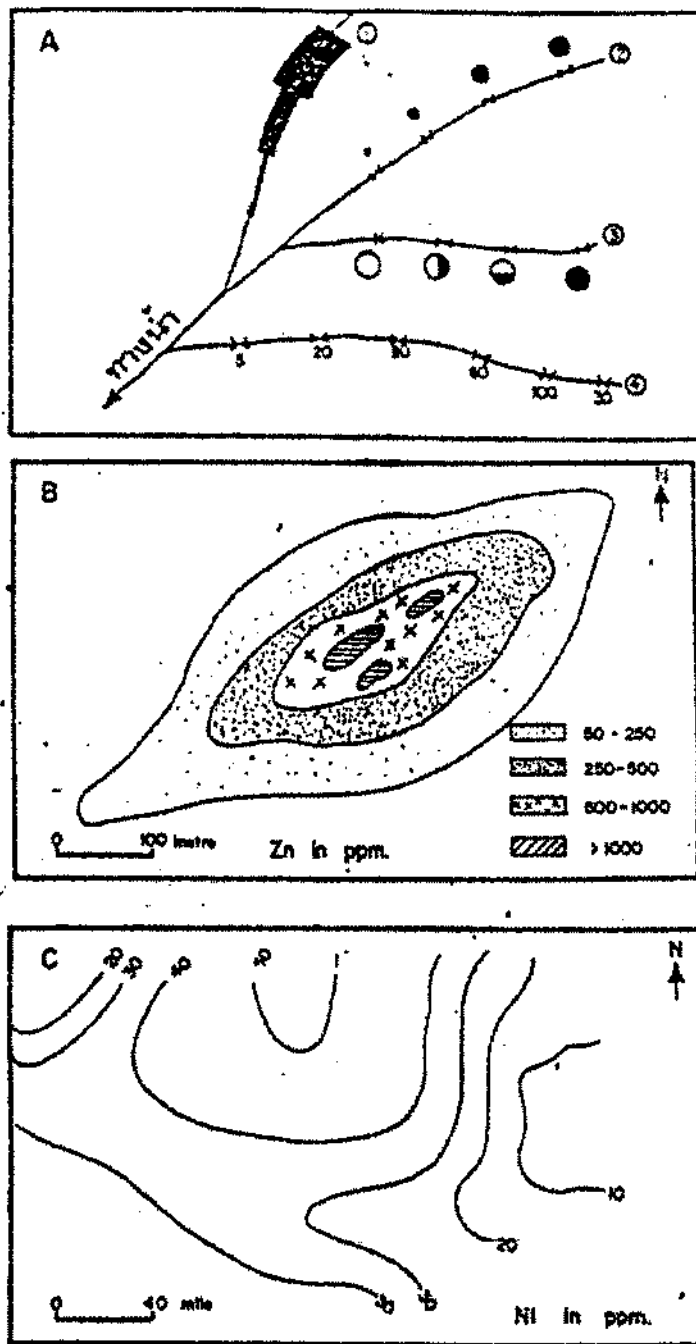
การแสดงการแพร่กระจายของปริมาณโลหะโดยเส้น contour เหมาะสำหรับการสำรวจที่มีระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุดใกล้เคียงกัน (regular sample density) เพราะสามารถเขียน contour ได้ถูกต้องแน่นอน ผลดีของแผนที่ชนิดนี้คือทำให้เราเห็นการแพร่กระจายของปริมาณโลหะในบริเวณต่าง ๆ ได้เด่นชัดแนวและทิศทางของบริเวณที่มีค่าเบี่ยงเบนไปจากปกติจะแสดงได้ชัดเจน สามารถเปรียบเทียบกับแผนที่ธรณีวิทยาได้ง่าย ทำให้ง่ายต่อการแปลความหมายทางธรณีเคมี

### 4. การเขียนแผนที่ธรณีเคมีโดยแสดงด้วยสีหรือความเข้มของสี

วิธีการแสดงการแพร่กระจายของปริมาณโลหะโดยการใช้สีหรือความเข้มของสีนี้ก็ใช้หลักเกณฑ์เดียวกับวิธีการเขียน contour คือใช้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการต่าง ๆ มาจำกัดขอบเขต โดยเลือกใช้สีหรือความเข้มของสีต่าง ๆ กัน ส่วนใหญ่แล้ววิธีการเขียนแผนที่โดยวิธีนี้จะใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถจะเขียนแผนที่ธรณีเคมีได้เลย ภายหลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ซึ่งเป็นวิธีการที่สะดวกและมีความถูกต้องแน่นอน ซึ่งแผนที่ที่ได้จะมีลักษณะเหมือนกันกับแผนที่ที่ได้จากการลากเส้น contour แต่เป็นวิธีที่ทันสมัยกว่าและนิยมใช้กันในปัจจุบันเพราะสามารถเขียนได้รวดเร็ว และแสดงการแพร่กระจายของโลหะได้เด่นชัด ง่ายแก่การแปลความหมายทางธรณีเคมี

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี

ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต



รูปที่ 53 การเขียนแผนที่ธรณีเคมี ในลักษณะต่างๆ กัน

- A การเขียนแผนที่ธรณีเคมี โดยใช้สัญลักษณ์หรือตัวเลข
- B การเขียนแผนที่ธรณีเคมี โดยใช้ isopleths
- C การเขียนแผนที่ธรณีเคมี โดยใช้เส้น Contour



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

ในการเขียนแผนที่ธรณีเคมีตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น อาจเขียนแผนที่เฉพาะแต่ละธาตุหรือแผนที่อัตราส่วนระหว่างธาตุ (Ratio map) หรือจะเขียนหลาย ๆ ธาตุอยู่ด้วยกันในรูปของ element associations map เพื่อให้การแปลความหมายข้อมูลมีความสะดวกและถูกต้องยิ่งขึ้น

ในปัจจุบันนี้ การจัดทำแผนที่ในลักษณะต่าง ๆ สามารถจัดทำโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมีโปรแกรม สำเร็จรูป สำหรับนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางธรณีเคมี และจัดทำแผนที่ที่สามารถใช้งานได้ โดยสะดวกและแพร่หลาย เช่น โปรแกรม Surfer หรือ Geosoft เป็นต้น

นอกจากนี้แล้วยังมีโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ที่สามารถนำมาวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอแผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่สามารถแสดงตำแหน่งต่าง ๆ ที่มีอยู่จริงทางภูมิศาสตร์บนผิวโลกได้ เช่น จุดเก็บตัวอย่าง, ถนน, เส้นทางน้ำ, พื้นที่แหล่งแร่ ฯลฯ ได้ เช่น โปรแกรม MapInfo, Arc Info และ Arc view เป็นต้น □



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

## การแปลความหมายข้อมูลธรณีเคมี

ในการสำรวจธรณีเคมี ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และแผนที่ธรณีเคมีที่ได้จะแสดงถึงรายละเอียดต่าง ๆ ที่ได้จากการสำรวจ ซึ่งจะต้องนำมาแปลความหมายทางธรณีเคมี เพื่อสรุปผลของการสำรวจจุดประสงค์ในการแปลความหมายเพื่อ

1. หาค่าภูมิหลังและค่าเบี่ยงเบนจากค่าภูมิหลังหรือแยกบริเวณที่ปกติออกจากบริเวณที่มีค่าสูงกว่าปกติ

2. ศึกษาบริเวณที่มีค่าสูงกว่าปกติว่าบริเวณใดเป็นบริเวณที่มีนัยสำคัญ

3. ศึกษาดูว่าบริเวณที่มีค่าสูงกว่าปกติว่า เกิดจากตัวการที่อยู่กับแหล่งเดิมหรือเกิดจากการเคลื่อนที่มาจากที่อื่น

4. ศึกษาถึงตัวการต่าง ๆ ที่ควบคุมการแพร่กระจายของโลหะในบริเวณต่าง ๆ

5. หาบริเวณที่คิดว่าเกี่ยวข้องกับแหล่งแร่เพื่อทำการสำรวจในขั้นต่อไป

การที่จะตัดสินใจว่าบริเวณที่มีค่าปริมาณโลหะเบี่ยงเบนปกติหรือมีค่าสูงกว่าปกติ นั้น มีนัยสำคัญทางธรณีเคมีหรือไม่ จะต้องศึกษาถึง

1. ความมากน้อยของความแตกต่างระหว่างค่าที่เบี่ยงเบนจากค่าปกติหรือค่าภูมิหลัง

2. ขนาดและลักษณะรูปร่างของบริเวณที่มีความเบี่ยงเบนจากปกติ

3. ลักษณะทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้อง

4. ลักษณะและสภาพสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ทำการสำรวจที่เป็นตัวการในการควบคุมการแพร่กระจายของธาตุ

ในการแพร่กระจายของธาตุต่าง ๆ บนผิวโลกจะถูกควบคุมโดยปัจจัยต่าง ๆ หลายอย่าง ทั้งนี้เกี่ยวข้องกับธรณีวิทยา และแหล่งแร่หรือเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งแตกต่างออกไปตามพื้นที่ ฉะนั้น จะต้องศึกษาว่าบริเวณ ที่มีความเบี่ยงเบนจากปกติที่นั้นเกิดจากอะไร จะต้องศึกษาว่าบริเวณไหนที่มีนัยสำคัญ หรือบริเวณไหนที่มีความเบี่ยงเบนจากปกติเทียม (false anomaly) บริเวณที่มีความเบี่ยงเบนจากปกติส่วนใหญ่จะเกิดจากขบวนการทางธรณีเคมีหลาย ๆ ขบวนการ เช่น การสะสมตัวของโลหะภายในดิน สามารถเกิดการสะสมตัวโดยตรงจากหินที่รองรับ และเกิดจากการพัดพาของน้ำใต้ดิน หรือจากการผุพังเคลื่อนตัวของดินหรือตัวการทางกลศาสตร์อื่น ๆ

ความเบี่ยงเบนจากปกติเทียม หรือค่าผิดปกติเทียมนั้น อาจเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ หลายอย่าง เช่น เกิดจากความผิดพลาดในการวิเคราะห์ตัวอย่าง เกิดจากบริเวณที่เก็บตัวอย่างมีค่าภูมิหลังของหินที่รองรับสูงผิดปกติ หรือเกิดจากมลภาวะต่าง ๆ เช่น จากการทำเหมือง โรงงานอุตสาหกรรม ที่อยู่อาศัย มลภาวะจากการเกษตรกรรม หรือจากขยะมูลฝอย นอกจากนี้ อาจเกิดจากการดูดซึมของพืชบางชนิด ซึ่งสามารถดูดซึมธาตุบางชนิดได้มากเป็นพิเศษ แล้วผุพังทับถมกัน ทำให้บริเวณนั้นมีปริมาณของธาตุสูงผิดปกติ

ในบริเวณที่แสดงค่าเบี่ยงเบนจากปกติอย่างมีนัยสำคัญ (significant anomaly) จะถูกควบคุมโดยโครงสร้างทางธรณีวิทยาแหล่งแร่ ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของธาตุ ทำให้บริเวณนั้นมีปริมาณของธาตุสูงผิดปกติ แต่ในบางครั้งบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่ อาจไม่แสดงค่าปริมาณโลหะที่ผิดปกติจากบริเวณอื่น เนื่องจากการเก็บตัวอย่างเก็บในชั้นดินที่แตกต่างกัน หรือแหล่งแร่อยู่ลึกมากจนธาตุไม่สามารถเคลื่อนที่มาถึงผิวดินได้ ทำให้การสำรวจธรณีเคมีมีการผิดพลาดขึ้น ฉะนั้น ในการแปลความหมายข้อมูลทางธรณีเคมี จะต้องศึกษาถึงคุณสมบัติทางธรณีเคมีของธาตุโดยละเอียดโดยเฉพาะความเกี่ยวข้อง หรือความสัมพันธ์ระหว่างธาตุต่าง ๆ โดยศึกษาว่าผลจากการสำรวจมีความสัมพันธ์ระหว่างธาตุชนิดใดบ้าง เพื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของ

แหล่งแร่ชนิดต่างๆ ที่เคยค้นพบมาแล้ว ทั้งนี้เพราะความสัมพันธ์ของธาตุแต่ละชนิดสามารถจะอธิบายถึงการกำเนิดของแหล่งแร่ได้ ถ้าควรจะมีแหล่งแร่อะไรอยู่ในบริเวณไหน

ข้อสำคัญที่สุด อีกประการหนึ่งในการแปลความหมายข้อมูล จะต้องศึกษาถึงต้นกำเนิดของตัวอย่างที่เก็บว่าอยู่กับที่หรือพัฒนามาจากที่อื่น และปริมาณโลหะที่สะสมตัวอยู่ในตัวอย่างถูกพัฒนามาจากบริเวณไหน เพื่อหาบริเวณหรือขอบเขตของบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่สูงหรือเป็นแหล่งแร่

เมื่อได้ทำการศึกษาถึงบริเวณต่าง ๆ ที่มีความเบี่ยงเบนจากปกติแล้วจำเป็นจะต้องจัดลำดับความสำคัญของบริเวณนั้น ๆ โดยคำนึงถึงศักยภาพทางแร่และคุณค่าทางเศรษฐกิจเป็นสำคัญ โดยเปรียบเทียบบริเวณต่าง ๆ ว่าบริเวณไหนมีความเบี่ยงเบนจากปกติ อย่างมีนัยสำคัญมากกว่ากัน แล้วจัดลำดับความสำคัญในการติดตามสำรวจชั้นรายละเอียดว่าควรจะสำรวจบริเวณไหนก่อน โดยคำนึงถึงผลตอบแทนที่ได้รับ เพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการติดตามผลสำรวจชั้นรายละเอียด เพื่อเป็นแนวทางในการสำรวจหาปริมาณแร่สำรองต่อไป □



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

- Andrews-Jones, D.A., 1968, The Application of Geochemical Techniques to Mineral Exploration : Mineral Industries Bulletin, Colorado School of Mines, V.11, No.6, 29 p.
- Andrews, M.J., Dods, G.H. and Hewitt, W.V., 1991, Methods and approach to exploration for hard rock and alluvium gold in Indonesia : World Gold'91, Australian Inst. Mining and Metallurgy, pp. 259-269.
- Appleton, J.D. and Ridthway, J. 1994, Drainage Geochemistry in Tropical Rain Forest Terrains, In : M. Hale and J.A. Plant (Editors), Drainage Geochemistry Handbook of Exploration Geochemistry, V.6, Elvier, pp. 341-378.
- Beus, A.A. and Gregorian, S.V., 1975, Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits : Applied publishing Ltd., U.S.A., 28 p.
- Butt, C.R.M. and Zeeger, H., 1992, climate geochemical dispersion models, In : C.R.M. Butt and H. Zeeger (Editors), Regality Exploration Geochemistry in Tropical and Subtropical Terrains, Handbook of Exploration Geochemistry, V. 4, Elsevier, pp. 3-24.
- Boyle, R.W., 1974, Elemental association in mineral deposits and indicator elements of interest in geochemical prospecting : Geological Survey of Canada, Geological Survey paper 74-75, 10 p.
- Bradshaw, P.M.D. and Thomson, I., 1979, The application of soil sampling to geochemical exploration in nonglaciated regions of the world, Geophysics and geochemistry in the search for metallic ores : Geological Survey of Canada, Economic Geology Report 31, pp. 327-338.
- Carlisle, J.C., Digolowirogo, S., and Dairies, K., 1990 Geological setting, characteristics and regional exploration for gold in the volcanic arcs of North Sulawesi, Indonesia : J. Geochem. Explore. V. 35, pp.105-140.
- Carlisle, J.C., Davey, G.R., Kadir, I., Langesd, R.P., and Roperty, W.J., 1998, Discovery and application of the Gosowong epithermal gold deposit, Halmahera, Indonesia : J. Geochem Explor., V.60, pp. 207-225.
- Darnley, A.G., Björklund, A., Bølviken, B., Gustausson, N., Coral, P.V., Phant, J.A., Steen felt, A., Tauchid, Map and Xie Suejing with contribution by Garret, R.G. and Hall, G.E.M., 1995, A Global Geochemical Database for environmental and resources management : Final Report of IGCP Project 259, UNESCO Publishing, 122 p.
- Davis, J.C., 1963, Statistics and Analysis of Geology : John Wiley and Sons, Inc., 535 p.
- Day, S.J. and Fletcher, W.K., 1989, Effects of valley and local channel morphology on the distribution of gold in stream sediments from Harris Creek, British Columbia, Canada : J. Geochem. Explore. V. 32, pp.1-16.
- Dugmore, MA, Leaman, P.W. and Philip, R. 1996, Discovery of the Mt. Bini phophry copper-gold molybdenum deposit in the Owen Stanley Ranges, Papua New Covina-A geochemical case history : J. Geochem. Explore. V.27, pp. 89-100.
- Fletcher, W.K., 1996, Aspects of exploration geochemistry in Southeast Asia : soil, sediments and potential for antheropogenic effects : J. Goshen Explore. V. 57, pp. 31-43.
- Fletcher, W.K., Dousset, P.E. and Yusoft bin Ismail, 1984, Distribution of tin and associated elements in soils at Ulu Petal, Bujung Melaka, Perak, Malasia, Report of investigation 32, SEATRAD Centre, 70 p.
- Fletcher, W.K., Lahiri, R., Canghin, B.I. And Blok, H., 1995, Use of a sensitive analytical method and the silt-clay (<53µm) fraction of stream sediment in exploration for gold in northeast Thailand ; J. Geochem. Explor. V.55, pp.301-307
- Fletcher, W.K. and Loh, C.H., 1996a, Transport of cassiterite in a Malaysian stream : implication for geochemical exploration : J. Geochem. Explore., V. 57, PP. 9-20. ,1996, Transport equip vale Ee of cassiterite and its application to streaner sediment surveys for heavy mineral, J. Geochem. Explore. 56, pp.47-57.
- \_\_\_\_\_, 1996b, Transport equivalence of cassiterite and its application to stream sediment surveys for heavy mineral, J. Geochem. Explore. 56, pp.47-57.
- Fletcher, W.K. and Muda, J., 1999, Investigation of the effects of watershed disturbance on heavy mineral-geochemical signatures in tropical streams : implications for mineral Exploration surveys : J. Geochem. Explor, V. 67, pp.11-222.



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

## การใช้ประโยชน์แผนที่ธรณีเคมี

ในปัจจุบันนี้ได้นำเอาวิธีการสำรวจธรณีเคมีมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งด้านการศึกษาสภาพแวดล้อมธรรมชาติ เพื่อการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม การศึกษามลภาวะจากโรงงานอุตสาหกรรม การศึกษาคุณสมบัติของดินเพื่อการเกษตร เป็นต้น

สหประชาชาติ โดยองค์การยูเนสโก ได้เล็งเห็นความสำคัญของการศึกษาธรณีเคมีเพื่อจัดทำฐานข้อมูลธรณีเคมีของโลกสำหรับใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของโลก จึงได้จัดตั้งโครงการจัดทำแผนที่ธรณีเคมีของโลกขึ้นในปี 1988 เรียกว่า "International Geochemical Mapping (IGM) project หรือ IGCP Project 159 เพื่อทำการศึกษาและจัดทำเอกสาร "A global geochemical database for environmental and resource management" สำหรับเป็นคู่มือให้ประเทศต่าง ๆ ที่เข้าร่วมโครงการใช้เป็นแนวทางในการสำรวจ ธรณีเคมีและจัดทำ Geochemical Database ตามโครงการดังกล่าว (Danley and Others, 1995)

แผนที่ธรณีเคมีสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน แต่ที่สำคัญคือ ใช้ในการวางแผนการสำรวจหาทรัพยากรและที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตประจำวัน ได้แก่ การประยุกต์ใช้แผนที่ธรณีเคมีในงานจัดการ สิ่งแวดล้อมด้านมลภาวะการหาที่กำจัดขยะ ผลกระทบจากโรงงานอุตสาหกรรม การแต่งแร่ การเกษตรกรรม และการเกิดมลภาวะ หรือการปนเปื้อนของสารพิษในน้ำบาดาลและน้ำบาดาล กล่าวโดยสรุปแผนที่ธรณีเคมีสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

1. การวางแผนงานสำรวจหาแหล่งแร่แผนที่ธรณีเคมีจะแสดงให้เห็นถึงการแผ่กระจายของธาตุต่าง ๆ หรือกลุ่มธาตุในบริเวณต่าง ๆ สามารถกำหนดเป้าหมายที่คาดว่าจะมีแหล่งแร่ได้แน่นอน การสำรวจธรณีเคมีอย่างมีระบบตามขั้นตอนจะสามารถจำแนกพื้นที่ศักยภาพทางแร่ พื้นที่แหล่งแร่ และขอบเขตแหล่งแร่ได้ชัดเจน
2. การจำแนกพื้นที่เพื่อใช้ประโยชน์โดยเฉพาะการกำหนดเขตแหล่งแร่ รวมทั้งพื้นที่ทำเหมืองแร่อื่นจะเป็นผลให้เกิดมลภาวะ ทั้งในดิน น้ำ และอากาศ ทำให้มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์และการเกษตร ดังนั้นควรกำหนดพื้นที่แหล่งแร่ออกจากพื้นที่ใช้สอยอื่น ๆ เช่น ไม่ควรมีการก่อสร้างใด ๆ ได้แก่ เขื่อนกั้นน้ำ โรงเรียน ที่อยู่อาศัย ในบริเวณพื้นที่ที่ได้กำหนดเป็นเขตแหล่งแร่หรือพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของสารพิษที่เกิดจากธรรมชาติสูง
3. การใช้แผนที่ธรณีเคมีในการวางแผนการพัฒนาที่ดินเพื่อเกษตรกรรม การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของดิน เพื่อหาปริมาณของธาตุต่าง ๆ ภายในดิน สามารถกำหนดพื้นที่ที่มีสภาพกรด-ด่าง และกำหนดแนวทางในการพัฒนาพื้นที่โดยการเติมวัสดุทางเคมีที่เหมาะสม เพื่อเหมาะแก่การปลูกพืชแต่ละชนิดได้
4. ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม เช่น การปนเปื้อนของธาตุที่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ การปนเปื้อนของสารหนู (AS) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) หรือปรอท (Hg) เป็นต้น ข้อมูลทางธรณีเคมีจะเป็นประโยชน์ในการหาสาเหตุและแนวทางในการป้องกันได้ □



เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

## เอกสารอ้างอิง

- ธงไชย หงษ์ทอง, 2533, การสำรวจธรณีเคมีกึ่งรายละเอียดพื้นที่ อ.เมือง-ชนแดน (PBI) จ.เพชรบูรณ์ : รายงานเศรษฐธรณีวิทยา กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, ฉบับที่ 31/2533, 33 หน้า.
- เพชรเสียง ทรัพย์ทวีวัง, 2531, การสำรวจธรณีเคมีบริเวณไพศาลแผนที่มาตราส่วน 1: 250,000 ะวาง จังหวัดสุพรรณบุรี (NE47-T) : รายงานเศรษฐธรณีวิทยา กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, ฉบับที่ 9/2531, 61 หน้า.
- \_\_\_\_\_ 2537, ฐานข้อมูลสำรวจธรณีเคมีฉบับที่ 1 : สรุปผลการสำรวจธรณีเคมี โดยฝ่ายสำรวจธรณีเคมี ระหว่างปี 2517-2534 : รายงานเศรษฐธรณีวิทยา กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, ฉบับที่ 6/2540, 104 หน้า.
- \_\_\_\_\_ 2540, พื้นที่ศักยภาพแร่จากการสำรวจธรณีเคมีบริเวณวังพิกุล-สตุล : รายงานเศรษฐธรณีวิทยา กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, ฉบับที่ 6/2540, 104 หน้า.
- มานิตย์ จำนงค์ไทย และ สมบูรณ์ เสกธีระ, 2526, การสำรวจธรณีเคมีแผนที่ระวาง อำเภอบ้านหมี่:เอกสารฝ่ายสำรวจธรณีเคมี, กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, 51 หน้า.
- \_\_\_\_\_ 2529, การสำรวจธรณีเคมีกึ่งรายละเอียดบริเวณ อ.แม่ละเรียง และ อ.แม่ลาน้อย จ.แม่ฮ่องสอน : รายงานเศรษฐธรณีวิทยา กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, ฉบับที่ 1/2529, 28 หน้า.
- มานิตย์ จำนงค์ไทย, 2531, การสำรวจธรณีเคมีรายละเอียดเบื้องต้นบริเวณ อ.แม่ละเรียง อ.แม่ลาน้อย และอ.ขุนยวม จ.แม่ฮ่องสอน : รายงานเศรษฐธรณีวิทยา กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, 43 หน้า.
- วีระ ตันกุล, 2541, การเตรียมตัวอย่างธรณีเคมี : เอกสารฝ่ายวิเคราะห์ดินและตะกอนธรรมา, กองวิเคราะห์, กรมทรัพยากรธรณี, 16 หน้า.
- สมใจ เย็นสบาย, 2531, การสำรวจธรณีเคมีกึ่งรายละเอียดบริเวณพื้นที่โครงการพัฒนาถอยดุง จ.เชียงราย : รายงานเศรษฐธรณีวิทยา กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, ฉบับที่ 62/2531, 38 หน้า.
- \_\_\_\_\_ 2535, การสำรวจแร่ทองคำเบื้องต้นบริเวณ อำเภอทับคล้อ และใกล้เคียง จังหวัดพิจิตร : เอกสารเศรษฐธรณีวิทยา กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, ฉบับที่ 21/2535, 35 หน้า.
- สมบูรณ์ เสกธีระ, สุธรรม แยมเนียม, พินิจ คุณาวัดน์ และงามพิศ แยมเนียม, 2521ก., การสำรวจธรณีเคมี แผนที่ระวางจังหวัดลำปาง : เอกสารเศรษฐธรณีวิทยา กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, เล่มที่ 23, 61 หน้า.
- \_\_\_\_\_ 2521ข., การสำรวจธรณีเคมีแผนที่ระวาง จังหวัดอุดรดิตถ์ : เอกสารเศรษฐธรณีวิทยา กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, ฉบับที่ 24, 77 หน้า.
- สมบูรณ์ เสกธีระ, 2528, การสำรวจธรณีเคมี : เอกสารฝ่ายสำรวจธรณีเคมี, กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, 86 หน้า.
- สมบูรณ์ เสกธีระ, มานิตย์ จำนงค์ไทย, และสมบูรณ์ วัชรชัยสุพล, 2531, รายงานการสำรวจธรณีเคมีเพื่อศึกษา มูลเหตุการแพร่กระจายของสารหนูบริเวณ อ.รัตนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช : รายงานเศรษฐธรณีวิทยา กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, ฉบับที่ 4/2531, 27 หน้า.
- สมบูรณ์ เสกธีระ, เกียรติศักดิ์ กันธวัง, และสมบูรณ์ วัชรชัยสุพล, 2532, การสำรวจธรณีเคมีรายละเอียดติดตามผลพื้นที่เขากระดาศ-เขาปลายคลองพลูทึบ อ.วังน้ำเย็น จ.ปราจีนบุรี : รายงานเศรษฐธรณีวิทยา กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, ฉบับที่ 19/2532, 94 หน้า.
- สุธรรม แยมเนียม, งามพิศ แยมเนียม, ทศพร นุชอนงค์, และอุดม ฤทธิวิจิตร, 2526, การสำรวจธรณีเคมีเฉพาะแหล่ง แหล่งแร่ทองแดง ภูโล้น บ้านน้อย ตำบลม่วง อำเภอดงคำม จังหวัดหนองคาย : เอกสารเศรษฐธรณีวิทยา กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, ฉบับที่ 9, 30 หน้า.

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี  
ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงและแก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต