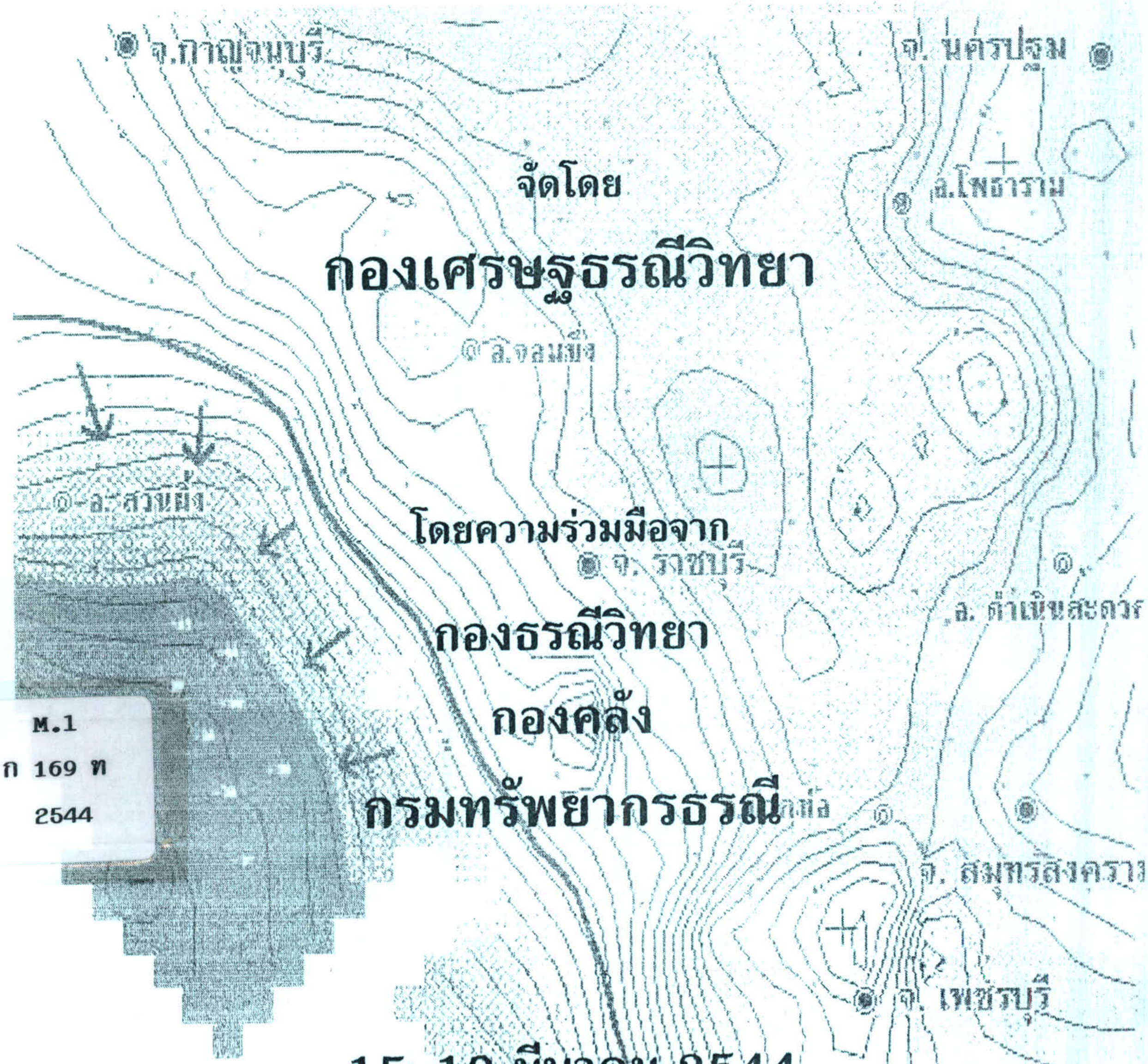
เอกสารประกอบการฝึกอบรม

เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่



จัดโดย

กองเศรษฐธรณีวิทยา

โดยความร่วมมือจาก

กองธรณีวิทยา

กองคลัง

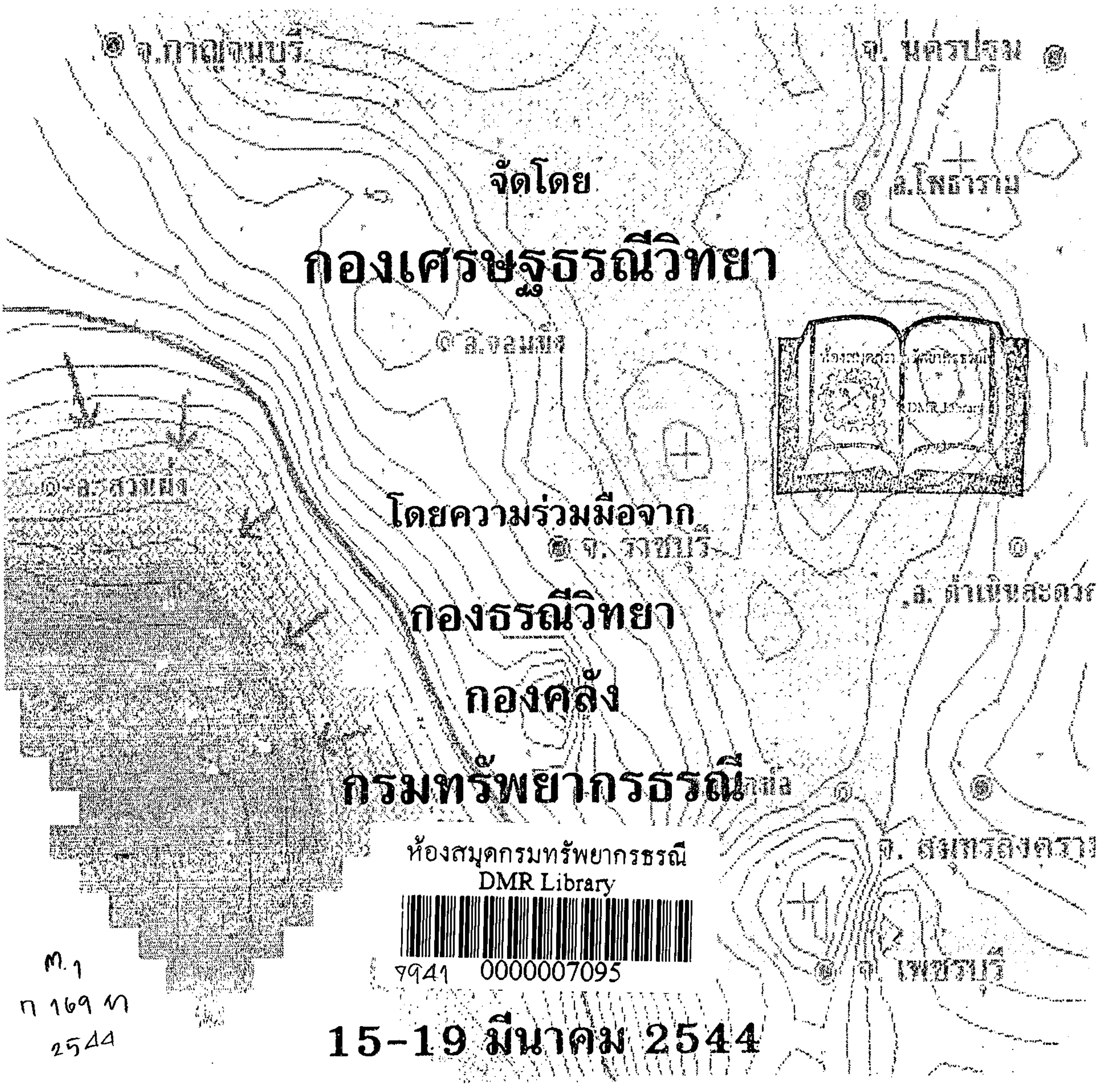
กรมทรัพยากรธรณี

15-19 มีนาคม 2544

M.1
ก 169 ท
2544

เอกสารประกอบการฝึกอบรม

เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่



จัดโดย

กองเศรษฐธรณีวิทยา

โดยความร่วมมือจาก

กองธรณีวิทยา

กองคลัง

กรมทรัพยากรธรณี

ห้องสมุดกรมทรัพยากรธรณี
DMR Library
7941 0000007095

ต.1
ก169ท
2544

7941

15-19 มีนาคม 2544

คำนำ

การฝึกอบรม “เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่” ในครั้งนี้ กองเศรษฐธรณีวิทยาได้จัดขึ้นเพื่อให้เจ้าหน้าที่จากกองต่าง ๆ ของกรมทรัพยากรธรณี ที่ปฏิบัติงานในฐานะผู้ควบคุมงานและกรรมการตรวจการจ้าง ภายใต้โครงการเร่งรัดการสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ ได้ทราบถึงวัตถุประสงค์และเป้าหมายของโครงการ ขอบเขตของหน้าที่และความรับผิดชอบ ระเบียบพัสดุที่เกี่ยวข้องกับการจ้างเหมาเอกชนสำรวจ ตลอดจนเทคนิคต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการปฏิบัติงาน เพื่อให้การดำเนินงานในโครงการนี้ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และบังเกิดผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์

เนื้อหาของหลักสูตรแบ่งออกเป็นภาคบรรยาย ซึ่งจัดในส่วนกลาง และการสาธิตเทคนิคการปฏิบัติงานสำรวจด้านต่าง ๆ ในภาคสนาม ในพื้นที่จังหวัดระยอง โดยได้มอบหมายให้นักธรณีวิทยาของกองเศรษฐธรณีวิทยาที่มีความเชี่ยวชาญในด้านการสำรวจและประเมินศักยภาพแร่ เป็นวิทยากรในการถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ให้ผู้เข้ารับการอบรม อีกส่วนหนึ่งของหลักสูตรได้รับความอนุเคราะห์จากบุคลากรที่เชี่ยวชาญเฉพาะด้านจากกองธรณีวิทยาและกองคลัง ร่วมเป็นวิทยากรด้วย ซึ่งทำให้เนื้อหาของการฝึกอบรมครอบคลุมแง่มุมต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการปฏิบัติงานไว้ทั้งหมด

นอกเหนือจากเจ้าหน้าที่ของกรมทรัพยากรธรณีแล้ว สมาคมธรณีวิทยาแห่งประเทศก็ได้เล็งเห็นประโยชน์ของหลักสูตรดังกล่าว จึงได้ประสานขอความอนุเคราะห์ ให้สมาชิกของสมาคมจำนวนหนึ่งเข้าร่วมการฝึกอบรมพร้อมไปด้วย เพื่อให้เกิดการถ่ายทอดและแลกเปลี่ยนประสบการณ์ ในระหว่างนักธรณีวิทยาภาครัฐและเอกชน

เอกสารประกอบการฝึกอบรมนี้ รวบรวมเนื้อหาของการบรรยายหัวข้อวิชาต่าง ๆ เพื่อให้ผู้เข้าร่วมได้นำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงในลักษณะที่เป็นคู่มือและการอ้างอิงในเบื้องต้น ซึ่งคณะทำงานจัดการฝึกอบรม ได้รับความร่วมมืออย่างดียิ่งจากวิทยากรในโครงการ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นประโยชน์กับผู้ใช้ตามสมควร จึงใคร่ขอแสดงขอบคุณวิทยากร และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้การจัดการฝึกอบรมนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะทำงานจัดการฝึกอบรม “เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่”

กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี

มีนาคม 2544

เลขที่ 519
วันที่ ๒๖ พ.ค. ๔๔

กำหนดการฝึกอบรม "เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่"

ระหว่างวันที่ 15 - 19 มีนาคม 2544

วัน / เวลา	กำหนดการ / หัวข้อการบรรยาย	โดย
15 มีนาคม 2544		
09.30 - 10.00	พิธีเปิดการฝึกอบรม	อทธ. เชิดพงษ์ สิริวิชช์
10.00 - 10.15	พักรับประทานอาหารว่าง	
10.15 - 11.15	การบรรยายเรื่อง "ระเบียบพัสดุว่าด้วยการจ้างเหมาสำรวจ"	บุญชัย ตั้งจิตดำรงรัตน์ (กค.) และเสถียร สุคนธ์พงเผ่า (ฝ.รล.)
11.15 - 12.15	การบรรยายเรื่อง "ข้อกำหนดสำหรับการจ้างเหมาสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ ปีงบประมาณ 2544"	ดร. ทศพร นุชอนงค์ (ฝ.ปจร.)
12.15 - 13.30	พักรับประทานอาหารกลางวัน	
13.30 - 16.30	การฝึกอบรมเรื่อง "การรวบรวมและแปลความหมายข้อมูลที่มีการสำรวจมาก่อน"	นายธนา เกียรติวงศ์ชัย ดร.จรินทร์ ตุลยาทิตย์ (ฝธฟ.) และนายวิสุทธิ์ โชติกเสถียร (ฝ.ทรท.)
16 มีนาคม 2544		
09.00 - 12.00	การฝึกอบรมเรื่อง "การสำรวจเพื่อทำแผนที่ธรณีวิทยาแลกำสำรวจทรัพยากรแร่"	นายพีระพงษ์ คืนคง นายพิทักษ์ รัตนจารุรักษ์ (ฝ.รอก.) และ ดร.พล เชาว์ดำรงค์
12.00 - 13.00	พักรับประทานอาหารกลางวัน	
13.00 - 15.00	การฝึกอบรมเรื่อง "ธรณีเคมีกับงานสำรวจทรัพยากรแร่"	นายมานิตย์ จำนงค์ไทย และคณะ (ฝ.ธค.)
15.00 - 17.00	การฝึกอบรมเรื่อง "การสำรวจธรณีฟิสิกส์สำหรับการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่"	นายวีระ กาหลง และคณะ (ฝ.ธฟ.)

17 มีนาคม 2544		
08.00 - 12.00	ออกเดินทางจาก กรมทรัพยากรธรณี พร้อมศึกษาธรณีวิทยาตามเส้นทางชลบุรี-ระยอง	นายเชิดศักดิ์ อรรถอารุณ (ฝ.ศธบ.) และ นายมนตรี เหลืองอิงคะสุต (ฝ.รอก.)
12.00 - 13.00	พักรับประทานอาหารกลางวัน	
13.00 - 16.00	สาธิตและฝึกอบรมการปฏิบัติงานสำรวจธรณีฟิสิกส์ บริเวณพื้นที่ (1) พื้นที่เขาน้ำบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดระยอง	นายวีระ กาหลง (ฝ.ธฟ.) นายอดิชาติ สุรินทร์คำ (ฝ.กมร.) และคณะ
18 มีนาคม 2544		
08.30 - 12.30	สาธิตและฝึกอบรมการปฏิบัติงานการสำรวจธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่และธรณีเคมี บริเวณจังหวัดระยอง โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย กลุ่มที่ 1 ทำการศึกษาบริเวณพื้นที่ (2) → (3) → (4) กลุ่มที่ 2 ทำการศึกษาบริเวณพื้นที่ (3) → (4) → (2) กลุ่มที่ 3 ทำการศึกษาบริเวณพื้นที่ (4) → (2) → (3)	นายมานิตย์ จำนงค์ไทย และคณะ (ฝ.ธค.) นายพีระพงษ์ คืนคง (ผชช.) และตัวแทนจากกองธรณีวิทยา
12.30 - 13.00	พักรับประทานอาหารกลางวัน	
13.00 - 15.00	สรุปเทคนิคการปฏิบัติงานภาคสนามและปัญหา	นายมานิตย์ จำนงค์ไทย และคณะ (ฝ.ธค.) นายวีระ กาหลง (ฝ.ธธฟ.) นายพีระพงษ์ คืนคง (ผชช.) และตัวแทนจากกองธรณีวิทยา
15.00 - 18.00	เดินทางกลับ กรมทรัพยากรธรณี	
19 มีนาคม 2544		
09.00 - 12.00	การฝึกอบรมเรื่อง "การสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ผิวดินและการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่"	นายพัชระ จริยาวัฒน์ (ฝ.รล.) และนายวินัต พุฒเหียง (ฝ.ปจร.)
12.00 - 13.00	พักรับประทานอาหารกลางวัน	
13.00 - 15.00	การฝึกอบรมเรื่อง "วิธีการประมวลผลการสำรวจ"	นายมานิตย์ จำนงค์ไทย และ ดร.ทศพร นุชอนงค์ (ฝ.ปจร.)
15.00 - 15.30	พิธีมอบประกาศนียบัตรและปิดการฝึกอบรม	รทธ.สมศักดิ์ โพธิสัตย์

เอกสารประกอบการฝึกอบรม

"เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่"

เรื่อง

รายการข้อกำหนด
สำหรับการจ้างสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่

โดย

ดร.ทศพร นุชอนงค์

ฝ่ายประเมินผลและจัดการทรัพยากรแร่

กองเศรษฐธรณีวิทยา

เอกสารเล่มที่หนึ่ง

รายการข้อกำหนด

สำหรับการจ้างสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่

ปีงบประมาณ 2544

กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม

ดำเนินการภายใต้โครงการเร่งรัดการสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่
ตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม 2542

สารบัญรายการข้อกำหนด

สำหรับการจ้างสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่

ปีงบประมาณ 2544

ส่วนที่หนึ่ง ข้อกำหนดและเงื่อนไขทั่วไป

1.1 หลักการและเหตุผล
1.2 วัตถุประสงค์
1.3 เป้าหมาย
1.4 พื้นที่ดำเนินการ
1.5 ขอบเขตของงาน
1.6 การส่งมอบงาน
1.7 รายงานระหว่างการดำเนินงาน
1.8 ระยะเวลาในการดำเนินงาน
1.9 การอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน
1.10 การสงวนสิทธิ์ในการปฏิบัติงาน

แผนที่แสดงพื้นที่ดำเนินการ

ส่วนที่สอง รายละเอียดของงาน

2.1 งานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง
2.2 งานสำรวจขั้นตอนที่สอง
2.3 งานสำรวจขั้นตอนที่สาม
2.4 งานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ
2.5 การบริหารจัดการ
2.6 เงื่อนไขการปฏิบัติงาน

ส่วนที่สาม ใบแจ้งปริมาณงานและราคา

ส่วนที่สี่ ข้อกำหนดขั้นต่ำของผลงานที่ต้องส่งมอบ

ส่วนที่หนึ่ง

ข้อกำหนดและเงื่อนไขทั่วไป

1.1 หลักการและเหตุผล

ข้อมูลแหล่งทรัพยากรแร่ของประเทศเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการบริหารจัดการทรัพยากรแร่ให้สอดคล้องกับแผนการพัฒนาประเทศ การขยายตัวของเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศและอุตสาหกรรมที่ใช้แร่เป็นวัตถุดิบในช่วงเวลาที่ผ่านมาส่งผลให้ปริมาณทรัพยากรแร่ลดลง บางชนิดขาดแคลนจนต้องนำเข้า การเร่งแสวงหาทรัพยากรแร่วัตถุดิบเพื่อนำมาใช้สำหรับอุตสาหกรรมในประเทศ รวมทั้งการสำรวจข้อมูลทรัพยากรแร่อย่างเป็นระบบ จึงเป็นแนวทางหนึ่งเพื่อช่วยลดการสูญเสียเงินตราจากการนำเข้าแร่จากต่างประเทศ เพื่อเตรียมฐานด้านวัตถุดิบสำหรับช่วงที่เศรษฐกิจจะกลับฟื้นตัวในอนาคต และเพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการวางแผนจัดการทรัพยากรแร่ของประเทศอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

งานสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ ในปีงบประมาณ 2544 เป็นส่วนหนึ่งของโครงการเร่งรัดการสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ ซึ่งได้รับความเห็นชอบตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม 2542 และเป็นโครงการที่สอดคล้องกับแนวทางการสำรวจและประเมินปริมาณทรัพยากรธรณีของประเทศ ตามที่กำหนดไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2540 - พ.ศ. 2544)

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ชนิดต่าง ๆ ในพื้นที่ดำเนินการ โดยวิธีการทางธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ ธรณีเคมี และธรณีฟิสิกส์

1.3 เป้าหมาย

(1) ขอบเขต คุณภาพและปริมาณทรัพยากรแร่ทุกประเภทในพื้นที่ดำเนินการ พร้อมทั้งศักยภาพในการพัฒนา

(2) ข้อมูลทรัพยากรแร่ทุกประเภท ประกอบด้วย ข้อมูลทางธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ ธรณีเคมี ธรณีฟิสิกส์ และข้อมูลการเจาะสำรวจ ในพื้นที่ดำเนินการ

1.4 พื้นที่ดำเนินการ

พื้นที่แปลงที่ 1/2544 "พื้นที่แม่สอด" ตามแผนที่แนบท้ายส่วนที่หนึ่ง
พื้นที่แปลงที่ 2/2544 "พื้นที่อุ้มผาง" ตามแผนที่แนบท้ายส่วนที่หนึ่ง
พื้นที่แปลงที่ 3/2544 "พื้นที่ไทรโยค" ตามแผนที่แนบท้ายส่วนที่หนึ่ง
พื้นที่แปลงที่ 4/2544 "พื้นที่บ่อทอง" ตามแผนที่แนบท้ายส่วนที่หนึ่ง
พื้นที่แปลงที่ 5/2544 "พื้นที่พะโต๊ะ" ตามแผนที่แนบท้ายส่วนที่หนึ่ง

1.5 ขอบเขตของงาน

ดำเนินการศึกษาและสำรวจในพื้นที่ดำเนินการตามข้อ 1.4 รวม 4 ขั้นตอน ดังนี้

<u>งานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง</u> ดำเนินการศึกษาและสำรวจ พร้อมทั้งจัดทำรายงานและแผนที่ผลการสำรวจในพื้นที่ดำเนินการตามข้อ 1.4 เพื่อกำหนดพื้นที่ที่คาดว่าจะมีแหล่งแร่ซุกซ่อนอยู่สำหรับงานสำรวจขั้นตอนที่สอง โดยการศึกษาข้อมูลในสำนักงาน (ศึกษาข้อมูลการสำรวจแร่ที่มีมาก่อน ศึกษาภาพถ่ายดาวเทียม ภาพถ่ายทางอากาศและข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ) รวมทั้งสำรวจภาคสนามด้วยการสำรวจธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ และธรณีเคมี

<u>งานสำรวจขั้นตอนที่สอง</u> ดำเนินการสำรวจ พร้อมทั้งจัดทำรายงานและแผนที่ผลการสำรวจในพื้นที่ที่คาดว่าจะมีแหล่งแร่จากผลการสำรวจในขั้นตอนที่หนึ่ง เพื่อกำหนดขอบเขตแหล่งแร่ชนิดต่าง ๆ สำหรับงานสำรวจขั้นตอนที่สาม ด้วยการสำรวจธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ ธรณีเคมี และธรณีฟิสิกส์ (ถ้าดำเนินการ)

<u>งานสำรวจขั้นตอนที่สาม</u> ดำเนินการสำรวจ พร้อมทั้งจัดทำรายงานและแผนที่ผลการสำรวจภายในขอบเขตแหล่งแร่ชนิดต่าง ๆ จากผลการสำรวจขั้นตอนที่สอง เพื่อศึกษารูปร่าง ขอบเขตของสายแร่หรือโซนหินอุ้มแร่ที่ชัดเจนสำหรับวางแผนการเจาะสำรวจ ด้วยการสำรวจธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ ธรณีเคมี และธรณีฟิสิกส์ รวมทั้งการขุดหลุมหรือคูทดลอง

<u>งานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ</u> ดำเนินการเจาะสำรวจ พร้อมทั้งจัดทำรายงานและแผนที่แสดงผลการเจาะสำรวจภายในขอบเขตแหล่งแร่จากงานสำรวจขั้นตอนที่สาม เพื่อศึกษาข้อมูลแหล่งแร่ในระดับลึกสำหรับคำนวณปริมาณและคุณภาพทรัพยากรแร่ พร้อมทั้งประเมินศักยภาพในการพัฒนา

1.6 การส่งมอบงาน

ผู้รับจ้างจะต้องส่งมอบงานต่อคณะกรรมการตรวจการจ้าง ดังนี้

(1) ผลการดำเนินงานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง (รายละเอียดตามเอกสารหมายเลขหนึ่ง ในส่วนที่สาม) พร้อมนำเสนอผลงานโดยการบรรยายสรุป ณ กรมทรัพยากรธรณี

(2) ผลการดำเนินงานสำรวจขั้นตอนที่สอง (รายละเอียดตามเอกสารหมายเลขสอง ในส่วนที่สาม) พร้อมนำเสนอผลงานโดยการบรรยายสรุป ณ กรมทรัพยากรธรณี

(3) ผลการดำเนินงานสำรวจขั้นตอนที่สาม (รายละเอียดตามเอกสารหมายเลขสาม ในส่วนที่สาม) พร้อมนำเสนอผลงานโดยการบรรยายสรุป ณ กรมทรัพยากรธรณี

(4) ผลการดำเนินงานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ (รายละเอียดตามเอกสารหมายเลขสี่ในส่วนที่สาม) พร้อมนำเสนอผลงานโดยการบรรยายสรุป ณ กรมทรัพยากรธรณี

1.7 รายงานระหว่างการดำเนินงาน

ผู้รับจ้างจะต้องส่งรายงานผลการปฏิบัติงานจำนวนสองชุด ให้คณะกรรมการตรวจการจ้างผ่านผู้ควบคุมงานพิจารณาทุก 7 วัน

1.8 ระยะเวลาดำเนินงาน

กำหนดระยะเวลาดำเนินงานสำรวจครบถ้วนทุกขั้นตอนเป็นระยะเวลารวม 480 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญาจนถึงวันส่งมอบงานขั้นสุดท้าย ทั้งนี้

(1) งานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง มีระยะเวลาดำเนินการไม่เกิน 160 วัน

(2) งานสำรวจขั้นตอนที่สอง มีระยะเวลาดำเนินการไม่เกิน 100 วัน

(3) งานสำรวจขั้นตอนที่สาม มีระยะเวลาดำเนินการไม่เกิน 100 วัน

(4) งานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ มีระยะเวลาดำเนินการไม่เกิน 120 วัน

1.9 การอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน

1.9.1 กรมทรัพยากรธรณี จะให้ผู้รับจ้างยืมข้อมูลต่อไปนี้

(1) ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศที่ได้จากการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศของกรมทรัพยากรธรณีในส่วนที่ครอบคลุมพื้นที่ดำเนินการ

(2) ข้อมูลธรณีวิทยาทั่วไป และธรณีวิทยาแหล่งแร่ในรูปของแผนที่และรายงานของกรมทรัพยากรธรณี ในส่วนที่ครอบคลุมพื้นที่ดำเนินการ (ถ้ามี)

(3) แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายดาวเทียม ในส่วนที่ครอบคลุมพื้นที่ดำเนินการ

ข้อมูลทุกชนิดที่กรมทรัพยากรธรณีให้ผู้รับจ้างยืม ผู้รับจ้างจะต้องส่งคืนแก่กรมทรัพยากรธรณีให้ครบถ้วนและในสภาพที่สมบูรณ์ พร้อมการส่งมอบงานตามข้อ 1.6 (4)

ข้อมูลทุกชนิดที่กรมทรัพยากรธรณีให้ยืม ไม่อนุญาตให้ผู้รับจ้างหรือบุคลากรของผู้รับจ้างจัดทำสำเนาเพื่อเป็นสมบัติแห่งตน หรือเพื่อประโยชน์แห่งตนหรืออื่นใดนอกเหนือจากการจัดทำสำเนาเพื่อใช้ในงานจ้างตามสัญญานี้เท่านั้น และผู้รับจ้างหรือบุคลากรของผู้รับจ้างจะต้องนำส่งคืนแก่กรมทรัพยากรธรณีพร้อมการส่งมอบงานตามข้อ 1.6 (4)

หากข้อมูลที่ผู้รับจ้างยืมไปดำเนินงานตามวรรคสองหรือข้อมูลที่เกิดจากการทำสำเนาตามวรรคสามเกิดการชำรุดหรือสูญหายหรือไม่ส่งคืน ผู้รับจ้างต้องยินยอมชดใช้เงินค่าเสียหายคืนแก่ทางราชการตามการประเมินราคาความเสียหายของกรมทรัพยากรธรณี

1.9.2 กรมทรัพยากรธรณีจะออกหนังสือแจ้งหน่วยราชการเจ้าของพื้นที่และหน่วยราชการที่เกี่ยวข้อง ให้ทราบถึงวัตถุประสงค์ เป้าหมายและวิธีการปฏิบัติงาน เพื่อให้หน่วยราชการนั้นๆ อนุญาตหรืออำนวยความสะดวกให้ตามแต่กรณี ทั้งนี้ผู้รับจ้างจะต้องร้องขอเป็นลายลักษณ์อักษร สำหรับค่าธรรมเนียมหรือค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในการดำเนินงาน ให้ถือเป็นภาระของผู้รับจ้าง

สำหรับกรณีที่ต้องเข้าสำรวจในพื้นที่ที่มีกรรมสิทธิ์ที่ดิน การขออนุญาตเจ้าของกรรมสิทธิ์ที่ดินรวมทั้งค่าธรรมเนียม หรือค่าชดเชยต่าง ๆ ที่เจ้าของกรรมสิทธิที่ดินเรียกร้อง ให้ถือเป็นภาระของผู้รับจ้างทั้งสิ้น

1.10 การสงวนสิทธิ์ในการปฏิบัติงาน

(1) การเสนอแนะ ตรวจสอบ และติดตามผลงาน

กรมทรัพยากรธรณี สงวนสิทธิ์ในการส่งคณะกรรมการตรวจการจ้าง[1] หรือผู้ควบคุมงาน[2] ไปตรวจสอบ ติดตามผลการปฏิบัติงาน และให้คำแนะนำหรือข้อเสนอแนะในสถานที่ปฏิบัติงานของผู้รับจ้างเพื่อควบคุมผลงานให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายของทางราชการ

(2) การจัดเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบผล

กรมทรัพยากรธรณีสงวนสิทธิ์ในการส่งเจ้าหน้าที่ของกรมทรัพยากรธรณี ไปเก็บข้อมูลหรือเก็บตัวอย่างหิน ดิน หรือแร่ โดยการสุ่มตัวอย่าง (Random Sampling) เพื่อส่งวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับผลการปฏิบัติงานของผู้รับจ้าง

(3) การกำหนดให้เพิ่มเติมหรือปรับปรุงผลงาน

กรมทรัพยากรธรณี สงวนสิทธิ์ในการที่จะให้คณะกรรมการตรวจการจ้าง กำหนดให้ผู้รับจ้างส่งผลงานและข้อมูลเพิ่มเติมหรือปรับปรุงข้อกำหนดต่าง ๆ ในกรณีที่เห็นว่ามีความจำเป็น

(4) กรรมสิทธิ์ในผลงาน

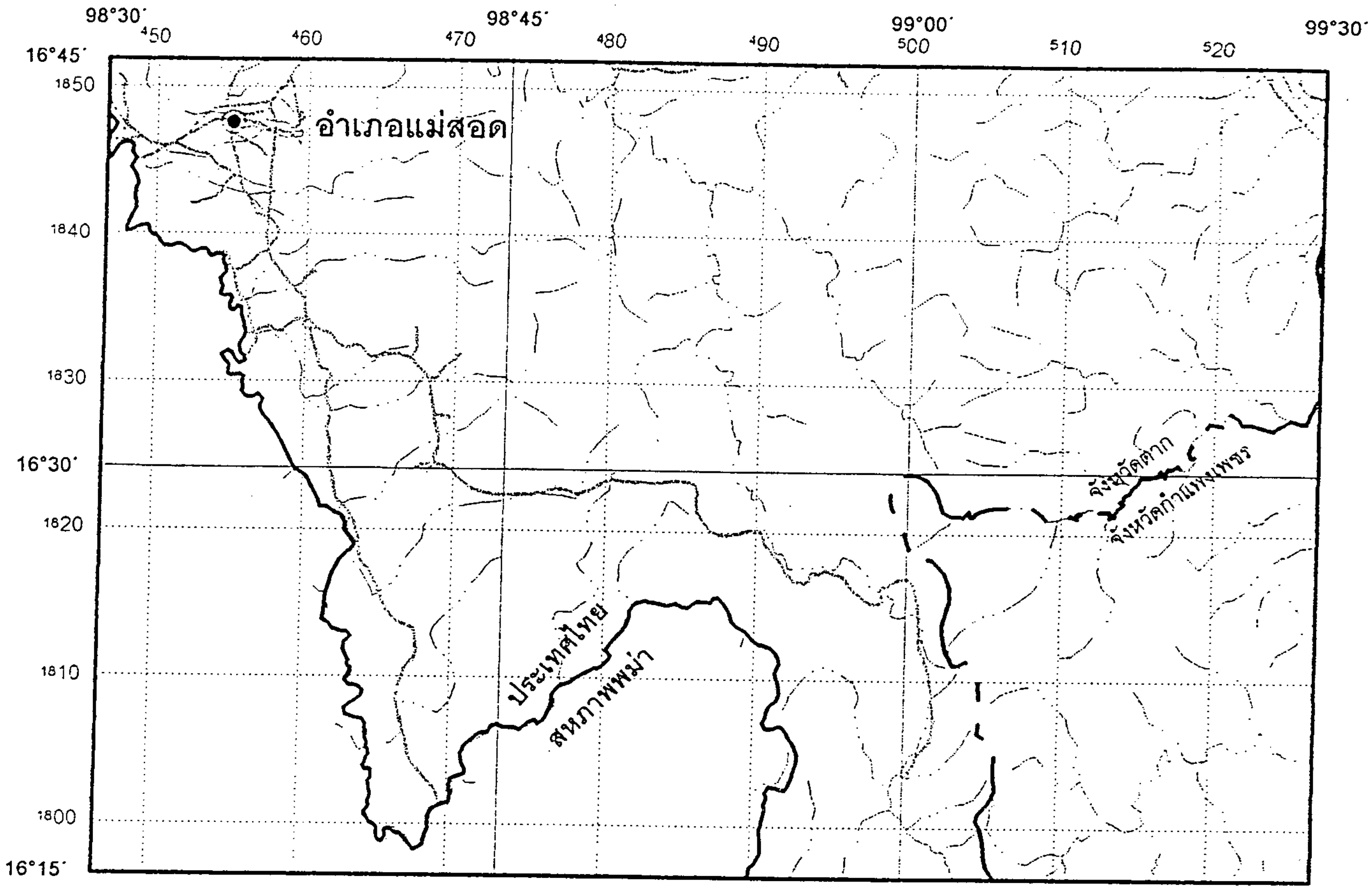
รายงานการสำรวจ ข้อมูลการสำรวจ และเอกสารอื่นๆ รวมทั้งตัวอย่างหินและแร่ อันเกิดจากการจ้างให้ดำเนินการครั้งนี้ ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของกรมทรัพยากรธรณี

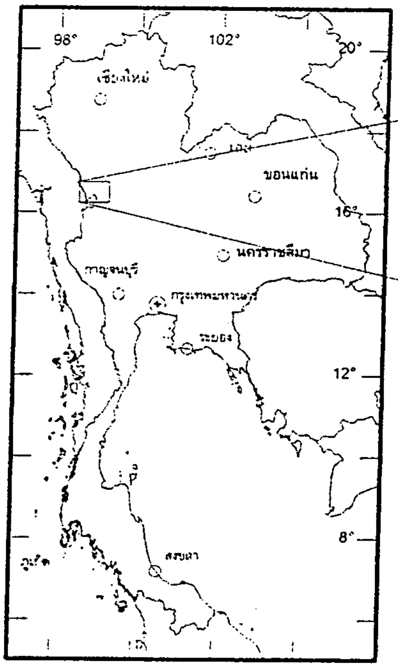
---

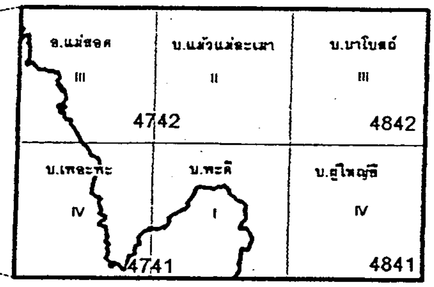
[1] คณะกรรมการตรวจการจ้าง เป็นคณะกรรมการที่กรมทรัพยากรธรณีแต่งตั้งขึ้นเพื่อทำหน้าที่ตรวจและรับมอบงานของผู้รับจ้างตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการพัสดุ

[2] ผู้ควบคุมงาน เป็นคณะหรือผู้ที่กรมทรัพยากรธรณีแต่งตั้งเพื่อทำหน้าที่ตรวจและควบคุมงานของผู้รับจ้างตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการพัสดุ

พื้นที่ดำเนินการสำหรับการจ้างสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ แปลงที่ 1/2544 "พื้นที่แม่สอด"
เนื้อที่ประมาณ 3,500 ตารางกิโลเมตร



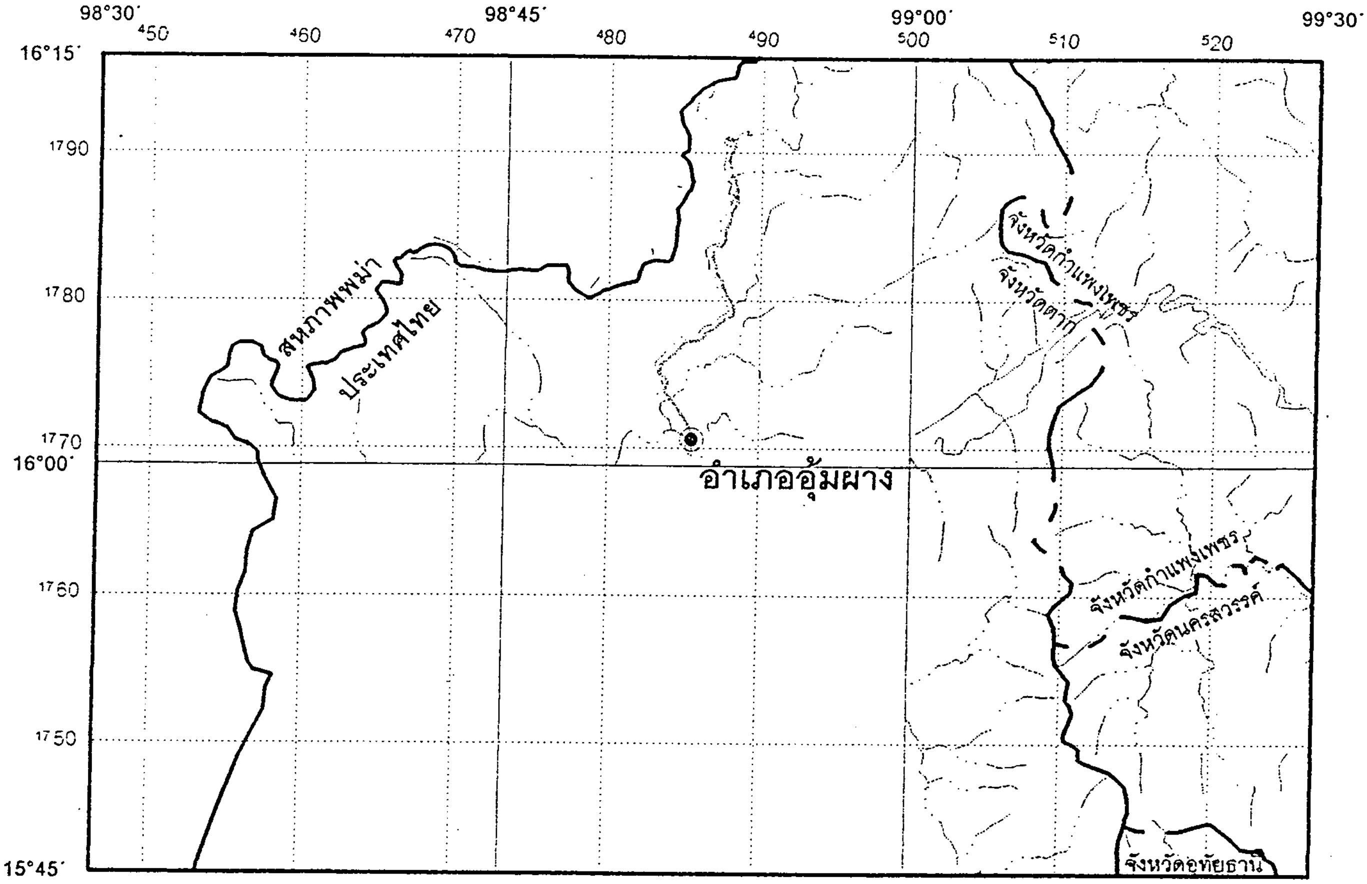


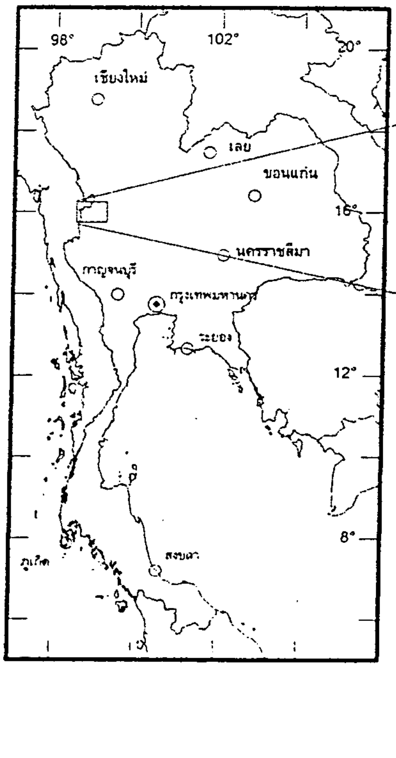


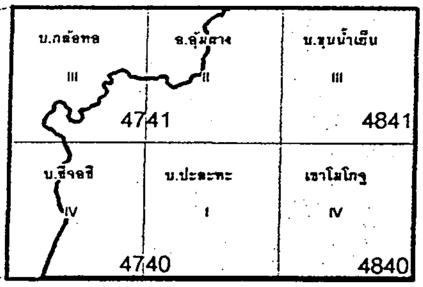
☐ **พื้นที่ดำเนินการแสดงในดัชนีแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000**

26 ส.ค. 2544

พื้นที่ดำเนินการสำหรับการจ้างสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ แปลงที่ 2/2544 "พื้นที่อุ้มผาง"
เนื้อที่ประมาณ 3,440 ตารางกิโลเมตร



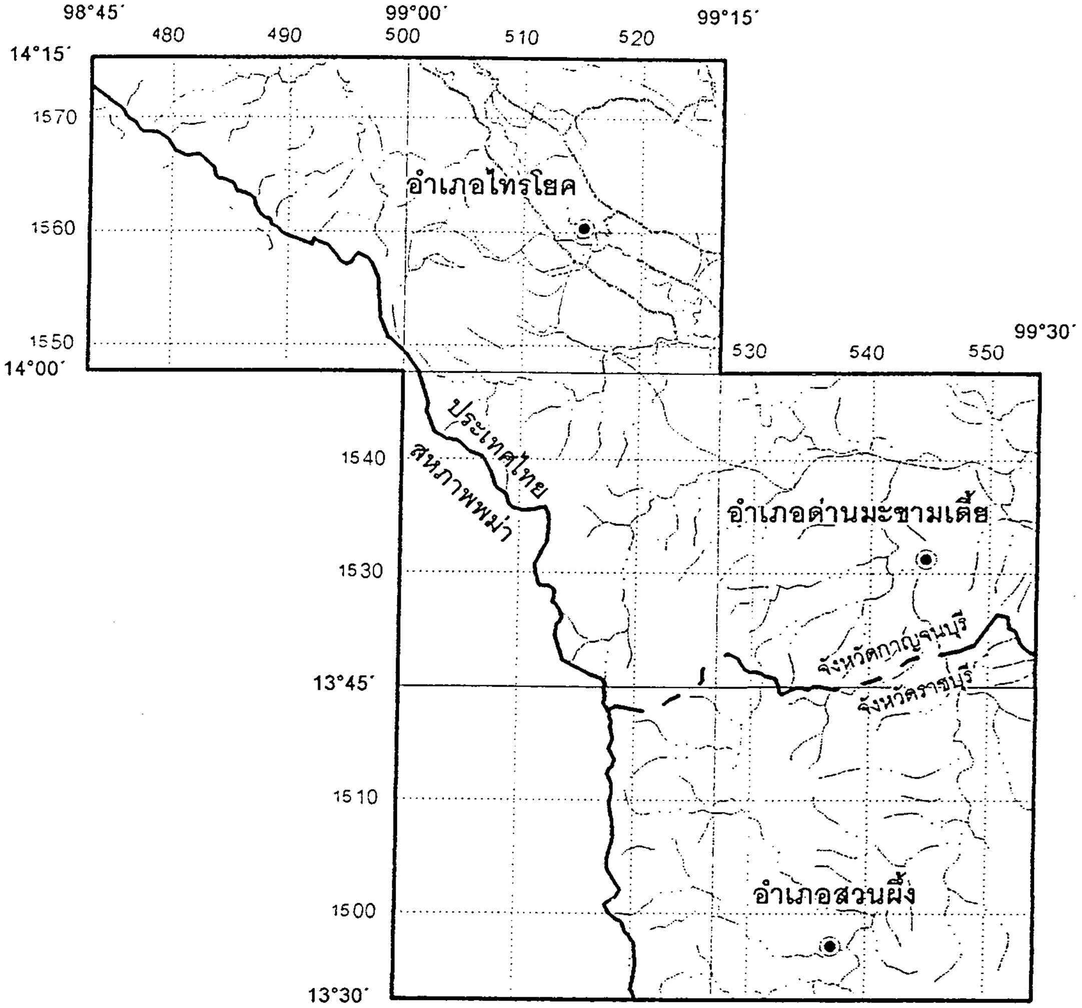


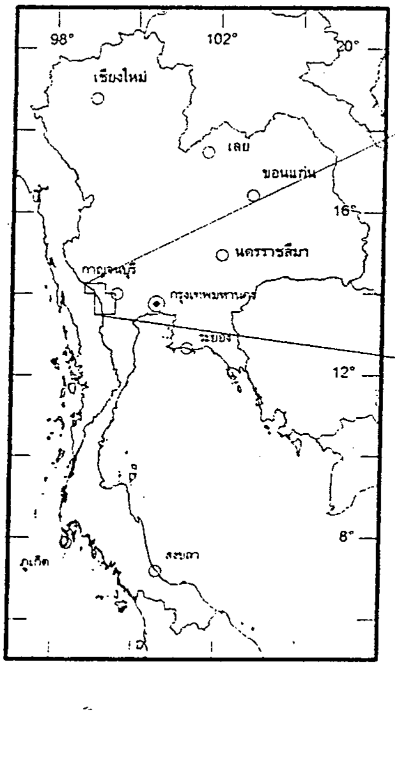


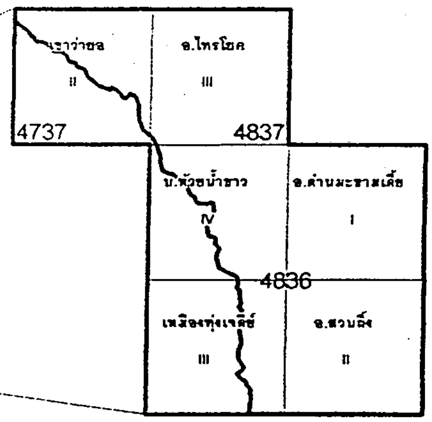
☐ พื้นที่ดำเนินการแสดงในดัชนีแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000

26 ส.ค. 2544

พื้นที่ดำเนินการสำหรับการจ้างสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ แปลงที่ 3/2544 "พื้นที่ไทรโยค"
เนื้อที่ประมาณ 3,300 ตารางกิโลเมตร



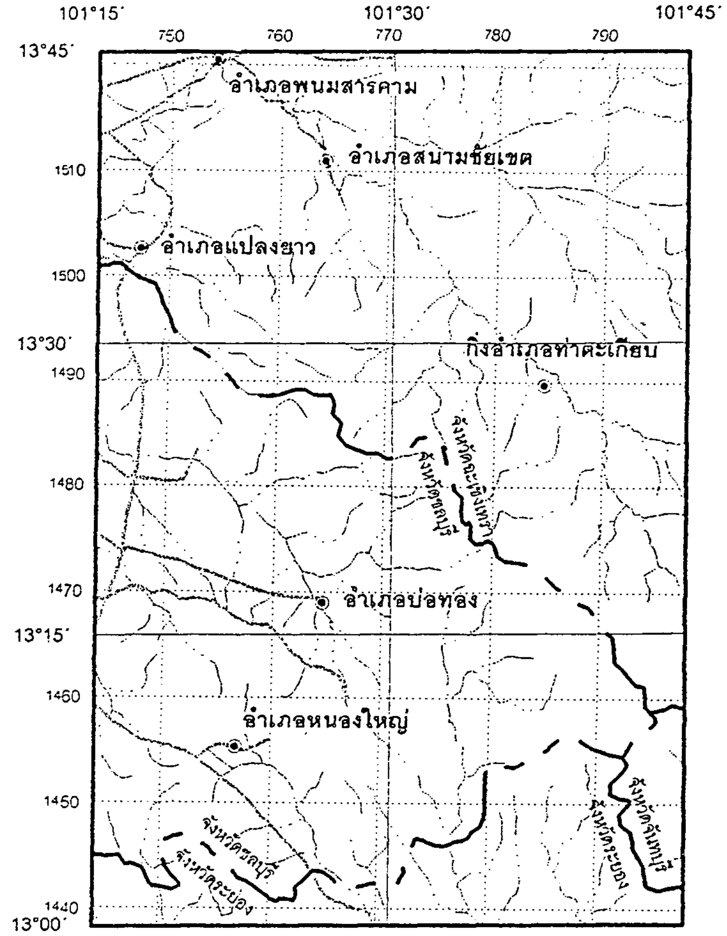


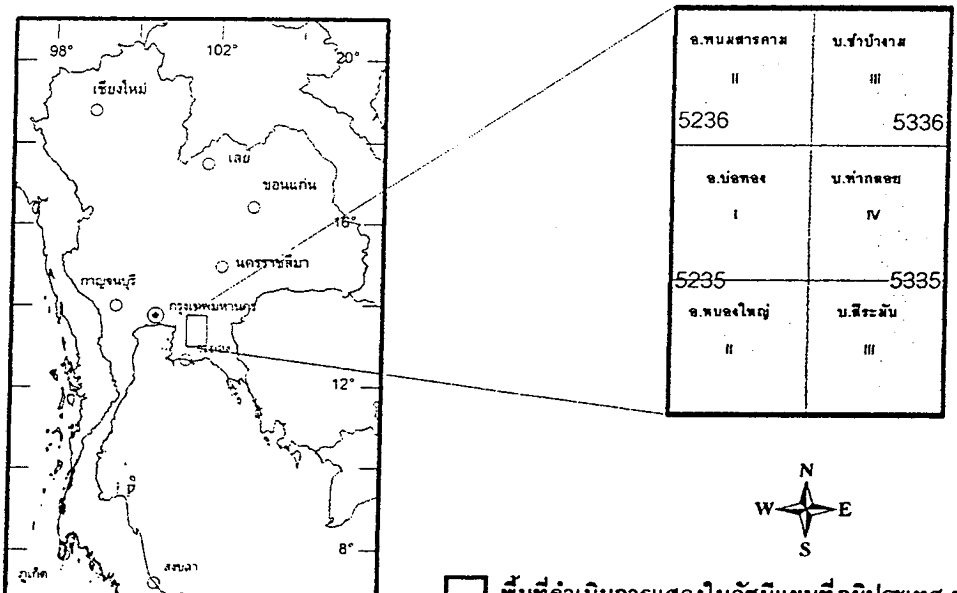


พื้นที่ดำเนินการแสดงในดัชนีแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000

26 ส.ค. 2544

พื้นที่ดำเนินการสำหรับการจ้างสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ แปลงที่ 4/2544 "พื้นที่บ่อทอง"
เนื้อที่ประมาณ 4,510 ตารางกิโลเมตร

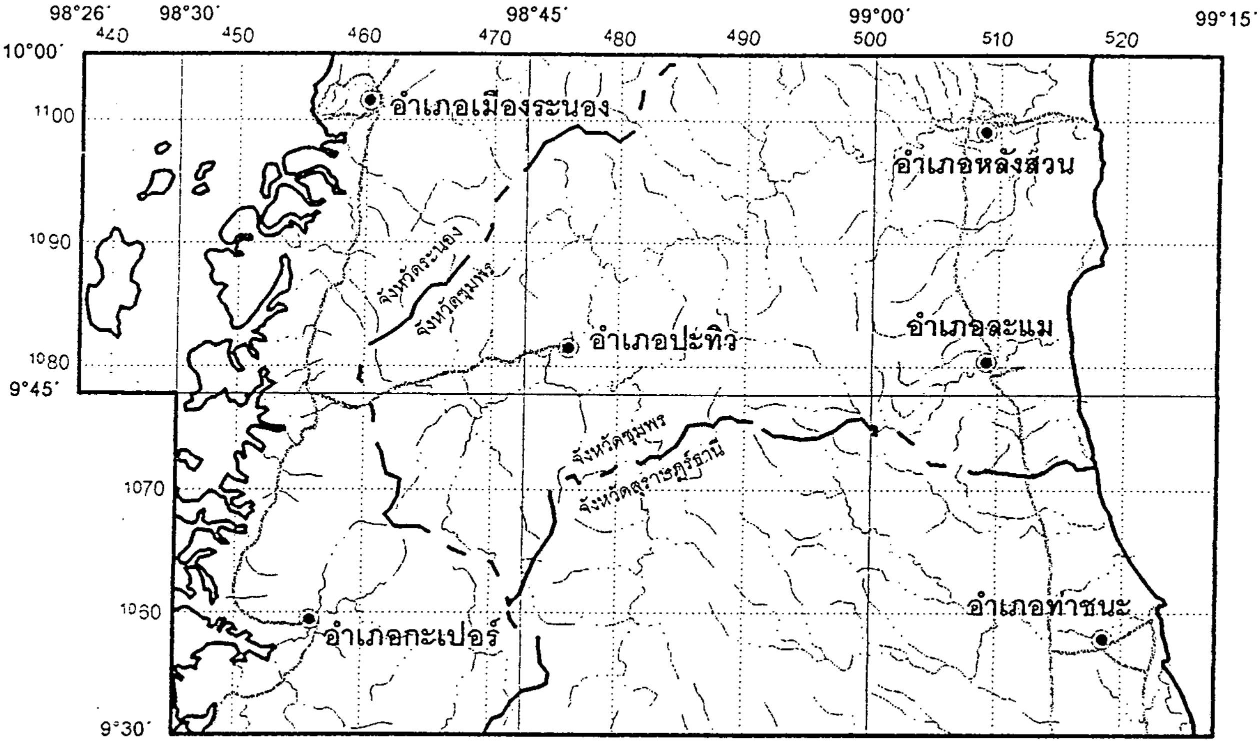


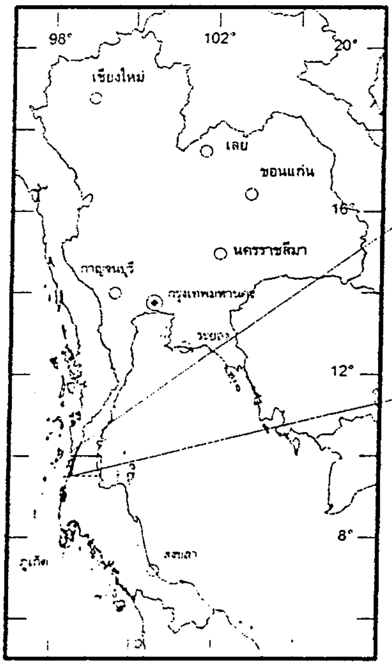


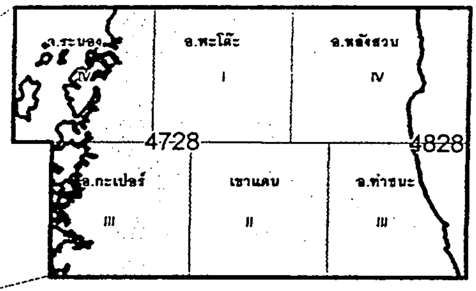
☐ **พื้นที่ดำเนินการแสดงในดัชนีแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000**

26 ส.ค. 2544

พื้นที่ดำเนินการสำหรับการจ้างสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ แปลงที่ 5/2544 "พื้นที่พะโต๊ะ"
เนื้อที่ประมาณ 3,860 ตารางกิโลเมตร







☐ **พื้นที่ดำเนินการแสดงในดัชนีแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000**

[signature]

2 6 ส.ค. 2544

ส่วนที่สอง

รายละเอียดของงาน

ผู้เสนอราคาจะต้องนำเสนอข้อมูลความเข้าใจในโครงการและเสนอแผนการปฏิบัติงานสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ จำนวน 5 แผนงาน คือแผนงานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง แผนงานสำรวจขั้นตอนที่สอง แผนงานสำรวจขั้นตอนที่สาม แผนงานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ และแผนการบริหารจัดการ โดยในแต่ละแผนงานจะต้องเสนอกิจกรรมตามที่กำหนดไว้ในข้อ 2.1 ถึง 2.5 ทั้งนี้กิจกรรมที่เสนอจะต้องได้รับผลงานขั้นต่ำตามที่กำหนดไว้ในส่วนที่สี่ของเอกสารเล่มที่หนึ่งนี้ และจะต้องเสนอวิธีปฏิบัติงานของแต่ละกิจกรรมอย่างละเอียด ที่มีมาตรฐานไม่ต่ำกว่าวิธีปฏิบัติงานที่กำหนดไว้ในเอกสารเล่มที่สอง

กิจกรรมและปริมาณงานที่กำหนดไว้ในข้อ 2.1 ถึง 2.5 นี้ กรมทรัพยากรธรณีกำหนดไว้เพื่อใช้เป็นฐานในการพิจารณาเปรียบเทียบราคางานของผู้เสนอราคาทุกรายให้อยู่ในฐานเดียวกัน และจะถือเป็นส่วนหนึ่งของสัญญาจ้างในกรณีที่มีการตกลงว่าจ้าง การปรับเปลี่ยนกิจกรรมและปริมาณงานในระหว่างการสำรวจจริงในแต่ละขั้นตอนจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขการปฏิบัติงานที่กำหนดไว้ในข้อ 2.6 ซึ่งจะกำหนดโดยผู้รับจ้าง และจะต้องทำเป็นหนังสือเสนอขอความเห็นชอบจากคณะกรรมการตรวจการจ้าง

2.1 งานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง

2.1.1 ศึกษาข้อมูลและงานสำรวจที่มีมาก่อน และสำรวจภาคสนามเบื้องต้นครอบคลุมพื้นที่ดำเนินการตามข้อ 1.4 ในส่วนที่หนึ่ง เพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่เป้าหมาย ดังนี้

(1) ศึกษางานสำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ที่มีมาก่อน
(2) ศึกษาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (digital data)
(3) ศึกษาข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ
(4) ศึกษาและแปลความหมายข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ (digital data)
(5) ศึกษาข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและพื้นที่อนุรักษ์
(6) สำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ทั่วไป โดยการ

- สำรวจเก็บข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ตามเส้นทางหรือแนวสำรวจ ซึ่งมีความยาวรวมไม่น้อยกว่า 360 แนว-กม.
- เก็บตัวอย่างหินที่เป็นตัวแทนของทุกหน่วยหินอย่างน้อยหน่วยหินละ 1 ตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 40 ตัวอย่าง
- เก็บตัวอย่างหินหรือแร่ที่สำรวจพบไม่น้อยกว่า 80 ตัวอย่าง เพื่อการวิเคราะห์กายภาพ และวิเคราะห์เคมี

26 ส.ค. 2544

- ศึกษาแผ่นหินบาง (thin section) ไม่น้อยกว่า 40 ตัวอย่าง
- ศึกษาข้อมูลแหล่งแร่และตำแหน่งพบแร่ในสนาม (Mineral Inventory) อย่างน้อย 20 แหล่ง
- รวบรวม ประมวลผลและแปลความหมายข้อมูล

(7) สำรวจธรณีเคมีทั่วไป โดยการ

- เก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำความหนาแน่นตัวอย่างเฉลี่ย 1 ตัวอย่าง ต่อ 5 - 6 ตร.กม. ไม่น้อยกว่า 700 ตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างคู่ซ้ำ (field duplicate) 1 ตัวอย่างในทุก ๆ 25 ตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์เคมีเพื่อหาปริมาณธาตุไม่น้อยกว่า 10 ธาตุ

- เลียงแร่หนักความหนาแน่นเฉลี่ย 1 ตัวอย่าง ต่อ 5 - 6 ตร.กม. ไม่น้อยกว่า 700 ตัวอย่าง และตรวจสอบเพื่อหาแร่หนักไม่น้อยกว่า 5 ชนิด

- รวบรวม ประมวลผล และแปลความหมายข้อมูล

(8) รวบรวม ประมวลผล และแปลความหมายข้อมูล รวมทั้งตรวจสอบข้อมูลและสภาพพื้นที่ในสนามร่วมกับผู้ควบคุมงาน เพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่ศักยภาพทรัพยากรแร่ในพื้นที่ดำเนินการ และวางแผนงานสำรวจในพื้นที่ศักยภาพทรัพยากรแร่สูง ครอบคลุมเนื้อที่อย่างน้อย 600 ตร.กม. พร้อมทั้งนำเสนอแผนงานสำรวจในสนามต่อคณะกรรมการตรวจการจ้างเพื่อพิจารณาให้ความเห็นชอบ

2.1.2 สำรวจในสนามครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายอย่างน้อย 600 ตร.กม. โดยดำเนินการดังนี้

(1) สำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ขั้นตอนที่หนึ่ง โดยการ

- สำรวจเก็บข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ตามเส้นทางหรือแนวสำรวจ ซึ่งมีความยาวรวมไม่น้อยกว่า 120 แนว-กม.
- เก็บตัวอย่างหินที่เป็นตัวแทนของทุกหน่วยหินอย่างน้อยหน่วยหินละ 1 ตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 25 ตัวอย่าง
- เก็บตัวอย่างหินหรือแร่ที่สำรวจพบไม่น้อยกว่า 85 ตัวอย่าง เพื่อการวิเคราะห์กายภาพ และวิเคราะห์เคมี
- ศึกษาแผ่นหินบาง (thin section) ไม่น้อยกว่า 25 ตัวอย่าง
- รวบรวม ประมวลผลและแปลความหมายข้อมูล

(2) สำรวจธรณีเคมีขั้นตอนที่หนึ่ง โดยการ

- เก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำความหนาแน่นของตัวอย่างเฉลี่ย 1 ตัวอย่างต่อ 2 ตร.กม. ไม่น้อยกว่า 300 ตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างคู่ซ้ำ (field duplicate) 1 ตัวอย่างในทุก ๆ 25 ตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์เคมีเพื่อหาปริมาณธาตุไม่น้อยกว่า 10 ธาตุ
- เลียงแร่หนักความหนาแน่นของตัวอย่างเฉลี่ย 1 ตัวอย่างต่อ 2 ตร.กม. ไม่น้อยกว่า 300 ตัวอย่าง และตรวจสอบเพื่อหาชนิดแร่หนักไม่น้อยกว่า 5 ชนิด
- รวบรวม ประมวลผล และแปลความหมายข้อมูล

2.1.3 ประเมินผลการสำรวจขั้นตอนที่หนึ่งในภาพรวม และกำหนดพื้นที่เป้าหมายที่คาดว่าจะมีแหล่งแร่สำหรับวางแผนงานสำรวจขั้นตอนที่สอง

ข้อกำหนด ฮจc

26 ส.ค. 2544

2.1.4 จัดเก็บข้อมูลและเสนอผลงานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่งในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2.1.5 จัดทำรายงานและแผนที่ผลงานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง

2.2 งานสำรวจขั้นตอนที่สอง

2.2.1 สำรวจในสนามครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายที่คาดว่าจะมีแหล่งแร่ จากผลการสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง เนื้อที่รวมกันไม่น้อยกว่า 60 ตร.กม. โดยดำเนินการดังนี้

(1) สำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ขั้นตอนที่สอง โดยการ

- สำรวจเก็บข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ตามเส้นทางหรือแนวสำรวจซึ่งมีความยาวรวมไม่น้อยกว่า 30 แนว-กม.
- เก็บตัวอย่างหินหรือแร่ที่สำรวจพบไม่น้อยกว่า 85 ตัวอย่าง เพื่อการวิเคราะห์กายภาพ และวิเคราะห์เคมี
- ศึกษาแผ่นหินบางไม่น้อยกว่า 10 ตัวอย่าง และแผ่นหินขัดมันไม่น้อยกว่า 10 ตัวอย่าง
- รวบรวม ประมวลผลและแปลความหมายข้อมูล

(2) สำรวจธรณีเคมีขั้นตอนที่สอง โดยการ

- เก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำความหนาแน่นของตัวอย่างเฉลี่ย 3 ตัวอย่างต่อ 1 ตร.กม. ไม่น้อยกว่า 180 ตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์เคมีเพื่อหาปริมาณธาตุไม่น้อยกว่า 10 ธาตุ
- เลียงแร่หนักความหนาแน่นของตัวอย่างเฉลี่ย 5 ตัวอย่างต่อ 1 ตร.กม. ไม่น้อยกว่า 180 ตัวอย่าง และตรวจสอบเพื่อหาชนิดแร่หนักไม่น้อยกว่า 5 ชนิด
- เก็บตัวอย่างดินความหนาแน่นของตัวอย่างเฉลี่ย 10 ตัวอย่างต่อ 1 ตร.กม. ไม่น้อยกว่า 600 ตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์เคมีเพื่อหาปริมาณธาตุไม่น้อยกว่า 10 ธาตุ
- เก็บตัวอย่างดินที่ผุพังจากชั้นหินดานในระดับลึกไม่น้อยกว่า 1 - 5 เมตร จำนวนไม่น้อยกว่า 170 ตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์เคมีเพื่อหาปริมาณธาตุไม่น้อยกว่า 10 ธาตุ
- รวบรวม ประมวลผลและแปลความหมายข้อมูล

2.2.2 ประเมินผลการสำรวจขั้นตอนที่สองในภาพรวม และกำหนดขอบเขตแหล่งแร่สำหรับวางแผนการสำรวจขั้นตอนที่สาม

2.2.3 จัดเก็บข้อมูลและเสนอผลงานสำรวจขั้นตอนที่สองในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2.2.4 จัดทำรายงานและแผนที่ผลการสำรวจขั้นตอนที่สอง

2.3 งานสำรวจขั้นตอนที่สาม

2.3.1 สำรวจในสนามครอบคลุมขอบเขตแหล่งแร่ จากผลการสำรวจขั้นตอนที่สอง เนื้อที่รวมกันไม่น้อยกว่า 6 ตร.กม. โดยดำเนินการดังนี้

2 6 มี.ค. 2544

(1) สำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ขั้นตอนที่สาม โดยการ

- สำรวจเก็บข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ตามแนวสำรวจซึ่งมีความยาวรวมไม่น้อยกว่า 30 แนว-กม.
- เก็บตัวอย่างหินหรือแร่ที่สำรวจพบไม่น้อยกว่า 85 ตัวอย่าง เพื่อการวิเคราะห์กายภาพ และวิเคราะห์เคมี
- ศึกษาแผ่นหินบางไม่น้อยกว่า 10 ตัวอย่าง และแผ่นหินขัดมันไม่น้อยกว่า 10 ตัวอย่าง
- รวบรวม ประมวลผลและแปลความหมายข้อมูล

(2) สำรวจธรณีเคมีขั้นตอนที่สาม โดยการ

- เก็บตัวอย่างดินตามแนวสำรวจไม่น้อยกว่า 300 ตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์เคมีเพื่อหาปริมาณธาตุไม่น้อยกว่า 10 ธาตุ
- รวบรวม ประมวลผลและแปลความหมายข้อมูล

(3) สำรวจธรณีฟิสิกส์ตามแนวสำรวจ โดยการ

- สำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กโลก (magnetic) ไม่น้อยกว่า 8 แนว-กม. ระยะระหว่างจุดเก็บข้อมูล (station spacing) ไม่เกิน 20 เมตร
- สำรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไทม์โดเมน (time-domain electromagnetic) ไม่น้อยกว่า 8 แนว-กม. ระยะระหว่างจุดเก็บข้อมูลไม่เกิน 20 เมตร
- สำรวจวัดค่าความเหนี่ยวนำโพลาไรเซชั่น (induced polarization : IP) ไม่น้อยกว่า 8 แนว-กม. ระยะระหว่างจุดเก็บข้อมูลไม่เกิน 20 เมตร
- สำรวจวัดค่าความโน้มถ่วงโลก (gravity) ไม่น้อยกว่า 8 แนว-กม. ระยะระหว่างจุดเก็บข้อมูลไม่เกิน 20 เมตร
- สำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก (resistivity sounding) ไม่น้อยกว่า 8 จุด
- สำรวจวัดคลื่นไหวสะเทือนชนิดคลื่นหักเห (refraction seismic) ไม่น้อยกว่า 4 แนว-กม.
- รวบรวม ประมวลผล และแปลความหมายข้อมูล

(4) ขุดหลุมและคูทดลอง โดยการ

- กำหนดตำแหน่งหลุมและคูทดลองจากผลการสำรวจ (1) (2) และ (3)
- ขุดหลุมทดลองจำนวนไม่น้อยกว่า 30 หลุม พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างหินหรือแร่หลุมละไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง รวมแล้วไม่น้อยกว่า 60 ตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์เคมีเพื่อหาปริมาณธาตุไม่น้อยกว่า 10 ธาตุ
- ขุดคูทดลองความยาวรวมไม่น้อยกว่า 300 เมตร พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างหินหรือแร่ ไม่น้อยกว่า 300 ตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์เคมีเพื่อหาปริมาณธาตุไม่น้อยกว่า 10 ธาตุ
- รวบรวม ประมวลผลและแปลความหมายข้อมูล

ข้อกำหนด ฮฮฮ

2 6 มี.ค. 2544

2.3.2 ประเมินผลการสำรวจขั้นตอนที่สามในภาพรวม และกำหนดขอบเขตแหล่งแร่สำหรับวางแผนการเจาะสำรวจเพื่อประเมินปริมาณและคุณภาพทรัพยากรแร่ในระดับลึก

2.3.3 จัดเก็บข้อมูลและเสนอผลงานสำรวจขั้นตอนที่สามในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2.3.4 จัดทำรายงานและแผนที่ผลงานสำรวจขั้นตอนที่สาม

2.4 งานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ

2.4.1 เจาะสำรวจและประเมินศักยภาพภายในขอบเขตแหล่งแร่ที่ได้จากผลการสำรวจขั้นตอนที่สาม โดยการ

(1) เจาะเก็บแท่งตัวอย่าง (core sample) ความลึกรวมไม่น้อยกว่า 2,200 เมตร

(2) ตัดแบ่งแท่งตัวอย่างออกเป็นสองส่วนด้วยเลื่อยยนต์ และเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์เคมีและศึกษาแผ่นหินบาง

(3) วิเคราะห์เคมีแท่งตัวอย่างไม่น้อยกว่า 2,200 ตัวอย่าง

(4) ศึกษาแผ่นหินบาง (thin section) หรือแผ่นหินขัดมัน (polished section) อย่างละไม่น้อยกว่า 30 ตัวอย่าง รวม 60 ตัวอย่าง

2.4.2 ในกรณีที่คาดว่าพื้นที่ดำเนินการมีศักยภาพแร่ดีบุกหรือรัตนชาติ จะต้องทำการเจาะสำรวจด้วยเครื่องเจาะบังก้า

(1) เจาะสำรวจและเก็บตัวอย่าง ความลึกรวมไม่น้อยกว่า 150 เมตร

(2) ตรวจสอบตัวอย่างแร่หนักและแร่รัตนชาติ ไม่น้อยกว่า 300 ตัวอย่าง

2.4.3 รวบรวม ประมวลผล และแปลความข้อมูล รวมทั้งประเมินคุณภาพ ปริมาณแร่สำรองของแหล่งแร่ และศักยภาพในการพัฒนา

2.4.4 จัดทำรายงานและแผนที่ผลการเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ

2.4.5 จัดทำรายงานผลการสำรวจทั้งหมดฉบับสมบูรณ์ ฉบับภาษาไทย

2.4.6 จัดทำรายงานสรุปสำหรับผู้บริหารและฉบับสมบูรณ์ ฉบับภาษาไทย-อังกฤษ

2.5 การบริหารจัดการ

วางแผนบริหารจัดการในภาพรวมของงานสำรวจทั้ง 4 ขั้นตอนตามข้อ 2.1 2.2 2.3 และ 2.4 เพื่อการดำเนินงานในสำนักงานและในสนามตลอดระยะเวลาดำเนินการ โดยจำแนกออกเป็น 4 แผน ดังนี้

(1) แผนการใช้บุคลากร

(2) แผนการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์

(3) แผนการใช้งบประมาณ

(3) แผนการจัดการ

2.6 เงื่อนไขการปฏิบัติงาน

2.6.1 ขนาดเนื้อที่ ปริมาณงานสำรวจต่างๆ อาทิ ชนิดและจำนวนตัวอย่าง ความยาวแนวสำรวจ ความหนาแน่น และระยะห่างระหว่างแนวสำรวจหรือจุดเก็บข้อมูล ตามที่กำหนดในข้อ 2.1 ถึง

26 มี.ค. 2544

2.4 รวมถึงข้อกำหนดขั้นต่ำของงานที่จะต้องส่งมอบในส่วนที่สี่ และมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานตามที่กำหนดไว้ในเอกสารเล่มที่สองนี้ ใช้สำหรับเป็นฐานในการพิจารณาเปรียบเทียบราคางานของผู้เสนอราคาทุกรายให้อยู่ในฐานเดียวกัน สำหรับปริมาณงานและวิธีการสำรวจในการดำเนินการจริงจะแปรเปลี่ยนไปตามสภาพธรณีวิทยาแหล่งแร่และภูมิประเทศในพื้นที่ดำเนินการ ซึ่งจะกำหนดโดยผู้รับจ้างและจะต้องได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการตรวจการจ้าง

2.6.2 เมื่อกรมทรัพยากรธรณี คัดเลือกผู้รับจ้างได้แล้ว ผู้รับจ้างจะต้องปฏิบัติงานตามกิจกรรมในแผนงานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่งเป็นลำดับแรก งานสำรวจในขั้นตอนที่สองจะดำเนินการได้เมื่อผลงานจากขั้นตอนที่หนึ่งบ่งชี้ว่าสมควรดำเนินการในขั้นตอนที่สองต่อไป งานในขั้นตอนที่สามจะดำเนินการได้เมื่อผลงานจากขั้นตอนที่สองบ่งชี้ว่าสมควรดำเนินการในขั้นตอนที่สามต่อไป และงานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ จะดำเนินการได้ก็ต่อเมื่อผลงานจากขั้นตอนที่สามบ่งชี้ว่าสมควรดำเนินการเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพต่อไป ทั้งนี้ผู้รับจ้างจะต้องเสนอแผนงานในทุกขั้นตอนให้คณะกรรมการตรวจการจ้างเห็นชอบก่อนดำเนินการ

2.6.3 ในกรณีที่กิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่งในแผนงานสำรวจขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งไม่สามารถดำเนินการได้ครบถ้วนเนื่องจากการแปรเปลี่ยนของสภาพธรณีวิทยาแหล่งแร่หรือสภาพภูมิประเทศจริงในพื้นที่ปฏิบัติงาน จะต้องดำเนินการสำรวจโดยใช้กิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่งอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกันตามที่เสนอไว้ในแผนงานขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งเพื่อทดแทนเป็นลำดับที่สอง ทั้งนี้ผู้รับจ้างจะต้องเสนอแผนงานให้คณะกรรมการตรวจการจ้างเห็นชอบก่อนดำเนินการ

2.6.4 ในกรณีที่ไม่สามารถดำเนินกิจกรรมตามแผนงานสำรวจทุกขั้นตอนได้ครบถ้วนหรือจะต้องยุติการดำเนินการในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งด้วยเหตุใดเหตุหนึ่งแล้ว ผู้รับจ้างจะต้องเสนอแผนงานสำรวจเพิ่มเติมในพื้นที่อื่นภายในพื้นที่ดำเนินการตามข้อ 1.4 โดยได้รับความเห็นชอบจากกรมทรัพยากรธรณี โดยใช้แผนงานและกิจกรรมอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกันตามที่ได้เสนอไว้ในข้อ 2.1 2.2 2.3 และ 2.4

ทั้งนี้ ปริมาณงานหรือจำนวนเนื้อที่ของกิจกรรมต่าง ๆ ที่กรมมอบหมายให้ดำเนินการเมื่อคำนวณเป็นเงินค่าจ้างทั้งหมดแล้ว จะไม่เกินราคาค่าจ้างเหมารวมทั้งหมด และการคำนวณราคาค่าจ้างต่อหน่วยของกิจกรรมต่าง ๆ ที่มอบหมายให้ดำเนินการ จะคำนวณจากราคาค่าจ้างต่อหน่วยตามที่เสนอไว้ในใบแจ้งปริมาณงานและราคา *กรมทรัพยากรธรณี จะจ่ายเงินให้ผู้รับจ้างสำหรับงานหรือกิจกรรมที่ผู้รับจ้างได้ดำเนินการเท่านั้น งานหรือกิจกรรมใด ๆ ที่มีการยกเลิกหรือไม่สามารถได้ดำเนินการได้จะไม่มีการจ่ายเงิน*

26 มี.ค. 2544

ส่วนที่สาม

ใบแจ้งปริมาณงานและราคา

แปลงที่ ...... /2544 "พื้นที่ .... "

ชื่อบริษัทที่เสนอราคา " .... "

ผู้เสนอราคาจะต้องแจ้งปริมาณงานและราคางานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง งานสำรวจขั้นตอนที่สอง งานสำรวจขั้นตอนที่สาม และงานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ตามรายการข้างล่างนี้ โดยแยกภาษีมูลค่าเพิ่ม ค่าบริหารโครงการ และกำไร ออกจากค่าใช้จ่ายของงานสำรวจ และต้องแจกแจงรายละเอียดปริมาณงานและราคางานสำรวจในแต่ละขั้นตอนในหน้าที่ 2 ถึงหน้าที่ 8 ให้ครบถ้วนทุกรายการ ทั้งนี้ฐานและเกณฑ์ที่ผู้เสนอราคาใช้ในการคำนวณราคางานที่เสนอจะต้องมีปริมาณงาน เนื้องาน และคุณภาพงานเป็นไปตามข้อกำหนดในเอกสารเล่มที่หนึ่งและเอกสารเล่มที่สอง เพื่อทางราชการจะใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบราคางานของผู้เสนอราคาทุกรายให้อยู่ในฐานเดียวกัน

ค่าใช้จ่ายงานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง	.... บาท
ค่าบริหารโครงการ	.... บาท
กำไร	.... บาท
รวมค่าใช้จ่ายและกำไร ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม	.... บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%	.... บาท
รวมค่าใช้จ่ายงานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่งทั้งหมด	.... บาท

ค่าใช้จ่ายงานสำรวจขั้นตอนที่สอง	.... บาท
ค่าบริหารโครงการ	.... บาท
กำไร	.... บาท
ค่าใช้จ่ายรวมค่าบริหารโครงการและกำไร ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม	.... บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%	.... บาท
ค่าใช้จ่ายงานสำรวจขั้นตอนที่สองทั้งสิ้น	.... บาท

26 ส.ค. 2544

ข้อกำหนด doc

ค่าใช้จ่ายงานสำรวจขั้นตอนที่สาม	.... บาท
ค่าบริหารโครงการ	.... บาท
กำไร	.... บาท
ค่าใช้จ่ายรวมค่าบริหารโครงการและกำไร ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม	.... บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%	.... บาท
ค่าใช้จ่ายงานสำรวจขั้นตอนที่สามรวมทั้งสิ้น	.... บาท

ค่าใช้จ่ายงานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ	.... บาท
ค่าบริหารโครงการ	.... บาท
กำไร	.... บาท
ค่าใช้จ่ายรวมค่าบริหารโครงการและกำไร ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม	.... บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%	.... บาท
ค่าใช้จ่ายงานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพรวมทั้งสิ้น	.... บาท

สรุปค่าใช้จ่ายงานสำรวจทั้งสี่ขั้นตอน

รายการค่าใช้จ่าย รวมค่าบริหารโครงการ กำไร และภาษีมูลค่าเพิ่ม	จำนวนเงิน
1. งานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง	.... บาท
2. งานสำรวจขั้นตอนที่สอง	.... บาท
3. งานสำรวจขั้นตอนที่สาม	.... บาท
4. งานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ	.... บาท

รวมค่าใช้จ่ายงานสำรวจทั้งสี่ขั้นตอน .... บาท

(ตัวอักษร..)

ลงชื่อ .... ผู้เสนอราคา

(..)

26 ส.ค. 2544

ใบเสนอราคา.doc

1. รายละเอียดราคางานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง

กิจกรรม	ปริมาณงาน	ราคาต่อหน่วย	รวมค่าใช้จ่าย (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)
1. ศึกษาข้อมูลและงานสำรวจที่มีมาก่อน และสำรวจเพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่เป้าหมาย			
1.1 ศึกษางานสำรวจที่มีมาก่อน	-	เหมาจ่าย	.... บาท
1.2 ศึกษาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (digital data)	-	เหมาจ่าย	.... บาท
1.3 ศึกษาข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ	-	เหมาจ่าย	.... บาท
1.4 ศึกษาข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ (digital data)	-	เหมาจ่าย	.... บาท
1.5 ศึกษาข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและพื้นที่อนุรักษ์	-	เหมาจ่าย	.... บาท
1.6 สำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ทั่วไป - สำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ เก็บตัวอย่างหินที่เป็นตัวแทนของหน่วยหิน และเก็บตัวอย่างและแร่สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี	360 แนว-กม. หรือมากกว่า	.... บาท ต่อแนว-กม.	.... บาท
- วิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ - ศึกษาแผ่นหินบาง (thin section)	40 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ Au	70 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ธาตุอื่น ๆ	70 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ Whole rock analysis	10 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ XRD	10 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- ศึกษาข้อมูลแหล่งแร่และตำแหน่งที่พบแร่ในสนาม (Mineral Inventory)	20 แหล่ง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อแหล่ง	.... บาท
- รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	-	เหมาจ่าย	.... บาท
1.7 สำรวจธรณีเคมีทั่วไป - เก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำและตัวอย่างคู่ซ้ำในสนาม	728 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- เตรียมตัวอย่าง	728 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท

26 มี.ค. 2544

กิจกรรม	ปริมาณงาน	ราคาต่อหน่วย	รวมค่าใช้จ่าย (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)
- เลียงเก็บตัวอย่างแร่หนัก	700 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ Au	728 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ธาตุอื่น ๆ	728 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- ตรวจสอบตัวอย่างแร่หนัก	700 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	-	เหมาจ่าย	.... บาท
1.8 รวบรวม ประมวลผล แปลความหมายข้อมูล ตรวจสอบภาคสนาม และวางแผนงานสำรวจในสนาม	-	เหมาจ่าย	.... บาท
2. สำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ขั้นตอนที่หนึ่ง 2.1 สำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ เก็บตัวอย่างหินที่เป็นตัวแทนของหน่วยหิน และเก็บตัวอย่างและแร่สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี	120 แนว-กม. หรือมากกว่า	.... บาท ต่อแนว-กม.	.... บาท
2.2 วิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ - ศึกษาแผ่นหินบาง (thin section)	25 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ Au	75 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ธาตุอื่น ๆ	75 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ Whole rock analysis	5 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ XRD	5 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
2.3 รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	-	เหมาจ่าย	.... บาท
3. สำรวจธรณีเคมีขั้นตอนที่หนึ่ง 3.1 เก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ - เก็บตัวอย่างและตัวอย่างคู่ซ้ำในสนาม	312 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- เตรียมตัวอย่าง	312 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท

26 มี.ค. 2544

กิจกรรม	ปริมาณงาน	ราคาต่อหน่วย	รวมค่าใช้จ่าย (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)
3.2 เลียงเก็บตัวอย่างแร่หนัก	300 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
3.3 วิเคราะห์ Au	312 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
3.4 วิเคราะห์ธาตุอื่น ๆ	312 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
3.5 ตรวจสอบตัวอย่างแร่หนัก	300 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
3.6 รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	-	เหมาจ่าย	.... บาท
4. ประเมินผลการสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง และวางแผนงานสำรวจขั้นตอนที่สอง	-	เหมาจ่าย	.... บาท
5. จัดเก็บข้อมูลและนำเสนอผลงานสำรวจในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	-	เหมาจ่าย	.... บาท
6. จัดทำรายงานและแผนที่ผลงานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง	15 ชุด	.... บาท ต่อชุด	.... บาท
รวมราคางานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง			.... บาท

26 ส.ค. 2544

2. รายละเอียดราคางานสำรวจขั้นตอนที่สอง

กิจกรรม	ปริมาณงาน	ราคาต่อหน่วย	รวมค่าใช้จ่าย (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)
1. สำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ขั้นตอนที่สอง			
1.1 สำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ เก็บตัวอย่างหินที่เป็นตัวแทนของหน่วยหิน และเก็บตัวอย่างและแร่สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี	30 แนว-กม. หรือมากกว่า	.... บาท ต่อแนว-กม.	.... บาท
1.2 วิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ			
- ศึกษาแผ่นหินบาง (thin Section)	10 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- ศึกษาแผ่นหินขัดมัน (polished section)	10 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ Au	75 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ธาตุอื่น ๆ	75 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ Whole rock analysis	5 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ XRD	5 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
1.3 รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	-	เหมาจ่าย	.... บาท
2. สำรวจธรณีเคมีขั้นตอนที่สอง			
2.1 เก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ			
- เก็บตัวอย่างในสนาม	180 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- เตรียมตัวอย่าง	180 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
2.2 งานเลียงเก็บตัวอย่างแร่หนัก	180 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
2.3 เก็บตัวอย่างดิน			
- เก็บตัวอย่างในสนาม	600 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- เตรียมตัวอย่าง	600 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท

26 ส.ค. 2544

กิจกรรม	ปริมาณงาน	ราคาต่อหน่วย	รวมค่าใช้จ่าย (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)
2.4 เก็บตัวอย่างดินที่ผุพังจากชั้นหินดานในระดับลึก (1 - 5 เมตร)			
- เก็บตัวอย่างในสนาม	170 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- เตรียมตัวอย่าง	170 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
2.5 วิเคราะห์ Au	950 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
2.6 วิเคราะห์ธาตุอื่น ๆ	950 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
2.7 ตรวจสอบตัวอย่างแร่หนัก	188 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
2.8 รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	-	เหมาจ่าย	.... บาท
3. ประเมินผลการสำรวจขั้นตอนที่สอง และวางแผนงานสำรวจขั้นตอนที่สาม	-	เหมาจ่าย	.... บาท
4. จัดเก็บข้อมูลและนำเสนอผลงานสำรวจในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	-	**เหมาจ่าย**	.... บาท
5. จัดทำรายงานและแผนที่ผลการสำรวจขั้นตอนที่สอง	15 ชุด	.... บาท ต่อชุด	.... บาท
รวมราคางานสำรวจขั้นตอนที่สอง			.... บาท

25 ส.ค. 2544

3. รายละเอียดราคางานสำรวจขั้นตอนที่สาม

กิจกรรม	ปริมาณงาน	ราคาต่อหน่วย	รวมค่าใช้จ่าย (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)
1. สำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ขั้นตอนที่สาม			
1.1 รังวัดตัดแนว และสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ในมาตราส่วน 1:5,000 พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างหินที่เป็นตัวแทนของหน่วยหิน และเก็บตัวอย่างหินและแร่สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี	30 แนว-กม. หรือมากกว่า	.... บาท ต่อแนว-กม.	.... บาท
1.2 วิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ			
- ศึกษาแผ่นหินบาง (thin Section)	10 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- ศึกษาแผ่นหินขัดมัน (polished section)	10 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ Au	75 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ธาตุอื่น ๆ	75 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ Whole rock analysis	5 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ XRD	5 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
1.3 รวบรวมข้อมูลประมวลผลและแปลความหมาย	-	เหมาจ่าย	.... บาท
2. สำรวจธรณีเคมีขั้นตอนที่สาม			
2.1 เก็บตัวอย่างดิน			
- เก็บตัวอย่างในสนาม	300 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- เตรียมตัวอย่าง	300 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
2.2 วิเคราะห์ Au	300 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
2.3 วิเคราะห์ธาตุอื่น ๆ	300 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
2.4 รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	-	เหมาจ่าย	.... บาท

26 ส.ค. 2544

กิจกรรม	ปริมาณงาน	ราคาต่อหน่วย	รวมค่าใช้จ่าย (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)
3. สำรวจธรณีฟิสิกส์			
3.1 สำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กโลก (magnetic)	8 แนว-กม. หรือมากกว่า	.... บาท ต่อแนว-กม.	.... บาท
3.2 สำรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไทม์โดเมน (time-domain electromagnetic)	8 แนว-กม. หรือมากกว่า	.... บาท ต่อแนว-กม.	.... บาท
3.3 สำรวจวัดค่าความเหนี่ยวนำโพลาไรเซชั่น (induced polarization : IP)	8 แนว-กม. หรือมากกว่า	.... บาท ต่อแนว-กม.	.... บาท
3.4 สำรวจวัดค่าความโน้มถ่วงโลก (gravity)	8 แนว-กม. หรือมากกว่า	.... บาท ต่อแนว-กม.	.... บาท
3.5 สำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก (resistivity Sounding)	8 จุด หรือมากกว่า	.... บาท ต่อจุด	.... บาท
3.6 สำรวจวัดคลื่นไหวสะเทือนชนิดคลื่นหักเห (refraction seismic)	4 แนว-กม. หรือมากกว่า	.... บาท ต่อแนว-กม.	.... บาท
3.7 รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมายรวม	-	เหมาจ่าย	.... บาท
4. ขุดหลุมและคูทดลอง			
4.1 ขุดหลุมทดลองและเก็บตัวอย่างดิน/หิน/แร่	30 หลุม หรือมากกว่า	.... บาท ต่อหลุม	.... บาท
4.2 ขุดคูทดลองและเก็บตัวอย่างดิน/หิน/แร่	300 เมตร หรือมากกว่า	.... บาท ต่อเมตร	.... บาท
4.3 วิเคราะห์ทางเคมี	300 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
4.4 รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	-	เหมาจ่าย	.... บาท
5. ประเมินผลการสำรวจขั้นตอนที่สาม และวางแผนงานเจาะสำรวจ	-	เหมาจ่าย	.... บาท
6. จัดเก็บข้อมูลและนำเสนอผลงานสำรวจในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	-	เหมาจ่าย	.... บาท
7. จัดทำรายงานและแผนที่ผลการสำรวจขั้นตอนที่สาม	15 ชุด	.... บาท ต่อชุด	.... บาท
รวมราคางานสำรวจขั้นตอนที่สาม			.... บาท

26 ส.ค. 2544

4. รายละเอียดราคางานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ

กิจกรรม	ปริมาณงาน	ราคาต่อหน่วย	รวมค่าใช้จ่าย (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)
1. เจาะสำรวจ			
1.1 เจาะเก็บแท่งตัวอย่าง และถ่ายรูปแท่งตัวอย่าง	2,200 เมตร หรือมากกว่า	.... บาท ต่อเมตร	.... บาท
1.2 จัดทำลังบรรจุแท่งตัวอย่าง	440 ลัง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อลัง	.... บาท
2. วิเคราะห์และศึกษาแท่งตัวอย่างที่ได้จากการเจาะสำรวจ			
2.1 ผ่าแท่งตัวอย่างและเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์เคมี	2,200 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
2.2 วิเคราะห์ทางเคมี			
- วิเคราะห์ Au	2,000 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ธาตุอื่นๆ	2,000 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ Whole rock analysis	100 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
- วิเคราะห์ XRD	100 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
2.3 ศึกษาแผ่นหินบาง	30 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
2.4 ศึกษาแผ่นหินขัดมัน	30 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
3. เจาะสำรวจด้วยเครื่องเจาะบังก้า			
3.1 เจาะสำรวจและเก็บตัวอย่าง	150 เมตร หรือมากกว่า	.... บาท ต่อเมตร	.... บาท
3.2 ตรวจสอบตัวอย่างแร่หนัก/แร่รัตนชาติ	300 ตัวอย่าง หรือมากกว่า	.... บาท ต่อตัวอย่าง	.... บาท
4. ประเมินคุณภาพและปริมาณแร่สำรองของแหล่งแร่	-	เหมาจ่าย	.... บาท
5. จัดทำรายงานและแผนที่ผลการเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ	15 ชุด	.... บาท ต่อชุด	.... บาท

26 ส.ค. 2544

กิจกรรม	ปริมาณงาน	ราคาต่อหน่วย	รวมค่าใช้จ่าย (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)
6. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์	15 ชุด	.... บาท ต่อชุด	.... บาท
7. จัดทำรายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร ฉบับภาษาไทย	15 ชุด	.... บาท ต่อชุด	.... บาท
8. จัดทำรายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร ฉบับภาษาอังกฤษ	15 ชุด	.... บาท ต่อชุด	.... บาท
รวมราคางานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ			.... บาท

26 มี.ค. 2544

ส่วนที่สี่

ข้อกำหนดขั้นต่ำของงานที่จะต้องส่งมอบ

ผลงานที่ผู้รับจ้างจะต้องส่งมอบจะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ดังนี้

เอกสารหมายเลขหนึ่ง	:	งานที่จะต้องส่งมอบสำหรับงานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง
เอกสารหมายเลขสอง	:	งานที่จะต้องส่งมอบสำหรับงานสำรวจขั้นตอนที่สอง
เอกสารหมายเลขสาม	:	งานที่จะต้องส่งมอบสำหรับงานสำรวจขั้นตอนที่สาม
เอกสารหมายเลขสี่	:	งานที่จะต้องส่งมอบสำหรับงานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ

<u>ข้อกำหนดขั้นต่ำทั่วไป</u>

1) รูปแบบและเนื้อหาของงานที่ผู้รับจ้างจะต้องส่งมอบตามที่กำหนดไว้ในเอกสารหมายเลขหนึ่ง สอง สาม และสี่ นี้ กรมทรัพยากรธรณีได้กำหนดขึ้นเพื่อใช้สำหรับพิจารณาตรวจรับงานของผู้รับจ้าง เพื่อให้ผลงานของผู้รับจ้างมีคุณภาพไม่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กรมทรัพยากรธรณียอมรับได้ หากผู้รับจ้างประสงค์ที่จะขอปรับเปลี่ยนหรือมีข้อเสนอในการนำเสนอผลงานที่แตกต่างไปจากนี้ โดยมีหลักฐานหรือข้อพิสูจน์ได้ว่าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ให้ผู้รับจ้างนำข้อเสนอดังกล่าวเสนอให้คณะกรรมการตรวจการจ้างพิจารณาให้ความเห็นชอบก่อน และเมื่อคณะกรรมการตรวจการจ้างได้ให้ความเห็นชอบแล้ว จึงจะนำไปถือปฏิบัติต่อไปได้

2) แผนที่ทุกแผ่นที่กำหนดให้ส่งมอบ จะต้องมีรูปแบบตามมาตรฐานที่กรมทรัพยากรธรณียอมรับได้ โดยผู้รับจ้างต้องนำรูปแบบเสนอให้คณะกรรมการตรวจการจ้างพิจารณาให้ความเห็นชอบก่อน

3) รายงานทุกชุด/ฉบับที่กำหนดให้ส่งมอบ จะต้องมีรูปแบบและเนื้อหาตามที่กำหนดไว้ในเอกสารเล่มที่สอง โดยผู้รับจ้างต้องนำรูปแบบและเนื้อหาเสนอให้คณะกรรมการตรวจการจ้างพิจารณาให้ความเห็นชอบก่อน

26 ส.ค. 2544

เอกสารหมายเลขหนึ่ง

งานที่จะต้องส่งมอบสำหรับงานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง

ในงานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง ผู้รับจ้างจะต้องส่งมอบงาน ดังต่อไปนี้

กิจกรรม (ลำดับหัวข้อตามส่วนที่สอง)	งานที่ต้องส่งมอบ		
	รายงาน แผนที่สีและข้อมูลที่ใช้ประกอบรายงาน	ผลิตภัณฑ์อื่น (ข้อมูลดิบ แผนที่สีหรือขาวดำที่ใช้ปฏิบัติงาน ฯลฯ)	ตัวอย่างจากการสำรวจ
2.1 ศึกษาข้อมูลและงานสำรวจที่มีมาก่อน และสำรวจเพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่เป้าหมาย			
2.1.1 (1) ศึกษางานสำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ที่มีมาก่อน	–	- แผนที่มาตราส่วน 1:100,000 แสดงผลการศึกษา	–
2.1.1 (2) และ (3) ศึกษาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และภาพถ่ายทางอากาศ	–	- แผนที่มาตราส่วน 1:100,000 แสดงผลการแปลความหมายภาพถ่ายดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศ - แผนที่ข้อมูลดิบที่ได้จากการแปลความหมายภาพถ่ายดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศ	–
2.1.1 (4) ศึกษาข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ	- แผนที่แสดง (1) ผลการแปลความหมายข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ (2) ขอบเขตพื้นที่ศักยภาพทางแร่บนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:100,000 ที่ใช้เป็นแผนที่พื้นฐาน (base map)	- แฟ้มข้อมูล (data files) ที่ได้จากขบวนการประมวลผล (processing) เพิ่มประสิทธิผล (enhancing) และแปลความหมาย (interpretation) ซึ่งสามารถใช้ได้ใน software ทางธรณีวิทยาทั่วๆ ไป เช่น Geosoft - แผนที่ ประกอบด้วย ก. Magnetic (total field map และ interpretation map) ข. VLF-EM (profile map และ interpretation map) (หากดำเนินการ) ค. Radiometric (total count map, ternary map และ interpretation map) ง. EM (736-Hertz profile map, 912 -Hertz profile map, resistivity map และ interpretation map) (หากดำเนินการ)	–
2.1.1 (5) ศึกษาข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และพื้นที่อนุรักษ์	- แผนที่แสดงผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดิน และพื้นที่อนุรักษ์	- ข้อมูล digital ของผลการศึกษาที่รายละเอียดระดับมาตราส่วน 1:50,000	–

26 ส.ค. 2544

กิจกรรม (ลำดับหัวข้อตามส่วนที่สอง)	งานที่ต้องส่งมอบ		
	รายงาน แผนที่สีและข้อมูลที่ใช้ประกอบรายงาน	ผลิตภัณฑ์อื่น (ข้อมูลดิบ แผนที่สีหรือขาวดำที่ใช้ปฏิบัติงาน ฯลฯ)	ตัวอย่างจากการสำรวจ
2.1.1 (6) สำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ทั่วไป - สำรวจและเก็บตัวอย่างหิน/แร่ ในสนาม และวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ - ศึกษาข้อมูลแหล่งแร่และตำแหน่งที่พบแร่ (Mineral Inventory) - รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	- ตารางสรุปผลการศึกษาแผ่นหินบาง - ตารางแสดง (1) ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง (2) ชนิดหิน/แร่ พร้อมคำอธิบายโดยย่อ และ (3) ผลการวิเคราะห์เคมี - แผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:100,000 แสดง (1) ข้อมูลการเทียบเคียงหน่วยหิน (correlation of rock units) (2) โครงสร้างทางธรณีวิทยา (3) ภาพตัดขวาง (cross section) อย่างน้อย 2 แนว (4) แหล่งแร่/ตำแหน่งที่พบแร่	- แผนที่แสดงข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่อย่างน้อยประกอบด้วย (1) แนวสำรวจข้อมูลในสนาม (2) ข้อมูลธรณีวิทยาในสนาม และ (3) จุดเก็บตัวอย่างหินหรือแร่ แสดงบนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:100,000 - บันทึกข้อมูลธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ การเก็บตัวอย่างหิน/แร่ และภาพถ่าย - บันทึกข้อมูลผลการศึกษาข้อมูล mineral inventory - ข้อมูลการศึกษาแผ่นหินบาง รวมทั้งภาพถ่ายแผ่นหินบาง ที่รับรองโดยผู้ศึกษา - ข้อมูลผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง ที่รับรองโดยบริษัทวิเคราะห์เคมี	- ตัวอย่างหิน/แร่จากการสำรวจ ขนาด 1x3x4 นิ้ว - ตัวอย่างที่เหลือจากการวิเคราะห์เคมี - ตัวอย่างหินที่ตัดศึกษาแผ่นหินบาง ขนาด 1x3x4 นิ้ว (ถ้ามี) และแผ่นหินบาง
2.1.1 (7) สำรวจธรณีเคมีทั่วไป			
- เก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ เตรียมตัวอย่าง และวิเคราะห์เคมี	- ตารางแสดง (1) ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง และ (2) สรุปผลวิเคราะห์เคมี	- แผนที่แสดงจุดเก็บและหมายเลขตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ และจุดเลียงตัวอย่างแร่หนักบนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:100,000 - บันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ - ข้อมูลผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่รับรองโดยบริษัทวิเคราะห์เคมี	- ตัวอย่างที่เหลือจากการวิเคราะห์เคมี
- เลียงเก็บตัวอย่างแร่หนัก และตรวจสอบตัวอย่างแร่หนัก	- ตารางแสดง (1) ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง และ (2) สรุปผลการตรวจสอบตัวอย่างแร่หนัก	- บันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างแร่หนัก - ข้อมูลผลการศึกษาแร่หนัก	- ตัวอย่างแร่หนักจากการสำรวจ - ตัวอย่างแร่หนักที่ได้จากการศึกษา
- รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	- แผนที่แสดงพื้นที่ศักยภาพทางธรณีเคมีรวม มาตราส่วน 1:100,000 ในรูปแบบ composite geochemical map	- แผนที่แสดงค่าปริมาณธาตุของแต่ละธาตุที่ระดับต่าง ๆ กันทุกธาตุ (แผ่นละไม่เกิน 2 ธาตุ) โดยมีข้อมูลทางของปริมาณธาตุแต่ละธาตุ ในมาตราส่วน 1:100,000 - แผนที่แสดงผลการศึกษาตัวอย่างแร่หนัก	–
2.1.1 (8) ประมวลผล และแปลความหมายข้อมูล ตรวจสอบข้อมูลและสภาพพื้นที่ในสนาม และวางแผนงานสำรวจในพื้นที่เป้าหมาย	- แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ศักยภาพทางแร่จากผลการแปลความหมายข้อมูลร่วมกัน บนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:100,000 ที่ใช้เป็นแผนที่พื้นฐาน	- แผนที่แสดงแนวที่จะสำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ขั้นตอนที่หนึ่ง และจุดที่จะเก็บและเลียงตัวอย่างสำหรับการสำรวจธรณีเคมีขั้นตอนที่หนึ่ง บนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000	–

26 ส.ค. 2544

กิจกรรม (ลำดับหัวข้อตามส่วนที่สอง)	งานที่ต้องส่งมอบ: รายงาน แผนที่สีและข้อมูลที่ใช้ประกอบรายงาน	งานที่ต้องส่งมอบ: ผลิตภัณฑ์อื่น (ข้อมูลดิบ แผนที่สีหรือขาวดำที่ใช้ปฏิบัติงาน ฯลฯ)	งานที่ต้องส่งมอบ: ตัวอย่างจากการสำรวจ
2.1.2 (1) สำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ขั้นตอนที่หนึ่ง - สำรวจและเก็บตัวอย่างหิน/แร่ ในสนาม และวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ - รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	- ตารางสรุปผลการศึกษาแผ่นหินบาง - ตารางแสดง (1) ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง (2) ชนิดหิน/แร่ พร้อมคำอธิบายโดยย่อ และ (3) ผลการวิเคราะห์เคมี - แผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:50,000 แสดง (1) ข้อมูลการเทียบเคียงหน่วยหิน (correlation of rock units) (2) โครงสร้างทางธรณีวิทยา (3) ภาพตัดขวาง (cross section) อย่างน้อย 2 แนว	- แผนที่แสดงข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่อย่างน้อยประกอบด้วย (1) แนวสำรวจข้อมูลในสนาม (2) ข้อมูลธรณีวิทยาในสนาม และ (3) จุดเก็บตัวอย่างหินหรือแร่ แสดงบนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 - บันทึกข้อมูลธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ การเก็บตัวอย่างหิน/แร่ และภาพถ่าย - ข้อมูลการศึกษาแผ่นหินบาง รวมทั้งภาพถ่ายแผ่นหินบาง ที่รับรองโดยผู้ศึกษา - ข้อมูลผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง ที่รับรองโดยบริษัทวิเคราะห์เคมี	- ตัวอย่างหิน/แร่จากการสำรวจ ขนาด 1x3x4 นิ้ว - ตัวอย่างที่เหลือจากการวิเคราะห์เคมี - ตัวอย่างหินที่ตัดศึกษาแผ่นหินบาง ขนาด 1x3x4 นิ้ว (ถ้ามี) และแผ่นหินบาง
2.1.2 (2) สำรวจธรณีเคมีขั้นตอนที่หนึ่ง			
- เก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ เตรียมตัวอย่าง และวิเคราะห์เคมี	- ตารางแสดง (1) ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง และ (2) สรุปผลวิเคราะห์เคมี	- แผนที่แสดงจุดเก็บและหมายเลขตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ และจุดเลียงตัวอย่างแร่หนัก บนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 - บันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ - ข้อมูลผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่รับรองโดยบริษัทวิเคราะห์เคมี	- ตัวอย่างที่เหลือจากการวิเคราะห์เคมี
- เลียงเก็บตัวอย่างแร่หนัก และตรวจสอบตัวอย่างแร่หนัก	- ตารางแสดง (1) ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง และ (2) สรุปผลการตรวจสอบตัวอย่างแร่หนัก	- บันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างแร่หนัก - ข้อมูลผลการศึกษาแร่หนัก	- ตัวอย่างแร่หนักจากการสำรวจ - ตัวอย่างแร่หนักที่ได้จากการศึกษา
- รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	- แผนที่แสดงพื้นที่ศักยภาพทางธรณีเคมีรวม มาตราส่วน 1:50,000 ในรูปแบบ composite geochemical map	- แผนที่แสดงค่าปริมาณธาตุของแต่ละธาตุที่ระดับต่าง ๆ กันทุกธาตุ (แผ่นละไม่เกิน 2 ธาตุ) โดยมีข้อมูลทางของปริมาณธาตุแต่ละธาตุ ในมาตราส่วน 1:50,000 - แผนที่แสดงผลการศึกษาตัวอย่างแร่หนัก	-
2.1.3 ประเมินผลการสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง และวางแผนงานสำรวจขั้นตอนที่สอง	- แผนที่ศักยภาพแร่ หรือแหล่งแร่ของการสำรวจในภาคสนามทุกชนิดในขั้นตอนที่หนึ่ง มาตราส่วน 1:50,000	- ต้นร่างรายงานผลการสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง - แฟ้มหรือกล่องรวบรวมผลิตภัณฑ์อื่นที่ได้จากการสำรวจและการศึกษาข้อมูลทั้งหมด - กล่องใส่ตัวอย่าง	-

26 ส.ค. 2544

กิจกรรม (ลำดับหัวข้อตามส่วนที่สอง)	งานที่ต้องส่งมอบ		
	รายงาน แผนที่สีและข้อมูลที่ใช้ประกอบรายงาน	ผลิตภัณฑ์อื่น (ข้อมูลดิบ แผนที่สีหรือขาวดำที่ใช้ปฏิบัติงาน ฯลฯ)	ตัวอย่างจากการสำรวจ
		- สมุดใส่ภาพถ่าย - แผนที่แสดงแนวสำรวจสำหรับการสำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ ขั้นตอนที่สอง และจุดเก็บตัวอย่างสำหรับการสำรวจธรณีเคมี ขั้นตอนที่สอง บนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:10,000	
2.1.4 เสนอผลงานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่งในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์		- เสนอผลงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ทันที (interactive) โดยประกอบด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ ในมาตราส่วน 1:50,000 และข้อมูลเชิงอรรถ ของข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้ คือ แผนที่ธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ที่ได้จากการสำรวจ พื้นที่ศักยภาพที่ได้จากการสำรวจธรณีเคมี และการแปลความหมายรวม ตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์เคมี และผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง แนวสำรวจและจุดเก็บตัวอย่างที่จะดำเนินการในการสำรวจขั้นตอนที่สอง	-
2.1.5 จัดทำรายงานและแผนที่ผลงานสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง	- รายงานผลการสำรวจขั้นตอนที่หนึ่ง ซึ่งมีแผนที่และข้อมูลประกอบตามที่กำหนดทั้งหมด จำนวน 15 ชุด	- ข้อมูล digital ประกอบด้วย (1) ข้อมูลรายงานซึ่งบันทึกด้วยโปรแกรม Microsoft Words (2) ข้อมูลแผนที่ในรูปแบบ GIS (3) ข้อมูลที่ใช้เป็นฐานข้อมูลหรือข้อสนเทศทั่วไปในรูปแบบ Microsoft Access	-

26 มี.ค. 2544

เอกสารหมายเลขสอง

งานที่จะต้องส่งมอบสำหรับงานสำรวจขั้นตอนที่สอง

ในงานสำรวจขั้นตอนที่สอง ผู้รับจ้างจะต้องส่งมอบงาน ดังต่อไปนี้

กิจกรรม (ลำดับหัวข้อตามส่วนที่สอง)	งานที่ต้องส่งมอบ		
	รายงาน แผนที่สีและข้อมูลที่ใช้ประกอบรายงาน	ผลิตภัณฑ์อื่น (ข้อมูลดิบ แผนที่สีหรือขาวดำที่ใช้ปฏิบัติงาน ฯลฯ)	ตัวอย่างจากการสำรวจ
2.2.1 (1) สำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ขั้นตอนที่สอง			
- สำรวจและเก็บตัวอย่างหิน/แร่ ในสนาม และวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ - รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	- ตารางสรุปผลวิเคราะห์แผ่นหินบางและแผ่นหินขัดมัน - ตารางแสดง (1) ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง (2) ชนิดหิน/แร่ พร้อมคำอธิบายโดยย่อ และ (3) ผลการวิเคราะห์เคมี - แผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:10,000 ซึ่งแสดง (1) ข้อมูลการเทียบเคียงหน่วยหินพร้อมคำบรรยายโดยย่อของหน่วยหินในพื้นที่สำรวจ (2) โครงสร้างทางธรณีวิทยา (3) ภาพตัดขวางอย่างน้อย 2 แนว พร้อมคำอธิบายสัญลักษณ์ที่ครบถ้วนชัดเจน	- แผนที่แสดงข้อมูลธรณีวิทยาแหล่งแร่ของพื้นที่ศักยภาพแร่แต่ละพื้นที่ อย่างน้อยประกอบด้วย (1) แนวสำรวจข้อมูลในสนาม (2) ข้อมูลธรณีวิทยาแหล่งแร่ในสนาม และ (3) จุดเก็บตัวอย่างหินหรือแร่แสดงบนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:10,000 - บันทึกข้อมูลธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ การเก็บตัวอย่างหิน/แร่ และภาพถ่าย - ข้อมูลการศึกษาแผ่นหินบางและแผ่นหินขัดมันที่รับรองโดยผู้ศึกษา - ข้อมูลผลการวิเคราะห์ของตัวอย่าง ที่รับรองโดยบริษัทวิเคราะห์เคมี	- ตัวอย่างหิน/แร่จากการสำรวจ ขนาด 1x3x4 นิ้ว - ตัวอย่างที่เหลือจากการวิเคราะห์เคมี - ตัวอย่างหินที่ตัดศึกษาแผ่นหินบาง/ขัดมัน ขนาด 1x3x4 นิ้ว (ถ้ามี) และแผ่นหินบาง/ขัดมัน
2.2.1 (2) สำรวจธรณีเคมีขั้นตอนที่สอง			
- เก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ	-	- แผนที่แสดงจุดเก็บและหมายเลขตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ จุดเลียงตัวอย่างแร่หนัก และจุดเก็บตัวอย่างดิน บนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:10,000 - บันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ	- ตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ ที่เตรียมไว้สำหรับวิเคราะห์เคมี (ส่วนที่ 2)
- เลียงเก็บตัวอย่างแร่หนัก และตรวจสอบตัวอย่างแร่หนัก	- ตารางแสดง (1) ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง และ (2) สรุปผลการตรวจสอบตัวอย่างแร่หนัก	- บันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างแร่หนัก - ข้อมูลผลการศึกษาแร่หนัก	- ตัวอย่างแร่หนักจากการสำรวจ - ตัวอย่างแร่หนักที่ได้จากการศึกษา
- เก็บตัวอย่างดิน	-	- บันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างดิน	-

26 ส.ค. 2544

กิจกรรม (ลำดับหัวข้อตามส่วนที่สอง)	งานที่ต้องส่งมอบ		
	รายงาน แผนที่สีและข้อมูลที่ใช้ประกอบรายงาน	ผลิตภัณฑ์อื่น (ข้อมูลดิบ แผนที่สีหรือขาวดำที่ใช้ปฏิบัติงาน ฯลฯ)	ตัวอย่างจากการสำรวจ
- เก็บตัวอย่างดินที่ผุพังจากชั้นหินดานในระดับลึก (1 - 5 เมตร)	-	- บันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างดินที่ผุพังจากชั้นหินดานในระดับลึก	-
- วิเคราะห์เคมี	- ตารางแสดง (1) ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง และ (2) สรุปผลวิเคราะห์เคมี	- ข้อมูลผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่รับรองโดยบริษัทวิเคราะห์เคมี	ตัวอย่างที่เหลือจากการวิเคราะห์เคมี
- รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	- แผนที่แสดงพื้นที่ศักยภาพทางธรณีเคมีรวม มาตราส่วน 1:10,000 ซึ่งแสดงผลในรูปแบบ composite geochemical contour map	- แผนที่แสดงค่าปริมาณธาตุของแต่ละธาตุที่ระดับต่าง ๆ กันทุกธาตุ (แผ่นละไม่เกิน 2 ธาตุ) โดยมีข้อมูลทางสถิติของปริมาณธาตุแต่ละธาตุ มาตราส่วน 1:10,000 - แผนที่แสดงผลการศึกษาตัวอย่างแร่หนัก	-
2.2.2 ประเมินผลการสำรวจขั้นตอนที่สอง และวางแผนงานสำรวจขั้นตอนที่สาม	- แผนที่ศักยภาพแร่ หรือแหล่งแร่ของการสำรวจในภาคสนามทุกชนิดในขั้นตอนที่สองในมาตราส่วน 1:10,000	- ต้นร่างรายงานผลการสำรวจขั้นตอนที่สอง - แฟ้มหรือกล่องรวบรวมผลิตภัณฑ์อื่นที่ได้จากการสำรวจและการศึกษาข้อมูลทั้งหมด - กล่องใส่ตัวอย่าง - สมุดใส่ภาพถ่าย - แผนที่แสดงแนวสำรวจสำหรับการสำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ขั้นตอนที่สาม และจุดเก็บตัวอย่างสำหรับการสำรวจธรณีเคมีขั้นตอนที่สาม บนแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:5,000	-
2.2.3 เสนอผลงานสำรวจขั้นตอนที่สองในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์		- เสนอผลงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ทันที (interactive) โดยประกอบด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ ในมาตราส่วน 1:10,000 และข้อมูลเชิงอรรถ ของข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้ คือ แผนที่ธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ที่ได้จากการสำรวจ พื้นที่ศักยภาพที่ได้จากการสำรวจธรณีเคมี และการแปลความหมายรวมตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์เคมี และผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแนวสำรวจและจุดเก็บตัวอย่างที่จะดำเนินการในการสำรวจขั้นตอนที่สาม	
2.2.4 จัดทำรายงานและแผนที่ผลการสำรวจขั้นตอนที่สอง	- รายงานผลการสำรวจขั้นตอนที่สอง ซึ่งมีแผนที่และข้อมูลประกอบ ตามที่กำหนดทั้งหมด จำนวน 15 ชุด	- ข้อมูล digital ประกอบด้วย (1) ข้อมูลรายงานซึ่งบันทึกด้วยโปรแกรม Microsoft Words (2) ข้อมูลแผนที่ในรูปแบบ GIS (3) ข้อมูลที่ใช้เป็นฐานข้อมูลหรือข้อสนเทศทั่วไปในรูปแบบ Microsoft Access	-

26 ส.ค. 2544

เอกสารหมายเลขสาม

งานที่จะต้องส่งมอบสำหรับงานสำรวจขั้นตอนที่สาม

ในงานสำรวจขั้นตอนที่สาม ผู้รับจ้างจะต้องส่งมอบงาน ดังต่อไปนี้

กิจกรรม (ลำดับหัวข้อตามส่วนที่สอง)	งานที่ต้องส่งมอบ		
	รายงาน แผนที่สีและข้อมูลที่ใช้ประกอบรายงาน	ผลิตภัณฑ์อื่น (ข้อมูลดิบ แผนที่สีหรือขาวดำที่ใช้ปฏิบัติงาน ฯลฯ)	ตัวอย่างจากการสำรวจ
2.3.1 (1) งานสำรวจธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ขั้นตอนที่สาม			
- สำรวจและเก็บตัวอย่างหิน/แร่ ในสนาม และวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ	- ตารางสรุปผลวิเคราะห์แผ่นหินบาง - ตารางแสดง (1) ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง (2) ชนิดหิน/แร่ พร้อมคำอธิบายโดยย่อ และ (3) ผลการวิเคราะห์เคมี	- แผนที่แสดงข้อมูลธรณีวิทยาแหล่งแร่ของพื้นที่ศักยภาพแร่แต่ละพื้นที่ อย่างน้อยประกอบด้วย (1) แนวสำรวจข้อมูลในสนาม (2) ข้อมูลธรณีวิทยาแหล่งแร่ในสนาม และ (3) จุดเก็บตัวอย่างหินหรือแร่ แสดงบนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1: 5,000 - บันทึกข้อมูลธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ การเก็บตัวอย่างหิน/แร่ และภาพถ่าย - ข้อมูลการศึกษาแผ่นหินบางและแผ่นหินขัดมันที่รับรองโดยผู้ศึกษา - ข้อมูลผลการวิเคราะห์เคมีของตัวอย่าง ที่รับรองโดยบริษัทวิเคราะห์เคมี	- ตัวอย่างหิน/แร่จากการสำรวจ ขนาด 1x3x4 นิ้ว - ตัวอย่างที่เหลือจากการวิเคราะห์เคมี - ตัวอย่างหินที่ตัดศึกษาแผ่นหินบาง/ขัดมัน ขนาด 1x3x4 นิ้ว (ถ้ามี) และแผ่นหินบาง/ขัดมัน
- รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	- แผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:5,000 แสดง (1) ข้อมูลการเทียบเคียงหน่วยหิน พร้อมคำบรรยายโดยย่อของหน่วยหินในพื้นที่สำรวจ (2) โครงสร้างทางธรณีวิทยา (3) ภาพตัดขวางอย่างน้อย 2 แนว พร้อมคำอธิบายสัญลักษณ์ที่ครบถ้วนชัดเจน	-	-
2.3.1 (2) สำรวจธรณีเคมีขั้นตอนที่สาม			
- การเก็บตัวอย่างดินตามแนวสำรวจและวิเคราะห์เคมี	- ตารางแสดง (1) ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง และ (2) สรุปผลวิเคราะห์เคมี	- แผนที่แสดงจุดเก็บและหมายเลขตัวอย่างดิน บนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:5,000 - บันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างดิน - ข้อมูลผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่รับรองโดยบริษัทวิเคราะห์เคมี	- ตัวอย่างดินที่เหลือจากการวิเคราะห์เคมี

26 ส.ค. 2544

กิจกรรม (ลำดับหัวข้อตามส่วนที่สอง)	งานที่ต้องส่งมอบ		
	รายงาน แผนที่สีและข้อมูล ที่ใช้ประกอบรายงาน	ผลิตภัณฑ์อื่น (ข้อมูลดิบ . แผนที่สีหรือขาวดำที่ใช้ปฏิบัติงาน ฯลฯ)	ตัวอย่าง จากการสำรวจ
- รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	- แผนที่แสดงพื้นที่ศักยภาพทางธรณีเคมีรวม มาตราส่วน 1:5,000 โดยแสดงผลในรูปแบบ composite geochemical contour map	- แผนที่แสดงค่าปริมาณธาตุของแต่ละธาตุที่ระดับต่าง ๆ กันทุกธาตุ (แผ่นละไม่เกิน 2 ธาตุ) โดยมีข้อมูลทางสถิติ ของปริมาณธาตุแต่ละธาตุ มาตราส่วน 1:5,000	–
2.3.1 (3) สำรวจธรณีฟิสิกส์			
- สำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กโลก (magnetic) - สำรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไทม์โดเมน (time-domain electromagnetic) - สำรวจวัดค่าความเหนี่ยวนำโพลาไรเซชั่น (induced polarization : IP) - สำรวจวัดค่าความโน้มถ่วงโลก (gravity) - สำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก (resistivity sounding) - สำรวจวัดคลื่นไหวสะเทือนชนิดคลื่นหักเห (refraction seismic)	- แผนที่แสดงผลการสำรวจแต่ละวิธีโดยแสดง (1) ผลการแปลความหมายข้อมูล (2) ขอบเขตพื้นที่ศักยภาพทางแร่ บนแผนที่มาตราส่วน 1:5,000	- ข้อมูลการสำรวจแต่ละวิธีในระบบ digital - ข้อมูลการสำรวจแต่ละวิธีในรูปแผนที่ และภาพตัดขวางบนแนวสำรวจรวมทั้งแฟ้มข้อมูลคอมพิวเตอร์ ที่ได้จากขบวนการประมวลผล เพิ่มประสิทธิผล และแปลความหมาย ซึ่งสามารถใช้ได้ใน software ทางธรณีวิทยาทั่ว ๆ ไป เช่น Geosoft	
- รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมายรวม	- แผนที่แสดง (1) ผลการแปลความหมายข้อมูลรวม (2) ขอบเขตพื้นที่ศักยภาพทางแร่ บนแผนที่มาตราส่วน 1:5,000	- แฟ้มข้อมูลคอมพิวเตอร์ที่ได้จากการประมวลผลและแปลความหมายข้อมูลรวม	
2.3.1 (4) ขุดหลุมและคูทดลอง			
- ขุดหลุมทดลองและเก็บตัวอย่างหิน/แร่	–	- แผนที่แสดงตำแหน่งหลุมทดลองในแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:5,000 - ภาพตัดขวางแสดงการลำดับชั้นดิน/หินในแนวดิ่ง (vertical profiles) - บันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างหิน/แร่	–
- ขุดคูทดลองและเก็บตัวอย่างหิน/แร่	–	- แผนที่แสดงตำแหน่งคูทดลองในแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:5,000 - ภาพตัดขวางแสดงการลำดับชั้นดิน/หินในแนวขวาง (lateral profiles) - บันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างหิน/แร่	–
- วิเคราะห์เคมี	- ตารางแสดง (1) ตำแหน่งเก็บตัวอย่างและ (2) สรุปผลวิเคราะห์เคมี	- ข้อมูลผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่รับรองโดยบริษัทวิเคราะห์เคมี	ตัวอย่างที่เหลือจากการวิเคราะห์เคมี
- รวบรวมข้อมูล ประมวลผลและแปลความหมาย	- แผนที่และรูปแสดงผลการศึกษาของหลุมและคูทดลอง	- ภาพตัดขวางในแนวตั้งและแนวนอน แสดงผลวิเคราะห์เคมีของแต่ละธาตุที่ระดับต่าง ๆ	–

26 ส.ค. 2544

กิจกรรม (ลำดับหัวข้อตามส่วนที่สอง)	งานที่ต้องส่งมอบ		
	รายงาน แผนที่สีและข้อมูลที่ใช้ประกอบรายงาน	ผลิตภัณฑ์อื่น (ข้อมูลดิบ แผนที่สีหรือขาวดำที่ใช้ปฏิบัติงาน ฯลฯ)	ตัวอย่างจากการสำรวจ
		กันทุกธาตุ (แผ่นละไม่เกิน 2 ธาตุ)	
2.3.2 ประเมินผลการสำรวจขั้นตอนที่สาม และวางแผนการเจาะสำรวจ	- แผนที่ศักยภาพแร่ หรือแหล่งแร่ของการสำรวจในภาคสนามทุกชนิดในขั้นตอนที่สามในมาตราส่วน 1:5,000 พร้อมทั้งตำแหน่งที่จะเจาะสำรวจ (ถ้ามี)	- ต้นร่างรายงานผลการสำรวจขั้นตอนที่สาม - แฟ้มหรือกล่องรวบรวมผลิตภัณฑ์อื่นที่ได้จากการสำรวจและการศึกษาข้อมูลทั้งหมด - กล่องใส่ตัวอย่าง - สมุดใส่ภาพถ่าย - แผนที่แสดงตำแหน่งที่จะทำการเจาะสำรวจบนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:5,000	–
2.3.3 เสนอผลงานสำรวจขั้นตอนที่สามในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	–	- เสนอผลงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ทันที (interactive) โดยประกอบด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ ในมาตราส่วน 1:5,000 และข้อมูลเชิงอรรถ ของข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้ คือ แผนที่ธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ที่ได้จากการสำรวจ พื้นที่ศักยภาพที่ได้จากการสำรวจธรณีเคมี ธรณีฟิสิกส์ และการแปลความหมายรวม ตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่าง ตำแหน่งที่ทำการขุดหลุม คู แนวสำรวจธรณีฟิสิกส์ ผลการวิเคราะห์เคมี และผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตำแหน่งที่จะทำการเจาะสำรวจ	
2.3.4 จัดทำรายงานและแผนที่ผลงานสำรวจขั้นตอนที่สาม	- รายงานผลการสำรวจขั้นตอนที่สาม ซึ่งมีแผนที่และข้อมูลประกอบ ตามที่กำหนดทั้งหมด จำนวน 15 ชุด	- ข้อมูล digital ประกอบด้วย (1) ข้อมูลรายงานซึ่งบันทึกด้วยโปรแกรม Microsoft Words (2) ข้อมูลแผนที่ในรูปแบบ GIS (3) ข้อมูลที่ใช้เป็นฐานข้อมูลหรือข้อสนเทศทั่วไปในรูปแบบ Microsoft Access	–

2 6 ต.ค. 2544

เอกสารหมายเลขสี่

งานที่จะต้องส่งมอบสำหรับงานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ

ในงานเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ ผู้รับจ้างจะต้องส่งมอบงาน ดังต่อไปนี้

กิจกรรม (ลำดับหัวข้อตามส่วนที่สอง)	งานที่ต้องส่งมอบ		
	รายงาน แผนที่สีและข้อมูลที่ใช้ประกอบรายงาน	ผลิตภัณฑ์อื่น (ข้อมูลดิบ แผนที่สีหรือขาวดำที่ใช้ปฏิบัติงาน ฯลฯ)	ตัวอย่างจากการสำรวจ
2.4.1 (1) เจาะเก็บแท่งตัวอย่างภายในขอบเขตแหล่งแร่	–	- ลังบรรจุแท่งตัวอย่างหิน - รูปถ่ายแท่งตัวอย่าง	- แท่งตัวอย่างหิน
2.4.1 (2) (3) และ (4) วิเคราะห์และศึกษาตัวอย่างที่ได้จากการเจาะสำรวจ			
- เตรียมตัวอย่าง และวิเคราะห์ตัวอย่างทางเคมี	- ตารางแสดง (1) ความลึกที่เก็บตัวอย่างและ (2) สรุปผลวิเคราะห์เคมี	- ข้อมูลผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่รับรองโดยบริษัทวิเคราะห์เคมี	- แท่งตัวอย่างหินที่เตรียมไว้สำหรับวิเคราะห์เคมี
- ศึกษาแผ่นหินบาง (thin section) หรือแผ่นหินขัดมัน (polished section)	- ตารางแสดง (1) ความลึกที่เก็บตัวอย่างและ (2) สรุปผลวิเคราะห์แผ่นหินบางหรือแผ่นหินขัดมัน	- ข้อมูลการศึกษาแผ่นหินบางหรือแผ่นหินขัดมันที่รับรองโดยผู้ศึกษา	- ตัวอย่างที่เหลือจากการวิเคราะห์เคมี - แผ่นหินบางและแผ่นหินขัดมัน
2.4.2 เจาะสำรวจด้วยเครื่องเจาะบังก้า			
- เจาะสำรวจและเก็บตัวอย่าง	–	- แผนที่แสดงตำแหน่งหลุมเจาะในแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:5,000 - ภาพตัดขวางแสดงการลำดับชั้นดิน/หินในแนวดิ่ง (vertical profiles) - บันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างหิน/แร่	–
- ตรวจสอบตัวอย่างแร่หนัก	- ตารางแสดง (1) ตำแหน่งเก็บตัวอย่างและ (2) สรุปผลการตรวจสอบตัวอย่างแร่หนัก	- บันทึกข้อมูลการเก็บตัวอย่างแร่หนัก - ข้อมูลผลการศึกษาแร่หนัก	- ตัวอย่างแร่หนักจากการสำรวจ - ตัวอย่างแร่หนักที่ได้จากการศึกษา
2.4.3 ประเมินคุณภาพและปริมาณแร่สำรองของแหล่งแร่	- แผนที่ภาพตัดขวางแสดงผลการเจาะสำรวจ (lithologic log) - แผนที่และรูปแสดงผลการศึกษาของ	- แผนที่แสดงค่าปริมาณธาตุของแต่ละธาตุที่ระดับต่างๆ กันทุกธาตุ โดยมีข้อมูลทางสถิติของปริมาณธาตุแต่ละธาตุ	–

26 มี.ค. 2544

กิจกรรม (ลำดับหัวข้อตามส่วนที่สอง)	งานที่ต้องส่งมอบ		
	รายงาน แผนที่สีและข้อมูลที่ใช้ประกอบรายงาน	ผลิตภัณฑ์อื่น (ข้อมูลดิบ แผนที่สีหรือขาวดำที่ใช้ปฏิบัติงาน ฯลฯ)	ตัวอย่างจากการสำรวจ
	หลุมบังก้า - แผนที่แหล่งแร่แสดงรูปร่างของแหล่งแร่ในรูป 3 มิติ	- ภาพตัดขวางในแนวตั้งและแนวนอนแสดงผลการตรวจสอบตัวอย่างแร่หนัก - แฟ้มหรือกล่องรวบรวมผลิตภัณฑ์จากการเจาะสำรวจและการศึกษาข้อมูล - สมุดใส่ภาพถ่าย	
2.4.4 จัดทำรายงานและแผนที่ผลการเจาะสำรวจและประเมินศักยภาพ	- รายงานผลการเจาะสำรวจ ซึ่งมีแผนที่และข้อมูลประกอบตามที่กำหนดทั้งหมด จำนวน 15 ชุด	- ข้อมูล digital ประกอบด้วย (1) ข้อมูลรายงานซึ่งบันทึกด้วยโปรแกรม Microsoft Words (2) ข้อมูลแผนที่ในรูปแบบ GIS (3) ข้อมูลที่ใช้เป็นฐานข้อมูลหรือข้อสนเทศทั่วไปในรูปแบบ Microsoft Access	-
2.4.5 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์	- รายงานฉบับสมบูรณ์ของผลงานสำรวจทั้งสี่ขั้นตอน ซึ่งมีแผนที่และข้อมูลประกอบตามที่กำหนดทั้งหมด จำนวน 15 ชุด	- ข้อมูล digital ประกอบด้วย (1) ข้อมูลรายงานซึ่งบันทึกด้วยโปรแกรม Microsoft Words (2) ข้อมูลแผนที่ในรูปแบบ GIS (3) ข้อมูลที่ใช้เป็นฐานข้อมูลหรือข้อสนเทศทั่วไปในรูปแบบ Microsoft Access	-
2.4.6. จัดทำรายงานสรุปสำหรับผู้บริหารฉบับภาษาไทย และฉบับภาษาอังกฤษ	- รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร ฉบับภาษาไทย และฉบับอังกฤษ จำนวนอย่างละ 15 ชุด รวม 30 ชุด	- ข้อมูล digital ประกอบด้วย (1) ข้อมูลรายงานซึ่งบันทึกด้วยโปรแกรม Microsoft Words (2) ข้อมูลแผนที่ในรูปแบบ GIS (3) ข้อมูลที่ใช้เป็นฐานข้อมูลหรือข้อสนเทศทั่วไปในรูปแบบ Microsoft Access	-

2 6 มี.ค. 2544

เอกสารประกอบการฝึกอบรม

"เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่"

เรื่อง

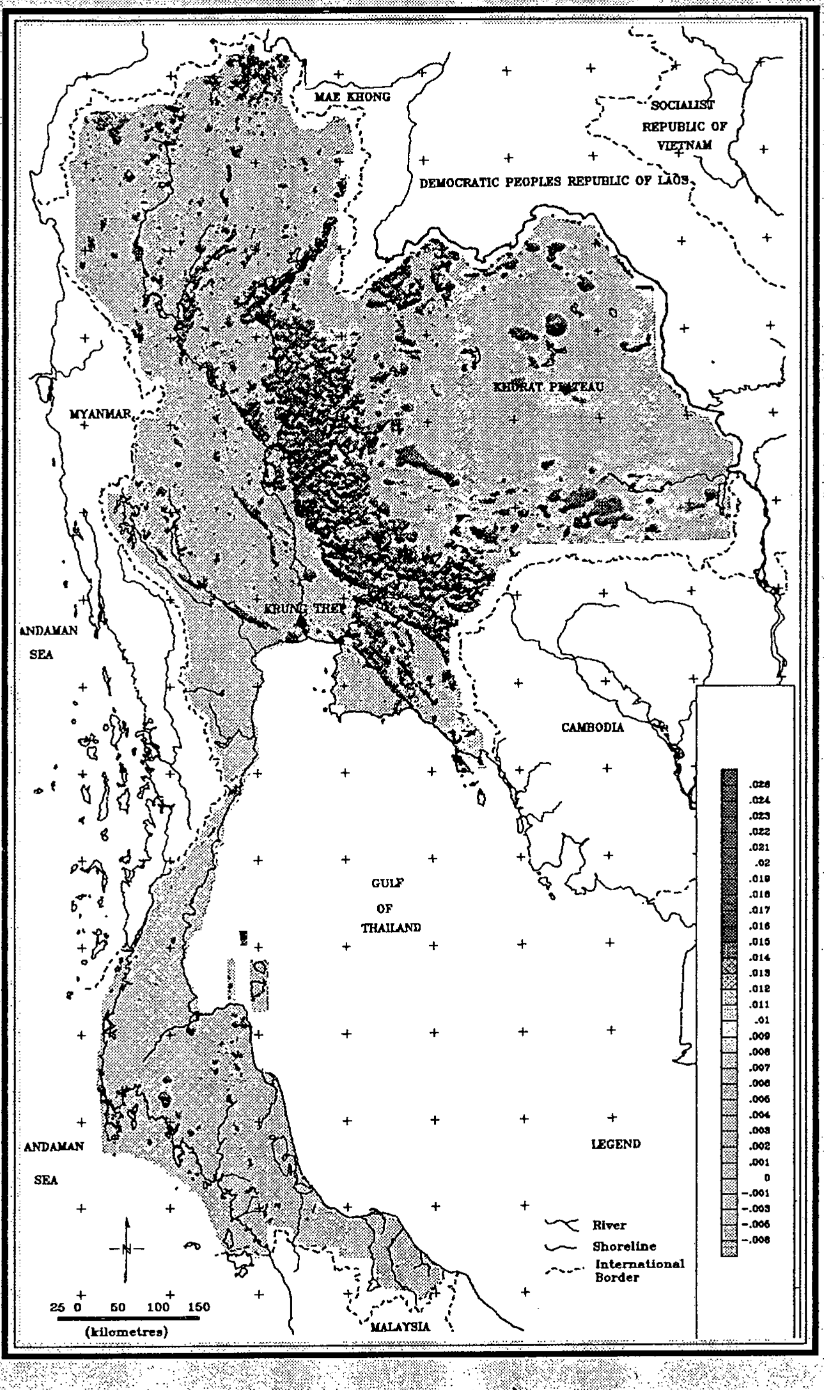
การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ

โดย

จรินทร์ ตุลยาทิตย์

ฝ่ายธรณีฟิสิกส์

กองเศรษฐธรณีวิทยา



การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ: MAGNETIC NOTE

รวบรวมโดย จรินทร์ ตุลยาทิตย์

การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ: การวัดความเข้มสนามแม่เหล็กโลก

รวบรวมโดย จรินทร์ ตุลยาทิตย์

วิธีการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศและการประยุกต์ใช้

1 บทนำ

1.1 ธรณีฟิสิกส์ Geophysics คืออะไร?

ธรณีฟิสิกส์ : คือ วิทยาศาสตร์ของการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของโลกและชั้นบรรยากาศ
ธรณีฟิสิกส์ประยุกต์ (Applied Geophysics): คือ วิทยาศาสตร์ของการวัดและวิเคราะห์กระบวนการทางภายภาพของโลก และชั้นบรรยากาศสำหรับ การทำแผนที่และการสำรวจ

1.2 บทบาทของธรณีฟิสิกส์ต่อการสำรวจทำแผนที่ธรณีวิทยาและการสำรวจ

1. ให้มิติที่ 3 ของการทำ surface mapping/sampling
2. ช่วยในการทำแผนที่หิน, โครงสร้าง, alteration ฯลฯ ที่ซ่อนอยู่ใต้ชั้นดิน (overburden) หรือน้ำ
3. ตรวจจับการเปลี่ยนของแร่, alteration ฯลฯ ที่ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า
4. ช่วยให้การทำแผนที่และการสำรวจเป็นไปได้เร็วขึ้นจากการบินสำรวจและตรวจวัดภาคพื้นดิน

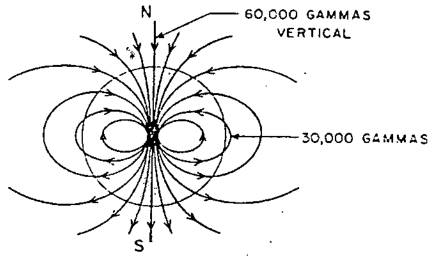
1.3 ระดับการสำรวจ และ Geophysical Inputs

SEQUENCE	GEOPHYSICAL INPUTS
1. Conceptual: สร้าง model เพื่อช่วยในการตัดสินใจ	คุณสมบัติทางกายภาพ, modelling case histories, Test surveys
2. Regional mapping: การทำแผนที่ ศึกษาสภาพแวดล้อมของพื้นที่	Regional aeromag / radiometric Qualitative and Quantitative Interp. Area selection
3. Medium-scale Exploration: delineation of targets	AEM/mag/rad surveys. Qualitative & quantitative interpretation. Target selection
4. Detailed Exploration: target study, evaluation, prioritisation	Ground EM/Mag/IP/gravity etc, interpretation, modelling, drill recommendation.
5&6Providing&Development: drilling, sampling feasibility studies	Logging, re-interpretation 3-D surveys, mise-a-la-masse.

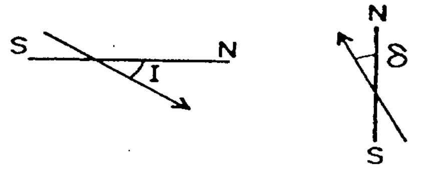
2 วิธีการทางสนามแม่เหล็ก (MAGNETIC METHOD).

2.1 Principle.

1. The magnetic field of the earth
- ถ้า crust และ mantle ไม่เป็นสารแม่เหล็กค่า total field ที่วัดได้ที่ผิวโลก จะเป็นค่า total field ที่ smooth, regional component ซึ่งเราเรียกสนามแม่เหล็กนี้ว่า "International Geomagnetic Reference Field" (IGRF)

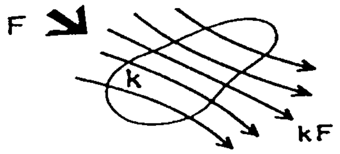


- มุมที่สนามแม่เหล็กโลก ทำกับเส้นแนวนอนในระนาบตั้ง เรียกว่า **Inclination (I)** ของสนามแม่เหล็ก สำหรับประเทศไทยมีค่า Inclination ประมาณ -8 องศา ถึง +25 องศา
- มุมที่สนามแม่เหล็กโลก ทำกับทิศเหนือจริง ในระนาบนอน เรียกว่า **Declination (D)** ของสนามแม่เหล็กในประเทศไทย มีค่าประมาณ <1 องศา



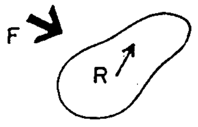
2) การเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Induced magnetization)

การเหนี่ยวนำแม่เหล็ก เป็นผลมาจากความเข้มของสนามแม่เหล็กข้างเคียง (F) และ susceptibility (k) ของหิน ค่านี้จะหายไปถ้าดึงเอาสนามแม่เหล็กออก มันจะมีทิศทางเดียวกันกับการวางตัวของทิศทางสนามแม่เหล็กโลก



3. การเป็นแม่เหล็กตกค้าง (**Remament magnetization**)

การเป็นแม่เหล็กตกค้าง เป็นคุณสมบัติโดยธรรมชาติของหินบางชนิด ไม่ขึ้นกับ F โดยการเป็นแม่เหล็กยังคงมีอยู่แม้จะเอา F ออกไป ทิศทางของมันจึงไม่ขึ้นกับค่าสนามแม่เหล็กโลก



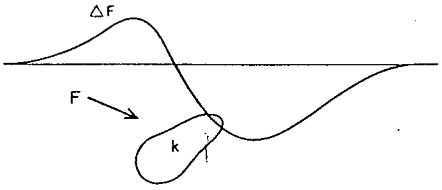
4. ค่าผิดปรกติทางสนามแม่เหล็ก(**Magnetic Anomalies, ΔF**)

ค่าผิดปรกติแม่เหล็ก (ΔF) คือค่าการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้ของสนามแม่เหล็กโลก (F) ที่เกิดจากการมีการเกิดแม่เหล็กเหนี่ยวนำ (induced magnetization; kF) และการเกิดแม่เหล็กถาวร (ตกค้าง) (remanent magnetization; R)

ความเข้ม(แรง)ของค่าผิดปกตินี้ ขึ้นอยู่กับ susceptibility, remanence, ขนาด & รูปร่างของ magnetic body หรือหิน BF (Body Factor) และระยะห่างจาก body (Distance Factor; DF)

ทิศทางของค่าสนามผิดปกตินี้ เปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับ magnetic body และระยะทางจาก body

ความแรงและทิศทางของค่าผิดปรกติสนามแม่เหล็กสามารถใช้คำนวณ(โดยคอมพิวเตอร์) ตาม profile หรือ จาก2-D grids ในการหารูปร่าง ตำแหน่งและคุณสมบัติทางกายภาพของ magnetic body กระบวนการดังกล่าวเรียกว่าMODELLING



2.2 คุณสมบัติในการเป็นแม่เหล็กของหิน (**Magnetic Susceptibility of Rocks**)

Magnetic susceptibility ของหิน โดยปกติแล้ว ขึ้นอยู่กับ Volume percentage ของ Magnetite (Fe_3O_4) ที่มีอยู่ในหิน ค่าโดยประมาณ คือ

K = 0.0025 x % magnetite หรือ

$\%Fe_3O_4$ = 400 x K

pyrrhotite แม้ว่าจะเป็นแร่แม่เหล็กอันดับสอง แต่มีค่า susceptibility เท่ากับ 1 ใน 10 ของ magnetite เช่นในบางกรณี

K = 0.000025 x % pyrrhotite

ilmenite, maghemite titanomagnetite เป็นแร่ที่มีความสำคัญทาง magnetic anomaly น้อยลงไปอีก

ferromagnesian minerals (e.g. amphiboles & pyroxene) ไม่มีผลต่อ susceptibility หรือ remanence

mafic rocks มักมีแร่ magnetite สูงกว่า felsic rocks ดังนั้นจึงมี magnetic susceptibility สูงกว่า

ช่วงของค่า susceptibilities ของหินต่าง ๆ นั้น ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหลังการเกิดหิน ส่วนใหญ่ได้แก่ metamorphism และ alteration แม้แต่ในตัวหินเอง เช่น felsic intrusive & extrusive, ค่าปริมาณแร่magnetite มีค่าไม่แน่นอน(vary มาก)

แร่ magnetite มักจะเปลี่ยนไปเป็นแร่ silicates ในช่วงต้นของกระบวนการแปรสภาพ (metamorphism)

ตัวอย่าง หินแปร greenschist facies ตามปกติจะมีค่า susceptibility ที่ต่ำกว่าหินต้นกำเนิด

Secondary magnetite มักเกิดขึ้นในช่วง amphibolite facies metamorphism และจะแรงขึ้นใน granulite facies.

มีบ่อยครั้ง ที่สามารถจะแบ่งแยก metamorphic facies ด้วย magnetic relief แม้ว่าจะยังไม่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของทั้งสองอย่างโดยตรงก็ตาม

ในระหว่างการเกิด alteration กระบวนการ oxidation (ทั้งใน hydrothermal supergene) มีอิทธิพลอย่างมากต่อ magnetic susceptibility ในตอนแรก magnetite จะถูกเปลี่ยนไป เป็น hematite, แล้วจากนั้นภายใต้เงื่อนไขบางประการ เปลี่ยน เป็น limonite จากผลดังกล่าว mojor faults และ shear zones จึงมักจะให้ magnetic lows ใน crystalline rocks.

2.3 การเป็นแม่เหล็กตกค้างในหิน (**Remanence of Rocks**)

Remanence คือ ค่าอัตราส่วนของ remanent กับ induced magnetizatn

Q = R / Kf

Q คือ Koenigsberger ratio

ค่า Q ไม่ได้ขึ้นกับประเภทของหินนัก แต่ขึ้นกับอายุ และประวัติการแปรสภาพ โดยทั่วไป หินอายุ Precambrian จะให้ Q ต่ำ (น้อยกว่า 1) ในหิน Tertiary และ หินอายุอ่อน ค่า Q = 3 - 10 หรือมากกว่า

ทิศทางของ R ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับ ambient field ในระหว่างที่หินเย็นตัว (แข็งตัว) และบางส่วนขึ้นกับประวัติการถูกทำให้ร้อนขึ้นหรือเกิดการหลอมละลายอีก ที่อุณหภูมิ > Curie point ทำให้ทิศทางสนามแม่เหล็กตกค้างเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไป (ไม่เสมอไป) ไปในทิศทางของ ambient field

ทิศทางของ R สามารถใช้ร่วมกับ polar wandering chart ในการประมาณอายุของ crystallization หรือ recrystallization ของหิน

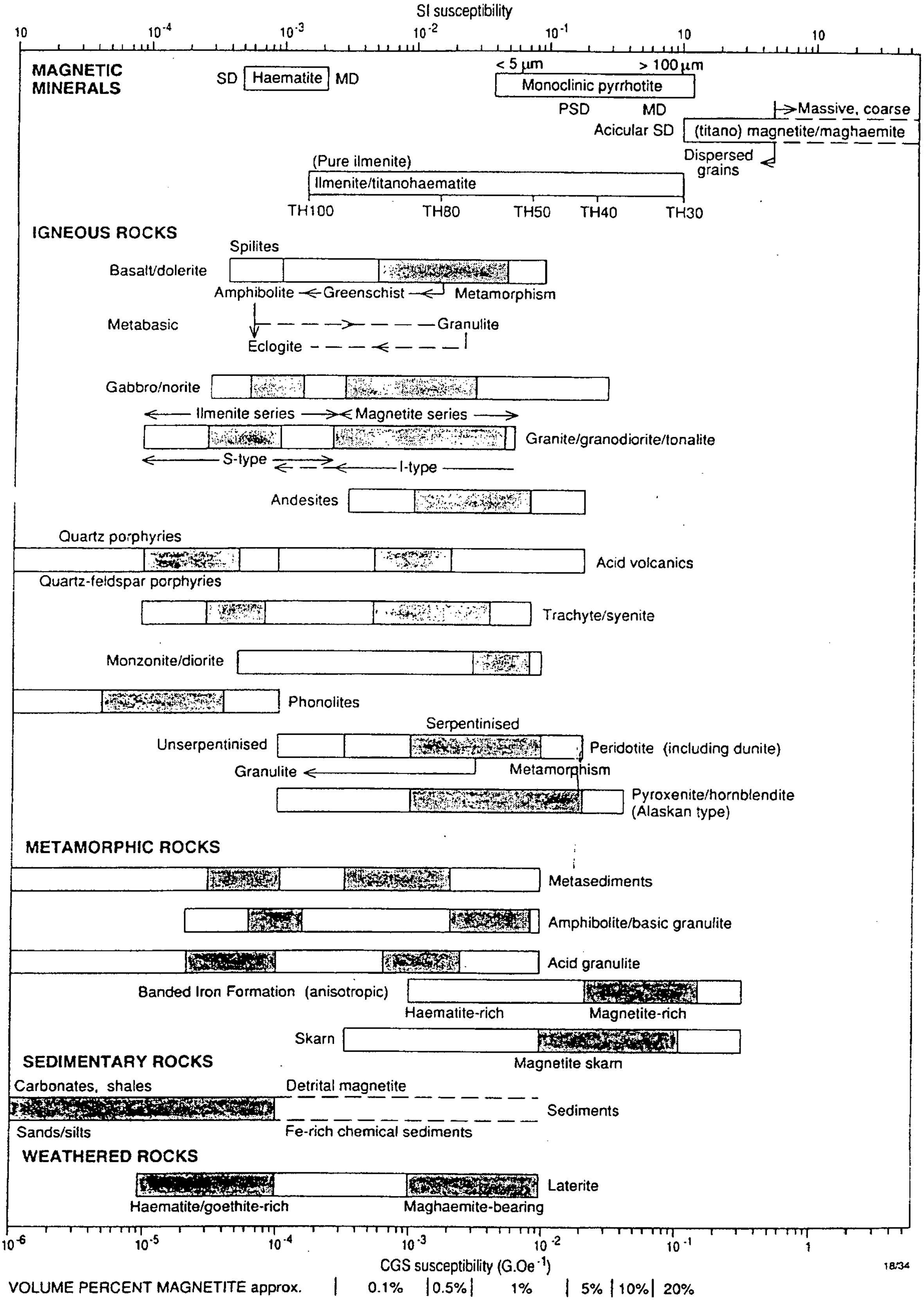
2.4 Instrumentation

1. Fluxgate

Accuracy:	ground 1-10 nT*
(*nanotesla; 1nT = 10-5 gauss)	
Advantage:	wide range continuous reading
Disadvantage:	mechanically fragile, needs orientation, subject to thermal drift.

ไม่ค่อยมีการใช้งานในการสำรวจในปัจจุบัน

รูปแสดงช่วงค่า susceptibility ของหินชนิดต่าง ๆ



2. Proton

Accuracy:	-ground 0.1 - 1 nT -airborne 0.01 - 0.1 nT
Advantages:	-self-orienting, -relatively simple, robust
Disadvantage:	-intermittent reading (0.2 - 1.0 s), -limited range without tuning, -measures total field only.

Used to be the main magnetometer used for airborne surveys in the 1970's and early 1980's. This is the most popular for ground surveys.

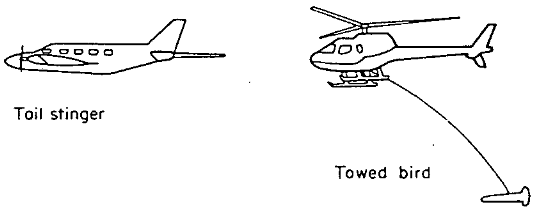
3. Optical pumping

Accuracy:	-ground 0.01 - 0.1 nT -airborne 0.005 - 0.05 nT
Advantages:	-wider range without tuning, -shorter sampling interval (0.1 s), -compatible with most ancillary instruments, (including AEM).
Disadvantage:	-expensive, -relatively fragile and complicated, -needs some orientation

The optical pumping magnetometer is superseding the proton magnetometer.

2.5 Platforms

1) Ground Surveys: hand-held, car-borne & marine.
2) Airborne Survey: fixed-wing & helicopter (stinger & bird)

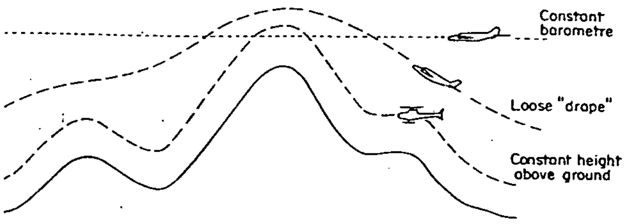


2.6 Ancillary Equipment (Airborne)

1. ระบบนำร่อง Navigation
   - ฟิล์มหรือวีดีโอเทปบันทึกแนวบินสำรวจ
   - Doppler
   - สถานีเรดาร์ หรือ UHF transponder
   - GPS หรือ DGPS (Differential Global Positioning System)
2. การบันทึกข้อมูล Data recording
   - Analogue chart
   - ระบบบันทึกข้อมูลตัวเลข
3. อุปกรณ์เสริม
   - VLF-EM
   - Gamma-ray spectrometer
   - AEM etc.

2.7 การออกแบบสำรวจ Survey Design

1. ความสูงในการบินสำรวจ Flying Height
   - คงที่เหนือภูมิประเทศ (Mean Terrain Clearance; MTC)
   - คงที่เหนือระดับทะเลปานกลาง หรือ ระดับความสูงบารอเมตริกคงที่
   - Loose drape



ความสูงในการสำรวจขึ้นอยู่กับ :

1.ชนิดของภูมิประเทศ (types of terrain)

2.วัตถุประสงค์ของการสำรวจ (purposes of the survey)

3.ระยะห่างระหว่างแนวบินสำรวจ (line spacing)

ความสูงไม่ควรน้อยกว่า 1/4 หรือ 1/3 ของ line spacing

ในการสำรวจหาน้ำมัน เป้าหมายคือการทำแผนที่ความลึกถึง magnetic basement ใต้ชั้นตะกอน จึงทำการบินสำรวจที่ระดับความสูงคงที่เหนือระดับทะเล

การสำรวจหาแร่มักบินเหนือบริเวณที่มีหินดานโผล่และมักเป็นภูเขาสูง ซึ่งให้ค่าตอบสนองทางแม่เหล็กสูง จึงมักทำการบินสำรวจที่ระดับความสูงคงที่เหนือระดับภูมิประเทศ เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากภูมิประเทศ และเพื่อตรวจวัดได้ค่าที่สนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพธรณีวิทยา จึงมักใช้เฮลิคอปเตอร์ในการบินสำรวจ

2. ระยะห่างระหว่างแนวบินสำรวจ Line Spacing

เนื่องจากการกำหนดระยะห่างระหว่างแนวบินสำรวจเกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายในการสำรวจ จึงต้องมีการวางแผนให้ประนีประนอมระหว่างให้ได้ข้อมูลที่ได้ประโยชน์สูงสุดภายในวงค่าใช้จ่ายที่จำกัด

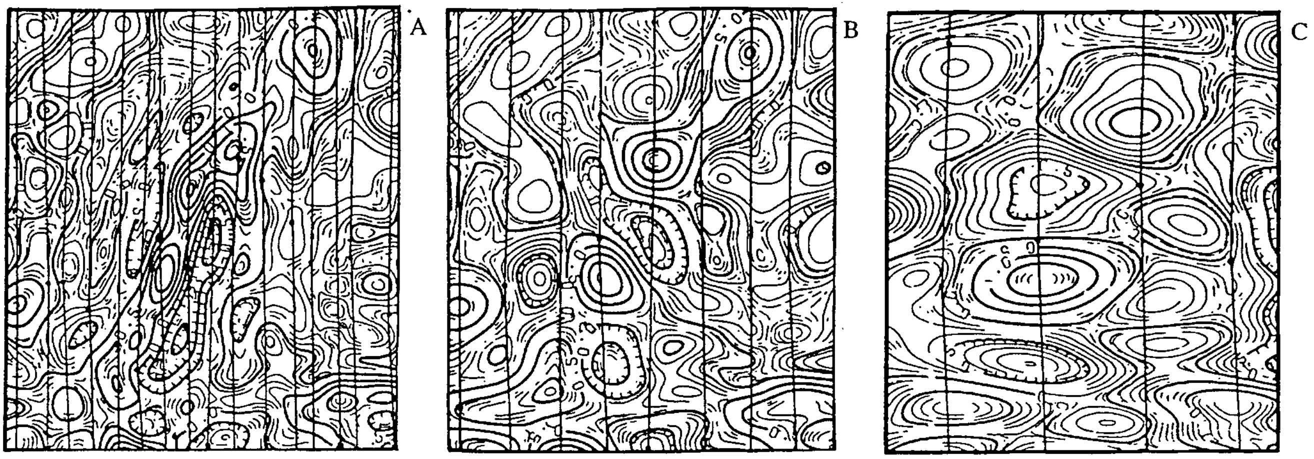
การเลือกระยะห่างระหว่างแนวบินสำรวจขึ้นอยู่กับ มาตราส่วนการทำแผนที่ที่ต้องการจากการบินสำรวจ หรือขึ้นกับขนาดของเป้าหมายของการสำรวจ

ตัวอย่าง:

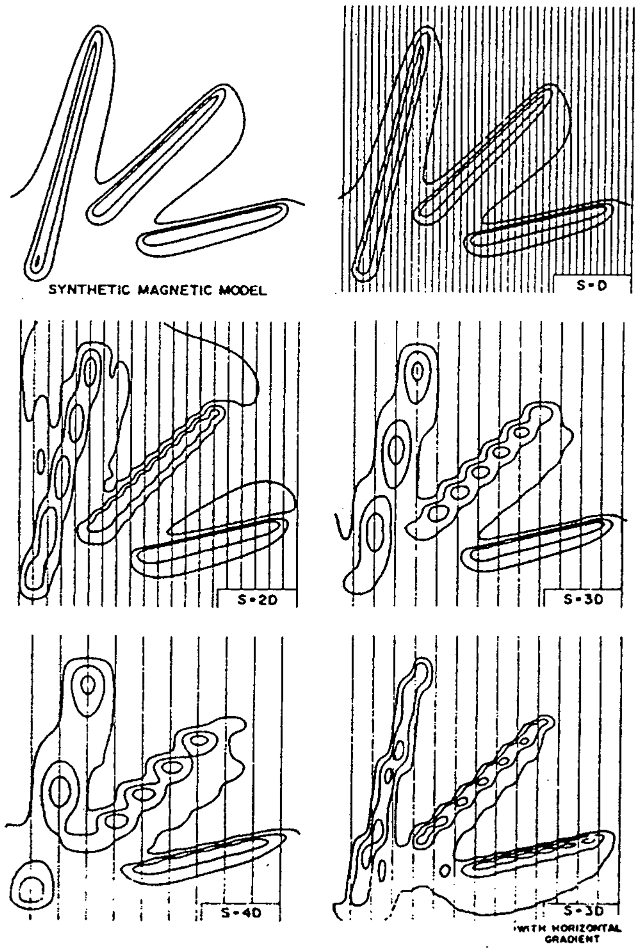
- Regional scale (>1:200,000) ประมาณ 2-4 ก.ม.
- Semi-detailed (1:25,000-1:100,000) 0.25-1 ก.ม.
- Detailed (<1:25,000) 100-250 ม.
- Ground Survey 50-100 ม.

the Rule of Thumb : ระยะห่างระหว่างแนวบินสำรวจ ควรมีขนาดประมาณ 1 ซ.ม. บนแผนที่มาตราส่วนที่ต้องการ

"Magnetic Basement" ที่คาดว่าจะเป็นตัวบ่งบอกถึงฐานของแอ่งสะสมตะกอนควร อยู่ที่ระดับความลึกมากกว่า 2 ก.ม. จึงจะเริ่มให้น้ำมันได้ เพื่อให้การศึกษาถึงแอ่งที่ลึกตั้งแต่ 2-3 ก.ม. ขึ้นไป จะต้องศึกษาจาก Anomaly ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 4 ก.ม. หรือมากกว่า ดังนั้นระยะห่างระหว่างแนวบินสำรวจนี้มักจะเลือกใช้คือ 2 กิโลเมตร



รูปแสดงการเปรียบเทียบ เส้นชั้นความเข้มสนามแม่เหล็ก (computer-contoured) ในพื้นที่ตะวันออกเฉียงใต้ของ Ontario ทำการบินที่ระดับความสูง 150 ม. ที่ระยะห่างระหว่างแนวสำรวจ: A = 150 ม.; B = 305 ม. และ C = 610 ม. (Hood et al., 1979)



รูปจำลองแสดงผลของระยะห่างระหว่างแนวสำรวจ (S) เทียบกับความสูงเหนือ magnetic source (D) ในการบินสำรวจ (Hogg, 1989)

3. ทิศทางการบินสำรวจ (Line direction)

ใช้ความรู้ทางธรณีวิทยาเพื่อหาแนวการวางตัวของโครงสร้างที่จะทำการสำรวจ บินในแนวตั้งฉากกับแนวโครงสร้าง เพื่อให้ได้ข้อมูลทางธรณีวิทยาสูงสุด หากโครงสร้างเปลี่ยนทิศทางการวางตัว ให้อะลุ่มอล่วยโดยบินในทิศทางที่ใกล้ตั้งฉากกับโครงสร้างมากที่สุด หรือแม้แต่จะต้องบินใน 2 ทิศทางก็ตาม

ในบริเวณ low latitude (ใกล้ศูนย์สูตรแม่เหล็ก) มักนิยมที่จะบินในแนว N-S เนื่องจากจะได้ความละเอียดของ anomaly ที่ดีกว่าหากโครงสร้างวางตัวในแนว N-S ก็ยังเลือกที่จะบินในแนว 45 องศา (ในบางกรณี) แทนการบินในแนว E-W

4. เส้นบินควบคุม (Tie-Line)

เส้นบินควบคุมบินตั้งฉากกับแนวบินสำรวจ เพื่อใช้ควบคุม diurnal variation ที่ทำให้ค่าสนามแม่เหล็กแปรเปลี่ยนขึ้นลงตามเวลา โดยการปรับค่าสนามแม่เหล็กของทั้งสองค่า ณ จุดตัดระหว่างเส้น tie&traverse(cross-over error;COE) หรือจะแก้ค่า Diurnal โดยใช้ผลที่บันทึก ณ base station ก่อน แล้วจึงทำ COE ก็จะให้ผลดีกว่า

ระยะห่างระหว่าง tie line ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของการ สำรวจ (ปรกติแล้วขนาดของ diurnal variation ที่บริเวณ ศูนย์สูตรแม่เหล็กจะน้อยที่สุด (ยกเว้นผลจาก electrojet) และที่ขั้วแม่เหล็กจะมากที่สุด) ระยะห่างแนวบินและความเร็วของเครื่องบิน regional survey มักเป็น 2-4 เท่าของระยะห่างแนวสำรวจ และ detailed survey (1:25,000) เป็น 5-10 เท่าของ line spacing

5. ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับระยะห่างแนวบิน (Rule of Thumb):

ระยะห่างแนวบิน = ความลึกของ source ใต้หัววัด

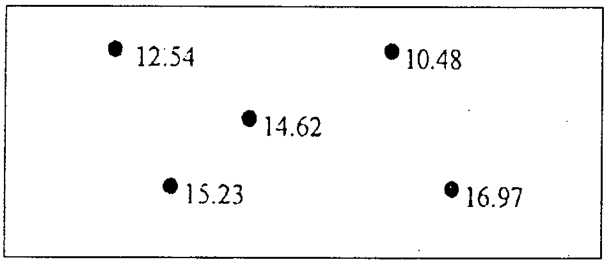
2.8 การประมวลผลและทำแผนที่

แผนที่สนามแรงโน้มถ่วงหรือแผนที่สนามแม่เหล็ก สามารถทำได้ใน 3 ลักษณะ คือแผนที่เส้นชั้นความเข้ม (contour map) แผนที่แสดงหน้าตัด (profile map) และแผนที่สี (colour image)

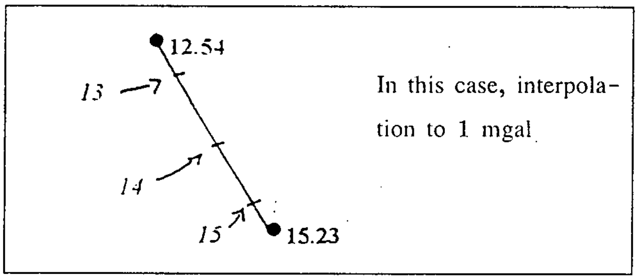
2.8.1 การสร้างเส้นชั้นระดับความเข้มด้วยมือ (hand contouring)

การลากเส้น contours ด้วยมือ แม้จะเป็นวิธีเก่า แต่จะช่วยให้เราเข้าใจถึงที่มาของค่าผิดปกติต่าง ๆ โดยมีขั้นตอนและข้อควรคำนึง ดังนี้

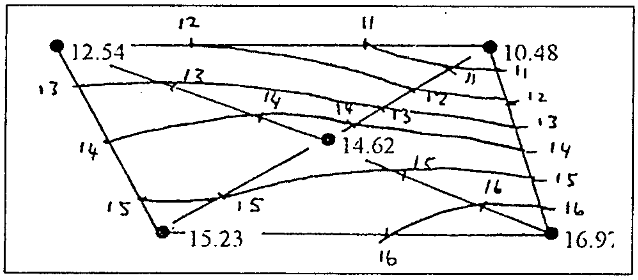
1. สร้างแผนที่พื้นฐาน ลงจุดสำรวจ พร้อมค่า (เช่นค่า bouguer anomaly)



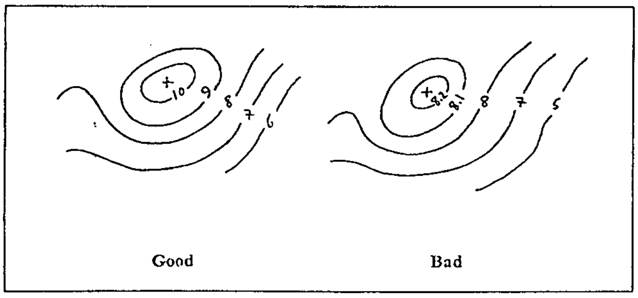
2. เฉลี่ยค่าระหว่างจุดเพื่อหาตำแหน่งเส้นชั้นระดับ(ความเข้ม)



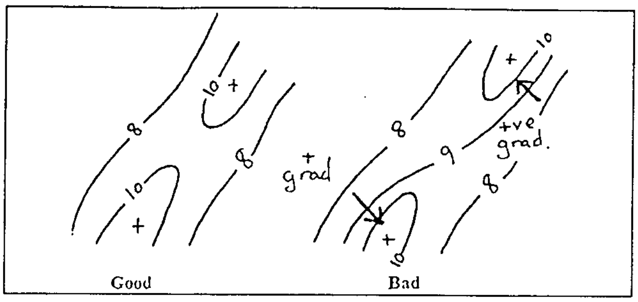
3. เฉลี่ยค่าเป็นรูปสามเหลี่ยม (triangulate) ระหว่างจุดข้อมูล



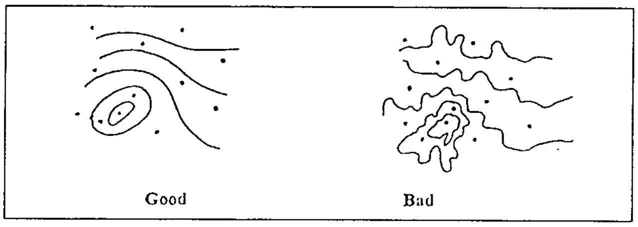
4. ค่าระหว่างเส้นชั้นระดับ ควรเป็นค่าที่ลงตัวและสม่ำเสมอ



5. ความชันของเส้นชั้นระดับควรเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ (consistent gradient across a contour)



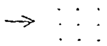
6. ส่วนโค้งของเส้นชั้นระดับควรเป็นไปอย่างสอดคล้องกับการกระจายตัวของจุดข้อมูล



7. ควรแสดงจุดตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดค่าเสมอ จะช่วยให้เราทราบและมั่นใจในกรณีที่มีค่าผิดปกติเกิดขึ้น ซึ่งถ้าค่าดังกล่าวมีจุดข้อมูลแสดงจริง ก็จะส่งผลให้การแปลความหมายถูกต้อง แต่อาจเป็นไปได้ที่ค่าดังกล่าวไม่เป็นจริงเนื่องจากไม่ได้เกิดจากตัวข้อมูลจริง แต่อาจเป็นค่าที่เกิดจากการ interpolation ที่ได้จากการใช้คอมพิวเตอร์ในการสร้างเส้นชั้นระดับ

2.8.2 การสร้างเส้นชั้นระดับความเข้มด้วยคอมพิวเตอร์

มีวิธีในการสร้างเส้นชั้นระดับด้วยคอมพิวเตอร์อยู่หลายวิธี ซึ่งล้วนแต่ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

1. Regular grid 

2. Interpolate within grid along diagonals and edges

3. Tracking contours through the grid.

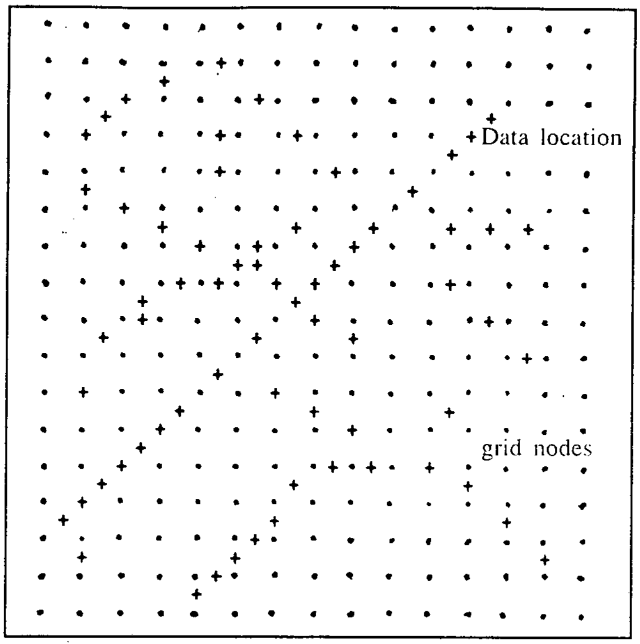
ขั้นตอนที่สำคัญมากคือขั้นตอนแรก คือการสร้าง regular grid ขึ้นมาจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ซึ่งมักไม่มีการกระจายตัวของจุดสำรวจที่สม่ำเสมอ ในการทำ contour ด้วยมือ จะทำการ interpolate ระหว่างจุดสำรวจโดยตรง ซึ่งตรงนี้สามารถจะปรับปรุงได้ด้วยการใส่ระนาบที่มีความโค้งน้อยที่สุดที่จะทำได้เข้ากับข้อมูล (fitting a minimum curvature surface to the data using computer) ระนาบดังกล่าว fit ผ่านจุดข้อมูลทุกจุด ไม่เกินค่าจำกัดที่กำหนด โดยที่ตามปกติแล้วไม่ควรทำให้เกิดค่าผิดปกติในบริเวณช่องว่างระหว่างจุดข้อมูล (some polynomial interpolations do!)

2.8.2.1 Minimum Curvature Gridding

เมื่อเราทำงานกับข้อมูลสองมิติ หรือ planimetric data เรามักจะแปลงข้อมูลที่กระจายตัวอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ (randomly positioned data) ให้มาอยู่ในรูปของจุดที่เกิดจากการกระจายตัวของข้อมูลที่มีระบบระเบียบและมีระยะห่างระหว่างจุดที่สม่ำเสมอ (the nodes of a regular grid) ซึ่งเมื่อเราได้ข้อมูลในรูปของกริดแล้ว ทีนี้ก็ง่ายต่อการที่จะนำข้อมูลไปประมวลผลตามกระบวนการต่าง ๆ ต่อไป ได้แก่

การเพิ่มประสิทธิผลข้อมูล (data enhancement)
การคำนวณทำเส้นชั้นระดับ (computer contouring)
การทำ filtering

minimum curvature gridding ดูคำอธิบายเพิ่มเติมใน Briggs (1974) และ Swain (1977)



A minimum curvature surface คือ ระนาบที่ smooth ที่สุดที่สามารถ fit เข้ากับค่าข้อมูลที่ได้

การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้หลักดังกล่าวในการคำนวณ ในขั้นต้น จะทำการประมาณค่ากริดที่จุดกริดที่มีขนาดหยาบ (มักมีขนาดเป็น 8 เท่าของกริดสุดท้ายที่ต้องการ) โดยใช้ inverse distance averages ของข้อมูลจริงภายใต้รัศมีแสวงหาที่กำหนด (specified search radius) ถ้าจุดข้อมูลที่พบอยู่ในรัศมีที่กำหนดมีอยู่น้อยกว่าตามจำนวนที่ได้ระบุเอาไว้ เช่น ข้อมูล 3 จุด คอมพิวเตอร์จะเพิ่มขนาดของ search radius จนกว่ามันจะพบข้อมูลตามที่กำหนดไว้ หรือ ในบางโปรแกรมอาจใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด จากนั้น ใช้วิธีการทำซ้ำเพื่อปรับกริดให้ fit กับข้อมูลที่แท้จริงที่อยู่ใกล้ที่สุดกับกริดหยาบ เมื่อได้ค่า fit ที่ยอมรับได้แล้ว หารขนาดกริดเซลด้วย 2 แล้วทำกระบวนการข้างต้นซ้ำอีกโดยใช้กริดหยาบเป็นกริดเริ่มต้น ทำดังนั้นจนกระทั่งได้ระนาบที่มีขนาดกริดเซลที่ต้องการ

จำนวนของการคำนวณซ้ำเป็นค่าตัวแปรที่สำคัญ เนื่องจากยิ่งจำนวนสูง ค่ากริดเซลน้อย ระนาบที่ได้ก็จะเข้าใกล้ระนาบ minimum curvature ที่แท้จริง แต่ก็จะใช้เวลาในการคำนวณนานขึ้น ในการทำงานจริง เราสามารถกำหนด number of iteration (default = 100) และ/หรือ เมื่อ 99% ของจุดข้อมูลตกอยู่ใน 1 % ของช่วงข้อมูล

2.8.2.2 Getting the best out of Minimum Curvature

ขนาดของกริดเซล (grid cell size)

สมมติว่าสถานีตรวจวัดค่ามีการกระจายตัวที่พอใช้ได้ ความหนาแน่นของสถานี คือ จำนวนเฉลี่ยของจุดข้อมูลต่อหน่วยพื้นที่ ขนาดของกริดเซลมักจะเป็นครึ่งหนึ่งของความหนาแน่นของข้อมูลดังกล่าว เช่น ถ้าความหนาแน่นของสถานีวัดค่าคือ 1 สถานีต่อตารางกิโลเมตร ค่าขนาดกริดเซลที่ควรใช้คือ 500 เมตร ซึ่งจะให้ข้อมูลที่แสดงค่าข้อมูลดิบได้อย่างดีที่สุด

ถ้าขนาดกริดเซลมีขนาดเล็ก จะทำให้มีการใช้เวลาประมวลผลของคอมพิวเตอร์มากขึ้นโดยไม่ได้ทำให้ข้อมูลมีผลดีขึ้น อย่างไรก็ดี ในกรณีที่จะทำการ contouring ข้อมูล จำเป็นต้องใช้กริดเซลขนาดเล็ก โดยทั่วไปแล้ว ขนาด 2 ม.ม. บนแผนที่ที่จะพิมพ์ เป็นขนาดที่พอเหมาะ ซึ่งสามารถทำได้โดยการกำหนดขนาดของกริดเซลให้เล็ก หรือโดยการ regridding โดยใช้ bi-directional filtering
ถ้าขนาดกริดเซลมีขนาดใหญ่กว่าขนาดกริดเซลที่เหมาะสม (optimum grid cell size) จำเป็นต้องใช้ low-pass (de-aliasing) filter กับข้อมูล ซึ่งเป็นสิ่งยากที่จะทำให้ได้ข้อมูลที่ดี เนื่องจากข้อมูลไม่ได้อยู่ในรูปของกริดที่จะสามารถนำไปผ่าน digital filter ได้ง่าย ๆ (อย่างมีประสิทธภาพและให้ผลดี) การแก้ปัญหาอาจทำได้โดยการทำ de-sampling ข้อมูลเดิม โดยคำนวณ weighed average เช่น ข้อมูลเดิมมีขนาดกริดเซล 10 ก.ม. ให้เฉลี่ยข้อมูลใน 5 ก.ม. (average amplitude, latitude & longitude) แล้วใช้ค่าเฉลี่ยนี้มาสร้างกริด minimum curvature

<u>การแก้ปัญหาข้อมูลที่ poorly sampled</u>

ตามทฤษฎีแล้ว การตรวจวัด (sampling) ควรมีขนาดเป็นครึ่งของสิ่งที่เล็กที่สุดที่ทำการตรวจวัด ผลที่ได้คือข้อมูลกริดที่มีความถี่สะท้อนถึงการกระจายตัวของข้อมูลที่ใช้ มากกว่าที่จะแสดงถึงสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดิน การแก้ปัญหาพอจะกระทำได้ดังนี้

ก. แสดงจุดตำแหน่งสถานีวัดเสมอ

ข. ในบริเวณที่มีจุดวัดค่าน้อย อาจมีค่าสูงหรือต่ำเกินไป สามารถจะควบคุมได้โดยใช้วิธีควบคุมแรงตึงด้วยวิธีของ Smith & Wessel (1990) ซึ่งจะช่วยลดการเกิด overshoots

<u>ต้องตรวจสอบผลที่ได้จากคอมพิวเตอร์เสมอ</u>

ต้องใส่ตำแหน่งของสถานีที่ทำการวัด จะช่วยให้เราสามารถมองเห็นความผิดพลาด เช่น "bull's eyes anomalies" (ค่าผิดปกติที่เกิดอยู่กับสถานีวัดจุดเดียว ทำให้ได้ค่าผิดปกติเป็นรูปกลมรอบ ๆ สถานีตรวจวัด จึงจำเป็นต้องแสดงตำแหน่งสถานีวัดด้วย) herringbone และ anomalous values

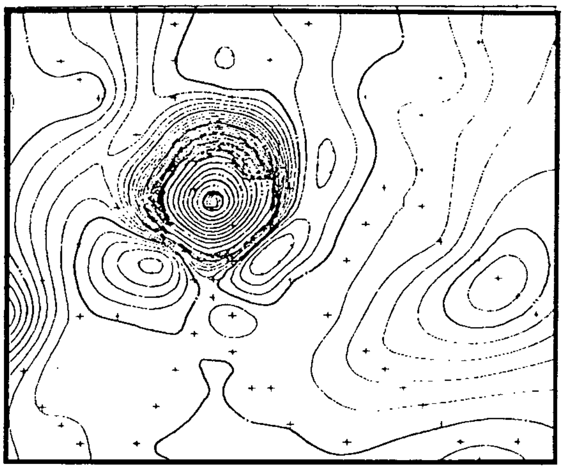
<u>ผลจากการทำ gridding</u>

ในกรณีที่มีความหนาแน่นของสถานีวัดสูง การทำ gridding จะทำให้เกิดบริเวณตำแหน่งตัวอย่างจำนวนน้อยกว่าที่ควรจะเป็น (under-sample areas) และ over-sample areas ในกรณีที่มีความหนาแน่นของสถานีวัดต่ำ (thus need to show station distribution on final maps) ดังนั้น ขนาดกริดเซลจึงควรมีขนาดที่เหมาะสมที่สามารถแสดงข้อมูลได้ดีที่สุด โดยไม่มีการทำให้เกิดค่าความถี่สูงลงไปในบริเวณที่มีความหนาแน่นของสถานีวัดน้อย

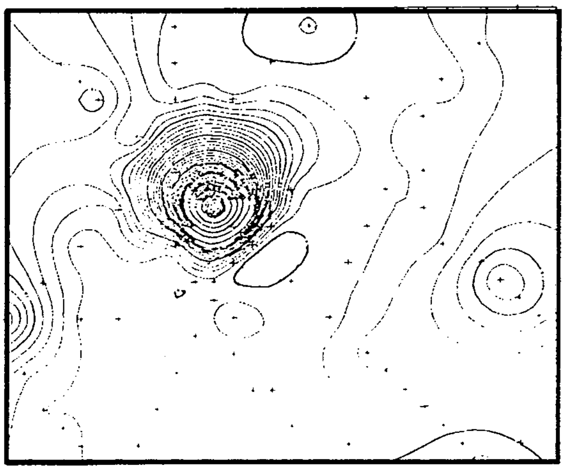
แผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก มักนำเสนอในรูปของ
- แผนที่แสดงเส้นชั้นความเข้ม
- แผนที่ profile
- แผนที่/รูปสี (colour image)

ในปัจจุบัน colour image เริ่มเข้ามามีบทบาทมากขึ้นกว่าแผนที่เส้นชั้นความเข้ม ในมาตราส่วนที่หยาบ (1:250,000 หรือเล็กกว่า) สำหรับมาตราส่วนละเอียด มีการใช้ทั้ง contour และ lolour maps ไปด้วยกัน ส่วนแผนที่ profile จะใช้ในกรณีที่มีระยะระหว่างแนวสำรวจกว้างมาก จนทำให้ค่าที่สร้างขึ้นมามีความบิดเบือนไป โดยเฉพาะบริเวณระหว่างแนวสำรวจ หรือในกรณีที่ต้องทำการแปลความหมายเชิงปริมาณ (quantitative interpretation)

การทำ gridding (and map construction) แท้จริงก็ เป็นรูปแบบหนึ่งของการ filtering และ de-sampling ข้อมูลแนว เส้น ทำให้ข้อมูลที่ได้ทำให้สูญเสียข้อมูลของค่าผิดปกติที่มีขนาดน้อยกว่าสองเท่าของขนาดกริดเซล



without tension (above) & with tension (below)

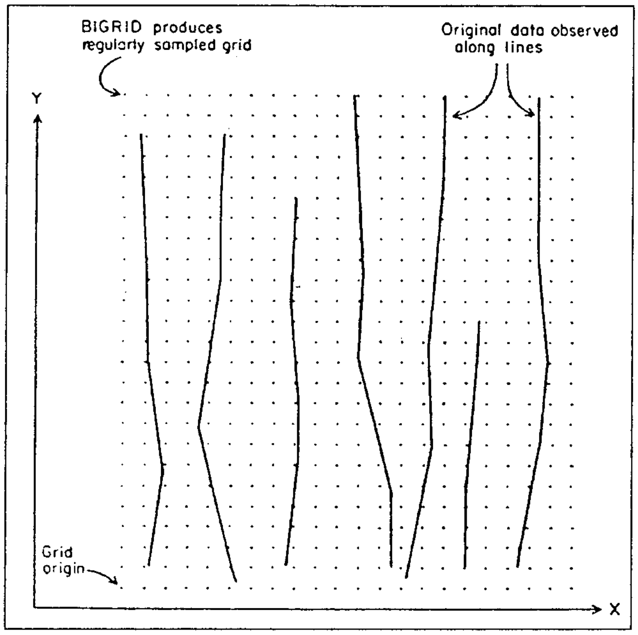


ข้อมูลสนามแม่เหล็กถูกตรวจวัดอย่างต่อเนื่องไปตามแนวสำรวจซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ในทุกช่วงความถี่ ในขณะที่ในแนวตั้งฉากกับแนวสำรวจจะได้ข้อมูลที่มีความถี่น้อยที่สุดเท่ากับสองเท่าของระยะห่างระหว่างแนวสำรวจ (ถ้าระยะห่างระหว่างแนวสำรวจคือ 1 ก.ม. ความยาวคลื่นที่ต่ำที่สุดที่วัดได้ในแนวตั้งฉากกับแนวบินคือ 2 ก.ม. ดังนั้น ข้อมูลตามแนวสำรวจควรจะถูก filtered เพื่อกำจัดข้อมูลที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 2 ก.ม. ออก เพื่อที่เส้นชั้นความเข้มสนามแม่เหล็กจะได้แสดงข้อมูลที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 2 ก.ม.)

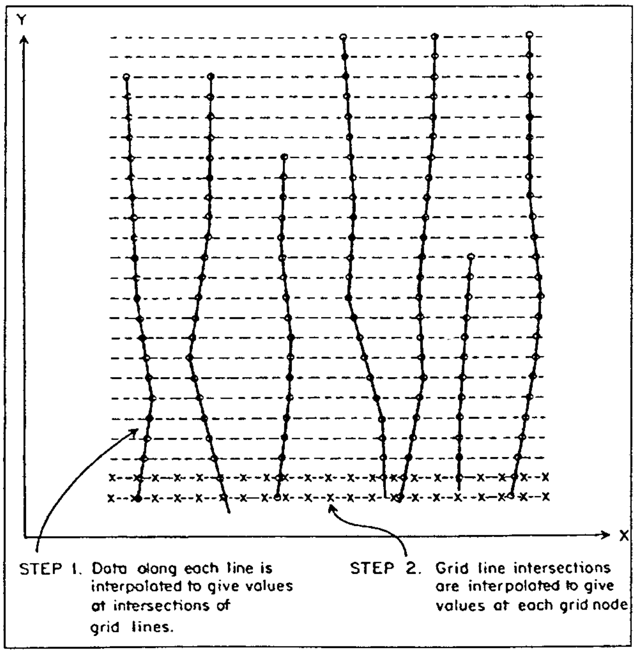
สำหรับในกรณีที่ทำการบินสำรวจโดยมีระยะห่างของแนวบินสำรวจเป็นกลุ่ม ๆ เช่น 2 ก.ม. และ 1 ก.ม. บ้าง แล้วอาจเว้นห่างกันระหว่างกลุ่มอีก 10 ก.ม. ในกรณีนี้จะทำการ contour เฉพาะบริเวณที่มีระยะห่างระหว่างแนวบินแคบ ๆ เท่านั้น

2.8.3 การกริดข้อมูลสนามแม่เหล็ก

Bi-directional gridding เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลที่เก็บตามแนวเส้นสำรวจเนื่องจากเป็นการเก็บข้อมูลตั้งฉาก (ส่วนใหญ่) กับแนวโครงสร้างหลัก ซึ่งจะให้ค่าตอบสนองที่แรง กระบวนการในการทำ gridding ประกอบด้วย สองขั้นตอนที่สำคัญคือ

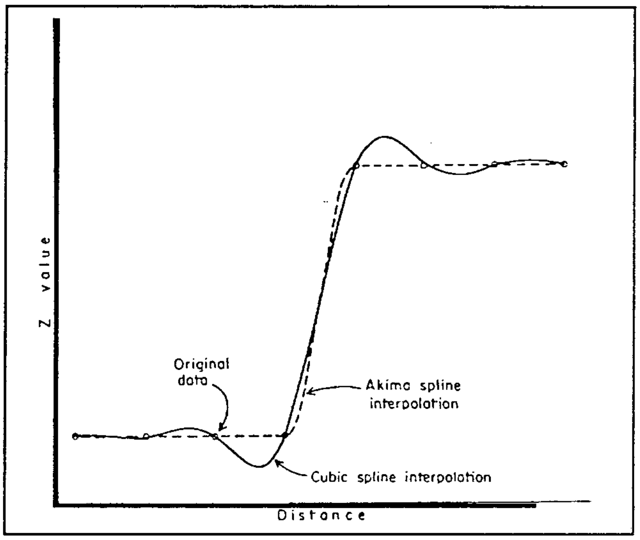


ขั้นที่ 1 ทำการ interpolation ไปตามแนวเส้นสำรวจเพื่อให้ได้ค่าข้อมูลที่จุดตัดระหว่างเส้นกริดกับเส้นสำรวจ
ขั้นที่ 2 ทำการ interpolation ค่าที่จุดตัดของเส้นกริดแต่ละเส้นในแนวตั้งฉากกับทิศทางสำรวจเพื่อให้ได้ค่าที่ทุก ๆ grid node ในการผ่านครั้งที่สองนี้ทำให้เกิดเส้นกริด (grid line)



เส้นกริดคือ กลุ่มของค่าตัวเลขที่แสดงค่าไปตามแถวกริด เราสามารถที่จะเน้นแนวทางธรณีวิทยาที่มีในข้อมูลให้เห็นเด่นชัดขึ้นโดยการปรับหมุนกริดเพื่อให้ไปอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้แนว strike ไปอยู่ในทิศทางเดียวกับการ interpolation ครั้งที่สอง

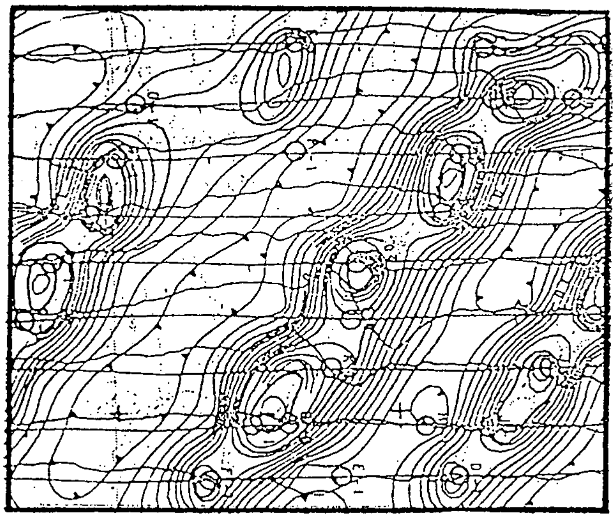
นอกเหนือจากการทำ trend enhancement ดังกล่าว การทำ gridding ยังทำให้การทำ interpolation สามารถที่จะเลือกทำได้อย่างอิสระ ทั้งในทิศทางเดียวกับ หรือตั้งฉากกับแนวสำรวจ



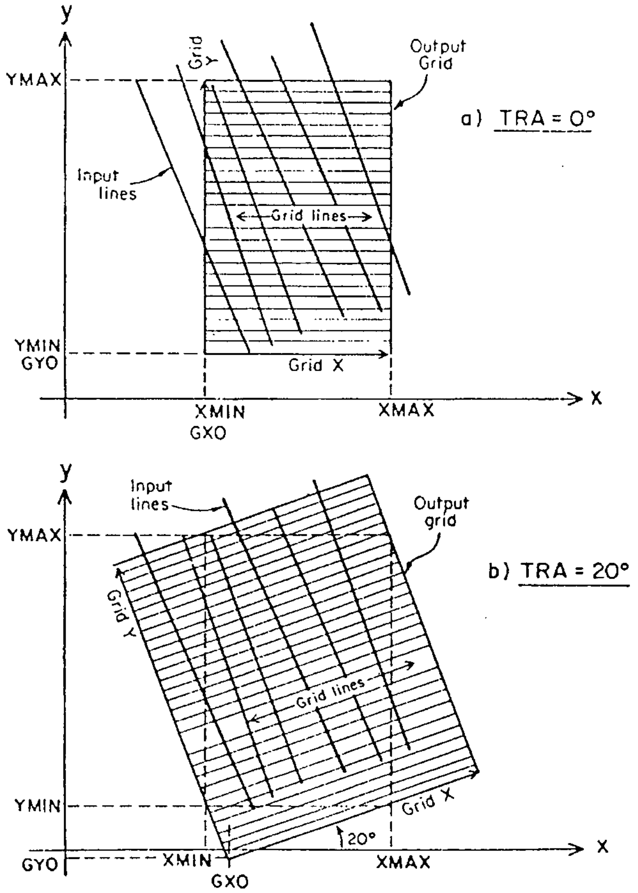
การทำ interpolation อาจทำได้ทั้งแบบ linear, cubic spline (minimum curvature) และ Akima spline

เราสามารถทำ filtering ข้อมูลแนวเส้นก่อนที่จะทำการ interpolation ก็ได้

ปัญหา ที่มักเกิดกับการทำ gridding คือแนวเส้นโครงสร้างที่ทำมุมน้อย ๆ กับแนวสำรวจ มักทำให้เกิดลักษณะที่เรียกว่า corrugated pattern หรือ bull-eyes เมื่อมันมาบรรจบกับแนวสำรวจ ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่ในกรณีของการทำ bi-directional gridding การคำนวณเกิดขึ้นในลักษณะของการทำ filtering ในแนว x-y และในกรณีของการทำ minimum curvature เป็นคุณสมบัติของวิธีการที่ระนาบที่มีความโค้งน้อยที่สุดในบริเวณที่ไม่มีข้อมูลมาควบคุมจะให้ลักษณะเส้น contours ที่เป็นทรงกลม หรือวงกลมในภาพสองมิติ ดังนั้น linear 2-D features จึงมักจะให้ลักษณะที่แตกออกเป็นขยักคล้ายขั้นบันได ซึ่งต้นตอของปัญหาคือการที่มี undersampling ของข้อมูล ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแนวบิน



วิธีแก้ปัญหาดังกล่าวเมื่อใช้ bi-directional gridding สามารถทำได้โดยการหมุน co-ordinate system ซึ่งจะช่วยบังคับ regional trend ได้แก่การ rotate ข้อมูลให้มีแนวสำรวจขนานกับแกน y หรือแนวที่จะทำการกริดขั้นที่ 1 ณ ตำแหน่งนี้ โครงสร้างทางธรณีวิทยาจะตั้งฉากกับแนวสำรวจ จากนั้นทำการกริดข้อมูล จะได้ข้อมูลที่มีการบิดเบือนน้อยเนื่องจากการ interpolation ของข้อมูลตามแนวโครงสร้างธรณีวิทยาอยู่ในแนวเดียวกับการกริดขั้นตอนที่สอง จากนั้นทำการ rotate ข้อมูลกริดกลับไปที่ตำแหน่งเดิม ก็จะได้ข้อมูลที่ใกล้-เคียงกับความจริงที่สุด



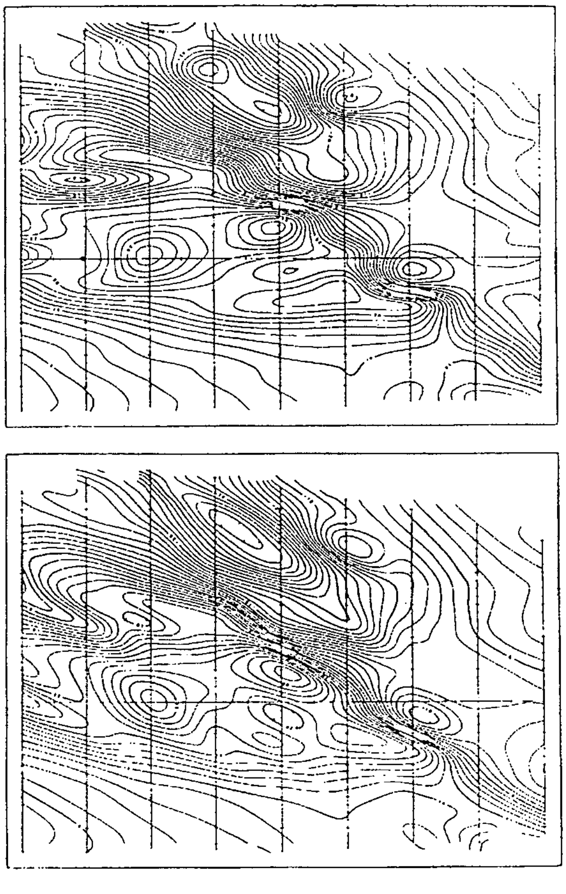
การทำ anti-aliasing filter สามารถใช้ได้กับข้อมูลแนวเส้นโดยให้ความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดเท่ากับที่หาได้จากระยะห่างระหว่างแนวบิน กรณีนี้ แม้จะช่วยแก้ปัญหา แต่ก็จะทำให้สูญเสียสัญญาณที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สะท้อนถึงสภาพธรณีวิทยา

เทคนิคบางชนิดที่รวมเข้ากับการทำ bi-directional gridding software package คือการยอมให้ผู้ใช้ ทำการเพิ่มแนวเส้นใหม่ที่ต่อไปตามแนวโครงสร้างนั้นๆ เพื่อเป็นการ re-inforcement แล้วค่อย interpolate ข้อมูลตามแนวดังกล่าว Keating (1995) ได้เสนอวิธีการดำเนินการแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ใช้ได้กับการทำ gridding ทั้งหลาย

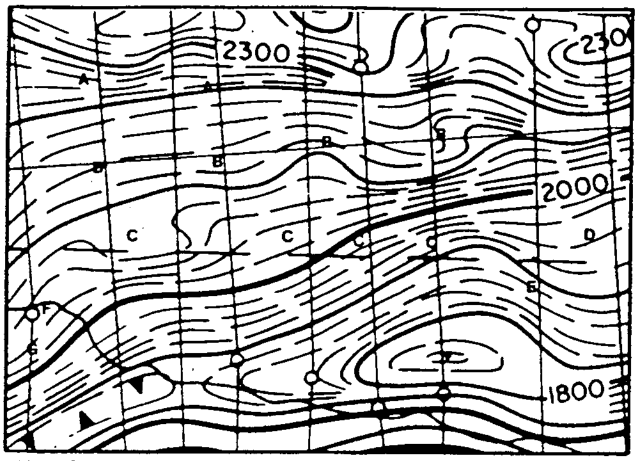
ขั้นที่ 1 ลงตำแหน่ง maxima และ minima ของแผนที่กริดที่ได้ในขั้นต้น จากนั้น หาจุดข้อมูลที่อยู่ใกล้กัน

ขั้นที่ 2 นำจุดเหล่านั้นมาเกี่ยวโยงกัน คัดเลือกจุดที่ควรจะต่อกันเพื่อทำ re-inforcement ของ local trend โดยขึ้นอยู่กับ criteria ต่อไปนี้

- จุดที่จะมาต่อกัน ต้องอยู่บนแนวสำรวจที่อยู่ถัดไป
- มุมระหว่างแนว local กับแนวสำรวจ ไม่ควรเกิน 30 องศา ในกรณีนี้ ช่วยหลีกเลี่ยงการ link กันของข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องกัน
- -linearly interpolate ระหว่างจุดข้อมูลแต่ละคู่เพื่อให้ได้ค่าข้อมูลใหม่ แล้วเพิ่มเข้าไปในแฟ้มข้อมูลตั้งต้น เพื่อจะทำ regrid ต่อไป

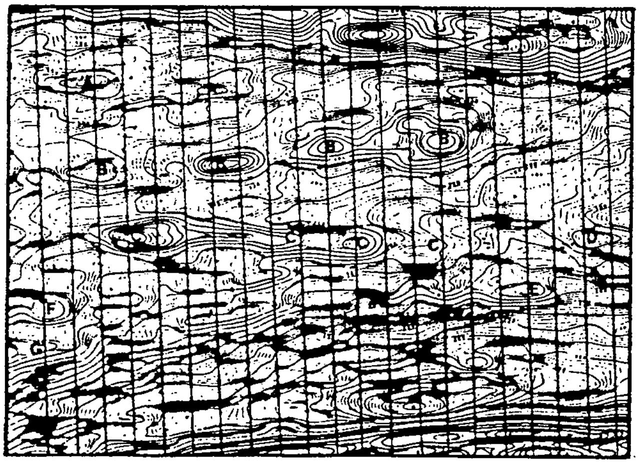


ก่อน และ หลังการทำ trend re-inforcement

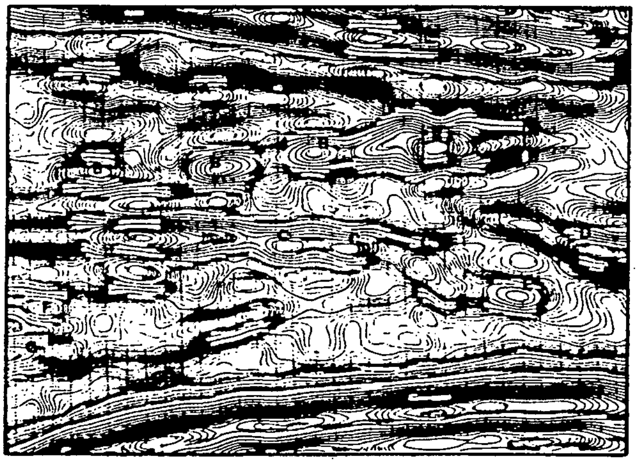


A) ALTITUDE 150m

B) ALTITUDE 50m



C) GROUND SURVEY



D) CALCULATED VERTICAL MAGNETIC GRADIENT ALTITUDE 50m

SCALE 0 500m

2.8.4 ผลิตภัณฑ์แผนที่

1) Contour Map

2) Profile Map

3) Colour Images

2.9 การแปลความหมาย (Interpretation)

1. Processed Maps

Digital enhanceument เช่น vertical derivatives, reduction-to-the-pole และ susceptibility maps ช่วยเน้นลักษณะทางธรณีวิทยาบางประเภท

2. Qualitative Interpretation

Interpretation ได้แก่ pseudo-geology map ทำจากการ "zoning" และ structural interpretation ของ total field & processed map

3. Quantitative Interpretation

ใช้วิธี "magnetic modelling" ในการแปลความหมายข้อมูลวิเคราะห์ total magnetic field & processed magnetic anomaly เพื่อให้ได้มาซึ่ง:

- ความลึก
- Geometries & physical properties ของ bodies

2.10 บทบาทของ Magnetometer Surveys

1. การค้นหา สินแร่แม่เหล็ก และ host-rocks ได้แก่
   - แหล่งแร่เหล็ก (แม่เหล็ก)
   - chrome หรือ PGE-bearing ultramafic rocks
   - massive sulphide bodies บางประเภท (nickel)
   - diamond-bearing kimberlites
   - Tin-tungsten หรือ rare-earth granite
2. การทำแผนที่ธรณีวิทยา
   - ทำแผนที่หินและโครงสร้างธรณีวิทยา
   - ศึกษาในระดับไพศาล เพื่องานธรณีวิทยาแปรสัณฐาน
   - สำรวจหาสภาพแวดล้อมแหล่งแร่ที่ต้องการ

. การทำแผนที่ความลึกหินดาน (Depth to basement)
   - การสำรวจหาแหล่งน้ำมัน-ก๊าซ และถ่านหิน
   - การสำรวจหาแหล่งแร่โลหะ
   - การสำรวจหาแหล่งแร่ที่เกิดกับ buried basement surfaces (เช่น unconformity uranium)

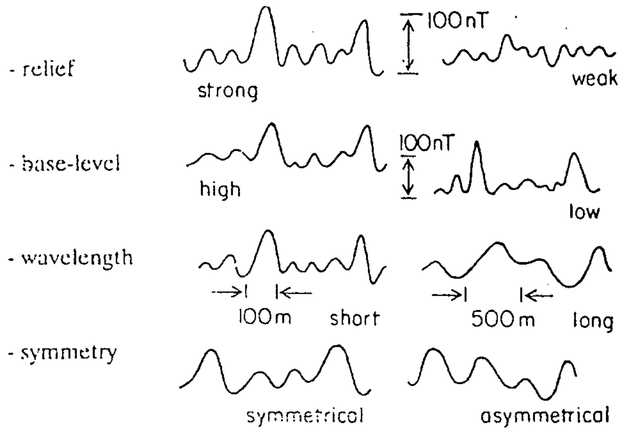
4. เมื่อใช้ร่วมกับ AEM, IP ฯลฯ
   - ช่วยแบ่งประเภทระหว่างตัวนำของแร่โลหะกับแร่อโลหะ
   - ช่วยในการแปลขนาด & รูปร่างของ body
   - ช่วยหาสภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยา
5. การศึกษาวิศวกรรม, น้ำบาดาล และโบราณคดี
   - ทำแผนที่รอยเลื่อน & ทางน้ำเก่า (ที่ถูกฝัง)
   - หาวัสดุที่เป็นโลหะ

2.11 GEOLOGICAL MAPPING : QUALITATIVE INTERPRETATION

การแปลความหมายข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทาง อากาศ (aeromagnetic data interpretation)

2.11.1Signature of Rocks, Structures, Ore-environments

"Signature" หรือเรียกอีกอย่างว่า "thumb-print" ซึ่งเป็น respones ต่าง ๆ กัน ที่ใช้ในการแบ่งหิน, โครงสร้าง และสภาพแวดล้อม การตอบสนองทางแม่เหล็ก ประกอบไปด้วย



และ two-dimensional textural characteristics ต่าง ๆ เช่น :

Rounded ———— Angular

Zoned ———— Uniform

Linear ———— Non-Linear

Coherent ———— Incoherent

การแบ่งขอบเขตหรือ "Zoning" คือการลากแบ่งเขตที่มีความแตกต่างของคุณลักษณะแม่เหล็ก แต่ละ zones ที่แบ่งเรียกว่า "magnetic units" หรือหน่วยแม่เหล็ก

zoning เป็นขั้นตอนแรกของการทำ pseudo-lithologic map ขั้นต่อไปคือ lithologic correlation

2.11.2 Lithologic Interpretation

Magnetite ไม่ใช่ rock-forming mineral การกระจายตัวในหินของ magnetite ขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

- conditions ในขณะที่เกิดการ recrystalization
- ประวัติการเปลี่ยนแปรสภาพ
- ประวัติ/วิวัฒนาการทางธรณีโครงสร้าง
- supergene alteration

ลักษณะทั่วไป:

<u>หินตะกอน</u>:

- Low relief
- Low base level
- Indistinct linear textures, fairly coherent
- Sedimentary Iron Formation : - High relief
- Average base - level
- Linear coherent texture

ตารางแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางแม่เหล็กของหินภูเขาไฟชนิดแอสิดและเบสิก

Felsic Volcanic	Mafic Volcanic
Variable relief	Variable to strong relief
Average base-level	Average base-level
Linear-partly linear texture usually fairly coherent	Linear-partly linear texture usually coherent
Texture & relief v dependent initial chemistry and metamorphic history หินที่อายุอ่อนกว่ามักเป็น reversed in polarity	Very dependent on initial chemistry & metamorphic history

<u>Felsic Intrusives</u>:
- variable relief
- variable to high base - level
- Post-tectonic : rounded to linear textures, often zoned
- Syn-tectonic : granites show low-relief, non-linear and incoherent textures
- granitoids อาจยังคงลักษณะของหินเดิมอยู่

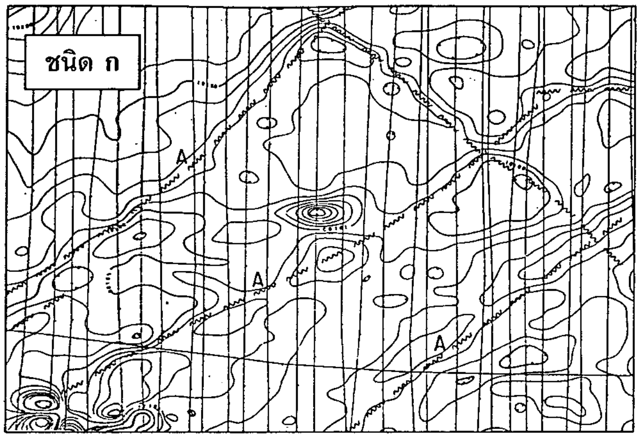
<u>Mafic intrusives</u>:
- variable to strong relief
- usually high base-level
- Post-tectonic : rounded, seldom zoned
- Syn-tectonic exhibits texture similar to mafic volcanic

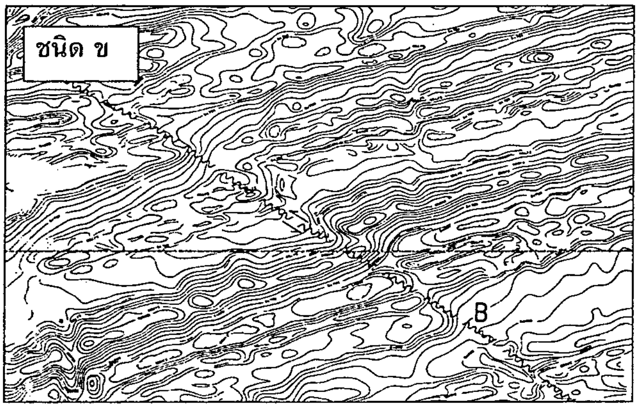
<u>Ultramafic rocks</u>:
- ให้ strong relief
- high base-level
- ส่วนใหญ่ linear, fairly coherent textures
- มักจะเป็น banded หรือ zoned ขึ้นอยู่กับการแยกวางตัวของ serpentinization

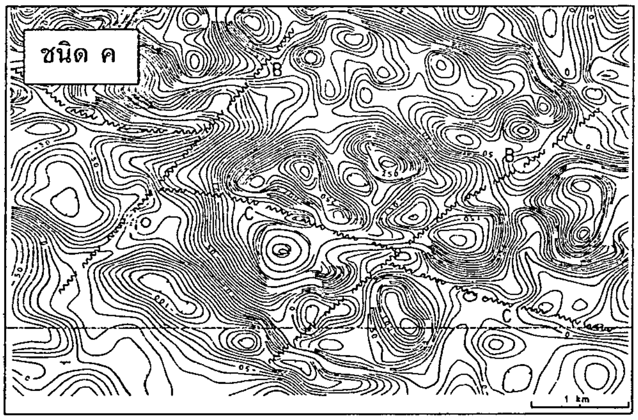
<u>Kimberlite</u>:
- คล้าย ultramafic rocks
- Weathering, alteration และ inhomogeneity ทำให้มี signature ที่ยุ่งยาก
- Kimberlite บางตัวเป็น non-magnetic
- เป็นแม่เหล็กถาวร มีแนวทิศทางของแม่เหล็ก (magnetic remanenceis common of often anomalous oriented

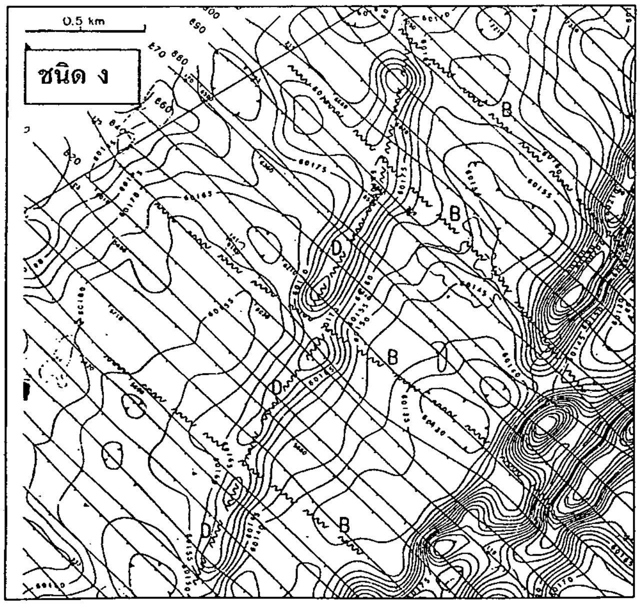
2.11.3 Structural Interpretation

ลักษณะของ Structural breaks (contacts, faults, shears, unconformity) มีหลายอย่าง ซึ่งจะสังเกตุได้จากการเปลี่ยนแปลงของ magnetic characteristic จากด้านหนึ่งของโครงสร้างไปยังอีกด้านหนึ่ง บางที shear zone หรือ altered fault zone อาจถูกพบเห็นได้จากคุณสมบัติที่มีแร่เหล็กน้อย อันเนื่องมาจากผลของ oxidation ทำให้ได้ magnetic low, หรือการเพิ่มขึ้นของ magnetic โดย hydrothermal alteration หรือการแทรกตัวขึ้นมาของ dyke









ตัวอย่างในการใช้ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กในการตรวจหา - ศึกษาแนวรอยเลื่อน

<u>ชนิด ก</u>: มี sharp gradient เป็นแนวเส้นขอบเขตแนวระหว่างพื้นที่ที่มี magnetic level, relief หรือ texture ต่างกัน ลักษณะนี้อาจเป็น fault contact ซึ่งบางทีก็เป็นการยากที่จะแบ่งแยกจาก linear contact ทั่วไปที่ไม่ใช่ fault contact

<u>ชนิด ข</u>: การเปลี่ยนแปลง และ/หรือ การเหหันของแนวสนามแม่เหล็ก ส่วนใหญ่จะเป็นตัวบ่งชี้ Wrench fault หรือ shear ที่มีการเคลื่อนไหวในแนวด้านข้าง (lateral movement) นี้เป็นชนิดของ fault ที่ง่ายที่สุดที่จะตรวจพบแม้ว่าจะไม่มี expression ทาง magnetic โดยตรงก็ตาม

<u>ชนิด ค</u>: มีลักษณะแนว magnetic low ภายใน country rocks ที่มี relief ปานกลางถึงสูง ส่วนใหญ่เกิดจาก zone ที่มีการผุพังหรือ hydrothermal alteration ทำให้เกิดการ oxidation ของ magnetic hematite หรือ ilmenite

<u>ชนิด ง</u>: ลักษณะเป็นแนวแคบที่มี direct magnetic expression ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจาก secondary magnetite ที่เกิดจาก metamorphism หรือมี dyke แคบ ๆ แทรกตัวเข้ามาใน fault ที่มีอยู่ก่อนแล้ว

ตัวอย่างแผนที่เส้นชั้นความเข้มสนามแม่เหล็กแสดงลักษณะรอยเลื่อน:

ชนิด ก: Aeromagnetic espression of fault contacts: (A) in metavolcanics and igneous intrusive rocks (Burkina Faso) cut by dyke-filled cross-fault (D).

ชนิด ข: Aeromagnetic expression of a wrench fault with left-lateral movement in metasedimentary rocks (Eastern Canada).

ชนิด ค: Aeromagnetic expression of a hydrothermally altered fault zone (C) in basic volcanic and igneous rocks (NW U.S.A.); cut by cross faults (B). Magnetic low is caused by depletion of magnetite through oxidation.

ชนิด ง: Aeromagnetic expression of a hydrothermally altered fault zone (D) in metamorphosed volcano-sedimentary rocks (Northern Canada), cut by wrench faults (B).

2.11.4 Geological Correlation, Identification, Ground Truth

หลังจากการทำ "Lithologic zoning" และการแปลความหมายทางธรณีโครงสร้างแล้ว แผนที่การแปลความหมายจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับแผนที่อื่น ๆ ที่มีอยู่ (เช่น แผนที่ธรณีวิทยา) และควรจะเป็นมาตราส่วนที่เท่ากันกรณีที่ "magnetic units" สามารถเปรียบเทียบได้กับ lithologic stratigraphic units ถือว่าการ identification เป็นไปได้ด้วยดี กรณีที่การเปรียบเทียบ units ไม่สามารถทำได้อย่างแน่นอน ตลอดทั้งพื้นที่

- หินต่างชนิด ต่าง units อาจให้ magnetic signatures ที่เหมือนกัน

-แผนที่ธรณีวิทยาไม่ละเอียดพอที่จะแบ่งการเปลี่ยนแปลงของ metamorphic grade ที่มีผลมากต่อรูปร่างของค่าผิดปรกติสนามแม่เหล็กที่วัดได้

- ชุดหินที่ให้การตอบสนองทางแม่เหล็กอาจถูกปิดทับอยู่ ดังนั้น จึงไม่ได้ถูกแสดงเอาไว้ในแผนที่ Magnetic units ที่อยู่ในบริเวณที่ยังไม่ได้ถูกแสดงในแผนที่ ก็จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงหินชนิดใด ๆ ก็ตามที่ต้องใช้ข้อมูลจากประสบการณ์และการสำรวจของพื้นที่อื่น ๆ มาช่วยประกอบการแปลความหมาย ในบางขั้นตอนของการแปลความหมายบริเวณที่มีการทำแผนที่ไม่ค่อยละเอียด จึงต้องมีการออกไปตรวจสอบในสนามเพื่อศึกษาข้อเท็จจริงในสนาม หรือ "ground truth" โดยทำการสำรวจให้มีกลุ่มของเส้นสำรวจ (traverse) ตัดกับขอบเขตระหว่าง magnetic units และโครงสร้าง ควรใช้ ground magnetometer profile ในการหาขอบเขต จากนั้นเก็บตัวอย่าง และทำแผนที่หินโผล่เพื่อหาลักษณะตามธรรมชาติของขอบเขต หรือโครงสร้าง และหินข้างเคียง

2.11.5 ข้อจำกัดของการแปลความหมายข้อมูลฯ (Limitations of Interpretation)

1. บ่อยครั้งที่ magnetic units สะท้อนลักษณะของหินเดิม (แนวภูเขาไฟเก่า) ในขณะที่แผนที่บ่งว่าเป็น granite หรือ granite gneiss

2. magnetic units อาจถูกฝังอยู่ใต้ชั้นของหิน non-magnetic หรือชั้นผุพังหนาข้อมูลในแผนที่ธรณีวิทยา จึงไม่คล้องจองกับการแปลความหมาย magnetic

3. การแปรสภาพ (metamorphism) มักจะเปลี่ยนการตอบสนองด้านแม่เหล็กของหิน ซึ่งแผนที่ธรณีวิทยาไม่สามารถบอกได้

4. ชุดหินที่มีแร่แม่เหล็กมาก และน้อย อาจถูก map ให้เป็นหินประเภทเดียวกัน

2.11.7 Signatures of Ores and Ore-environment

1. สินแร่ Ore :

มีเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถตรวจสอบด้วยคุณสมบัติทางแม่เหล็กได้โดยตรง แหล่งแร่เหล็ก แม้จะมี magnetite แต่ส่วนประกอบหลักจะเป็น hematite, การตอบสนองทาง แม่เหล็กส่วนใหญ่มาจาก:

- แถบของแม่เหล็กไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับสินแร่
- unweathered ore วางตัวอยู่ใต้เหล็ก hematite

Nickeliferous pyrrhotite-pentlandite bodies มักให้การตอบสนองทางแม่เหล็ก

ถ้ามี Anorthosites มาก ใน titaniferous ilmenite มักให้ reversed magnetization

สินแร่เหล็ก มีความเป็นแม่เหล็กจาก magnetite ที่ไม่มีความสัมพันธ์ในการเกิดร่วมกับสินแร่โดยตรง ได้แก่:

- Altered mafic intrusives ที่มี Asbestos-bearing มี secondary magnetite
- Diamond-bearing Kimberlite
- แหล่งแร่ Nickel-chrome ใน mafic intrusive
- Lateritic nickel deposits บน weathered ultramafics
- Mineralized alkaline intrusive complexes
- Gold / base-metal-bearing massive sulphide bodies
- Base-metal skarn deposits มักมี magnetite ในปริมาณมากพอที่จะตรวจจับได้

การสำรวจหาแหล่งแร่ที่เกิดเกี่ยวข้องกับ magnetite มักต้องใช้ข้อมูลทางแผนที่ธรณีวิทยา และ ore deposit model เข้ามาร่วมศึกษาเป็นสำคัญ

2. สภาพแวดล้อมของสินแร่ (ore-environments)

การสำรวจหาสภาพแวดล้อมของสินแร่ แตกต่างจากการสำรวจหาแหล่งแร่ทางอ้อมที่ว่า สภาพแวดล้อม (เช่น structures, ชนิดของหิน alteration zone ฯลฯ) อาจไม่เป็น magnetic โดยตรง แต่คงแสดง magnetic signatures

ตัวสภาพแวดล้อมของสินแร่อาจมี signatures ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาพทางธรณีวิทยา และการเกิดแร่ สิ่งที่ต้องทำในการศึกษาสภาพแวดล้อมของสินแร่ คือ

- จัดทำ geologic model
- จัดทำ geophysical signature ที่ควรจะเป็น

-ทำการสำรวจธรณีฟิสิกส์ภาคพื้นดินในบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมคล้ายคลึงกันถ้าเป็นไปได้ มองหา signatures ที่คล้ายคลึงกันในแผนที่ magnetic contour image และ contour map ให้มองหา Signatures ในแผนที่สนามแม่เหล็กที่ไปไม่ได้กับแผนที่ธรณีวิทยา ส่วนใหญ่ sharp low หรือ high deflection หรือความไม่ต่อเนื่องในบริเวณที่มีธรณีวิทยาเป็นชนิดเดียวกัน signatures พวกนี้อาจชี้นำไปสู่บริเวณที่เป็น alteration intrusion หรือโครงสร้าง

(ดูตัวอย่างได้จาก P.J.Gunn and M.C. Dentith, 1997. Magnetic responses associated with mineral deposits, AGSO Journal, v. 17, p. 145 - 158.)

2.11 การเพิ่มประสิทธิผลข้อมูล (Magnetic Enhancement and Modelling)

2.12.1 การ Enhancement คืออะไร?

Enhancement : คือ กระบวนการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงข้อมูล (โดย Computer) เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเฉพาะที่ผู้แปลความหมายสนใจ

<u>ตัวอย่าง</u>

1. มี magnetic vein แคบ ๆ แทรกตัวอยู่ในชั้นหินตะกอนบาง ที่เกิดใกล้ ๆ กับ iron formation ที่ให้ strongly magnetic

<u>Solution</u> : Enhancement โดยการใช้ high-pass filtering เพื่อลด broad anomaly gradient ในบริเวณใกล้เคียงกับ vein เพื่อทำให้ vein เห็นชัดขึ้น

2. มี magnetic syenite (ตัวที่เราสนใจ) วางตัวอยู่ใต้หินภูเขาไฟชนิดเบสิคที่วางตัวในแนวราบที่อายุอ่อนกว่า

<u>Solution</u> : Enhancement (low-pass filtering) จะลด anomalies จาก volcanics ดังนั้น จึงเน้น syenite ขึ้นมา

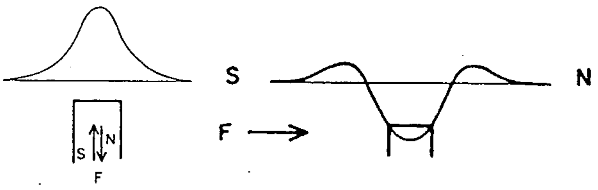
3. มี diabase dykes วางตัวในแนว NW อยู่ร่วมกับ Volcanic bedding ที่วางตัวในแนว NNE

<u>Solution</u> : ใช้ Directional filtering เพื่อลด anomalies ของ dyke ทำให้ผู้แปลฯ สามารถจากขอบเขตของ Volcanic beds.

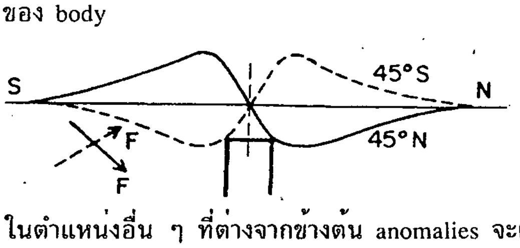
2.11.2 กระบวนการเพิ่มประสิทธิผลข้อมูล (Enhancement Process)

1) Reduction to the pole

- ณ ตำแหน่งที่ขั้วโลกเหนือและใต้ Anomaly จะเป็น positive และวางตัวอยู่เหนือ magnetic body

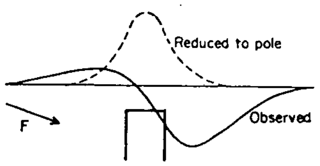


- ณ ตำแหน่ง equator, anomaly เป็น negative และวางตัวอยู่เหนือ magnetic body (แต่จะมี positive เล็กน้อยทั้ง 2 ข้าง)
- ที่ 45 องศา , anomaly จะ "crosses over" ที่ตรงกึ่งกลางของ body



- ในตำแหน่งอื่น ๆ ที่ต่างจากข้างต้น anomalies จะเป็น asymnetric และไม่ค่อยจะตรงกับ magnetic bedies นัก (เนื่องจาก asymmetric) ทำให้การแปลความหมายยากแก่ผู้แปลในการที่จะเขียนขอบเขตของ bodies ที่ทำให้เกิด anomalies

<u>การแก้ไข</u> : "reduce" total field anomaly ไปที่ N/S pole

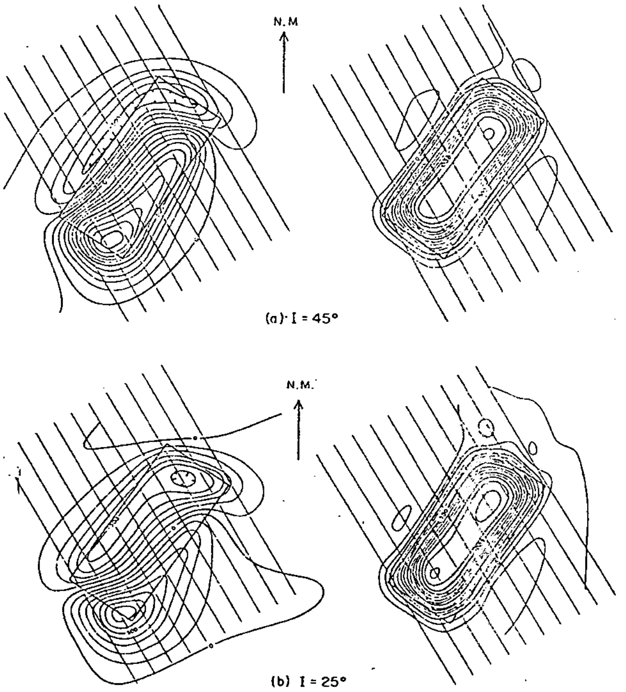


<u>ข้อจำกัด</u>:

1. reduction to the pole ต้องใช้ digital data, คอมพิวเตอร์ และ software ที่ เหมาะสม
2. ณ ตำแหน่งใกล้กับ magnetic equator (<25 องศา) เป็นไปไม่ได้ ยากที่จะทำ reduce to the pole แล้วยังคงรักษาความถูกต้องสมบูรณ์ของ magnetic field strength ไว้ได้

<u>การประยุกต์ใช้</u>

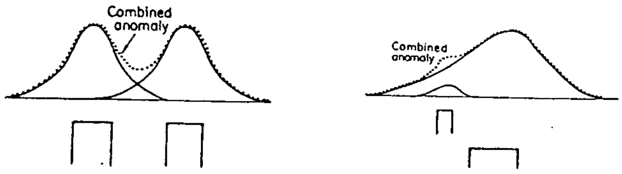
1. การทำ reduction-to the pole ควรจะทำก่อนการแปลความหมายแบบคุณภาพที่ magnetic latitude ต่ำกว่าประมาณ 75 องศา
2. Reduced to the pole anomalies วางตัวอยู่เหนือ magnetic sources, ดังนั้นทำให้การเปรียบเทียบกับธรณีวิทยาเป็นไปได้ง่าย
3. Reduced to the pole data ยังสามารถนำไปเพิ่มประสิทธิผลต่อ เพื่อทำ derivatives, residuals ฯลฯ เพื่อใช้กับงานแปลความหมายทางธรณีวิทยาต่อไป



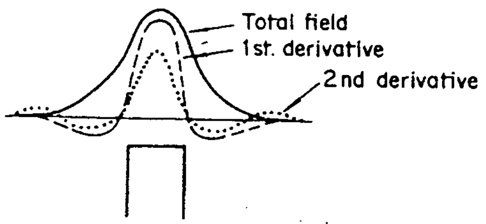
ตัวอย่าง complex anomalies (I = 45 องศา และ 25 องศา) ที่ถูกเพิ่มประสิทธิผลโดยการทำ reduction to the pole

2) Derivatives

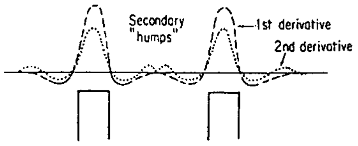
- Total magnetic field anomaly มักจะมีลักษณะ boarder กว่าตัว body ที่ให้ anomaly ทำให้เกิดปัญหาการรบกวนกันระหว่าง anomalies ใกล้เคียง ทำให้ยากต่อการแบ่งจากขอบเขตของ body
- ในทำนองเดียวกัน magnetic anomaly ของ body ที่วางตัวอยู่ลึกแต่แรงย่อมสามารถกลบ ("mask") anomaly ของ body ที่อยู่ตื้นแต่อ่อนกว่า

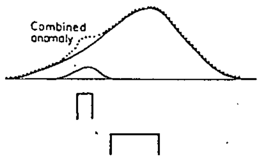


การแก้ไข: คำนวณ first หรือ second vertical derivative ของ total magnetic field



ผลที่ได้ คือ anomaly จะมีความกว้างลดลง และมีจุดตัดศูนย์ (crosses zero) ใกล้เคียงกับขนาดของตัว body ทำให้การแปลความหมายแบบคุณภาพง่ายขึ้น



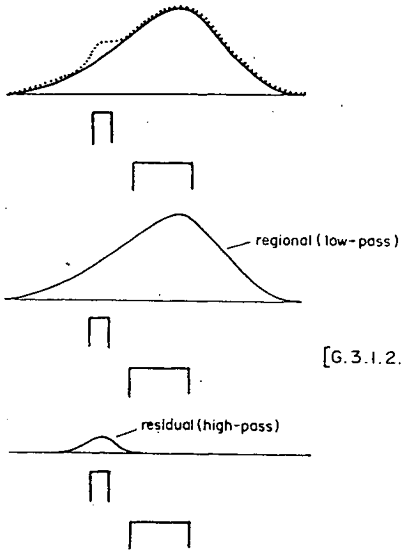


ปัญหา:

1. การทำ derivative ต้องใช้ข้อมูลตัวเลข, คอมพิวเตอร์ และ software ที่เหมาะสม
2. anomalies ที่ได้ จะมีรูปร่างที่ยุ่งยากกว่าเดิม ทำให้เกิดลักษณะ "hump" ซึ่งอาจทำให้เข้าใจผิดได้ในการแบ่งแยก bodies ออกจากกัน
3. derivative maps (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง 2nd derivatives) มักจะ noisy" เนื่องจาก system noise และ surface geologic nois ก็ถูกขยายมากไปด้วย

3) Regional และ Residuals

เป็นวิธีการหนึ่งในการที่จะแบ่งแยก anomaly ที่มีความยาวคลื่นสั้นและแคบ (ของbodies ที่อยู่ตื้น) ออกจาก anomaly ที่มีความยาวคลื่นยาว และกว้าง (broader) กว่าคือ การทำ regional (low-pass) และ residual (high-pass) filtering

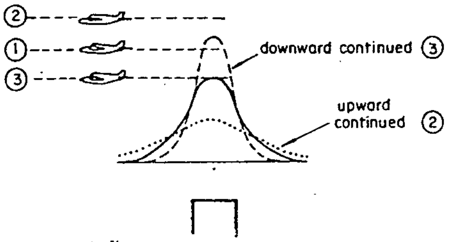


[G.3.1.2.

4) Continuations

"Upward continuation" ใช้ในการคำนวณหา anomalies ณ ที่ระดับความสูง เหนือระดับที่ใช้ในการวัดค่า

"Downward continuation" คือ การคำนวณหา anomalies ณ ที่ระดับความที่ใช้ในการวัดค่า

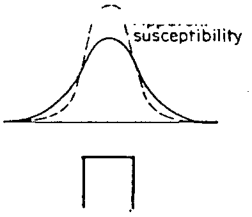


การประยุกต์ใช้ :

- Upward continuation คล้ายกับการทำ regional filtering เพราะมันทำให้ anomalies ในระดับตื้น smooth ขึ้น และเน้น anomalies ระดับลึก และ regional megnetic features
- Downward continuation คล้ายกับการทำ residual filtering ที่มักเน้น shallow magnetic features แต่ในขณะเดียวกัน ก็ยังคงรักษา regional เอาไว้
- Downward continuation มีประโยชน์มาก เมื่อใช้กับบริเวณที่เป็น sedimentary basin (หรือมหาสมุทร) ที่ซึ่งผู้แปลฯต้องการได้ magnetic relief ที่ "แรง" และ "คมชัด" ราวกับทำการบินสำรวจใกล้กับ magnetic "basemant"

- Continuations ให้การบิดเบือนของสนามแม่เหล็กน้อยมาก (ต่างจาก regional residual filtering) ดังนั้น ผลที่ได้จึงสามารถนำไปใช้แบบ "quantitatively"
- หลังจากการทำ downward continuation สามารถนำไปคำนวณ derivative เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับ magnetic bodies ต่อไป

5. Susceptibility mapping
   - ไม่ใช่ Data enhancement จริง ๆ เนื่องจากเป็นการหาค่า magnetic susceptibility ของพื้นดิน ซึ่งไม่ใช่ magnetic field
   - component คล้ายกับการผสมกันของ reduction to the pole, downword continuation, residual filtering และการคำนวณหา susceptibility
   - เขียน profiles หรือ contours ของ apparent magnetic susceptibility ของพื้นที่



การประยุกต์ใช้
- มีประโยชน์มากในการแบ่งแยกประเภทของหิน ทำให้ผู้แปลฯ สามารถเปรียบเทียบ susceptibility ของหน่วยหินที่ anomaly amplitude ได้รับอิทธิพลจากความสูง, ขนาด ฯลฯ (คล้าย ๆ กับ eU ใน radiometrics)
- มีประโยชน์เมื่อใช้ร่วมกับ magnetic modelling มีความแม่นยำของ bodies ดี แม้ว่าจะไม่ดีเท่ากับ derivatives
- ไม่ค่อยมีประโยชน์กับการสำรวจที่บินในระดับที่ไม่แน่นอนเหนือ magnetic basenment

6. Variable depth continuation

เนื่องจากการบินสำรวจที่ความสูง barometric คงที่ขาดความละเอียดแม่นยำของข้อมูลที่บินผ่าน valleys และพื้นที่ที่ต่ำกว่า

การบินสำรวจเหนือ sedimentary basins และมหาสมุทรขาดความแม่นยำในบริเวณที่มี magnetic basement อยู่ในที่ลึก

และการทำแผนที่ apparent susceptibility และ standard downward continuation ไม่สามารถแก้ปัญหา เนื่องจากมันเป็นการคำนวณที่ระดับความสูงคงที่ที่ต่ำกว่าระดับความสูงบินสำรวจ

การแก้ไข:
1. คำนวณ "pseudo-drape" ด้วย "Compu-DrapeR" โดยใช้ความสูงจากการวัดหรือคำนวณเหนือพื้นดิน
2. คำนวณ magnetic suceptibility ของพื้นดิน (หรือ magnetic basement) โดยวิธี "equivalent source" เช่น SUSMAP (Geosoft) ตามด้วย การคำนวณ magnetic field ที่ความสูงคงที่เหนือพื้นดิน (หรือ magnetic basement)

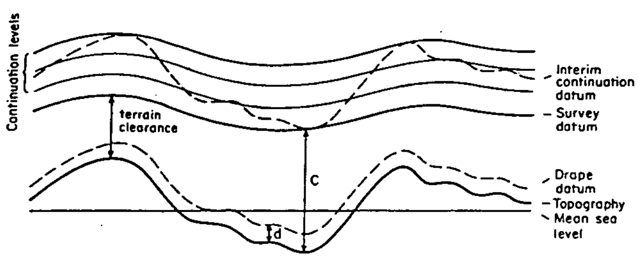


Illustration of compudrape_1d as well as the compudrape_2d parameter (-r option) (Gipsi, Geosoft).

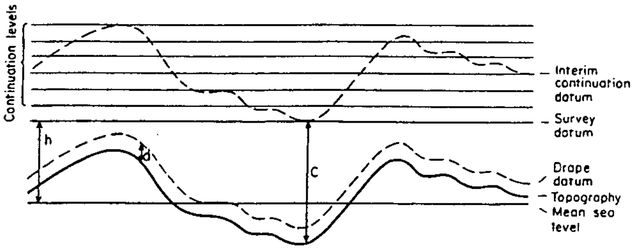


Illustration of compudrape_2d parameters for the continuation from a barometric survey to a drape survey (-b option) (Gipsi, Geosoft).

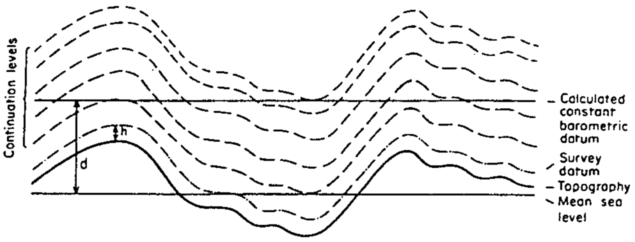


Illustration of compudrape_2d parameters for the continuation from a constant altitude drape to a constant barometric datum (-a option) (Gipsi, Geosoft).

การประยุกต์ใช้
1. ปรับปรุง resolution ของการบินสำรวจแบบ "constant barometric" ในบริเวณที่เป็นภูเขา
2. ในการคำนวณหา apparent susceptibility บน burried magnetic basement

7. Directional Filtering

ในกรณีที่มีแนวทิศทางการวางตัวที่ผู้แปล ฯ ให้ความสนใจเป็นพิเศษ เช่น มี vein ตัดผ่าน country rock bedding, กลุ่มของ dydes หรือ magnetic features ที่มีแนวการวางตัวอย่างเป็นระเบียบที่ให้ anomalies ที่มีความสำคัญ ซึ่งจะต้องทำการกำจัดบางอย่างออก (เพื่อเน้นบางอย่าง) นอกจากนี้การสำรวจ magnetic ยังถูกผลกระทบของการคลาดเคลื่อนของ line-to-line level shift อันเนื่องมาจากผลของ:

-การปรับระดับที่ไม่ดี (diurnal);

- การเปลี่ยนแปลงระดับความสูง (โดยเฉพาะในบริเวณภูมิประเทศสูงชัน);

-ลงตำแหน่งข้อมูลผิด ผลดังกล่าว เรียกว่า "corrugation"

การแก้ไข:

filter ข้อมูล โดยการ เน้น enhancing หรือ กด suppressing ตามแนวดังกล่าว

ตัวอย่าง:

- NW trending dykes รบกวนแนวของ bedrock folia-

tion bedding ใน NWT Canada หลังจาก แก้ค่า directional filtering, dykes ถูก "กด" ทำให้การแปลธรณีวิทยาของ country rock เป็นไปอย่างง่ายขึ้น

- ตัว anomaly ที่อยู่ตื้นจะแสดง แต่จะถูกบิดเบือนเล็กน้อย (แคบลง & อ่อนลง)
- ตัว anomaly ที่อยู่ลึก ก็จะแสดงตัวและถูกบิดเบือนเช่นกัน (กว้างขึ้น & อ่อนลง)

การประยุกต์ใช้:

- ใช้ในการทำ regional component map, เน้น anomaly ที่อยู่ลึก โดยการลดผลของ body ที่วางตัวอยู่ตื้นกว่า วิธีการนี้ บางทีเรียกว่า "Striping" ซึ่งคำนี้ไม่ถูกต้อง เนื่องจากผลที่เกิดจาก body ตัวบนไม่สามารถจะถูกขจัดออกได้หมด
- Regional component maps มีประโยชน์ในการแปลความหมายโครงสร้างอย่างคร่าว ๆ (เช่นเดียวกับ upward & continued maps)
- Residual component maps มีประโยชน์ในการแปลความหมาย bodies ที่อยู่ตื้น แต่บางครั้ง derivative maps ก็ให้ผลที่ดีกว่า

2.11.3 Quantitative Interpretation

1. จุดประสงค์

: เพื่อหาความลึกรูปร่างและตำแหน่งของ body ที่ทำให้เกิด magnetic anomalies

: เพื่อวัดคุณสมบัติแม่เหล็ก (susceptibility) ของ bodies

2. การประยุกต์ใช้

1. ช่วยในการแปลความหมายธรณีวิทยาในการหาตำแหน่ง magnetic formation / structures ก่อนทำการเจาะ
2. ช่วยในการแบ่งแยกกลุ่ม (ตามคุณสมบัติทางแม่เหล็ก)
3. ช่วยในการทำแผนที่ depth-to-basement

3. Synthetic profiles/contours

รูปแบบข้อมูลที่ง่ายที่สุดในการแปลความหมายข้อมูล quantitative คือการเปรียบเทียบ anomaly กับชุดของ synthetic profiles ทิศทาง contours ที่เตรียมเอาไว้แล้ว โดยการเปรียบเทียบรูปร่างของ anomaly และทิศทางการวางตัว (จาก contour map) จะสามารถระบุตำแหน่งและความลึกของ body ได้อย่างคร่าว ๆ จากการเปรียบเทียบความสูงของ anomaly กับ synthetic anomalies ร่วมกับรูปร่าง K ความลึกโดยประมาณขั้นต้น ก็จะสามารถหา apparent susceptibility โดยประมาณได้

$\Delta K = (k2-k1) = \Delta F/2\pi F$

สำหรับประเทศไทย

Difference in % $Fe_3O_4 = 1.5 \times \Delta F \times 10^{-3}$

การประมาณดังกล่าวมีประโยชน์ในการหา "order of magnitude" ในการเปลี่ยนแปลง magnetic content ระหว่างหินใกล้เคียง

4. Nomograms/Type curves

มี nomograms และ type curves ให้ใช้หลาย set ในการแปลความหมายข้อมูลแบบ quantitative ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการใช้ประโยชน์จากการวัดค่าของ "Characteristic estimators" ได้แก่ slopes of tangents, half-width และ peak-to-peak amplitudes ของ anomalies ฯลฯ

วิธีการดังกล่าว ทำได้ช้าและยาก ซึ่งมีลักษณะที่ดีที่สุด คือมีความแม่นยำ +20% ที่ไม่สามารถจะระบุแน่นอนได้ ที่แย่ที่สุด คือ ผิดไปหมด มักเนื่องมาจากการใช้ geometric model ที่ไม่ถูกต้อง

ตัวอย่าง ในการใช้กับ body ที่คล้าย dyke มีลักษณะกว้างและยาว "Half-slope method"

d = ระยะห่างระหว่างจุดของ 1/2 กับ maximum slope

ความลึก h=0.3 (d1=d2) wide, long dyke-like bodies

h = 0.4 (d1+d2) สำหรับ bodies ที่แคบกว่า เมื่อหาค่าความลึก (h) และความกว้างได้แล้ว (w) จาก inflation points (หรือวิธีที่ดีกว่าเช่น zero points ของ 1st vertical derivative) ก็จะสามารถประมาณค่า susceptibility ได้ :

$K = \Delta F/2F\theta$

$K = Fxh/Fw$

มีหน่วยเป็น radian

5. Forward modelling

Synthetic profiles และ contours สามารถคำนวณได้โดยใช้คอมพิวเตอร์แล้วแสดงบน graphic screen หรือ printer/plotter เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับ anomaly ที่วัดได้ โดยการเปลี่ยน body geometry (ลองผิดลองถูก) ก็สามารถ fit รูปร่างของ anomaly ได้ เมื่อ fit แล้ว ก็สามารถหา magnetic susceptibility ได้ วิธีการนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากต้องการ software & hardware ในระดับต่ำ

6. Inverse modelling

ในการทำ inverse modelling นี้ ผู้แปลต้อง:

- คาดคะเนรูปร่างของ body จากตัวเลือกต่าง ๆ
- คาดคะเนทิศทางการวางตัวจาก magnetic contour
- ใช้คอมพิวเตอร์ โดยใช้ "starting values" สำหรับตัวเลขที่ต้องการจาก body parameter ที่ยังไม่รู้
- ให้คอมพิวเตอร์หา body ที่ให้ "best fit" กับ anomaly ที่วัดได้
- ตัดสินใจว่ารูปร่างของ body ที่ได้เหมาะสมทางธรณีวิทยาหรือไม่ หากไม่ก็ให้เริ่มทำใหม่โดยใช้ geometrical shape ที่ต่างออกไป คง parameter บางตัวเอาไว้ คาดคะเนความเป็นไปได้ และให้อิทธิพลที่แตกต่างกันของ data points ที่อาจเป็นของ body ตัวอื่นที่เข้ามารบกวน ทำ modelling ของ 1st derivative อย่างต่อเนื่อง (ปรกติจะให้ผลที่ได้รับการรบกวนจาก anomaly ข้างเคียงน้อยลง)

<u>ข้อดี</u>

- ทำให้ได้ anomaly ที่ fit ได้ดีที่สุดเท่าที่จะเป็นได้
- เกิดความมั่นใจในผลการ modelling
- ทำให้ได้ผลที่มีความหมายทางธรณีวิทยา

<u>การประยุกต์ใช้</u> :

- วิเคราะห์ anomaly สำหรับการเปรียบเทียบทางธรณีวิทยา, การเจาะฯ
- วิเคราะห์ anomalies จำนวนมากในการทำแผนที่ธรณีวิทยา & basement depth
- หาปริมาณแร่ magnetite ในแหล่งแร่เหล็ก

เอกสารอ้างอิง และ บรรณานุกรม

By Volume:

Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores, 1979. In: Peter J. Hood (ed.), Proceedings of Exploration 77 – an International Symposium held in Ottawa, Canada, October, 1977. Geological Survey of Canada, Economic Geology Report 31, 811p:

1. Hood, P.J., Holroyd, M.T. and McGrath, P.H., 1979. Magnetic Methods Applied to Base Metal Exploration. P. 77-104.
2. Etc...

African Magnetic Mapping Project, 1993. ITC Jrounal, 1993-2 Special Issue, 220p.

Airborne Magnetic and Radiometric Surveys, 1997. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, Vol. 17, No. 2, 216p.

1. Horsfall, K.R., Airborne magnetic and gamma-ray data acquisition, p. 23-30.
2. Luyendyk, A.P.J., Processing of airborne magnetic data, p. 31-38.
3. Milligan, P.R. and Gunn, P.J., Enhancement and presentation of airborne geophysical data, p. 63-77.
4. Clark, D.A., Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys, p. 83-104.
5. Gunn, P.J., Quantitative methods for interpreting aeromagnetic data: a subjective review, p. 105 – 114.
6. Gunn, P.J., Regional magnetic and gravity responses of extensional sedimentary basins, p. 115-132.
7. Gunn, P.J., Application of aeromagnetic surveys to sedimentary basin studies, p. 133-144.
8. Gunn, P.J. and Dentith, M.C., Magnetic responses associated with mineral deposits, p. 145-158.
9. Gunn, P.J., Maidment, D. and Miligan, P.R., Interpreting aeromagnetic data in areas of limited outcrop, p. 175 – 186.

Papers & Publications:

เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเชิงปฏิบัติการเรื่อง การใช้ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในการทำแผนที่และสำรวจทรัพยากรธรณี, 2536. ฝ่ายแปลความหมายข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ, โครงการพัฒนาทรัพยากรธรณี, ครั้งที่ 1: 30 มิ.ย. – 1 ก.ค.; ครั้งที่ 2: 24 – 26 พ.ย., 174 หน้า

ธนา เกียรติวงศ์ชัย, 2537, การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศและการประมวลผลเพิ่มประสิทธิผลข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ ภายใต้การดำเนินงานของโครงการพัฒนาทรัพยากรธรณี, รายงานเศรษฐธรณีวิทยา ฉบับที่ 17/2537, มกราคม, 60 หน้า

บุญรวม สงกรานต์, 2539 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ (Airborne Geophysical Surveys) รายงานกองพัฒนาทรัพยากรธรณี, ฉบับที่ 10/2539, กันยายน, กรมทรัพยากรธรณี, 129 หน้า

By Articles:

Boonnop, N., 1997. Aeromagnetic Data Interpretation of the Lampang-Phrae Area, Thailand. A Technical Report of the Mineral Resources Development Division, DMR, 46 p.

Breiner, S., 1988. Chapter 5 Magnetic: Applications for Portable Magnetometers. P. 205-238, In: Richard Van.

Briggs (Briggs, I.C., 1974. Machine contouring using minimum curvature, Geophysics, vol. 39, 39-48.) áÅÐ

Blaricom (ed.) Practical Geophysics for the Exploration Geologist. Northwest Mining Association, USA, 303p.

Grant, 1972. Review of data processing and interpretation methods in gravity and magnetics 1964 – 1967. Geophysics, v. 37 (4), p. 647 – 661.

Hogg, R.L.S., 1989. Recent advances in high sensitivity and high resolution aeromagnetics. P. 153 – 169. In: Proceedings of Exploration'87. Third Decennial International Conference on Geophysical and Geochemical Exploration for Minerals and Groundwater, G.D. Garland (ed.), Ontario Geological Survey, Special Volume 3, 960p.

Hood, P.J., Holroyd, M.T. and McGrath, P.H., 1979. Magnetic methods applied to base metal exploration. in P.J. Hood (ed). Proceedings of Exploration 77 - an international symposium held in Ottawa, Canada, October, Geological Survey of Canada Economic Geology Report 31, Geophysics and Geochemistry in the search for metallic ores, p. 77-104.

Keating, P., 1995. Automated trend reinforcement of aeromagnetic data EAEG Abstracts, Glasgow)

Paterson and Reeves, 1985. Applications of gravity and magnetic surveys: the state of the art in 1985. Geophysics, v. 50, p. 2885.

Reford and Summer, 1964. Review article aeromagnetics, Geophysics, v. 29, p. 482 – 516.

Reid, A.B., 1980. Aeromagnetic survey design. Geophysics, Short Note, v. 45, no. 5, p. 973 – 976.

Smith and Wessel, 1990. Gridding with continuous curvature splines in tension Geophysics, 55, 293-305.

Swain, C.J., 1977. A FORTRAN IV program for interpolating irregularly spaced data using the difference equations for minimum curvature. Computer and Geoscience, 181.

Tulyatid, J., 1995. Production of Nationwide Aeromagnetic Reduction-to-the-Pole, Reduction-to-the-Equator, and its Derivative Grids of Thailand. Mineral Resources Development Division Report No. 3/1995, DMR, 50p.

Tulyatid, J., 1995. Production of Nationwide Aeromagnetic Analytic Signal Grid of Thailand, Mineral Resources Development Division Report No. 3/1995, DMR, 50p. .

3 THE RADIOMETRIC METHOD

2. การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศทั่วประเทศและการประยุกต์ใช้การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ

2. NATIONWIDE AIRBORNE GEOPHYSICAL SURVEY: A REVIEW ON METHODS AND APPLICATIONS

เสถียร สุคนธ์พงเผ่า

ฝ่ายแปลความหมายข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ
โครงการพัฒนาทรัพยากรธรณี
กรมทรัพยากรธรณี

Satien Sukontapongpow

Airborne Geophysical Data Interpretation Section
Mineral Resources Development Project
Department of Mineral Resources

ABSTRACT

The nationwide airborne geophysical surveys of Thailand carried out during 1974-1980 are briefly described. Application of airborne magnetic, airborne radiometric and airborne electromagnetic surveys are summarized.

บทนำ

การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในระหว่างปี พ.ศ. 2527-2533 คลุมพื้นที่เกือบทั่วประเทศไทย (ยกเว้นพื้นที่บริเวณแนวชายแดนที่ไม่ปลอดภัย) ทำให้กรมทรัพยากรธรณีมีข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศหลายชนิด กล่าวคือ ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็ก ข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสี ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า VLF และข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า คิดเป็นระยะทางบินสำรวจประมาณ 786,275 แนวบิน-กม. ข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญประเภทหนึ่งที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสำรวจทำแผนที่ธรณีวิทยาและการสำรวจทรัพยากรธรณี

ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กเป็นข้อมูลที่ทำให้เราสามารถแปลความหมายลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่ได้ตั้งแต่ระดับผิวดินจนถึงระดับลึก จึงเป็นประโยชน์มากในการสำรวจหาลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่ไม่ปรากฏบนผิวดิน เนื่องจากข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กเป็นข้อมูลที่ ได้จากการวัดสนามแม่เหล็กซึ่งเกิดจากแร่ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก ได้แก่ แร่แมกนีไตท์ ไพโรไตท์ และอิลมีไนต์ ซึ่งเกิดเป็นองค์ประกอบอยู่ในเปลือกโลกทั่วไปแต่เพียงปริมาณน้อย ๆ ฉะนั้น หากบริเวณใดมีการสะสมของแร่เหล่านั้นในปริมาณมากผิดปกติ เช่นแหล่งแร่เหล็กที่มีแร่แมกนีไตท์เกิดร่วมอยู่ด้วย รอยสัมผัสแบบ skarn ซึ่งมีแร่แมกนีไตท์เกิดอยู่ด้วยในปริมาณมาก แหล่ง base metal sulfide ซึ่งมีแมกนีไตท์ และไพโรไตท์เป็น เพื่อนแร่ก็จะสามารถสำรวจหาได้จากข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กโดยตรง

ข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสีทำให้เราทราบคุณสมบัติทางเคมีส่วนหนึ่งของพื้นผิวเปลือกโลก เนื่องจากข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสีอาศัยการวัดความเข้มของรังสีแกมม่าซึ่งปล่อยออกมาจากธาตุโปตัสเซียม ทอเรียม และยูเรเนียมในหิน ในระหว่างการสลายตัวทางปรมาณูของธาตุเหล่านี้ เป็นรังสีที่ถูกดูดซึมด้วยวัตถุต่าง ๆ ได้ง่าย ฉะนั้นในบริเวณที่มีหน้าดินหรือน้ำปกคลุม ความหนาเพียงไม่กี่นิ้ว รังสีแกมม่าที่ปล่อยออกมาจากหินข้างใต้ก็จะถูกดูดซับจนวัดไม่ได้ ฉะนั้นการสำรวจวัดความเข้มกัมมันตรังสี จึงให้ข้อมูลข่าวสารทางด้านธรณีวิทยาระดับ

เสถียร สุคนธ์พงเผ่า, ๒๕๓๖. *การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศทั่วประเทศและการประยุกต์ใช้การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ.* ในเอกสารประกอบการประชุมวิชาการ "การใช้ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในการทำแผนที่และการสำรวจทรัพยากรธรณี", โครงการพัฒนาทรัพยากรธรณี, กรมทรัพยากรธรณี, หน้า 2-1 - 2-10.

พื้นผิวเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสีก็มีคุณลักษณะพิเศษที่ช่วยให้เราสามารถแบ่งแยกหินอัคนีชนิดต่างๆ กันได้ดี ช่วยในการค้นหาบริเวณที่ถูกเปลี่ยนแปลงด้วยขบวนการน้ำร้อน (hydrothermal alteration) ได้ ช่วยในการค้นหาแหล่งแร่ยูเรเนียมโดยตรง หรือการค้นหาแหล่งแร่ทองคำบางประเภท

ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการไหลเวียนของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (eddy current) ในตัวนำไฟฟ้า ฉะนั้น จึงเป็นข้อมูลที่ใช้ในการค้นหาลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาหรือแหล่งแร่ที่มีคุณสมบัติในการเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดีที่ซุกซ่อนอยู่ในดินหรือหินที่ไม่ลึกนัก ฉะนั้นการสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจึงมักทำการสำรวจเพื่อค้นหาแหล่งแร่ประเภท massive base metal sulfide หรือแร่ที่เกิดร่วมอยู่กับ massive sulfide เท่านั้น ได้มีผู้พยายามนำข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ใน การค้นหาแหล่งน้ำบาดาลน้ำเค็มใต้ดิน และช่วยในการทำแผนที่ธรณีวิทยาอยู่บ้างแต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย

บทความนี้ได้สรุปการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศทั่วประเทศในระหว่างปี พ.ศ. 2527-2533 เพื่อเป็นพื้นฐานให้ผู้ที่สนใจจะใช้ข้อมูลจะได้ทราบถึงข้อกำหนดทางเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการสำรวจซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของข้อมูลที่สำรวจได้ และได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศวิธีต่างๆ โดยย่อไว้ด้วยเพื่อเป็นแนวทางในการนำข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทาง อากาศที่มีอยู่ไปใช้ประโยชน์

1. การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศทั่วประเทศ

งานสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศทั่วประเทศ เป็นส่วนหนึ่งของงานภายใต้โครงการพัฒนาทรัพยากรธรณี โดยกรมทรัพยากรธรณีได้ว่าจ้างให้บริษัท Kenting Earth Sciences Ltd. แห่ง ประเทศแคนาดา (ภายหลังเปลี่ยนเป็น Kenting Earth Sciences International Ltd.) เป็นผู้ดำเนินการ ภายในระยะเวลา 66 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2527

การสำรวจประกอบด้วย การสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กความละเอียดสูง (Survey A) และการสำรวจวัดความเข้มกัมมันตรังสีความไวสูง (Surveys B&C) คลุมพื้นที่เกือบทั่วประเทศ และการสำรวจวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Follow-up Survey) ในพื้นที่เลือกสรร 5 พื้นที่

ในการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศแต่ละประเภท งานที่จะต้องดำเนินการประกอบด้วย การบินสำรวจในพื้นที่เพื่อเก็บและบันทึกข้อมูล ประมวลผลข้อมูลและทำแผนที่ธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ แปลความหมายข้อมูลแผนที่ธรณีฟิสิกส์ทางอากาศเบื้องต้น จัดทำรายงานและส่งมอบข้อมูล แผนที่ และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการดำเนินงานตามสัญญาจ้าง

การบินสำรวจในสนามทั่วประเทศ เริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2527 และแล้วเสร็จเมื่อเดือนมีนาคม 2530 ส่วนการบินสำรวจในพื้นที่เลือกสรรเริ่มในเดือนสิงหาคม 2530 แล้วเสร็จใน เดือนพฤศจิกายน 2531 ได้ระยะทางบินสำรวจประมาณ 786,275 แนวบิน-กม. กรมทรัพยากรธรณีได้รับมอบงานงวดสุดท้ายเมื่อเดือนมกราคม 2533

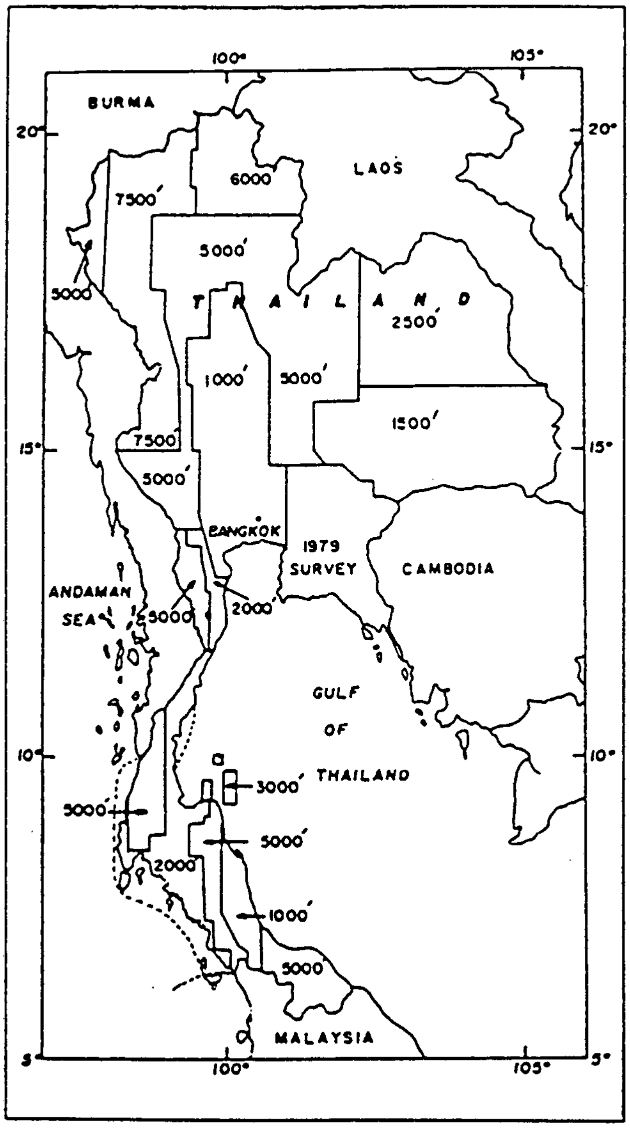
1.1 ข้อกำหนดทางเทคนิคที่สำคัญในการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ

1.1.1 ข้อกำหนดในการบินสำรวจและการบินสำรวจ

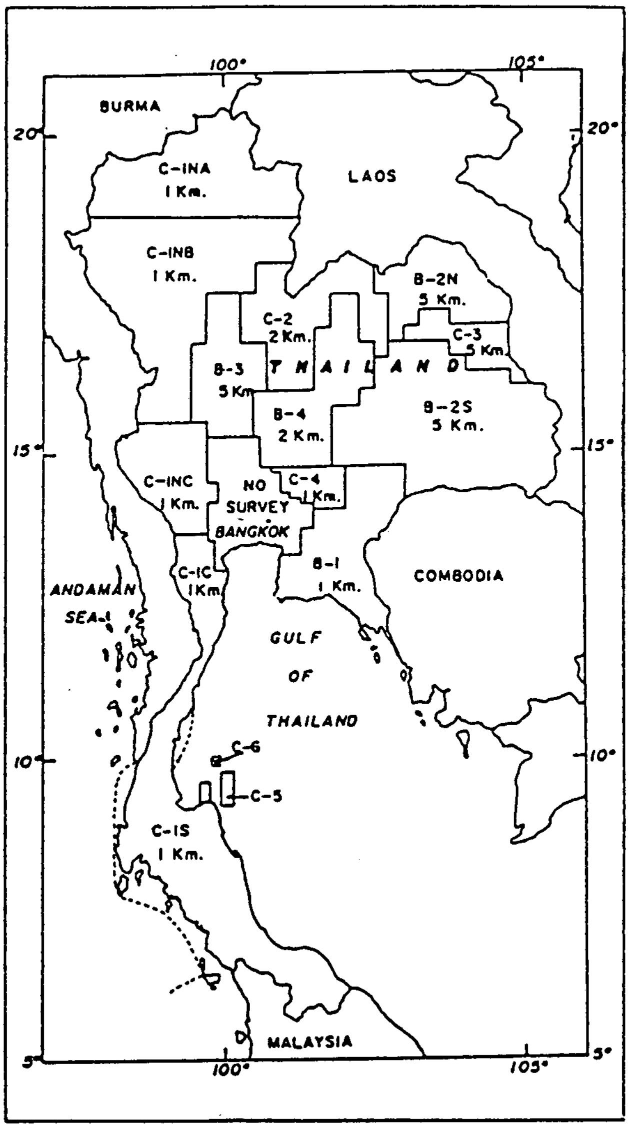
(1) การสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กความละเอียดสูง (Survey A) บินสำรวจด้วยเครื่องบินปีกแข็ง 2 เครื่องยนต์ชนิด Cessna 404 Titans ติดตั้งเครื่องมือแมกนีโตมิเตอร์ บินสำรวจในพื้นที่เกือบทั่วประเทศที่ระดับความสูงต่างๆ กันขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ โดยในพื้นที่ที่เป็นที่ราบลุ่ม บินสำรวจ ณ ระดับความสูง 1,000 ฟุต เหนือระดับภูมิประเทศเฉลี่ย (MTC) ส่วนในพื้นที่ที่เป็นภูเขาแบ่งออกเป็นบล็อคตามความสูงเฉลี่ยของภูมิประเทศ บินสำรวจที่ความสูงคงที่เหนือระดับน้ำทะเลเฉลี่ย (ASL) ตั้งแต่ 1,500 ฟุต 2,000 ฟุต 2,500 ฟุต 3,000 ฟุต 5,000 ฟุต 6,000 ฟุต และ 7,500 ฟุต ในแนวเหนือ-ใต้ โดยมีระยะห่างระหว่างเส้นบินสำรวจประมาณ 1 กม. (รูปที่ 1) ในการบินสำรวจดังกล่าว ได้ทำการบินสำรวจในแนวตะวันออก-ตะวันตก ที่ระดับความสูงระดับเดียวกับการบินสำรวจที่กำหนดในแต่ละพื้นที่ แต่มีระยะห่างระหว่างเส้นบินประมาณ 14 กม. เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการปรับระดับข้อมูล (levelling) ในการทำแผนที่

การบินสำรวจเริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2527 แล้วเสร็จในเดือนพฤศจิกายน 2528 โดยใช้เครื่องบิน 2 ลำ บินสำรวจได้ระยะทางบินรวม 439,588 แนวบิน-กม. คลุมพื้นที่ประมาณ 440,000 ตาราง-กม.

(2) การสำรวจวัดความเข้มกัมมันตรังสีความไวสูง (Surveys-B&C) บินสำรวจด้วยเครื่องบินปีกแข็งชนิด Britten Norman Islander จำนวน 1 ลำ และเครื่องบินปีกหมุนชนิด Bell 412 จำนวน 2 ลำ ติดตั้งเครื่องมือสเปคโตรมิเตอร์ความไวสูง เพื่อวัดค่าความเข้มกัมมันตรังสีเป็นเครื่องมือหลัก และติดตั้งเครื่องแมกนีโตมิเตอร์ และขดลวดรับคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า VLF-EM เพื่อวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 1 แผนที่แสดงพื้นที่การบินสำรวจวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (Survey A) ที่ระดับความสูงต่าง ๆ



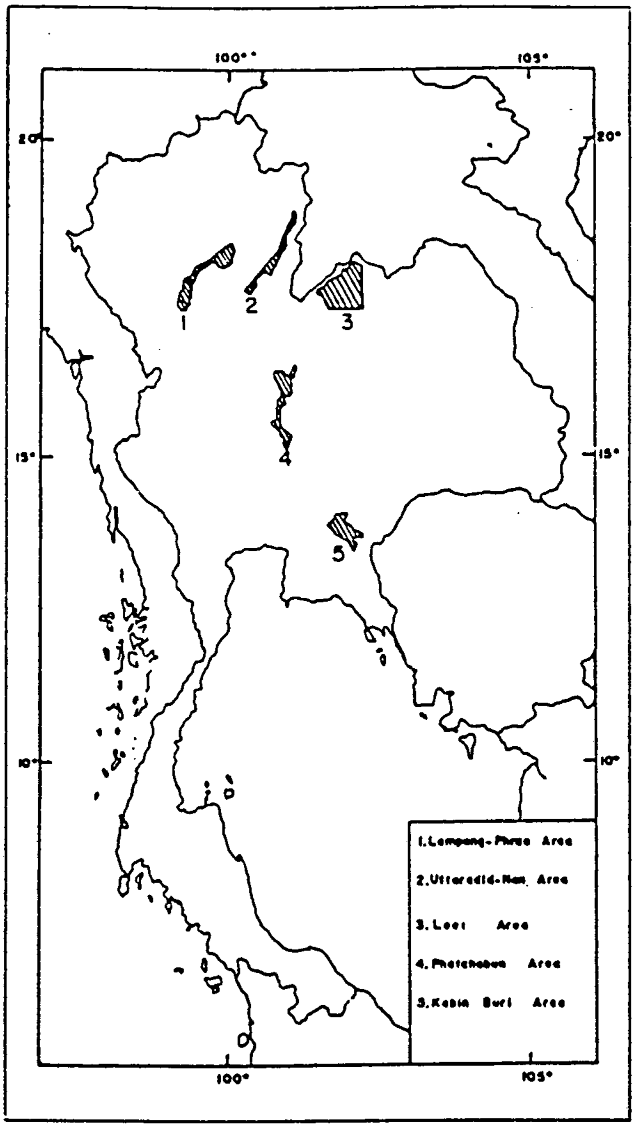
รูปที่ 2 แผนที่แสดงพื้นที่การบินสำรวจวัดค่าความเข้มกัมมันตรังสี (Survey B และ C) ซึ่งมีระยะห่างระหว่างแนวบินต่าง ๆ

และความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกันไปด้วย บินสำรวจในพื้นที่เกือบทั่วประเทศ (รูปที่ 2) ที่ระดับความสูง 400 ฟุต เหนือระดับภูมิประเทศเฉลี่ย (MTC) ในแนวตะวันออก-ตะวันตก โดยมีระยะห่างระหว่างเส้นบินสำรวจ 1, 2 และ 5 กม. อนึ่งในพื้นที่ที่บินสำรวจโดยมีระยะห่างระหว่างเส้นบินสำรวจ 1 กม. ได้บินในแนวเหนือ-ใต้ ที่ระดับความสูงระดับเดียวกับที่บินสำรวจปกติ โดยให้มีระยะห่างระหว่างเส้นบินประมาณ 14 กม. เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการปรับระดับข้อมูล (levelling) ในการทำแผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก

การบินสำรวจ Surveys B และ C ต่างกันแต่เพียงชนิดเครื่องบินที่ใช้ กล่าวคือ Survey B ใช้เครื่องบินปีกแข็งเพราะพื้นที่สำรวจเป็นที่ราบหรือมีภูเขาเตี้ยๆ ส่วน Survey C บินสำรวจด้วยเครื่องบินปีกหมุนเพราะพื้นที่สำรวจเป็นภูเขาสูงชันเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เพื่อให้รักษาระดับความสูงในการบินสำรวจให้เป็นไปตามข้อกำหนดทางเทคนิคได้

เริ่มบินสำรวจตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2528 แล้วเสร็จในเดือนมีนาคม 2530 โดยไม่ทำการบินสำรวจในช่วงที่มีฝนตก ได้ระยะทางบินสำรวจรวมประมาณ 300,000 แนวบิน-กม. คลุมพื้นที่ประมาณ 430,000 ตาราง-กม.

(3) การสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Follow-up) บินสำรวจด้วยเครื่องบินปีกหมุนชนิด Bell 412 จำนวน 1 ลำ ติดตั้งเครื่องมือ EM เพื่อวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเครื่องมือหลัก และติดตั้งเครื่องแมกนีโตมิเตอร์เพื่อวัดความเข้มสนามแม่เหล็กด้วย โดยบินสำรวจในพื้นที่เลือกสรรจำนวน 5 พื้นที่ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 ที่ระดับความ สูง 100 ฟุตเหนือระดับภูมิประเทศเฉลี่ย (MTC) ในแนวตั้งฉากกับโครงสร้างทางธรณีวิทยาหลักใน พื้นที่สำรวจ โดยมีระยะห่างระหว่างเส้นสำรวจประมาณ 400 เมตร และเพื่อการปรับระดับข้อมูล (levelling) ความเข้มสนามแม่เหล็กใน



รูปที่ 3 แผนที่แสดงพื้นที่เลือกสรรเพื่อการบินสำรวจวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Follow-up Survey)

การทำแผนที่ จึงทำการบินสำรวจในแนวตั้งฉากกับเส้นบินสำรวจปกติที่ความสูงระดับเดียวกันทุกระยะห่างประมาณ 5 กม.

เริ่มบินสำรวจเมื่อเดือนสิงหาคม 2530 แล้วเสร็จในเดือนพฤศจิกายน 2531 ได้ระยะทางบินสำรวจรวม 45,297 แนวบิน-กม. คลุมพื้นที่ประมาณ 18,000 ตาราง-กม. หรือประมาณ 2% ของประเทศ การบินสำรวจในสนามจะกระทำได้เฉพาะในวันที่อากาศแจ่มใสเท่านั้นเนื่องจากต้องหลีกเลี่ยง sferics

1.1.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ในการบินสำรวจและบันทึกข้อมูล

(1) การสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กความละเอียดสูง เครื่องแมกนีโตมิเตอร์ที่ใช้ในการบินสำรวจเป็นเครื่องชนิดมีความละเอียดสูง (high resolution) แบบ optically pumped cesium vapour มีความละเอียดถึง 0.01 nT โดยติดตั้งหัววัด (sensor) ยื่นออกจากส่วนหางของเครื่องบิน (tail stinger installation) ทำการวัดและบันทึกข้อมูลในอัตรา 0.25 วินาทีต่อครั้งหรือทุกระยะประมาณ 21 เมตร เครื่องบินที่ใช้ในการสำรวจจะต้องดัดแปลงพิเศษให้เหมาะที่จะติดตั้งแมกนิโตมิเตอร์ นอกจากเครื่องมือธรณีฟิสิกส์แล้วเครื่องบินสำรวจยังต้องติดตั้งเครื่องนำร่อง (Doppler) กล้องถ่ายภาพแนวบิน เครื่องวัดระดับความสูง เครื่องมือสำหรับจัดและบันทึกข้อมูล เข็มทิศ และเครื่องวัดการทรงตัวของเครื่องบิน (gyro)

ในระหว่างการบินสำรวจจะวัดและบันทึกข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็ก พิกัดตำแหน่ง เครื่องบิน ความสูงของเครื่องบินเหนือพื้นดินและระดับน้ำทะเลเฉลี่ย เวลาขณะบิน ทิศทางในการบิน และถ่ายภาพภูมิประเทศตามแนวบินสำรวจไปด้วย ทุกระยะเวลา 0.25 วินาที ข้อมูลทุกชนิดจะบันทึกเป็นตัวเลขไว้ในแถบบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก (tape) พร้อมไปกับการบันทึกในรูปกราฟบนกระดาษกราฟต่อเนื่อง นอกจากนั้น ณ ฐานบินใกล้สนามบินที่ใช้ในการขึ้นลงของเครื่องบินได้ติดตั้งเครื่องมือแมกนิโตมิเตอร์และทำการวัดและบันทึกความเข้มสนามแม่เหล็ก ณ ฐานบินไว้ด้วย เพื่อตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็กตามเวลา (diurnal variation)

ตารางที่ 1 และ 2 แสดงเครื่องมือที่ใช้ และข้อมูลที่บันทึกในการบินสำรวจ

(2) การสำรวจวัดความเข้มกัมมันตรังสีความไวสูง เครื่องบินที่ใช้ในการสำรวจจะติดตั้งเครื่องสเปคโตรมิเตอร์ความไวสูงซึ่งใช้ผลึก NaI(Tl) จำนวน 12 แท่ง มีปริมาตรรวม 50.34 ลิตร เป็นหัววัดหรือตัวรับกัมมันตรังสี (detector) เครื่องสเปคโตรมิเตอร์ จะมีช่องวิเคราะห์รังสี 256 ช่อง เพื่อวิเคราะห์รังสีในช่องพลังงานตั้งแต่ 0-3 MeV ในการวัดและบันทึกข้อมูลกัมมันตรังสี เครื่องสเปคโตรมิเตอร์จะทำการนับและรวมจำนวนอนุภาคกัมมันตรังสีแกมมาในช่วงพลังงานต่าง ๆ จำนวน 4 ช่วง คือ

Total Count	0.40-2.82 MeV
Potassium (K^{40})	1.36-1.56 MeV
Uranium (Bi^{214})	1.66-1.86 MeV
Thorium (Tl^{208})	2.42-2.82 MeV

เครื่องแมกนีโตมิเตอร์ที่ใช้เป็นแบบ proton precession มีความละเอียด (resolution) 0.25 nT เครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า VLF เป็นแบบขดลวดที่สามารถรับความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นวิทยุ VLF จำนวน 2 ความถี่ การติดตั้งแมกนีโตมิเตอร์สำหรับเครื่องบินปีกแข็งจะติดตั้งหัววัด (sensor) ติดกับเครื่องบินบริเวณส่วนหางโดยให้ยื่นออกจากเครื่องบินเล็กน้อย เช่นเดียว

ตารางที่ 1 เครื่องมือที่ใช้ในการบินสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กความละเอียดสูง (Survey A)

Magnetometer:	Varian optically pumped cesium vapour, model V1W2321G4
Data acquisition:	Kenting digital survey system, model KDSS-5
Analog recorder:	RMS Instruments Ltd., model GR33-1
Barometric altimeter:	Rosemount Inc., model 800 F 4 D
Radar altimeter:	Modified TRT. model AHV 8
Navigation system:	Canadian Marconi Doppler model AN/APN-208 (V)/CMA
Directional gyro:	Sperry Rand Corporation, model C-12
Vertical gyro:	Sperry Rand Corporation, model G 15039
Tracking camera:	Automax Industries, model GS-2

ตารางที่ 2 ข้อมูลที่บันทึกในการบินสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กความละเอียดสูง (Survey A)

ชนิดของข้อมูลที่บันทึก	ความละเอียด
Magnetic total field	0.01 nT
Radar and baro altitudes	1 ft
Time	0.25 sec
Fiducial	0.25 sec
Latitude and longitude	0.001 min
Compass heading	0.1 of 1 deg.

กับการสำรวจ Survey A สำหรับเครื่องบินปีกหมุน จะติดตั้งแมกนีโตมิเตอร์ไว้ในโครงทรงกระบอกเรียกว่า bird แล้วโยงห้อยด้วยสายเคเบิ้ลให้ห่างจากตัวเครื่องบิน (วัตถุที่ใช้เป็นโครงและเคเบิ้ลต้องเป็นวัตถุที่ไม่ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็ก) นอกจากเครื่องมือธรณีฟิสิกส์ที่กล่าวแล้ว ก็จะติดตั้งเครื่องมือที่จำเป็นอื่นๆ ได้แก่ เครื่องนำร่อง เครื่องวัดระดับความสูง เข็มทิศ เทอร์โมมิเตอร์ เครื่องจัดและบันทึกข้อมูล และกล้องถ่ายภาพแนวบิน ตารางที่ 3 แสดงรายการเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้

ในระหว่างบินสำรวจ เครื่องมือทุกชนิดจะวัดและบันทึกข้อมูลที่จำเป็นต่างๆ ทุกๆ เวลา 1 วินาที และบันทึกไว้ในแถบข้อมูลแม่เหล็ก (tape) พร้อมกับบันทึกในรูปกราฟบนกระดาษกราฟต่อเนื่อง ณ ฐานบินใกล้สนามบินสำรวจจะติดตั้งเครื่องแมกนีโตมิเตอร์เพื่อวัดและ บันทึกความเข้มสนามแม่เหล็ก ณ ฐานบินไว้ด้วยเพื่อตรวจสอบ ความเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็กตามเวลา (diurnal variation) ตารางที่ 4 แสดงรายการข้อมูลที่วัดและบันทึกไว้ขณะทำการบินสำรวจ และตารางที่ 5 แสดงสถานีและความถี่ ของคลื่น VLF

(3) การสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เครื่องมือวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้เป็นแบบ frequency domain ชนิด 3 ความถี่ สำหรับขดลวดรับ-ส่งสัญญาณ 3 คู่ ขดลวดส่งและรับสัญญาณจะติดตั้งไว้ในโครงทรงกระบอกขนาดยาว 8 เมตร เรียกว่า "bird" แล้วโยงห้อง "bird" จากตัวเครื่องบินด้วยสายเคเบิ้ลยาวประมาณ 100 ฟุต สายเคเบิ้ลจะติดตั้งเครื่องแมกนีโตมิเตอร์ไว้เหนือ "bird" โดยอยู่เหนือ "bird" และขณะบินสำรวจ "bird" จะอยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 98 ฟุต คุณลักษณะสำคัญของเครื่องมือวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นดังแสดงไว้ในตารางที่ 6 เครื่องแมกนีโตมิเตอร์เป็นเครื่องแบบ proton precession มีความละเอียด (resolution) 0.25 nT และเช่นเดียวกับการสำรวจแบบอื่นๆ เครื่องบินสำรวจก็จะต้องติดตั้งเครื่องนำร่อง เครื่องวัดระดับความสูง เข็มทิศ เครื่องจัดและบันทึกข้อมูล และกล้องถ่ายภาพแนวบิน ตารางที่ 7 แสดงรายการเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการสำรวจ

ในการบินสำรวจจะวัดและบันทึกข้อมูลทุกชนิดไว้ในแถบบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก (tape) พร้อมกับการบันทึกเป็นกราฟไว้บนกระดาษต่อเนื่อง รายละเอียดในการบันทึกข้อมูลปรากฏดังตารางที่ 8 และเพื่อการตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็กตามเวลา (diurnal variation) ก็จะทำการวัดและบันทึกข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กบนพื้นดินด้วยเครื่องแมกนีโตมิเตอร์ที่ติดตั้งไว้ ณ ฐานบิน ตลอดระยะเวลาที่ทำการบินสำรวจด้วย

1.1.3 ข้อกำหนดที่สำคัญในการประมวลข้อมูล และทำแผนที่

ในการประมวลข้อมูลทุกชนิดเส้นทางบิน (flight path) ซึ่งจะเป็น สิ่งที่โยงยึดตำแหน่งจุดที่วัดและบันทึกข้อมูลแต่ละจุดตามแนว บินสำรวจเข้ากับภูมิประเทศบนแผนที่ภูมิประเทศ จะต้องทำการค้นหา (recover) และกำหนดโดยอาศัยภาพถ่ายแนวบิน เพื่อกำหนดจุดที่เครื่องบินได้บินผ่านไปในภูมิประเทศลงบนแผนที่เป็นระยะๆ เท่าที่จะมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่สังเกตุให้กำหนดได้ ร่วมกับข้อมูลเส้นทางบินซึ่งเครื่องนำร่องบันทึกไว้ในระหว่างการบินสำรวจ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ตำแหน่งจุดที่วัดและบันทึกข้อมูลถูกต้องที่สุดเท่าที่จะทำได้ ข้อกำหนดที่สำคัญในการประมวลข้อมูลและทำแผนที่ธรณีฟิสิกส์แต่ละชนิดพอจะแยกกล่าวได้ดังนี้คือ

(1) ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็ก ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กที่บันทึกไว้แต่ละเส้นบินสำรวจจะต้องได้รับการปรับระดับให้อยู่ในระดับเดียวกัน (levelling) โดยใช้วิธีหาความ

แตกต่างระหว่างข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็ก ณ จุดเดียวกัน ซึ่งบันทึกจากเส้นบินสำรวจปกติ (traverse line) และเส้นบินสำรวจในแนวตั้งฉาก (control line) ณ จุดที่เส้นบินสำรวจทั้งสองตัดกัน นำค่าความแตกต่างเหล่านี้มาวิเคราะห์และกระจายค่าความแตกต่างเหล่านี้ในสัดส่วนที่เหมาะสมไปยังข้อมูลทุกจุดบนเส้นบินสำรวจปกติ และเส้นบินสำรวจที่ตั้งฉาก ผลจากการแก้ไขนี้ จะทำให้ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กในแต่ละเส้นสำรวจอยู่ในระดับเดียวกัน ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กจากเส้นบินสำรวจปกติ และเส้นสำรวจในแนวตั้งฉาก ณ จุดที่เส้นบินตัดกัน (ตำแหน่งเดียวกัน) จะมีค่าเป็นศูนย์ ในการกระจายค่าความแตกต่างของข้อมูลเพื่อแก้ค่าระดับนั้น กำหนดให้ทำการกระจายได้ไม่เกิน 1 nT ต่อระยะทาง 1 กม. ข้อมูลที่ปรับระดับแล้วจะได้รับการแก้ค่า secular กลับไปยังปี 1980.0 จากนั้นจะสร้างตาราง (grid) ข้อมูลขึ้นจากข้อมูลที่แก้ไขแล้วนี้ โดยใช้ขนาดตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสที่มีด้านยาว 125 เมตร และเขียนเส้นชั้นความเข้มสนามแม่เหล็ก โดยกำหนดให้ความกว้างระหว่างเส้นชั้นมีค่า 5 nT การประมวลข้อมูลตามที่กล่าวข้างต้นให้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ สำหรับข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีระยะห่างระหว่างเส้นบินสำรวจ 1 กม. จะต้องทำเป็นแผนที่เส้นชั้นความเข้มสนามแม่เหล็กมาตราส่วน 1:50,000 และ 1:250,000 แผนที่ 1:250,000 ให้ทำขึ้นจากการถ่ายภาพย่อเส้นชั้นความเข้มสนามแม่เหล็กจากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 และสำหรับข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กจาก Survey A ให้ทำเป็นแผนที่สีขนาดมาตราส่วน 1: 1,000,000 ด้วย ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กจาก Surveys B&C จะนำไปจัดทำเป็น Stacked profile ร่วมกับข้อมูลกัมมันตรังสีซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปด้วย การทำแผนที่เส้นชั้นความเข้มสนามแม่เหล็กสำหรับ Surveys B&C จะทำในพื้นที่ที่สำรวจด้วยเส้นบินสำรวจมีระยะห่างระหว่างกัน 1 กม. เท่านั้น

(2) ข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสี ข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสีทุก ชนิดจะต้องได้รับการแก้ค่า dead time, ค่าภูมิหลัง (back ground) ที่เกิดจากรังสีคอสมิค และค่ากัมมันตรังสีภูมิหลังในชั้นบรรยากาศ ค่ากัมมันตรังสีที่เบี่ยงเบนไปอันเนื่องจากความสูงในการบินสำรวจเบี่ยงเบนไปจากความสูงที่กำหนด และแก้ค่าการฟุ้งกระจายของแถบรังสี (spectral scattering) และแปลงให้เป็นปริมาณความเข้มข้นของกัมมันตรังสีรวม (total count) ปริมาณความเข้มข้นของ K, eU และ eTh ณ ระดับผิวดิน ข้อมูลเหล่านี้จะนำไปสร้าง stacked profiles แผนที่เส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสี (contour maps) และแผนที่กัมมันตรังสีขนาดมาตราส่วน 1:1,000,000

การทำ stacked profiles ให้ทำเป็น profile ที่แสดงเส้นบินสำรวจขนาดมาตราส่วน 1:50,000 และ 1:250,000 การทำ stacked profiles คือการนำข้อมูลธรณีฟิสิกส์แต่ละชนิด

ตารางที่ 3 รายการเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจวัดความเข้มกัมมันตรังสีความไวสูง (Surveys B&C)

Gamma ray spectrometer:	256 channels developed by Kenting
Crystal detector:	12 crystals 50.34 litres Harshaw NaI (Tl)
Pulse processing:	Urtec Ltd., model GRP-100
Analog to digital converter:	Nuclear Data Inc., model 560 & Urtec Ltd., model ND 571
Magnetometer:	Geometric proton precession, models G 803 and G 813
VLF-EM sensor:	Herz Industries, model Totem-2 A
Data acquisition:	Kenting digital survey system, model KDSS-5
Analog recorder:	RMS Instruments Ltd., model GR33-1
Barometric altimeter:	Rosemount Inc., model 800 F&D
Radar altimeter:	Honeywell Inc., model YG 7602 AC
Navigation system:	Canadian Marconi Doppler, Model AN/APN-208 /CMA
Directional gyro:	Sperry Rand Corporation, model C-12
Vertical gyro:	Sperry Rand Corporation, model G-15039
Tracking camera:	Automax Industries, model GS-2
Digital temperature sensor:	Omega, model DP 661 C/W air temperature thermistor probe

ตารางที่ 4 ข้อมูลที่วัดและบันทึกไว้ในแถบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กในการสำรวจวัดความเข้มกัมมันตรังสีความไวสูง

ข้อมูลที่บันทึก	ความละเอียด
Gamma ray total count 0.40-2.82 MeV	1 count
Gamma ray K count 1.36-1.56 MeV	1 count
Gamma ray U count 1.66-1.86 MeV	1 count
Gamma ray Th count 2.42-2.82 MeV	1 count
Total field magnetic value	0.25 nT
Total field magnetic fourth difference	0.25 nT
VLF-EM line total field	0.1 %
VLF-EM line quadrature	0.1 %
VLF-EM Ortho total field	0.1 %
VLF-EM Ortho quadrature	0.1 %
Barometric altimeter altitude	5 ft
Radar altimeter altitude	1 ft
Latitude and longitude	0.01 min
Aircraft heading	0.1 deg.
Air temperature	1.0 deg F
Fiducial (time)	1

ที่ได้ผ่านการประมวลผลแล้วมาสร้างเป็นกราฟข้อมูลแต่ละชนิดเรียงกันเป็นชั้นในแนวตั้งโดย แกนตั้งจะเป็นค่าข้อมูลธรณีฟิสิกส์ ภาพตัดขวางลักษณะภูมิประเทศตามเส้นทางบินสำรวจ ระดับความสูงของเครื่องบินจากพื้นดินขณะบินสำรวจ และแกน

ตารางที่ 5 สถานีและความถี่ของคลื่น VLF ที่ใช้ในการวัดและบันทึกข้อมูล VLF

ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	คลื่นความถี่ (kHZ)	ระยะห่างจากประเทศไทย (km)	กำลังส่ง (kw)
NDT (ortho) NWC (line)	Yosami Japan Nothwest Cape, Australia	17.4 22.3	4,400 4,000	50 1,000

ตารางที่ 6 คุณลักษณะสำคัญของเครื่องมือวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ช่องเลขที่	ความถี่ (HZ)	ลักษณะการติดตั้งขดลวด (coil pair orientation)	ระยะห่างระหว่างขดลวด (เมตร)	เวลาคงที่การกรองข้อมูล (วินาที)
F1	736	vertical coaxial(x-x)	6.43	0.1
F2	912	horizontal coplanar(y-y)	6.43	0.1
F4	4200	horizontal coplanar(y-y)	6.43	0.1

ตารางที่ 7 เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ (Follow-up Survey)

Electromagnetic system:	EMEX-1 prospector system manufactured by Geotech Ltd.
Magnetometer:	Geometrics proton precession, model G-803
Data acquisition:	Kenting digital survey system, model KDSS-5
Analog recorder:	RMS Instruments Ltd., model GR33-1
Radar altimeter:	Honeywell, model HG 7502 AC02
Navigation system:	Canadian Marconi Doppler, model AN/APN-208 (V)/CMA
Directional gyro:	Sperry Rand Corp, model C-12
Vertical gyro:	Sperry Rand Corp, model G15039
Tracking camera:	Automax Industries, model GS-2

นอนของกราฟจะเป็นแถบ (strip) แผนที่ภูมิประเทศตามแนวบินสำรวจและเส้นทางบินสำรวจ stacked profiles ของแต่ละเส้นบินสำรวจจะมีขนาดกว้างเท่ากับความความกว้างของระวางแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วนนั้นๆ และเย็บรวมกันเป็นเล่มตามระวางแผนที่

ตารางที่ 8 ข้อมูลที่วัดและบันทึกไว้ในแถบบันทึกข้อมูลแม่เหล็กในการสำรวจวัดความเข้มสนาม แม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ

ข้อมูลที่บันทึก	ความละเอียด	อัตราที่บันทึก (วินาที)
EM in-phase response 736 Hz	0.5 ppm	0.25
EM quadrature response 736 Hz	0.5 ppm	0.25
EM in-phase response 912 Hz	0.5 ppm	0.25
EM quadrature response 912 Hz	0.5 ppm	0.25
EM in-phase response 4200 Hz	0.5 ppm	0.25
EM quadrature response 4200 Hz	0.5 ppm	0.25
50 Hz noise monitor	1 mv	0.25
Total field magnetic value	0.25nT	1.0
Total field magnetic fourth difference	0.25nT	1.0
Radar altitude	1 ft	0.25
Latitude and longitude	0.01 min	0.25
Fiducial (time)	1	0.25

การทำแผนที่เส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสี (radiometric contour map) ให้ทำเป็นแผนที่เส้นชั้นความเข้มของ total count, K, eU, eTh และ ratio eU/eTh หรือ K/eTh มาตราส่วน 1:250,000 แยกเป็นระวางตามระวางมาตรฐานของแผนที่ภูมิประเทศ ก่อนการเขียนเส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสี จะต้องนำข้อมูลแต่ละชนิดมาสร้างตารางข้อมูล (grid) โดยใช้ขนาดตารางสี่เหลี่ยมจตุรัส (grid size) ขนาด 423.3 เมตรหรือ 625 เมตร (ในกรณีที่ระยะห่างระหว่างเส้นบินสำรวจมากกว่า 1 กม.)

การทำแผนที่กัมมันตรังสีขนาดมาตราส่วน 1:1 ล้าน ทำเป็นแผนที่สีโดยใช้สีต่างๆ ตาม แถบสีซึ่งประกอบกันเป็นแสงสีขาว โดย tone สีฟ้าแทนค่าความเข้มกัมมันตรังสีค่าต่ำ และ tone สี แดงแทนค่าความเข้มกัมมันตรังสีทางด้านค่าสูงโดยทำเป็นแผนที่ total count, K, eU และ eTh

(3) ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า VLF ข้อมูล VLF จะต้องผ่านการแก้ไขข้อบกพร่องอันเนื่องมาจาก temporal drift ของคลื่นวิทยุจากสถานีทั้งสองสถานี และผ่านการกรอง (filter) เพื่อกำจัดสิ่งที่มิพึงประสงค์ (noise) ต่างๆ ข้อมูลที่ได้ผ่านการแก้ไขแล้วนำไปทำเป็น stacked profiles ร่วมกับข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสี และแผนที่ profile map แผนที่ profile map จะทำโดยใช้เส้นแนวบินสำรวจเป็นแกนนอนของ profile และเขียนกราฟค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก VLF quadrature และ total field เป็นแกนตั้ง เส้นแนวบินสำรวจซึ่งเป็นแกนนอนจะเป็นเส้นที่ความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์

(4) ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (จากการสำรวจ Follow-up) ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะต้อง

ผ่านการแก้ไขให้กลับสู่ระดับปกติโดยอาศัยข้อมูลจาก null check หรือ zero level check ในระหว่างการบินสำรวจและแก้ไขระดับข้อมูลในแต่ละแนวสำรวจให้อยู่ในระดับฐานเดียวกัน (levelling) ทำการกรอง (filter) สิ่งที่ไม่พึงประสงค์ (noise) ต่างๆ เช่น sferics noise และ power line noise เป็นต้น ข้อมูลที่ได้ผ่านการแก้ไขแล้วนี้จะนำไปจัดทำเป็น profile map และ stacked profiles ขนาดมาตราส่วน (ระยะทางตามเส้นแนวบิน) 1:50,000 นอกจากนั้น ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดจากคลื่นความถี่ส่ง 4200 Hz ยังนำไปคำณวนหาค่าความต้านทานไฟฟ้า (resistivity) เพื่อทำเป็นแผนที่เส้นชั้นความต้านทานไฟฟ้ามาตราส่วน 1:50,000 และ stacked profiles ด้วย

การจัดทำแผนที่ profile map จะทำแผนที่สำหรับข้อมูลที่วัดได้จากคลื่นความถี่ส่งแยกแต่ละความถี่ ทั้งนี้โดยใช้เส้นแนวบินสำรวจเป็นแกนนอนของ profile และมีค่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นศูนย์ แกนตั้งจะแทนค่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะเขียนเป็นกราฟทั้งค่า in-phase และ quadrature โดยใช้แกนตั้งร่วมกัน

การจัดทำ stacked profile ทำโดยนำข้อมูล in-phase และ quadrature ที่วัดได้จากคลื่นความถี่ส่งทุกความถี่ ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็ก ข้อมูลความสูงของเครื่องบินในขณะที่บินสำรวจ และค่าความต้านทานไฟฟ้ามาเขียนกราฟเรียงกันในแนวตั้ง และแกนนอนแสดงเส้นแนวบินสำรวจไว้ โดยทำแยกแต่ละเส้นสำรวจ

การทำแผนที่เส้นชั้นความต้านทานไฟฟ้า จะใช้ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า in-phase และ quadrature ที่วัดได้จากคลื่นส่งความถี่ 4200 Hz มาคำณวนหาค่าความต้านทานไฟฟ้าทุกจุดสำรวจ โดยใช้ homogeneous half space model เป็นแบบจำลองในการคำณวนและทำการสร้างตารางข้อมูลในรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสที่มีด้านยาวด้านละ 125 เมตร แล้วทำการลากเส้นชั้นความต้านทานไฟฟ้า

การประมวลข้อมูลและทำแผนที่ที่กล่าวข้างต้นดำเนินการโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นส่วนใหญ่ เมื่อจัดทำแผนที่ต่างๆ แล้วข้อมูลธรณีฟิสิกส์ที่ประมวลผลแล้วจะต้องบันทึกไว้ในแถบบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก 9 tracks ในรูป line data และ gridded data เพื่อเป็น archived data ด้วย

1.2 ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญจากการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศทั่วประเทศ

ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่สุดคือข้อมูลตัวเลข ซึ่งเป็น archived data ในรูป line data และ gridded data สามารถนำไปประมวลด้วยเทคนิคใหม่ๆ หรือจะนำไป enhance เพื่อทำแผนที่ในรูปต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ที่จะใช้สอยผลิตภัณฑ์ที่สำคัญรองลงมาคือ แผนที่ธรณีฟิสิกส์ชนิดต่างๆ ตารางที่ 9, 10 และ 11 แสดงรายการผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่ได้จากการสำรวจ ธรณีฟิสิกส์ทางอากาศทั่วประเทศ

ตารางที่ 9 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบินสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กความละเอียดสูง (survey A)

ชนิดของผลิตภัณฑ์	มาตราส่วน	จำนวน
แผนที่เส้นชั้นความเข้มสนามแม่เหล็ก	1:50,000	774 ระวาง
แผนที่เส้นชั้นความเข้มสนามแม่เหล็ก	1:250,000	47 ระวาง
แผนที่อะนอมาลีความเข้มสนามแม่เหล็ก	1:1 ล้าน	2 ระวาง
Processed digital archive magnetic data tape	-	146 ม้วน

ตารางที่ 10 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบินสำรวจวัดความเข้มกัมมันตรังสีความไวสูง (Surveys B&C)

ชนิดของผลิตภัณฑ์	มาตราส่วน	จำนวน
แผนที่เส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสีรวม (TC)	1:250,000	50 ระวาง
แผนที่เส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสีธาตุโปตัสเซียม	1:250,000	50 ระวาง
แผนที่เส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสีธาตุยูเรเนียม	1:250,000	50 ระวาง
แผนที่เส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสีธาตุทอเรียม	1:250,000	50 ระวาง
แผนที่เส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสีอัตราส่วนของธาตุ	1:250,000	50 ระวาง
แผนที่อะนอมาลีความเข้มกัมมันตรังสีของแต่ละธาตุข้างต้น	1:1 ล้าน	8 ระวาง
แผนที่ profile map ความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า VLF	1:250,000	100 ระวาง
แผนที่เส้นชั้นความเข้มสนามแม่เหล็ก	1:50,000	437 ระวาง
แผนที่เส้นชั้นความเข้มสนามแม่เหล็ก	1:250,000	36 ระวาง
Stacked profiles	1:50,000 และ 1:250,000	794 เล่ม
Digital archive data tape (Mag, Rad, VLF-EM)	-	292 ม้วน

ตารางที่ 11 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบินสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Follow-up Survey)

ชนิดของผลิตภัณฑ์	มาตราส่วน	จำนวน
EM profile maps 736 Hz coaxial	1:50,000	48 ระวาง
EM profile maps 912 Hz coplanar	1:50,000	48 ระวาง
EM prifile maps 4200 Hz coplanar	1:50,000	48 ระวาง
Apparent resistivity maps (4200 Hz)	1:50,000	48 ระวาง
EM anomaly/interpretation maps	1:50,000	48 ระวาง
Stacked profiles	1:50,000	1649 แผ่น
รายงานการแปลความหมาย 5 พื้นที่สำรวจ	-	5 เล่ม
Digital archive data tape	-	132 ม้วน

2. บทบาทของการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในการทำแผนที่ธรณีวิทยาและสำรวจทรัพยากรธรณี

การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศเป็นวิธีการสำรวจที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในการสำรวจทั่วไป (reconnaissance) หรือการสำรวจในขั้น "regional" และการสำรวจในขั้นรายละเอียด วิธีทางธรณีฟิสิกส์ที่นิยมใช้ในการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศเรียงลำดับตามความนิยมได้ดังนี้ คือ สำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก สำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กควบกับการวัดความเข้มกัมมันตรังสี วัดความเข้มสนามแม่เหล็กควบกับการวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และการสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ข้อดีและข้อเสียของการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศเมื่อเปรียบเทียบ กับการสำรวจธรณีฟิสิกส์ภาคพื้นดิน มีดังนี้คือ

ข้อดี

- สำรวจได้รวดเร็ว เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าในกรณีสำรวจบริเวณกว้าง
- สำรวจได้หลายวิธีในคราวเดียวกัน
- ครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่า ไม่มีขีดจำกัดเรื่องการเข้าถึงพื้นที่

ข้อเสีย

- พื้นที่ที่จะสำรวจต้องมีขนาดใหญ่พอสำหรับการสำรวจด้วย เครื่องบิน
- มีข้อจำกัดในเรื่องสภาพอากาศ ถ้าทัศนวิสัยไม่ดีก็สำรวจไม่ได้
- ข้อมูลที่ได้ไม่ละเอียดเท่ากับการสำรวจภาคพื้นดิน (บางกรณีก็เป็นข้อดี)

การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศสามารถนำมาใช้ได้ทั้งการสำรวจเพื่อค้นหาลักษณะทางธรณีวิทยากว้าง ๆ หรือการสำรวจหาแหล่งแร่โดยตรง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเลือกวิธีธรณีฟิสิกส์ที่จะใช้และ การกำหนดรูปแบบการสำรวจ (survey design) เป็นเกณฑ์ การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศวิธีต่าง ๆ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังต่อไปนี้คือ

2.1 การสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ

ถ้าเป็นการสำรวจแบบ "regional" ดังเช่นการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศทั่วประเทศจะเป็นการสำรวจเพื่อ

1) ช่วยในการหาขอบเขตของหน่วยหิน หาโครงสร้างทางธรณีวิทยาต่าง ๆ และการศึกษาทางด้านเทคโทนิคระดับภูมิภาค

2) ช่วยในการหาความลึกของแอ่งหรือความหนาของหินชั้นเหนือ basement

- เพื่อการสำรวจแหล่งปิโตรเลียม ถ่านหิน หรือการศึกษาแอ่งสะสมตะกอน

- การสำรวจหาแหล่งแร่ที่มีกำเนิดเกี่ยวข้องกับพื้นผิวของbasement เช่นแหล่งแร่ยูเรเนียมในหินกรวดมน (basal pebble conglomerate) และ Strata-bound Pb-Zn เป็นต้น

ถ้าเป็นการสำรวจแบบกึ่งรายละเอียด หรือขั้นรายละเอียดมักจะสำรวจควบไปกับวิธีธรณีฟิสิกส์อื่นๆ เช่น สำรวจวัดความเข้มกัมมันตรังสี หรือสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นต้น ในการสำรวจแบบกึ่งรายละเอียดหรือขั้นรายละเอียด มักจะเป็นการสำรวจเพื่อ

1) หาแหล่งแร่โดยตรง เช่นหาแหล่งแร่เหล็กชนิดที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก หรือหาแหล่งแร่โครไมต์ หรือแหล่งแร่ใยหิน ซึ่งจะเกิดร่วมกับหิน Ultramafic หรือหาแหล่งรัตนชาติซึ่งเกิดร่วมกับบาซอลท์

2) หาแหล่งแร่โดยอ้อม ร่วมกับ หรือควบกับการสำรวจวิธีอื่น เช่น

- ช่วยแยกแยะระหว่างแหล่ง หรือลักษณะธรณีวิทยาที่เป็นตัวนำ (conductor) ว่าเป็นแร่โลหะ หรืออโลหะ

- ช่วยในการแปลความหมาย รูปร่างลักษณะ ขนาด ทิศทางการวางตัวและความลึกของแหล่งแร่ หรือหินอัคนีแทรกซอนที่ไม่โผล่ให้เห็น

- ช่วยในการกำหนดสภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยาของแหล่งแร่

3) การสำรวจทางด้านวิศวกรรม เช่นสำรวจ vertical gradient เพื่อหา faults หรือการสำรวจหาท่อขนาดใหญ่หรืออุโมงค์ เป็นต้น

2.2 การสำรวจวัดความเข้มกัมมันตรังสีทางอากาศ

ก็สามารถ ใช้ได้ทั้งช่วยในการสำรวจทำแผนที่ธรณีวิทยาหรือค้นหาแหล่งแร่ แต่การสำรวจวัดความเข้มกัมมันตรังสีทางอากาศจะได้ข้อมูลที่ เกี่ยวกับพื้นผิวเท่านั้น เนื่องจากหน้าดินหรือน้ำซึ่งมีความหนาเพียงไม่กี่นิ้วก็มีปริมาณมากพอที่จะดูดซับเอารังสีแกมม่าที่แผ่ออกมาจากหินข้างใต้โดยสิ้นเชิง จึงไม่สามารถที่จะวัดได้ การสำรวจวัดความเข้มกัมมันตรังสีมักจะสำรวจควบไปกับการสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กและสามารถนำไปใช้ในกรณี ต่างๆ ดังนี้คือ

1) ช่วยในการสำรวจทำแผนที่ธรณีวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาขอบเขตหินอัคนี และการแบ่งแยกหินอัคนีชนิดต่าง ๆ

2) สำรวจหาแหล่งแร่โดยตรง ในกรณีการสำรวจหาแหล่งแร่ยูเรเนียม

3) สำรวจหาแหล่งแร่โดยอ้อม เช่นการสำรวจหาหิน kimberlites เพื่อหาแหล่งแร่เพชร สำรวจหาแหล่งแร่ทองแดงแบบพอร์ไฟรี แหล่งแร่ทองคำ แหล่งไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น

2.3 การสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ

มักจะใช้เพื่อการสำรวจหาแหล่งแร่โลหะ ประเภทแหล่ง massive sulfides โดยตรง ในกรณีที่สำรวจควบหรือร่วมกับการสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กอาจช่วยขยายขอบเขตการใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น การสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศจะใช้ไม่ได้ผลในกรณีที่ country rocks นำไฟฟ้าดีมาก หรือหน้าดิน (overburden) ทั้งหนามากและนำไฟฟ้า เป้าหมายที่เหมาะแก่การสำรวจหาด้วยการ สำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ พอจะสรุปได้ดังนี้คือ

1) แหล่งแร่ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และแหล่งแร่มีค่าแบบ massive volcano-sedimentary stratabound sulfide

2) แหล่งแร่ ตะกั่ว-สังกะสี ในหินปูน

3) แหล่งแร่นิคเกิ้ล แบบ massive pyrrhotite-pentlandite

4) สายแร่เงิน หรือทองคำ ซึ่งมี pyrite มาก

5)แหล่งแร่ทองแดง-ตะกั่ว-สังกะสี และแหล่งแร่มีค่าแบบ Skarn

6) shear zone

สรุป

การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศทั่วประเทศที่กรมทรัพยากรธรณีได้ดำเนินการให้มีการสำรวจในช่วงปี พ.ศ. 2527-2533 ทำให้ประเทศไทยมีข้อมูลพื้นฐานทางธรณีวิทยาธรณีฟิสิกส์ ครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งประเทศ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็ก ความเข้มกัมมันตรังสี และความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า VLF ที่สามารถนำไปใช้ช่วยในการสำรวจทำแผนที่ธรณีวิทยาและ สำรวจหาแหล่งแร่ ทั้งโดยตรงและโดยอ้อม นอกจากนั้นยังมีข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และ ความเข้มสนามแม่เหล็กรายละเอียดซึ่งได้จากการสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในพื้นที่เลือกสรรจำนวน 5 พื้นที่ ซึ่งเหมาะที่จะใช้ในการสำรวจหาแหล่งแร่แบบ massive sulfide และแหล่งแร่มีค่า ฉะนั้น หากได้มีการนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้กันอย่างแพร่หลาย ย่อมจะเป็นประโยชน์ต่อการทำแผนที่ และสำรวจทรัพยากรธรณี เป็นเอนกประการ

อนุโมทนาคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณจรินทร์ ตุลยาทิตย์ นักธรณีวิทยาอาวุโส ฝ่ายแปลความหมายข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ และคุณวันวิสา วงษ์กรณ์ เจ้าหน้าที่พิมพ์ดีด ฝ่ายเลขานุการโครงการพัฒนาทรัพยากรธรณี ที่ได้ช่วยในการจัดรูปบทความ และพิมพ์ต้นฉบับตามลำดับ และขอขอบคุณ คุณธวัช จาปะเกษตร์ ผู้อำนวยการโครงการพัฒนาทรัพยากรธรณี ที่ได้กรุณาให้ความสนับสนุน สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ CIDA ที่เป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการจัดประชุม

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี, 2527, *สัญญาจ้างเหมาสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศทั่วประเทศ* สัญญาเลขที่ 50/2527 ลงวันที่ 1 มิถุนายน 2527

เสถียร สุคนธ์พงเผ่า, 2527 *บทบาทของการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในการสำรวจแหล่งแร*

วิศวกรรมสาร ปีที่ 37 เล่มที่ 6 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

Paterson, Grant & Watson Ltd., 1982. *Mining Geophysics Workshop*, Sutton, Ontario, Canada.

Sukontapongpow, S., 1988. *Nationwide Airborne Geophysical Surveys of Thailand and Potential Use of their Results for Tin Exploration*, unpublished paper presented at Seminar on Application of Geophysics in the Tin Mining Industry, Jakarta, Indonesia.

การแปลความหมายข้อมูลกัมมันตรังสี

1. บทนำ

การสำรวจวัดค่าความเข้มกัมมันตรังสีเริ่มมีขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2510 ในการสำรวจหาแร่ยูเรเนียม ในสมัยนั้นเครื่องมือที่ใช้ยังมีประสิทธิภาพต่ำ ในช่วงเวลาต่อมาได้มีการปรับปรุงพัฒนาเครื่องมือฯ และมีวิธีการบินสำรวจให้มีคุณภาพดีขึ้นจนสามารถทำการวัดค่าได้ดี และได้กลายมาเป็นเครื่องมือหลักที่ใช้ในการสำรวจหาแร่ยูเรเนียม ในระหว่างปี พ.ศ. 2518-2522 ได้มีการบินสำรวจวัดค่าความเข้มกัมมันตรังสีในหลายประเทศ การบินสำรวจก็มิได้จำกัดอยู่แค่การสำรวจหาแหล่งแร่ยูเรเนียมแต่ได้นำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอื่นๆ ได้แก่การทำแผนที่ธรณีวิทยา และการสำรวจหาแหล่งแร่ชนิดต่างๆ ในรอบทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีการพัฒนาทางด้านคอมพิวเตอร์ และการพิมพ์สีด้วยเครื่องพิมพ์และพล็อตเตอร์ เป็นอันมาก ส่งผลให้มีการพัฒนาทางด้านการประมวลผลข้อมูลฯ และการนำเสนอข้อมูลฯ อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเป็นอย่างมาก ทำให้สามารถผลิตแผนที่ที่สามารถจำลองข้อมูลฯ หรือเพิ่มประสิทธิผลข้อมูลฯ ให้ดีขึ้น ทำให้การแปลความหมายได้ง่ายขึ้น

สำหรับประเทศไทย ได้มีการบินสำรวจวัดค่าความเข้มกัมมันตรังสีทั่วประเทศ ในระหว่างปี พ.ศ.2528-2530 ภายใต้โครงการพัฒนาทรัพยากรธรณี (คพท.) หลังจากที่การบินสำรวจเสร็จสิ้น ได้มีการนำเอาข้อมูลฯจากการบินสำรวจมาประยุกต์ใช้ในงานด้านแผนที่ธรณีวิทยา และในการสำรวจหาแหล่งทรัพยากรแร่ ภายใต้ คพท. (ระยะที่ 2; 2535-2537)

เอกสารฉบับนี้ จัดทำขึ้นเป็นบทความโดยย่อเกี่ยวกับวิธีการบินสำรวจวัดค่าความเข้มกัมมันตรังสี และการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากการสำรวจเบื้องต้นสำหรับผู้ที่สนใจ เนื้อหาของเอกสารฉบับนี้ ครอบคลุมความรู้เบื้องต้นและสิ่งที่ควรรู้เกี่ยวกับการบินสำรวจฯ โดยสังเขปเพื่อจะได้เข้าใจ ถึงธรรมชาติ ความเป็นมา และที่สำคัญคือความสัมพันธ์กับธรณีวิทยาของข้อมูล จากนั้นจะกล่าวถึงการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ ได้แก่ การนำข้อมูลไปใช้ในการทำแผนที่ธรณีวิทยา และการสำรวจแร่ กรณีศึกษาสำหรับการประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศได้ถูกอ้างอิงไว้เท่าที่จะรวบรวมได้ เพื่อให้ผู้ที่สนใจใคร่จะศึกษาเพิ่มเติม ได้ใช้เพื่อการค้นคว้าต่อไป

2. ธาตุกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ

ธาตุกัมมันตรังสี สลายตัวโดยกระบวนการ gamma ray emission และ atomic disintegration ให้ผลผลิตคือ "daughter products" ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีและ half-lives ที่แตกต่างไปจากตัวของมัน

ธาตกัมมันตรังสีที่ใช้ในการสำรวจได้แก่:

- โพแทสเซียม (Potassium) ประกอบด้วย isotope K^{40} ประมาณ 20 ppm ซึ่งมี half-life = 1.3x109 ปี และมีพลังงาน 1.31 million electron-volts (MeV.)
- ยูเรเนียม (Uranium-238) (U^{238}) สลายตัวให้ Bismuth-214 (Bi214) ซึ่งมี half-life = 19.7 นาที และพลังงาน = 1.76 Mev.
- ทอเรียม (Thorium-232) (Th^{232}) สลายตัวให้ Thallium-208 (Tl^{208}) ซึ่งมี half-life= 3.1 นาที และพลังงาน = 2.62 Mev.

ในบริเวณที่ไม่มีการชะล้างทางเคมีและการผุพังพัดพา ให้ถือเสมือนว่ากระบวนการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีอยู่ในสภาวะที่ "สมดุลย์" (equilibrium) ดังนั้น การวัดค่าความเข้มกัมมันตรังสีของ isotope ใดๆ ก็ตามจะสามารถบ่งบอกถึงความเข้มข้นของธาตุต้นกำเนิด (parent element) ได้คือ การวัดค่า Bi^{214} gamma-ray flux สามารถใช้คำนวณหาค่าความเข้มข้นของยูเรเนียมในหินได้ การวัดค่า Tl^{208} gamma-ray flux ก็สามารถใช้คำนวณหาค่าความเข้มข้นของทอเรียมในหินได้

3. การแปลความหมายทางกัมมันตรังสี

ในการที่จะใช้ประโยชน์จาก Airborne gamma-ray spectrometry ในด้านการทำแผนที่ธรณีวิทยาและการสำรวจแร่นั้น ขึ้นอยู่กับหลักการ 2 ประการคือ

1. การกระจายตัวของธาตุกัมมันตรังสีขึ้นอยู่กับหินชนิดต่างๆ ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้โดย mineralization processes

2. การกระจายตัวของธาตุกัมมันตรังสีของ bedrock จะเป็นตัวที่บ่งบอกถึงส่วนประกอบของวัสดุที่พื้นผิวที่จะสามารถเชื่อมโยงได้กับหินต้นกำเนิด การนำเอาข้อมูลจากการสำรวจฯ ไปใช้ให้ได้ผลนั้น บริเวณที่ทำการสำรวจจะต้องมีส่วนประกอบของวัสดุที่ระดับพื้นผิวที่แตกต่างกันมากพอที่จะสำรวจพบได้

3.1 Signatures of Rocks, Structures, Ore-environments

โดยปรกติแล้ว "signatures" ที่ได้จากการสำรวจ

ด้านกัมมันตรังสี จะมีความยุ่งยากซับซ้อนมากกว่าข้อมูลทางสนามแม่เหล็กโลก เนื่องจากมันประกอบไปด้วยข้อมูลถึง "4 channels" ไม่ใช่เพียงแค่ "1 channel"ในทางปฏิบัติจะใช้การเปรียบเทียบค่า amplitude ของค่าความเข้มกัมมันตรังสีที่ช่องพลังงานต่าง ๆ การเปรียบเทียบสามารถใช้ได้ทั้ง stacked profiles หรือแผนที่แสดงค่าความเข้มฯของแต่ละธาตุ จะทำให้สามารถวาด "zones" ของกลุ่มที่มีค่าตอบสนองทางกัมมันตรังสีใกล้เคียงกันได้ ในการทำ "zoning" ข้อมูลกัมมันตรังสีนั้นสามารถนำเอาแผนที่อัตราส่วน (ratio maps) เข้ามาช่วยได้ ข้อดีของแผนที่ดังกล่าวคือ มันไม่ถูกกระทบด้วยผลของ "finite source size" และ "height variation"

3.2 ธาตุกัมมันตรังสีใน Bed Rock

โพแทสเซียม (K) เป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับ 9 ในชั้น crust ของโลก ส่วนใหญ่แล้ว K เป็นส่วนประกอบอยู่ใน K feldspar และ micas ซึ่งเป็นแร่ที่มีปรากฏอยู่ทั่วไป ในขณะที่ U และ Th เป็น trace elements ที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าของ K ประมาณ 4 เท่า ในหินอัคนีทั่วไป

ค่าความเข้มกัมมันตรังสีที่วัดได้นี้ มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับคุณสมบัติทางเคมีและแร่ของ source rock ตามทฤษฎีแล้ว การวิเคราะห์ radioactive spectrum จะสามารถแบ่งแยกชนิดของหินได้อย่างละเอียด แต่ในทางปฏิบัติ การเปรียบเทียบทางธรณีวิทยา สามารถกระทำได้ในเชิงคุณภาพ โดยเปรียบเทียบข้อมูลเข้ากับแผนที่ธรณีวิทยา เมื่อใช้ร่วมกับข้อมูล magnetic ข้อมูลกัมมันตรังสีอาจบอกได้ถึงชนิดของหินบางประเภท

Gilbralth and Saunders (1983) และ Ford and Carson (1986) ได้แสดงให้เห็นว่า ความเข้มของธาตุกัมมันตรังสีทั้งสาม เพิ่มขึ้นจาก ultrabasic ไปหา acid igneous หรืออีกนัยหนึ่งคือ เพิ่มค่า SiO^2 นั่งเอง (รูปที่ 1 และ 2) จากรูปที่ 1 จะเห็นว่า Th มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าที่สูงกว่า U และ Th อย่างเห็นได้ชัดแต่เมื่อเข้าใกล้ค่าของ leuco-granite U และ Th ก็มิได้มีอัตราเพิ่มอย่างต่อเนื่องอีกต่อไป

ธาตุกัมมันตรังสีเหล่านี้ มีปรากฏในหินต่าง ๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงใน ตารางที่ 1

การแยกตัวกันของ โพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม ในช่วงอุณหภูมิต่ำ ตอนปลายของการเกิดหินอัคนี เกิดขึ้นเนื่องจาก ยูเรเนียมมีการ เคลื่อน ย้ายได้ดีกว่าทอเรียม และโพแทสเซียม ในสภาพแวดล้อมแบบ oxidizing ตัวอย่างของสภาพแวดล้อมดังกล่าว ได้แก่ การเกิด pegmatite และ hydrothermal vein ที่ที่มักจะไม่มีทอเรียม จึงมักมีแต่ยูเรเนียม ส่วนในหินที่มี SiO^2 น้อย ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิที่สูงกว่า มักจะเกิดแร่ isomorphous U-Th เช่น thorianite-uraninite series

หิน ultrabasic ซึ่งเป็นหินที่มีศักยภาพในการให้แร่ chromite และ platinum group elements สามารถสังเกตุได้ด้วยคุณสมบัติการมีธาตุกัมมันตรังสีต่ำ ตลอดจนการไม่มีแร่ magnetite ทำให้มันไม่มีคุณสมบัติของความเป็นแม่เหล็ก

Kimberlites มักจะให้ค่าโพแทสเซียมสูง เนื่องจากมีแร่ phlogopite ลักษณะดังกล่าวมีประโยชน์ในการแยก kimberlites ออกจาก dolerite, gabbro และ mafic-ultramafic intrusives อื่น ๆ ที่ให้ magnetic signature ที่คล้ายคลึงกัน

Alkaline intrusions และ carbonatites มักจะเป็น host ของแหล่งแร่ rare-earth, uranium และ base-metals มักจะให้ลักษณะเป็น zoned pattern ของ radioactivity

ความแตกต่างกันทางเคมีของธาตุกัมมันตรังสียังผลให้มีการแยกตัวต่อเนื่องออกไปอีกเมื่อหินนั้น ๆ ต้องผ่านกระบวนการผุพังทางเคมี ตัวอย่างเช่น quartzite ซึ่งเป็น mature sediment โดยเฉลี่ยแล้วจะให้ค่าทอเรียมสูง ส่วนหินปูนซึ่งเป็นหินตะกอนเคมี มักให้ค่ายูเรเนียมสูง ส่วนใน immature sediments เช่น arkoses, greywackes และ shales มักมีส่วนประกอบใกล้เคียงกับหินต้นกำเนิด ในกระบวนการผุพัง metasomatic และ hydrothermal ที่เกิดร่วมกับการเกิดแร่ต่าง ๆ นั้นจะเกิด fluid ในปริมาณมาก ซึ่งสามารถที่จะไปเปลี่ยนแปลง alkline element ในหินที่มันแทรกผ่านได้แก่การเพิ่มขึ้น หรือลดลงของโพแทสเซียม (darnley and Ford, 1989) ภายใต้กระบวนการ hydrothermal จะทำให้แร่ที่มียูเรเนียมง่ายต่อการถูกละลายและถูกพัดพาแยกตัวออกไปจาก K และ Th ในหินต้นกำเนิดไปตกตะกอนยังที่อื่น

4. การประยุกต์ใช้ข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสีจากการบินสำรวจ

การประยุกต์ใช้ข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสีจากการบินสำรวจ พอจะแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การทำแผนที่ธรณีวิทยา และการสำรวจทรัพยากร

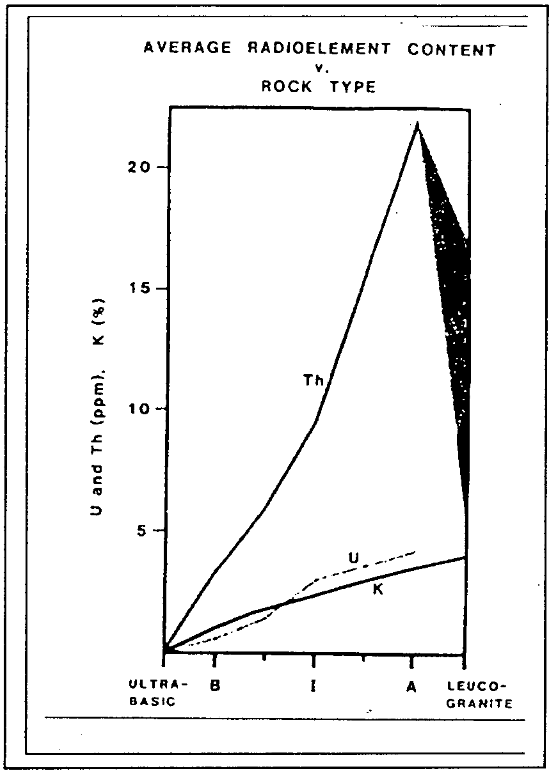
4.1 การประยุกต์ใช้ข้อมูลฯ ในการทำแผนที่ธรณีวิทยา

ได้กล่าวถึงสิ่งที่เกี่ยวข้องและมีอิทธิพลต่อข้อมูล ฯ ที่ต้องทราบในการแปลความหมายข้อมูลไปแล้วในข้าง

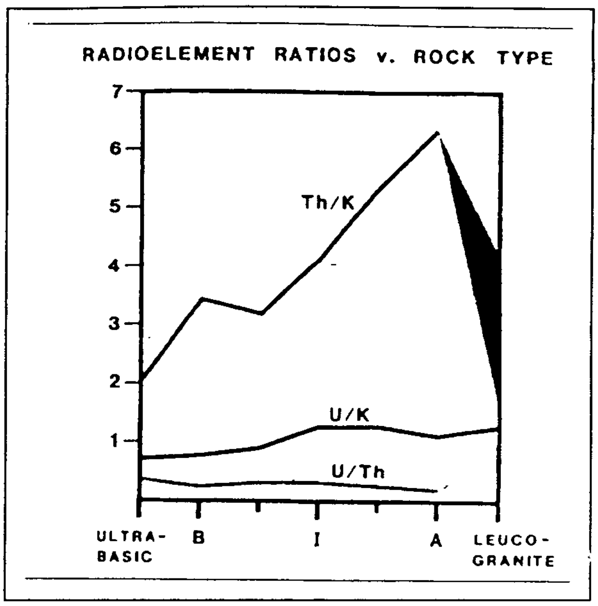
ต้น รายละเอียดในเรื่องดังกล่าว สามารถศึกษาได้จาก Darnley (1972); Grasty, 1979; และ IAEA (1979)

ได้มีการประยุกต์ใช้ข้อมูลฯ ในการทำแผนที่ธรณีวิทยาอย่างแพร่หลาย ในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลก ไม่ว่าจะเป็นบริเวณที่มีสภาพภูมิประเทศสูงชัน บริเวณ high latitude หรือ high altitude บริเวณที่มีหิมะปกคลุม บริเวณเส้นศูนย์สูตร ฯลฯ

Gilbraith and Saunders (1983) ได้แสดงให้เห็นว่าการ plot ค่า log 10 Th กับ K สามารถใช้ในการ



รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มเฉลี่ย K,U และ Th กับปริมาณ Si ในหิน จากหิน ultrabasic ถึงหิน acid Igneous (จาก Galbralth and Saunders, 1983; Ford and Carson,1986)



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า radioelement ratios เฉลี่ยกับปริมาณ Si ในหิน จากหิน ultrabasic ถึงหิน acid Igneous (จากGalbralth and Saunders,1983;Ford and Carson,1986)

แบ่งประเภทของหินอัคนี ที่มีอยู่ในบริเวณ mountain and range ใน U.S.A.

Charbonneau et al. (1973) และ Gregory (1983) รายงานว่า แผนที่ eTh/K ratio สามารถใช้ในการ geological units เฉพาะอย่างได้

Harris et al. (1987) ได้ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ร่วมกับ image analysis system กับข้อมูลบินสำรวจวัดความเข้มกัมมันตรังสี จาก Nova Scotia ในการแบ่งขอบเขตของ geological units และค่าทางสถิติของหน่วยหินนั้น ๆ นอกจากนั้น ยังสามารถนำข้อมูล ได้แก่ satellite imagery และ aeromagnetic data (Gregory and Moore, 1981; Gregory, 1983; and Slaney, 1985)

การศึกษาเกี่ยวกับโครงการสร้างทางธรณีวิทยาด้วย ข้อมูล radiometrics นี้ กระทำไม่ดีนัก ทั้งนี้ เนื่องจากตัวข้อมูลมีความละเอียดต่ำ (poor resolution) อย่างไรก็ดี faults กับ shears มักจะเป็นบริเวณที่มีการชะล้างยูเรเนียมสูง ทำให้เกิดบริเวณที่มีค่ายูเรเนียมต่ำในบางกรณี

การประยุกต์ใช้ข้อมูลบินสำรวจกัมมันตรังสีในการทำแผนที่ธรณีวิทยา ในประเทศไทย:

- Tulyatid (1992) ทำการแปลความหมายข้อมูลฯ บริเวณ ชะอำ-หัวหิน-ปราณบุรี พบว่าสามารถใช้ข้อมูลกัมมันตรังสีในการแบ่งแยกหิน gneissic granites ในบริเวณนั้นได้ดีขึ้น

- Galong and Tulyatid (1992) ได้ทำการแปลความหมายข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ บริเวณพื้นที่ด้านตะวันออกของ จ.เลย พบว่าข้อมูลกัมมันตรังสีสามารถใช้ช่วยในการแบ่งแยกชุดหิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หินภูเขาไฟชนิด basic และหินตะกอนชุดโคราช

- Tulyatid et al. (1993 in preparation) ทำการแปลความหมายข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ ในบริเวณพื้นที่แม่ฮ่องสอน-ปาย-เชียงดาว พบว่าแผนที่ Ternary ใช้ประโยชน์ได้ดีมาก ในการแบ่งกลุ่มของหินแกรนิต ไนส์สิกแกรนิต ตลอดจนหินปูน ออกจากหินข้างเคียงได้เป็นอย่างดี

- นอกจากนี้ ก็ยังมีการแปลความหมายข้อมูลในพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งยังอยู่ในระหว่างการดำเนินงานโดย AGDIS อยู่ เช่น พื้นที่ลำปาง-แพร่ พื้นที่เพชรบูรณ์ เป็นต้น

4.2 การประยุกต์ใช้ข้อมูลฯ ในการสำรวจทรัพยากร

การประยุกต์ใช้ข้อมูลฯ ในการสำรวจทรัพยากรนี้พอจะแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ การสำรวจหาแหล่งแร่ยูเรเนียม การสำรวจบริเวณที่เป็นหินแกรนิต และการสำรวจแหล่งแร่โลหะพื้นฐานและทอง

4.2.1 การสำรวจหาแร่ยูเรเนียม

ได้มีการประยุกต์ใช้ข้อมูลกัมมันตรังสีในการสำรวจหาแหล่งแร่ยูเรเนียมอย่างแพร่หลาย (Darnley et al., 1977; Bristow, 1977; Grasty, 1977; and Killeen, 1977) แหล่งแร่ยูเรเนียม ให้ค่ายูเรเนียมและทอเรียมสูงผิดปกติ (anomaly) ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่ง ตารางที่ 2 สรุปลักษณะเด่นของแหล่งแร่ยูเรเนียมทั้ง 12 ชนิด จากตารางที่ 2 พบว่า 5 ในจำนวน 12 ชนิดให้ค่า Th สูง ในสภาพแวดล้อมทั่ว ๆ ไป ได้แก่ igneous, metamorphic, detrital และ hydrothermal types โดยทั่วไปแล้ว alkaline syenites และ pegmatites ตลอดจนบาง hydrothermal deposits มักให้ค่า K สูง บริเวณที่เป็นแหล่งแร่ยูเรเนียม มักให้ anomaly ที่ชัดเจน ส่วน unconformity deposits และ detrial deposits ที่ถูกปิดทับอาจทำให้เกิด secondary radiation โดยการที่ daughter products ถูกชะล้างและพัดพาไปยังที่ที่อยู่ห่างออกไปจากหินต้นกำเนิด

Uranium Enrichment มักเกิดในบริเวณแหล่งแร่ทองคำและแหล่งแร่โลหะพื้นฐานบางชนิด ในกรณีนี้ ต้องใช้ detector ขนาดใหญ่ในการวัดค่า

Darnley and Ford (1989) ได้สรุปชี้ให้เห็นถึงสิ่งที่จะชี้ถึงแหล่งแร่ยูเรเนียมอยู่ 3 ประการ โดย 2 ประการแรก เป็นการหาบริเวณที่มีศักยภาพ ส่วนประการสุดท้ายเป็นการหาแหล่งแร่เป้าหมาย

1. แหล่งแร่ยูเรเนียม มักเกิดในบริเวณที่เป็นขอบของ crust ซึ่งปรกติ จะให้ค่า U ที่สูง

2. บริเวณที่มีการผุพังทางเคมีสูง และทำตัวเป็นต้นกำเนิดให้แก่แหล่งตะกอนยูเรเนียม บริเวณดังกล่าวอาจให้ค่า eU/eTh ratio ต่ำกว่าปรกติ (Galbraith and Saunders, 1983)

3. แหล่งแร่ยูเรเนียมที่สำคัญ จะให้ค่า eU/eTh สูงผิดปรกติ

4.2.2 การประยุกต์ใช้ข้อมูลฯ ในการสำรวจทรัพยากรในบริเวณที่เป็นหินแกรนิต

การเกิดแร่ ส่วนใหญ่เกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่าการเกิดหินแกรนิต ในกระบวนการนี้ มีการผ่านขึ้นมาของของเหลวปริมาณมาก ในสภาวะเช่นนี้ ยูเรเนียมมีการเคลื่อนที่แตกต่างไปจากธาตุกัมมันตรังสีตัวอื่น ๆ มีผลทำให้บริเวณดังกล่าว ให้ค่า eU/eTh และ eU/K ratios แตกต่างไปจากตัวอื่น ๆ คุณสมบัติดังกล่าว สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงบริเวณที่มีการเกิดแร่เนื่องจากยูเรเนียมและทอเรียมเป็น lithofile elements ดังนั้นจึงสามารถใช้ในการหาแหล่งแร่อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Li, Cs, Be, Nb, Ta, Zr และ แร่หายาก (rare earth minerals) ซึ่งมักสะสมตัวอยู่ใน pegmatite บางชนิด

กรณีศึกษาได้แก่ การค้นพบและแบ่งประเภทของ complex pegmatites และ parent granitoids โดยใช้ ternary colour map ที่ Winnipeg River, Manitoba, Canada (Price et al., 1987)

Peralkaline intrusions เป็นหินที่มีแนวโน้มที่จะมีความสำคัญในทางเศรษฐกิจมากชนิดหนึ่ง มีส่วนประกอบคล้ายคลึงกับ complex pegmatite มักมีค่า eU และ/หรือ eTh สูงมากและอาจให้โพแทสเซียมสูงหรือไม่ก็ได้ Late-stage leucocratic granite ซึ่งมักจะให้แร่ดีบุกและทังสเตน บางครั้งก็ให้โมลิบดินัม ด้วย มักให้ค่า eU และ eU/eTh สูง และมักให้ค่า K สูง บางครั้งก็ให้ค่า eTh สูงด้วย

กรณีศึกษา ได้แก่ การสำรวจพบแหล่งแร่ดีบุกที่ East Kemptville, Nove Scotia ด้วยแผนที่ eU/eTh ratio สำหรับในประเทศไทยนั้น Tulyatid (1992) สามารถใช้ค่า eU/eTh ratio ในการหาตำแหน่งของ leucocratic granite ที่ให้แร่ Sn/W ทางตะวันตกของอำเภอชะอำ

จังหวัดเพชรบุรี

□

4.2.3 การประยุกต์ใช้ข้อมูลฯ ในการสำรวจแหล่งแร่โลหะพื้นฐานและทอง

แหล่งแร่โลหะพื้นฐานและทองนี้ มักให้ค่าความเข้มกัมมันตรังสีต่ำ ต่างกับในกรณีของการสำรวจในบริเวณที่เป็น granitic terrain ดังได้กล่าวถึงในข้างต้น อย่างไรก็ดีแหล่งแร่เหล่านี้ ก็ยังให้ค่าความเข้มกัมมันตรังสีแตกต่างไปจากหินที่มันเกิดร่วมอยู่ด้วย กรณีอย่างนี้ จะต้องมีการนำเอาข้อมูลอื่น ๆ ได้แก่ข้อมูลธรณีวิทยา ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ และข้อมูลธรณีเคมี เข้ามาช่วยในการศึกษาด้วย เนื่องจากกระบวนการในการเกิดแร่มักเกิดร่วมกับการเปลี่ยนแปลงทางธรณีเคมีด้วย จากกระบวนการดังกล่าว อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ K และ ratios ยังผลให้เกิดความแตกต่างกันระหว่างบริเวณที่ให้แร่กับหินข้างเคียง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสภาพแวดล้อมของการเกิดแร่แต่ละแห่งไม่เหมือนกัน ดังนั้น แร่ชนิดเดียวกันแต่มีการเกิดแร่แต่ละแห่งไม่เหมือนกัน ดังนั้น แร่ชนิดเดียวกันแต่มีหินข้างเคียงต่างกัน อาจสังเกตเห็นได้ในพื้นที่หนึ่ง ในขณะที่ในอีกพื้นที่หนึ่งอาจไม่สามารถตรวจพบได้

Portnov (1987) ศึกษาความสัมพันธ์ของ K-Th ซึ่งเป็นตัวชี้ถึงกระบวนการทางธรณีวิทยา และ Chalcophile & Lithophile mineralization

Gnojek & Prichystal (1985) ใช้ airborne gammaray spectronetry ในการกำหนดตำแหน่งของ K-alteration ที่เกิดร่วมกับแหล่ง Zn ใน Central Czechoslovakia. ในแหล่งดังกล่าวมีการลดลงของทอเรียมเกิดร่วมกับการเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียมในหิน spilites ซึ่งปรกติเป็นหินที่มีโปแทสเซียมต่ำ

Porphyry Cu deposit มักเกิดร่วมกับการเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียม ใน host rock Moxham et al. (1965) เป็นคณะทำงานชุดแรกที่แสดงให้เห็นว่า gamma-ray spectrometry สามารถใช้ในการตรวจหาการผุพังชนิดนี้ ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียมแต่ไม่มีการเพิ่มขึ้นของทอเรียม ดังนั้นจึงสามารถใช้ eTh/K ratio เป็นตัวบ่งชี้ได้ดีในบริเวณที่มี K-background สูง ในขณะที่มีการเพิ่มขึ้นของ K eU ก็มีการเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีระเบียบแบบแผน แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของการเคลื่อนย้ายที่แตกต่างกัน

ทองมักเกิดกระจายอยู่โดยตลอด ในปริมาณน้อย ๆ ใน porphyry copper deposit ในบริเวณสภาพอากาศที่ทำให้ oxydized cap โดยเฉพาะบริเวณตอนบนของแหล่ง (Boyle, 1979)

Hypogene gold deposit มักมี K-alteration เป็นลักษณะเด่น

Carlin-type disseminated gold deposits มักแสดงค่า K ที่สูงพอที่จะตรวจจับได้ เช่น จาก 0.7% ในหินที่ไม่ผุ และไม่ให้แร่ เป็น 1.6% ในบริเวณที่ให้แร่ (Radtke et al, 1972)

เคยมีการสำรวจพบ Skarn-type gold จากการสำรวจติดตามผลภาคพื้นดินของ anomaly ที่คัดเลือกมาจาก Airborne gamma-ray spectrometry survey ก้อนตัวอย่างสินแร่ที่ได้จากแหล่งแร่ดังกล่าวให้ค่า eU และ eU/eTh สูง (Charbonneau and Swettenham, 1986)

Gold-bearing placer มักถูกตรวจพบได้ เนื่องจากมันมักจะเกิดร่วมอยู่กับพวกแร่หนัก (heavy minerals) รวมทั้งกลุ่มธาตุกัมมันตรังสี

การประยุกต์ใช้ข้อมูลกัมมันตรังสี ในการแปลความหมายบริเวณพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์ พิจิตรและลพบุรี แสดงให้เห็นถึงค่าผิดปกติของ K ในขณะที่ ค่า U และ Th ต่ำ ที่เป็นหินไรออไลต์ ยุคเพอร์โมไทรแอสซิก มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการเกิด K alteration และแหล่งแร่ทองคำบริเวณเขาหม้อ เขาดิน จังหวัดเพชรบูรณ์ (Kiattiwongchai,1996)

4.2.4 การประยุกต์ใช้ข้อมูลฯ ในการสำรวจหาแหล่งเชื้อเพลิงธรรมชาติ

ถ่านหิน มักให้ค่าความเข้มกัมมันตรังสีต่ำ แต่ในทางกลับกัน หินดินดานที่วางตัวบนชั้นถ่านหิน มักให้ค่าความเข้มกัมมันตรังสีสูง โดยเฉพาะในบริเวณที่ผ่านการลุกติดไฟของชั้นถ่านตามธรรมชาติไปแล้ว ซึ่งสามารถตรวจพบได้จากการสำรวจทั้งทางอากาศและภาคพื้นดิน ได้มีรายงานกล่าวถึงการ ปรากฏของ radiometric halos เหนือบริเวณที่เป็นแหล่ง hydrocarbon เป็นจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ แม้ว่าจะเริ่มมีการยอมรับในการปรากฎของ radiation halos มากขึ้นก็ตามก็ยังไม่มีคำอธิบายที่เหมาะสมสำหรับปรากฏการณ์ดังกล่าว

4.2.5 การประยุกต์ใช้ข้อมูลฯ เกี่ยวกับน้ำบาดาล

การใช้ข้อมูลบินสำรวจวัดค่าความเข้มกัมมันตรังสี ในงานด้านน้ำบาดาลนั้น มีอย่างจำกัดมาก แต่ก็มิได้หมายความว่า กระทำไม่ได้ ข้อมูลดังกล่าวสามารถบ่งชี้ถึงบริเวณที่เป็นแหล่งน้ำที่พื้นดินได้ จากการมีค่า เข้าใกล้ศูนย์ของข้อมูล สำหรับในกรณีอื่น ๆ เป็นการใช้ข้อมูลแบบทางอ้อม โดยใช้ความรู้ ทางธรณีวิทยาในด้านโครงสร้างและน้ำบาดาลเข้ามาช่วย ซึ่งข้อมูลฯ

สามารถบอกถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่ระดับพื้นผิวได้ อย่างไรก็ดี แนวโน้มที่จะใช้ข้อมูลฯ ในงานน้ำบาดาลทั้งในปัจจุบัน และในอนาคตเป็นไปได้น้อยมาก

5. เทคนิคการทำ Zoning ข้อมูลกัมมันตรังสี

5.1 การทำ Zoning ข้อมูลกัมมันตรังสีในอดีต

เนื่องจากข้อมูลค่าความเข้มกัมมันตรังสีประกอบด้วยข้อมูลหลายชนิดได้แก่ TC, K, U, Th, และ Ratio ของ eU/eTh หรือ eTh/K ซึ่งการแสดงผลข้อมูลในอดีต ทำได้ในรูปของแผนที่ภาคตัดขวางตามแนวบิน (Profile and/or stacked profile map) และแผนที่แสดงเส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสี (Radiometric contour) ของข้อมูลแต่ละชนิด จึงทำให้การแปลความหมายข้อมูล มีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากต้องทำการ Zone ข้อมูลแต่ละชนิดแยกจากกัน จากนั้นจึงนำเอาผลมาประกอบกันในภายหลัง

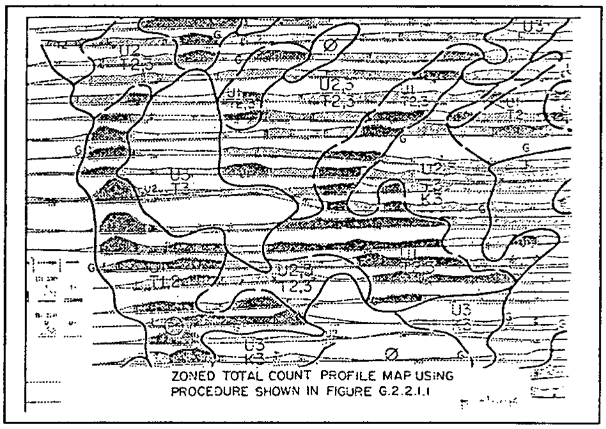
การ Zone ข้อมูลแต่ละชนิด ทำโดยใช้หลักการจำแนกลักษณะการตอบสนองของข้อมูลที่คล้ายคลึงกันเข้าไว้ด้วยกัน กระบวนการนี้เรียกว่า Zoning การ Zoning ข้อมูลแต่ละขนิดทำได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

5.1.1 การ Zone บนแผนที่ Profile Map

แผนที่ Profile ของข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสีแต่ละชนิด เป็นแผนที่แสดงข้อมูลภาคตัดขวางตามแนวบินสำรวจของข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสีชนิดใดชนีดหนึ่ง ซึ่งแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของข้อมูลกัมมันตรังสี โดยข้อมูลภาคตัดขวางจะถูกแสดงผลจากการกำหนดให้มีค่าเฉลี่ยค่าใดค่าหนึ่ง เป็นค่าอ้างอิงตามแนวบินเหมือนกันทุกเส้นบินสำรวจ การแสดงผลข้อมูลภาคตัดขวาง จะตั้งอยู่ข้อมูลค่าสถิติของข้อมูลทั้งพื้นที่ ทั้งนี้เพื่อให้การแสดงผลข้อมูลภาคตัดขวางมี scale ที่เหมาะสม ไม่มากจนเกินไปจนทำให้ข้อมูลปรากฏข้ามหลายเส้นบินสำรวจ หรือไม่น้อยจนเกินไปจนไม่สามารถจำแนกรายละเอียดได้

การ Zone จะพิจารณาจากการตอบสนองของสัญญาณข้อมูลว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกันระหว่างเส้นบินสำรวจ จะทำการลากเส้นเชื่อมต่อแนวไปเรื่อย ๆจนมาบรรจบกัน จะได้ Zone ที่มีค่าใกล้เคียงกัน การ Zone จะทำไปจนครอบคลุมทั้งแผนที่ จะได้ Zone ที่มีค่าต่างกันหลาย Zone ดังตัวอย่างในรูป 3

เนื่องจากข้อมูลกัมมันตรังสีมีอยู่หลายชนิด การ Zone จึงต้องทำบนข้อมูลทุกชนิด ได้แก่ TC, K,U และ Th จากนั้นจึงนำเอา Zone ของข้อมูลแต่ละชนิด มาทำการศึกษาร่วมกัน โดยการนำมาซ้อนทับกันแล้วทำการ Zone อีกครั้งให้ได้ Zone ที่มีลักษณะการตอบสนองของสัญญาณข้อมูลรวม จะเห็นได้ว่ากระบวนการดังกล่าวมีความซับซ้อนยุ่งยากมาก



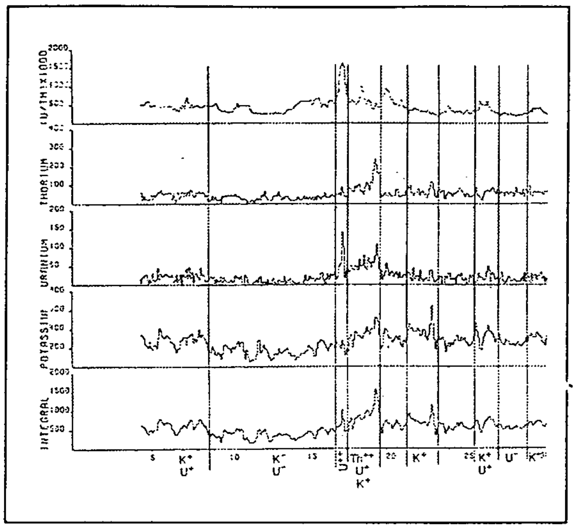
รูปที่ 3 แสดงการทำ Zoning บนข้อมูลแผนที่กัมมันตรังสีชนิด Total Count Profile Map.

5.1.2 การ Zone บนแผนที่ Stacked Profile Map

แผนที่ Stacked Profile เป็นแผนที่แสดงข้อมูลภาคตัดขวางของข้อมูลต่าง ๆที่มีการวัดค่าได้แก่ข้อมูล Total field magnetic, TC, K, U, Th, eU/eTh, eTh/K, Eu/K, Total field and quadrature VLF-EM, topographic profile, terrain clearance และเส้นแนวบินสำรวจ ข้อมูลภาคตัดขวางทั้งหมดที่กล่าวมานี้ จะถูกแสดงผลอยู่โดยการวางเรียงกันบนเส้นแนวบินสำรวจทีละเส้นแนวบิน สามารถทำการอ่านค่าของภาคตัดขวาง ณ ที่จุดใด ๆบนเส้นแนวบินสำรวจได้ (รูป 4)

การ Zone สามารถทำได้โดยดูการตอบสนองของข้อมูลกัมมันตรังสีทุกชนิดว่ามีลักษณะที่จะสามารถจับกลุ่มกันได้อย่างไร ดังตัวอย่างจากรูป จะเห็นว่ามีการแบ่งกลุ่มตามการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล K, U และ Th โดยแต่ละตัวจะถูกแบ่งการเปลี่ยนแปลงเป็น 3 ระดับคือ มาก (++) ปานกลาง (+) และต่ำ (-) อนึ่งการ Zone ข้อมูลหลักทั้งสามดังกล่าว นอกจากจะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ณ จุดใด ๆแล้ว ยังสามารถใช้ข้อมูล Stacked Profile นี้ในการแปลความหมายข้อมูลในรายละเอียดด้วย เนื่องจากข้อมูลมีรายละเอียดสูง แต่อย่างไรก็ตาม แม้ว่าข้อมูลชนิด Stacked Profile จะให้รายละเอียดมาก สามารถทำการ Zone ข้อมูลในเชิงสัมพันธ์ได้ดี แต่

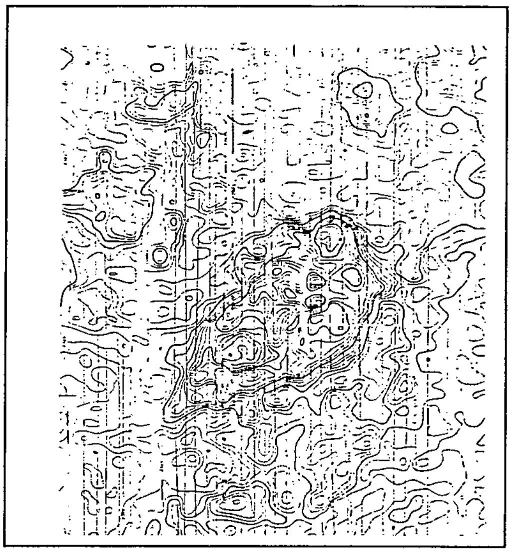
ติดข้อจำกัดในการนำเอาผลของการ Zone ไปถ่ายลงบนแผนที่ จะทำได้ยากในทางปฏิบัติ



รูปที่ 4 แสดงการ Zone บนข้อมูล Stacked Profile (บางส่วน)

5.1.3 การ Zone บนข้อมูลเส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสี (Contour)

ข้อมูลเส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสี เป็นวิธีการแสดงผลข้อมูลแบบมาตรฐานวิธีหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปกับข้อมูลต่าง ๆ วิธีการจะนำเอาข้อมูลกัมมันตรังสีตามเส้นแนวบินสำรวจ มาทำการคำนวณประมาณการค่าข้อมูลในทิศทางตามเส้นแนวบินและในทิศทางที่ตั้งฉากกับเส้นแนวบิน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างจุดข้อมูลเท่า ๆกันทั้งสองทิศทาง กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการ Gridding จากนั้นข้อมูลกริดจะถูกลากเส้นเชื่อมต่อจุดที่มีค่าข้อมูลเท่ากันเกิดเป็นเส้นชั้นข้อมูล กระบวนการนี้เรียกว่า Contouring การแสดงผลเส้นชั้นข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสี จะเป็นการแสดงผลข้อมูลทีละชนิดเช่น Tc, K, U, Th และ Ratio หนึ่ง ๆ ซึ่งจะต้องผ่านการคำนวณค่า Ratio ก่อนการทำ Gridding และ Contouring ดังตัวอย่างในรูปที่ 5 ซึ่งแสดงเส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสีของข้อมูล Total Count จากรูปจะเห็นการเปลี่ยนแปลงข้อมูล จะแสดงแนวหรือขอบเขตของข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงอย่างเด่นชัด สามารถทำการ Zone ข้อมูลได้ง่ายกว่าแผนที่ชนิด Profile map แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลแผนที่แสดงเส้นชั้นข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสี ยังคงมีข้อจำกัดที่ สามารถแสดงผลข้อมูลได้คราวละชนิด ดังนั้นการแปลความหมายข้อมูลจากแผนที่ชนิดนี้ ยังคงต้องทำการ Zone ข้อมูลอื่น ๆด้วย เช่น K, U และ Th แล้วนำเอามาประกอบกัน ทำให้การแปลความหมายข้อมูลยังคงมีขั้นตอนที่ยุ่งยากอยู่นั่นเอง



รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างเส้นชั้นความเข้มกัมมันตรังสี ชนิด Total Count

5.2 การ Zone ข้อมูลกัมมันตรังสีในปัจจุบัน

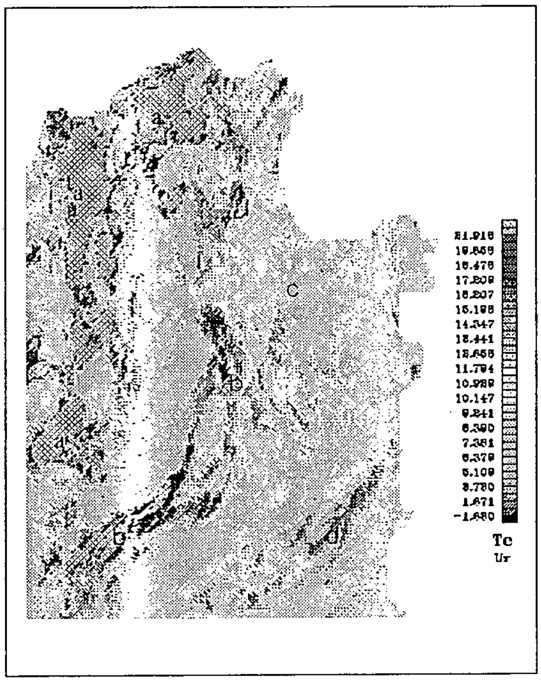
ด้วยเทคโนโลยีซอฟต์แวร์ในการประมวลผลข้อมูลและการพิมพ์ในปัจจุบัน ทำให้การ Zone ข้อมูลกัมมันตรังสีสามารถทำได้ง่ายขึ้นกว่าเดิม โดยการ Zone จะทำบนข้อมูลแผนที่ชนิดเพิ่มประสิทธิผลข้อมูลชนิดต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว แผนที่เหล่านี้ จะแสดงผลข้อมูลโดยการใช้สีในลักษณะต่าง ๆ มาช่วยในการขับเน้นการสื่อข้อมูล ทำให้เห็นเด่นชัด ง่ายต่อการทำ Zone นอกจากนี้การประมวลผลข้อมูลตัวเลข สามารถทำให้การศึกษาข้อมูลในเชิงสถิติต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเน้นค่าช่วงใดช่วงหนึ่งที่น่าสนใจได้ เทคนิคการ Zone สามารถในลักษณะดังต่อไปนี้คือ

1. การ Zone บนข้อมูลแผนที่แสดงแถบสีความเข้มกัมมันตรังสี ในช่องพลังงานรวม Total Count color image เพื่อศึกษาและกำหนดขอบเขตการกระจายตัวของค่าความเข้มกัมมันตรังสีในภาพรวมว่าบริเวณใดมีค่าความเข้มสูง ปานกลางหรือต่ำ การกำหนดช่วงสูง ปานกลางและต่ำ สามารถทำได้โดยการศึกษาถึงค่าสถิติการกระจายตัวของข้อมูลหรือสามารถดูได้จากแถบสีแสดงค่าความเข้มข้อมูลได้ โดยการแสดงสีในแถบสีมาตรฐานนั้น จะใช้โทนสีแดง ม่วงแดงแทนค่า

สูง โทนสีเขียวและเหลืองแทนค่าปานกลางและโทนสีสีฟ้าและน้ำเงิน แทนค่าต่ำ ดังตัวอย่างในรูปที่ 6

2. การ Zone บนข้อมูลผสม 3 ชนิด (Ternary Map)

ข้อมูลผสม 3 ชนิด เป็นการแสดงผลข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสี 3 ชนิด ได้แก่ K, U และ Th โดยกำหนดให้สีแดง (Magenta) แทนค่าความเข้มของ K สีเหลือง (Yellow) แทนค่าความเข้มของ U และสีฟ้า (Cyan) แทนค่าความเข้มของ Th โดยจะมีระดับความเข้มของสีแทนระดับความเข้มของข้อมูลแต่ละช่องพลังงาน ผลของการแสดงผลพร้อมๆกันทั้ง 3 ชนิด จะเกิดการผสมสีกันตามระดับค่าความเข้มกัมมันตรังสีแต่ละชนิด



รูปที่ 6 แผนที่แสดงแถบสีความเข้มกัมมันตรังสีในช่องพลังงานรวม Total Count โดยใช้โทนแถบสีแดง แทนค่าสูง โทนแถบสีเขียวและเหลืองแทนค่าปานกลาง และโทนแถบสีฟ้าและน้ำเงินแทนค่าต่ำ บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย จากรูปจะเห็นได้ว่าข้อมูลความเข้มกัมมันตรังสีในช่องพลังงานรวม มีการตอบสนองต่อสภาพทางธรณีวิทยาเป็นอย่างดี โดยสามารถทำการ Zone คร่าวๆได้ Zone a เป็นบริเวณที่มีค่าสูงมาก เทียบเคียงได้กับบริเวณที่เป็นหินแกรนิต Zone b เป็นบริเวณที่มีค่าสูงถึงสูงมาก เทียบเคียงได้กับบริเวณที่เป็นหินอัคนีพุ Zone c เป็นบริเวณที่มีค่าปานกลาง เทียบเคียงได้กับหินตะกอนและหินแปรเป็นส่วนใหญ่ Zone d เป็นบริเวณที่มีค่าต่ำถึงต่ำมาก เทียบเคียงได้กับบริเวณที่เป็นหินเบสิก-อัลตราเบสิก เป็นต้น

6. สรุป

ข้อมูลที่ได้จากการบินสำรวจวัดค่าความเข้มกัมมันตรังสี มีลักษณะคล้ายกับเป็นข้อมูลธรณีเคมี ซึ่งบ่งชี้ถึงส่วนประกอบทางเคมี (K U และ Th) ที่พื้นผิวโลก

เพื่อการแปลความหมายข้อมูลฯ ที่มีประสิทธิภาพนั้น ควรได้มีการใช้เครื่องมือในระดับ state-of the art ทั้งนี้ เพื่อให้ได้แผนที่ ที่มีคุณภาพสูง จะช่วยให้การแปลความหมายข้อมูลฯ เป็นไปอย่าง มีประสิทธิภาพ

ข้อมูลที่ได้จากการบินสำรวจวัดค่าความเข้มกัมมันตรังสี มีประโยชน์ในการช่วยทำแผนที่ธรณีวิทยาในบริเวณที่มีสภาพธรณีวิทยายุ่งยาก หรือเป็นบริเวณที่เข้าถึงได้ยาก อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้ควรได้ตะหนักอยู่เสมอว่า ข้อมูลเหล่านี้ สะท้อนถึงข้อมูลที่ระดับพื้นผิวเท่านั้น

นอกจากนั้น ข้อมูลฯ ยังสามารถชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างจากหินรอบข้าง หรือบริเวณที่มีการผุพังสูง ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงบริเวณที่มีการเกิดแร่ที่มีความเกี่ยวพันกับกระบวนการผุพังดังกล่าว ดังนั้น จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสำรวจหาแหล่งแร่ได้หลายประเภท ส่วนใหญ่เป็นแร่ที่มีความเกี่ยวข้อง กับ igneous activities

เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการใช้ข้อมูลฯ ให้มากที่สุด ควรจะได้มีการใช้ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ชนิดอื่นประกอบด้วย และในอนาคตอันใกล้นี้ คงได้มีการนำเอาข้อมูลฯ ไปใช้ร่วมกับข้อมูลระยะไกลอื่น ๆ ในระบบ GIS เช่น ข้อมูลจากดาวเทียม ซึ่งจะไม่แต่เพียงการใช้ประโยชน์ข้อมูลเฉพาะในงานทางธรณีวิทยาเท่านั้น ยังอาจนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอื่น ๆ เช่น การจัดการทรัพยากร หรือ งานด้านสิ่งแวดล้อมต่อไป

Rock Class	K(%)		Th(ppm)		U(ppm)	
	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
Acid Ectrusives	4.1	0.8-16.4	11.9	1.1-41.0	3.1	1.0-6.2
Acid Intrusives	4.5	0.1-30.0	25.7	0.1-253.1	3.4	0.1-7.6
Intermediate Extrusives	1.1	0.2-2.6	2.4	0.4-6.4	1.1	0.01-2.5
Intermediate Intrusives	3.2	0.1-23.4	12.2	0.4-106.0	2.1	0.1-6.2
Basic Extrusives	0.8	0.03-3.3	2.2	0.05-8.8	0.7	0.06-2.4
Basic Intrusives	0.8	0.01-5.7	2.3	0.03-15.0	0.8	0.01-2.6
Ultrabasic	0.3	0.0-1.6	1.4	0.0-7.5	0.3	0.0-0.8
Alkali Feldspathoidal Intermediate Extrusives	29.7	1.9-62.0	133.9	9.5-265.0	6.5	2.0-9.0
Alkali Feldspathoidal Intermediate Intrusives	55.8	0.3-720.0	132.6	0.4-880.0	4.2	1.0-9.9
Alkali Feldspathoidal Basic Extrusives	2.4	0.5-12.0	8.2	2.1-60.0	1.9	0.2-3.9
Alkali Feldspathoidal Basic Intrusives	2.3	0.4-5.4	8.4	2.8-19.6	1.8	0.3-4.8
Chemical Sedimentary Rocks	3.6	0.03-26.7	14.9	0.03-132.0	0.6	0.02-8.4
Carbonates	2.0	0.03-8.0	1.3	0.03-10.8	0.3	0.01-3.5
Detrital Sedimentary Rocks	4.8	0.1-80.0	12.4	0.2-362.0	1.5	0.01-9.7
Metamorphosed Igneous Rocks	4.0	0.1-148.5	14.8	0.1-104.2	2.5	0.1-6.1
Metamorphosed Sedimentary Rocks	3.0	0.1-53.4	12.0	0.1-91.4	2.1	0.01-5.3

ตารางที่ 1 ค่าความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีในหินชนิดต่าง ๆ (Killeen,1979)

เอกสารประกอบการฝึกอบรม

"เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่"

เรื่อง

การสำรวจทรัพยากรแร่

โดย

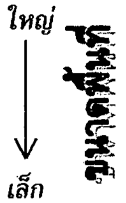
พีระพงษ์ คืนคง

กองเศรษฐธรณีวิทยา

การสำรวจทรัพยากรแร่

การสำรวจทรัพยากรแร่อาจแยกออกได้ 7 ขั้นตอน ดังนี้

1. **กำหนดพื้นที่สำรวจ**
   พื้นที่สำรวจอาจแบ่งได้ 3 ขนาด คือ ใหญ่; กลาง และเล็ก โดยคลุมพื้นที่ >100; 10-100; และ<10 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ
2. **รวบรวมและศึกษาข้อมูลเดิม**
   ข้อมูลด้านธรณีวิทยา ทรัพยากรแร่ ธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ ภาพถ่ายดาวเทียม ภาพถ่ายทางอากาศ และการใช้พื้นที่ ฯลฯ
3. **จัดทำแผนการสำรวจ**
   เลือกวิธีการให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ ภูมิประเทศ ระยะเวลา และงบประมาณ
4. **สำรวจภาคสนาม**
   - ❑ ธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่
   - ❑ ธรณีเคมี
   - ❑ ธรณีฟิสิกส์
   - ❑ หลุม/คูทดลอง เจาะสำรวจ

   การเลือกวิธีสำรวจขึ้นกับขนาดของพื้นที่ และข้อมูลเดิมที่มีอยู่
5. **วิเคราะห์ข้อมูล/ตัวอย่างต่าง ๆ**
   ทางกายภาพ เคมี
6. **ประเมินผลข้อมูล**
   บนผิวดิน ใต้ผิวดิน
7. **จัดทำรายงานและแผนที่**

การสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่

การสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ เป็นการสำรวจเก็บข้อมูลทางธรณีวิทยาและแหล่งแร่บนผิวดิน เพื่อให้ทราบถึงชนิดของหิน/แร่ การลำดับชั้นหิน ขอบเขตการแพร่กระจายของหิน/แร่ต่าง ๆ และโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญต่อการเกิดและสะสมตัวของแหล่งแร่ เช่น รอยแตก รอยเลื่อน ตลอดจนการเปลี่ยนสภาพของหิน/แร่ รวมถึงตรวจสอบลักษณะธรณีวิทยารายละเอียดเฉพาะแห่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณเหมืองแร่หรือบริเวณที่พบแร่แล้ว เพื่อศึกษาลักษณะการเกิดและการแพร่กระจายของแร่หรือแหล่งแร่

ธรณีวิทยาแหล่งแร่

แหล่งแร่ (mineral deposit) หมายถึง ที่ใด ๆ ในเปลือกโลกที่มีแร่มาสะสมตัวอยู่ในปริมาณสูงกว่าปกติ

แหล่งแร่ไม่จำเป็นต้องมีขนาดหรือปริมาณแร่ในเชิงพาณิชย์ แหล่งแร่ที่ปรากฏพบจะเปิดทำเหมืองได้หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับนโยบายรัฐและคุณค่าของแหล่งแร่ในเชิงเศรษฐกิจเป็นหลัก ดังนั้นการศึกษาธรณีวิทยาแหล่งแร่ การประเมินปริมาณแร่สำรองและคุณค่าของแหล่งแร่จึงเป็นสิ่งจำเป็น

แหล่งสินแร่ (ore deposit) หมายถึง แหล่งแร่ที่มีแร่ชนิดเดียวหรือหลายชนิดเกิดร่วมกันในปริมาณมากพอที่จะขุดนำออกมาใช้ประโยชน์ได้โดยมีกำไร

แหล่งแร่อาจจำแนกออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ที่ใช้กำหนด เช่น โดยอาศัยคุณสมบัติหรือประโยชน์การใช้สอยแร่นั้น ๆ อาศัยชื่อแร่หรือกลุ่มแร่ที่เกิดร่วมกันเสมอ หรืออาศัยลักษณะการกำเนิดของแร่ในแหล่งแร่ เป็นต้น

การกำเนิด

ชนิดแหล่งแร่สามารถจำแนกได้โดยอาศัยลักษณะการกำเนิดซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางธรณีวิทยาเป็นหลัก คือ แหล่งแร่ที่มีกำเนิดสัมพันธ์กับกระบวนการทางธรณีวิทยาภายใต้ผิวโลก และแหล่งแร่ที่มีกำเนิดเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางธรณีวิทยาบนผิวโลก ดังมีรายละเอียดดังนี้

ก. แหล่งแร่ที่มีกำเนิดสัมพันธ์กับกระบวนการทางธรณีวิทยาภายใต้ผิวโลก

แหล่งแร่ที่มีกำเนิดสัมพันธ์กับหินอัคนีชนิดเมฟิกและอัลตราเมฟิก

แหล่งแร่ที่มีกำเนิดสัมพันธ์กับหินเมฟิกและอัลตราเมฟิก (mafic and ultramafic rocks) พบเกิดได้หลายแบบ คือ

แหล่งแร่แบบฝังประ (disseminated type) เมื่อหินหนืด (magma) ที่มีส่วนประกอบเป็นเมฟิกเริ่มเย็นตัวลง แร่ต่าง ๆ จะเริ่มตกผลึกแยกตัวออกจากสารละลาย หากการตกผลึกเป็นไปตามขั้นตอนธรรมดา แร่ต่าง ๆ ที่เกิด รวมทั้งแร่มีค่าก็จะอยู่อย่างกระจัดกระจายทั่วไปในหิน จึงพบแร่มีค่าฝังประอยู่ทั่วไป แร่มีค่าที่สำคัญที่พบเกิดในหินจำพวกนี้ ได้แก่ แร่โครไมต์ ทองคำขาว นิกเกิล และโคบอลต์ในหินเพริโดไทต์ เพชรในหินคิมเบอร์ไลต์ แหล่งแร่ฝังประโดยทั่วไปมักมีค่าความสมบูรณ์แร่ต่ำ ดังนั้นหินเมฟิกและอัลตราเมฟิก จึงมักเป็นหินแม่ของแหล่งแร่เศรษฐกิจแบบลานแร่สำหรับแร่โครไมต์และทองคำขาว และเป็นแหล่งหินแม่ที่ให้กำเนิดแหล่งแร่นิกเกิลและโคบอลต์ชนิดตกค้างสะสม

แหล่งแร่แบบแยกชั้น (magmatic segregation deposit) แหล่งแร่แบบนี้เกิดจากการที่แร่โลหะซึ่งเป็นแร่ที่มีจุดหลอมตัวและความถ่วงจำเพาะสูง ตกผลึกแยกตัวออกมาจากหินหนืดและตกจมลงเบื้องล่างของแอ่งหินหนืดเพื่อก่อตัวหรือสะสมตัวเป็นชั้นแร่ กระเปาะแร่ แยกจาก

ชั้นหินเพริโดไทต์หรือหินดูไนต์ ดังนั้นจะพบชั้นแร่มีโครงสร้างขนานไปกับโครงสร้างชั้นหินเมฟิกหรืออัลตราเมฟิกนั้น แหล่งแร่แบบนี้ได้แก่ แหล่งแร่โครไมต์ (รูปที่ 12.1) แหล่งแร่เหล็ก-ไทเทเนียม แหล่งแร่ทองคำขาว-ทองแดง-นิกเกิล-โคบอลต์ แต่หากขณะที่แร่โลหะกำลังตกผลึกนั้น เกิดมีแรงกดดันจากภายนอกเข้าร่วมด้วยหรือเกิดมีรอยแตกร้าวในหินบริเวณใกล้เคียง น้ำแร่ซึ่งยังไม่ทันแข็งตัวก็จะถูกดันออกไปแข็งตัวเป็นสายแร่หรือกระเปาะแร่ในหินข้างเคียงได้ ในกรณีนี้แหล่งแร่จะไม่มีโครงสร้างสัมพันธ์กับโครงสร้างของหิน แหล่งที่พบในประเทศไทย เช่นแหล่งแร่โครไมต์ อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์

แหล่งแร่ที่มีกำเนิดสัมพันธ์กับหินอัคนีชนิดเฟลซิก

แหล่งแร่ที่มีต้นกำเนิดสัมพันธ์กับหินอัคนีชนิดเฟลซิก (felsic rock) ที่สำคัญคือ เพกมาไทต์และแหล่งแร่แบบแปรสัมผัส

เพกมาไทต์ (pegmatite) หินเพกมาไทต์หรือสายเพกมาไทต์ (รูปที่ 12.2 - 12.3) เป็นหินอัคนีที่มีเนื้อหยาบที่สุดที่เกิดแยกออกมาจากหินอัคนีมวลไพศาลจำพวกหินแกรนิตแล้วของเหลวหรือสารละลายส่วนที่เหลือจะมีปริมาณของสารที่มีสภาพเป็นไอสูง เช่น น้ำ โบรอน ฟลูออรีน ทำให้มีแรงดันแทรกไปตามรอยแตกและช่องว่างภายในหินอัคนีมวลไพศาลนั้นหรือแทรกดันเข้าไปสู่หินท้องที่ใกล้เคียง แข็งตัวอยู่ในรูปเป็นสายแร่แบบแผ่นแบนหรือกระเปาะ แร่ประกอบหลักของสายเพกมาไทต์คือ ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ มัสโคไวต์ (+ไบโอไทต์) ทัวร์มาลีน ขนาดของผลึกแร่เหล่านี้โตมาก อาจพบแร่ไมกาขนาดโตกว่า 1 เมตร [รูปที่ 12.1 - 12.9] ได้ รวมทั้งผลึกขนาดใหญ่ของแร่เฟลด์สปาร์ เบริลหรือสปอดูมีน

สายเพกมาไทต์ขนาดใหญ่มักแสดงลักษณะแถบหรือเขตแร่ (zone) ซึ่งประกอบด้วยควอตซ์อยู่ในเขตในสุด สายเพกมาไทต์นับเป็นสายแร่เศรษฐกิจ เนื่องจากนอกเหนือจากแร่เฟลด์สปาร์และควอตซ์ที่สามารถเปิดทำเหมืองแล้ว ยังมีแร่หายากอื่นๆ เกิดร่วมด้วยและทำให้กลายเป็นแหล่งสายแร่เศรษฐกิจที่สำคัญได้ เช่น แร่ไมกา สปอดูมีน เบริล รัตนชาติ เซอร์คอน-สฟีน ฟอสเฟต ยูเรเนียม-ทอเรียม โคลัมไบต์-แทนทาไลต์ ทังสเตนและดีบุก

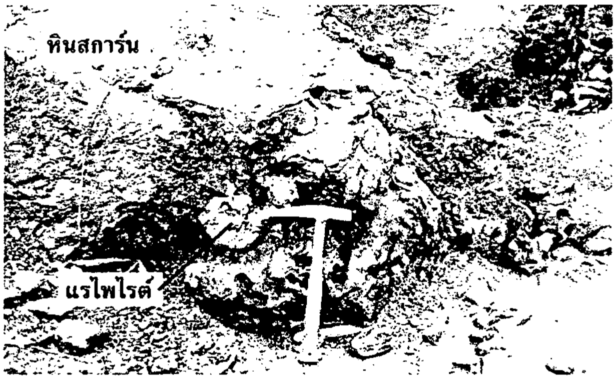
โดยทั่วไปแหล่งแร่ดีบุกในประเทศไทยส่วนหนึ่งได้จากสายเพกมาไทต์ เช่น แหล่งแร่ดีบุกในสายเพกมาไทต์เหมืองโชน จังหวัดพังงา บริเวณพะโต๊ะ จังหวัดชุมพร อำเภอกะทู้ จังหวัดภูเก็ต และอีกหลายแห่งในอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ แม้ว่าการทำเหมืองดีบุกในภาคใต้ส่วนใหญ่ทำจากลานแร่ แต่โดยทั่วไปพบว่าใต้กะสะแร่บางแหล่งมีสายเพกมาไทต์ ซึ่งให้แร่ดีบุกตัดผ่านอยู่ในหินดาน (bed rock) ซึ่งรองรับอยู่ภายใต้ได้ แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ใหญ่ ๆ ส่วนใหญ่ก็มาจากสายเพกมาไทต์เช่นกัน เช่นแหล่งแร่อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี

แหล่งแร่แบบแปรสภาพโดยการแทนที่ (contact metasomatic deposit) เกิดขึ้นเนื่องจากหินอัคนีหนืดร้อนแทรกดันขึ้นมาในหินท้องที่ทำให้ส่วนประกอบแร่และโครงสร้างของหินท้องที่บริเวณสัมผัสแปรเปลี่ยนไป ในขณะเดียวกันแก๊สและสารของเหลวในหินหนืดนั้นเข้าไปแทนที่ธาตุบางตัวในแร่หรือแทนที่แร่ในหินท้องที่เกิดเป็นแร่ใหม่ขึ้น ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้ดีกับหินท้องที่ที่เป็นหินจำพวกคาร์บอเนต เช่น หินปูน หินปูนโดโลไมต์ ดังนั้นโดยทั่วไปจะเกิดเป็นหินแปรสภาพโดย

รูปที่ 12.1 หน้าเหมืองแร่โครไมต์ บริษัทชันไรส์ซิลล์ จำกัด จังหวัดอุตรดิตถ์ แร่โครไมต์เกิดเป็นกะเปาะในหินเซอร์เพนทิไนต์

รูปที่ 12.3 หน้าเหมืองควอตซ์จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์

รูปที่ 12.2 สายเพกมาไทต์ อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี เป็นแหล่งโพแทชเฟลด์สปาร์ (F) ที่แทรกตัวผ่านหินแกรนิตและโผล่ให้เห็นเป็นบริเวณกว้าง

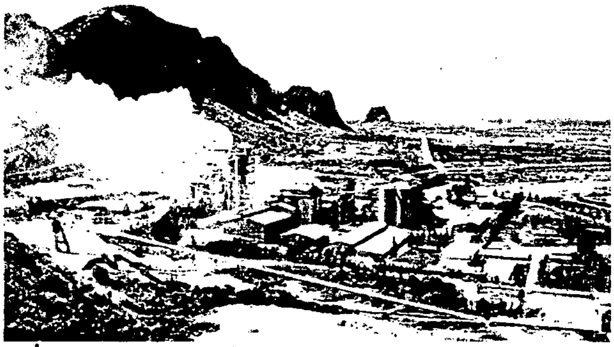


รูปที่ 12.4 ภาพถ่ายบริเวณที่มีแร่ซัลไฟด์ที่เกิดแบบสการ์น ในพื้นที่บ้านน้ำสวยเหนือ จังหวัดเลย

รูปที่ 12.5 แหล่งแร่ทองแดงชนิดพอร์ฟีรี จังหวัดอุตรดิตถ์ สินแร่ทองแดงวางตัวอยู่ด้านล่างของชั้นเหล็กสีน้ำตาลเข้ม

รูปที่ 12.6 ชั้นกะสะพลอย (คนชี้) ที่วางตัวอยู่บนหินมหายุคพาลีโอโซอิก และถูกปิดทับด้วยชั้นหินบะซอลต์เนื้อแข็งสีดำ ที่ บ้านบ่อเวฬุ อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี

รูปที่ 12.7 ร่องรอยของหลุมขุดพลอยในดินแดงที่ผุพังจาก หินบะซอลต์ เขาลั่นทม อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี



รูปที่ 12.8 โรงงานปูนซีเมนต์ บริษัทชลประทานซีเมนต์ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ทำการผลิตซีเมนต์โดยใช้หินปูนยุคเพอร์เมียนจากเทือกเขาหินปูนที่เห็นอยู่ด้านซ้ายของภาพเป็นวัตถุดิบ

รูปที่ 12.9 หน้าเหมืองแร่ยิปซัม อำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์

การแทนที่ที่เรียกว่า หินสการ์น (skarn) (รูปที่ 12.4) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่เป็นถิ่นกำเนิดของแหล่งแร่โลหะหรืออโลหะตามรอยสัมผัสระหว่างหินอัคนีและหินท้องที่

หินอัคนีจำพวก แกรนิต ควอตซ์ไดออไรต์ ควอตซ์มอนโซไนต์ แกรโนไดออไรต์ และหินอัคนีอื่นที่มีส่วนประกอบคล้ายคลึงกันนี้ เป็นชนิดที่มีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่แปรสภาพโดยการแทนที่มากที่สุด แหล่งแร่ที่สำคัญได้แก่ แหล่งแร่เหล็ก ทังสเตน ดีบุก โมลิบดีไนต์ ตะกั่ว-สังกะสี และทองแดง แม้จะมีขนาดค่อนข้างเล็กแต่บางแหล่งกลายเป็นแหล่งที่มีค่าทางเศรษฐกิจ

แหล่งแร่แบบนี้ที่พบในประเทศไทยเช่นแหล่งแร่เหล็กเขาทับควาย จังหวัดลพบุรี แหล่งแร่ทองแดง สังกะสี จังหวัดเลย และแหล่งแร่ซีไลต์ดอยหมอก จังหวัดเชียงราย

แหล่งแร่ที่มีกำเนิดจากสารละลายน้ำร้อน

แหล่งแร่แบบน้ำร้อน (hydrothermal deposit) หมายถึง แหล่งแร่ที่มีแร่มีค่าทางเศรษฐกิจตกผลึกสะสมตัวจากสารละลายน้ำร้อนที่เคลื่อนที่มาจากที่อื่น สารละลายน้ำร้อนมีกำเนิดมาจากน้ำบนผิวดิน ใต้ดิน และน้ำเหลือจากหินหนืดที่แข็งตัวเป็นหิน ชนิดของแหล่งแร่แบบน้ำร้อนแบ่งออกได้ดังนี้

สายแร่น้ำร้อน (hydrothermal vein deposit) แหล่งแร่ชนิดนี้มีลักษณะรูปร่างเป็นสาย (vein) เกิดจากสารละลายน้ำร้อนทุกประเภทที่เคลื่อนตัวสู่เบื้องบนแทรกไปตามรอยแตกรอยร้าวในหินแล้วตกผลึกเย็นตัวลงเกิดเป็นแหล่งแร่ในช่องว่างนั้น รูปร่างของสายแร่จะเป็นไปตามรูปแบบของรอยแตกในหินนั้น ๆ Burnham and Ohmoto (1981) ใน Edwards and Atkinson (1986) ได้จำแนกชนิดของสายแร่น้ำร้อนโดยอาศัยลักษณะทางธรณีวิทยาแหล่งแร่เป็นหลักออกได้ดังนี้

1) แหล่งแร่ทองแดง-ตะกั่ว-สังกะสี-ทองคำ-เงิน เกิดเป็นสายแร่ที่มีกำเนิดเกี่ยวข้องกับหินอัคนีแทรกซอน ในแหล่งแร่นี้อาจมีแร่พลวง บิสมัท สารหนู แกลเลียม เจอร์เมเนียม และอินเดียม เกิดร่วมด้วย
2) แหล่งแร่ทังสเตน-ดีบุก เป็นแหล่งแร่ที่ประกอบด้วยสายแร่ที่มีลักษณะเป็นแผ่น (sheeted veins) หรือเป็นสายแร่เล็ก ๆ ที่ตัดกันไปมาถี่ยิบ (stockworks) และมีกำเนิดเกี่ยวข้องกับหินจำพวกแกรนิต
3) แหล่งแร่ซับซ้อน เป็นสายแร่ที่มีแร่หลายชนิดเกิดซับซ้อนและเกี่ยวพันกับหินจำพวกแกรนิต แร่ที่จะพบได้ ได้แก่ แร่ตระกูลโบรอน เหล็ก ฟลูออไรต์ สารหนู ทองแดง และทังสเตน
4) แหล่งแร่ทองคำ สายแร่เกี่ยวพันกับหินภูเขาไฟจำพวกเมฟิกและอัลตราเมฟิก และแหล่งแร่เหล็กแบบชั้น นอกจากนี้อาจพบแร่ตระกูลสารหนู พลวง ปรอท เทลลูเรียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และทังสเตน
5) แหล่งแร่ยูเรเนียม สายแร่เกี่ยวข้องกับหินจำพวกแกรนิต หินไนส์ และหินชีสต์ อาจพบแร่ตระกูลโคบอลต์ นิกเกิล บิสมัท เงิน และสารหนู เกิดร่วมอยู่ด้วย
6) แหล่งแร่โคบอลต์-เงิน-นิกเกิล อาจมีแร่เหล็ก สารหนู ทองแดง ตะกั่ว และบิสมัท เกิดร่วมด้วย

7) ในประเทศไทย เช่น แหล่งแร่ทองคำโต๊ะโม๊ะ จังหวัดนราธิวาส แหล่งแร่พลวง ห้วยในเขา อำเภอเวียงสระ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

แหล่งแร่น้ำร้อนจากหินหนืด (magmatic hydrothermal deposit) สินแร่ที่เกิดในแหล่งแร่น้ำร้อนจากหินหนืด เกิดจากกระบวนการของน้ำร้อนจากหินหนืดที่อยู่ไม่ลึกนักในเปลือกโลกเข้าไปประจุตามช่องว่างต่างๆ ในหินหรือตามรอยแตกร้าวเล็กๆ แบบร่างแห แหล่งแร่น้ำร้อนจากหินหนืดที่สำคัญ คือ แหล่งแร่พอฟีรี (porphyry deposit) และแหล่งแร่ซัลไฟด์เนื่องกับหินภูเขาไฟ (volcanic associated sulfide deposits) ทองแดงและโมลิบดีนัมที่ใช้กันในโลกส่วนใหญ่มาจากแหล่งแร่ดังกล่าว

1) แหล่งแร่พอฟีรี แหล่งแร่แบบนี้โดยทั่วไปประกอบด้วย เม็ดแร่ฝังประ สายแร่และสายควอตซ์เล็กๆ ซึ่งมีแร่ต่างๆ ในปริมาณต่างๆ กัน และอาจเรียกชื่อว่าแหล่งแร่ฝังประ (disseminated deposit) ก็ได้ เนื่องจากน้ำร้อนจากหินหนืดจะประกอบด้วยของเหลวและแก๊ส แหล่งแร่พอฟีรีในที่นี้จึงอาจรวมถึงแหล่งแร่แบบไอร้อน (pneumatolytic deposit) ซึ่งเป็นผลจากไอและแก๊สร้อนจากหินหนืดนั้นทำให้ส่วนประกอบทางเคมีในหินอัคนีเองและหินรอบข้างเปลี่ยนแปลงไปเกิดเป็นหินไกรเซน (greisen) ซึ่งมีแร่มีค่าฝังประอยู่ แหล่งแร่พอฟีรีที่สำคัญ ได้แก่ แหล่งแร่ทองแดงพอฟีรี (รูปที่ 12.5) โดยทั่วไปประกอบด้วยเม็ดแร่ฝังประ สายแร่และสายควอตซ์เล็ก ๆ ที่มีแร่ไพไรต์ คาลโคไพไรต์ บอร์ไนต์ และโมลิบดีไนต์อยู่ในปริมาณต่าง ๆ กัน ตามแถบเขตที่มีการเปลี่ยนสภาพของหิน (alteration zone) ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป หินอัคนีที่ให้กำเนิดแหล่งแร่มักเป็นหินแกรนิต และหินอะดาเมลไลต์-แกรโนไดออไรต์ แร่ทองคำมักพบเป็นแร่พลอยได้ของแหล่งแร่นี้ ในประเทศไทย เช่น แหล่งแร่ทองแดง - ทองคำ ภูโล้น จังหวัดหนองคาย แหล่งแร่โมลิบดีนัมพอฟีรี แร่โมลิบดีไนต์ จะพบเกิดร่วมกับแร่ไพไรต์ ฟลูออไรต์ และแร่ตระกูลทังสเตน โดยเฉพาะแร่ชีไลต์ นอกจากนี้อาจมีคาลโคไพไรต์และดีบุก หินอัคนีที่ให้กำเนิดแหล่งแร่จะเป็นหินอัคนีเนื้อดอกจำพวกที่มีส่วนประกอบจากควอตซ์มอนโซไนต์ถึงหินแกรนิตที่มีซิลิกาและแอลคาไลสูง ในประเทศไทย เช่น แหล่งแร่โมลิบดีไนต์บ้านน้ำขุ่น จังหวัดจันทบุรี

2. แหล่งแร่ซัลไฟด์เนื่องกับหินภูเขาไฟ แหล่งแร่ชนิดนี้พบเกิดร่วมกับหินเกือบทุกชนิดในเปลือกโลกช่วงบน แหล่งแร่ซัลไฟด์ (massive sulfide) ที่สำคัญ จะพบอยู่กับหินดินดาน หรือพบเกี่ยวกับหินภูเขาไฟที่ตกทับถมในทะเลหรือมหาสมุทร แหล่งแร่ซัลไฟด์ที่เกิดเกี่ยวข้องกับหินภูเขาไฟนี้เป็นแหล่งแร่ทองแดง-สังกะสี-ตะกั่ว ที่สำคัญของโลก นอกจากนั้นยังให้แร่พลอยได้ที่สำคัญคือ ทองคำ และเงิน

ข. แหล่งแร่ที่มีกำเนิดเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางธรณีวิทยาบนผิวโลก

แหล่งแร่แบบลานแร่

แหล่งแร่แบบลานแร่ (placer) เกิดเกี่ยวข้องกับกระบวนการผุพังทำลายของหินที่ให้แร่และมีการสะสมตัวของแร่หนักซึ่งคงทนต่อการผุกร่อน เมื่อหินซึ่งมีแร่หนักที่คงทนต่อการผุกร่อนเกิดการผุพังทำลายลงโดยกรรมวิธีต่าง ๆ จากลมฟ้าอากาศและน้ำฝน แร่หนักเหล่านี้ก็จะถูกพัดพาไปจากที่เดิมโดยสายน้ำ และในที่สุดจะตกสะสมตัวในบริเวณที่มีสภาพเหมาะสมต่อการสะสมตัวของแร่ เช่น ที่ลุ่ม แหล่งแร่ที่เกิดสะสมตัวตามไหล่เขาไม่ไกลนักจากตัวหินแม่ที่ให้แร่เรียกว่า "แหล่งแร่พลัดไหล่เขา (eluvial deposit)" ส่วนที่ถูกสายน้ำพัดพาไปตกสะสมตัวไกลพอประมาณจากแหล่งต้นกำเนิดในบริเวณพื้นที่ราบตะกอนน้ำพา (alluvial plain) เรียกว่า "แหล่งลานแร่" แหล่งแบบนี้มักพบชั้นแร่อยู่ใต้ชั้นกรวดทราย ชั้นที่แร่สะสมตัวอยู่รวมกับพวกกรวดทรายนั้นเรียกว่า "ชั้นกะสะ (paydirt)" (รูปที่ 12.6) บริเวณร่องน้ำเก่าจึงเป็นบริเวณที่เหมาะต่อการสำรวจหาแหล่งแร่แบบลานแร่

แร่ที่จะพบเกิดในแหล่งลานแร่ได้จะต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้ มีความถ่วงจำเพาะสูง ทนต่อการผุพังทางเคมี ไม่แตกหักง่าย แร่หลักที่พบเกิดเป็นแหล่งลานแร่ ได้แก่ ดีบุก ทองคำ ทองคำขาว โคลัมไบต์-แทนทาไลต์ อิลเมไนต์ รูไทล์ เซอร์คอน เพชร พลอยทับทิม และแซปไฟร์ การทำเหมืองดีบุกในภาคใต้ของประเทศไทย ส่วนใหญ่ได้จากแหล่งแร่ประเภทนี้ เช่นเดียวกับแหล่งพลอยแซปไฟร์ จังหวัดจันทบุรี ตราด และ จังหวัดกาญจนบุรี

แหล่งแร่ตกค้างสะสม

แหล่งแร่ตกค้างสะสม (residual deposit) (รูปที่ 12.7) นี้เป็นผลจากการที่หินและแร่ประกอบหินผุสลายไปโดยปฏิกิริยาทางเคมี ธาตุที่ละลายน้ำได้ง่ายจะถูกชะละลายไปกับน้ำ เหลือธาตุหรือสารประกอบซึ่งไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อยตกค้างเหลืออยู่ ณ ที่เดิม เช่น แร่เฟลด์สปาร์ เมื่อผุพังสลายตัวจะให้สารประกอบอะลูมินา ซิลิกา และสารประกอบแอลคาไล เมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม เช่น สภาวะออกซิไดซ์หรือการเติมออกซิเจน สารประกอบสองชนิดหลังละลายน้ำได้ง่ายจึงถูกพัดพาไปกับน้ำ เหลือสารประกอบอะลูมินา ซึ่งละลายได้ยากคงค้างอยู่ ณ ที่เดิม มีปริมาณสมบูรณ์ขึ้นจนอาจกลายเป็นแหล่งแร่ดินขาวหรือบอกไซต์ได้

แหล่งแร่แบบนี้จะเกิดในบริเวณเขตร้อนและลักษณะภูมิประเทศค่อนข้างแบนราบ แหล่งแร่ตกค้างสะสมที่สำคัญ ได้แก่ แหล่งแร่ดินขาว บอกไซต์ ศิลาแลงชนิดแร่เหล็ก แมงกานีส และนิกเกิล ในประเทศไทย เช่น แหล่งดินขาวเขาปางค่า อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดลำปาง แหล่งศิลาแลงจังหวัดลำพูน

แหล่งแร่ชะละลายสะสม

การกำเนิดแหล่งแร่ชะละลายสะสม (supergene deposit) นั้น หินต้นกำเนิดหรือสายแร่ส่วนใหญ่จะมีแร่ในกลุ่มซัลไฟด์ (เช่นแร่ไพไรต์) เกิดร่วมด้วย เนื่องจากกระบวนการทำลายต่าง ๆ จะมีอิทธิพลต่อแร่ซัลไฟด์เป็นอย่างมาก ทำให้แร่แตกสลายลง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีภูมิอากาศค่อน

ข้างแห้งแล้งและเขตร้อนชุ่มชื้น ปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ดีมาก ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ซึ่งทำให้โลหะมีค่าในแร่ซัลไฟด์ เช่น ทองแดง เงิน ถูกละลายออกมาได้มากขึ้น โลหะเหล่านี้เมื่อซึมลงสู่ข้างล่างก็จะเข้าแทนที่ธาตุเหล็กในแร่ไพไรต์ซึ่งแช่อยู่ในน้ำบาดาล เกิดเป็นแร่ซัลไฟด์ชนิดใหม่ นานเข้าแร่ซัลไฟด์มีค่าเหล่านี้ก็จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นกลายเป็นแหล่งแร่มีค่าทางเศรษฐกิจต่อไป

แหล่งแร่แบบนี้ที่พบมากได้แก่ แหล่งแร่ทองแดง ถึงแม้ว่าแต่เดิมแหล่งแร่ทองแดงจะเกิดเป็นแหล่งแร่คุณภาพต่ำ ไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจเลย แต่เมื่อได้รับการเปลี่ยนแปลงโดยวิธีนี้แหล่งแร่บางแห่งก็จะกลายเป็นแหล่งสำคัญทางเศรษฐกิจได้

แหล่งแร่แบบชั้น

แหล่งแร่แบบชั้น (sedimentary deposits) มีกรรมวิธีการเกิดคล้ายคลึงกับการเกิดหินชั้น จึงมักมีอาณาเขตกว้างขวางเป็นแหล่งแร่ขนาดใหญ่ แร่ในแหล่งแร่ชนิดนี้อาจมาจากหินเดิมหรือแหล่งแร่เดิมที่ผุพังทำลายลง แล้วถูกพัดพาไปในรูปของตะกอนและคอลลอยด์ ส่วนหนึ่งอาจตกตะกอนทับถมอยู่ตามท้องน้ำ บางส่วนอาจถูกพัดพาลงสู่ทะเล หรือแอ่งน้ำใหญ่ แล้วตกตะกอนหรือตกผลึกสะสมตัวในแอ่งนั้น ๆ เกิดเป็นแหล่งแร่ขึ้น แหล่งแร่สำคัญ ๆ ที่มีกำเนิดจากการสะสมตัวลักษณะนี้ได้แก่ แหล่งแร่ดินขาว แหล่งแร่เหล็กแบบชั้น แหล่งแมงกานีสแบบชั้นหรือแบบก้อนแมงกานีสทรงมน (manganese oxide nodule) ทองแดง-สังกะสี-ตะกั่วซัลไฟด์ นอกจากนี้ยังรวมการเกิดแหล่งถ่านหิน น้ำมัน ตลอดจนแหล่งหินปูน (รูปที่ 12.8) เกลือ ยิปซัม (รูปที่ 12.9) และแร่อื่น ๆ ที่เกิดจากการระเหยของน้ำทะเล

ลักษณะของแหล่งแร่แบบชั้น คือ

1) แร่จะเกิดเป็นชั้นตามลักษณะโครงสร้างของชั้นหินหรืออยู่ระหว่างชั้นหิน
2) มักเป็นแหล่งแร่ที่มีอาณาบริเวณแผ่กว้างขวาง
3) การกำเนิดของแร่ไม่ซับซ้อน
4) อายุการเกิดของแร่ต้องสัมพันธ์กับอายุของหินที่แหล่งแร่เกิดร่วมอยู่

แหล่งแร่แบบชั้นในประเทศไทย เช่น แหล่งดินขาวบ้านแม่ทาน อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง แหล่งแร่ยิปซัม จังหวัดพิจิตร – นครสวรรค์

มณฑลแร่ของประเทศไทย

มณฑลแร่ (metallogenic province) หมายถึงบริเวณที่มีแหล่งแร่ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะที่สัมพันธ์กันอย่างกว้าง ๆ ในด้านส่วนประกอบของแบบและอายุของการเกิดแร่ (Petrascheck, 1965) มณฑลแร่ดังกล่าวอาจเป็นบริเวณที่มีแร่เพียงชนิดเดียว หรือกลุ่มแร่ซึ่งมีลักษณะที่มีความสัมพันธ์ด้านการกำเนิด

แหล่งแร่ที่เกิดขึ้น ณ ที่ใดก็ตามในชั้นเปลือกโลก มักเกิดภายใต้อิทธิพลของการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกบริเวณนั้น ๆ ในอดีต ซึ่งการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกดังกล่าวเกิดจากปัจจัยทางด้านภูมิศาสตร์ ธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแปรสัณฐาน (tectonics) และธรณีกาลของการเกิดแร่หรือกลุ่มแร่ในพื้นที่ ดังนั้นความรู้ความเข้าใจในเหตุผลของการเกิดกลุ่มของแหล่งแร่ จึงเป็นสิ่งสำคัญมากทั้งในด้านการสำรวจและศึกษาวิจัยในการจัดแบ่งมณฑลแร่

Sitthithaworn and Wasuwanich (1992) ได้จัดทำแผนที่มณฑลแร่ของประเทศไทย โดยทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทยที่ศึกษาโดย Bunopas (1981) และ Bunopas and Vella (1983) เป็นโครงร่าง จากนั้นได้ใช้ข้อมูลแหล่งแร่และข้อมูลธรณีวิทยาต่าง ๆ มาช่วยในการกำหนดขอบเขตมณฑลแร่ของประเทศ นอกจากนี้ยังมีข้อมูลที่เกี่ยวกับแนวความคิด ทฤษฎี และรายงานที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิด วิวัฒนาการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทย และบริเวณใกล้เคียง รวมทั้งการใช้ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ

ข้อมูลที่นำมากล่าวในเรื่องมณฑลแร่นี้ ส่วนใหญ่ได้จากรายงานของ Sitthithaworn and Wasuwanich (1992) เป็นหลัก โดยได้มีการปรับเปลี่ยนการจัดแบ่งขอบเขตมณฑลแร่ในรายละเอียดไปบ้าง ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับผลการศึกษาวิจัยในช่วงหลัง โดยเฉพาะแนวคิดเกี่ยวกับธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทยและการแปลความหมายข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศเพิ่มเติม โดยเฉพาะข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็ก เข้ามาช่วยในการศึกษา

ธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทย

ประเทศไทยประกอบด้วยส่วนของอนุทวีป (subcontinent) ที่ชื่อว่า ชาน-ไทย (Shan-Thai) และอินโดจีน (Indochina) ที่เคลื่อนที่มาประชิดกันเกิดการชนแบบทวีปต่อทวีป (continent-continent) ในระหว่างยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสซิก (Bunopas 1981; Bunopas and Vella, 1983) อนุทวีปชาน-ไทย คือพื้นที่ด้านตะวันตกทั้งหมดของประเทศไทยปัจจุบันและซีกตะวันตกของชายฝั่งทะเลตะวันออก ส่วนตำแหน่งของอนุทวีปอินโดจีนในปัจจุบันได้แก่ พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งหมด บริเวณที่อยู่ระหว่างอนุทวีปทั้งสองเป็นแนวคดโค้งสุโขทัยและเลย Sitthithaworn and Wasuwanich (1992) เชื่อว่าเป็นบริเวณขอบทวีปที่เป็นระบบหมู่เกาะภูเขาไฟรูปโค้ง (volcanic arc) เกาะรูปโค้งและร่องลึกก้นสมุทร (arc-trench system) ที่เกิดจากการชนกันของอนุทวีปดังกล่าว ยังผลให้เกิดเป็นแนวคดโค้งคู่ (paired fold belts)

คัดลอกจาก "ทรัพยากรแร่ของไทย" *ใน* หนังสือธรณีวิทยาประเทศไทยเฉลิมพระเกียรติ์พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว

จากข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กโลก อันเป็นผลมาจากการบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศทั่วประเทศของกรมทรัพยากรธรณี ช่วยให้เห็นโครงสร้างขนาดใหญ่ทางธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแปรสัณฐาน โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นแอ่งสะสมตะกอน จากข้อมูลดังกล่าวช่วยสนับสนุนให้เห็นความแตกต่างของอนุทวีปชาน-ไทยและอินโดจีนได้อย่างชัดเจน และแสดงรอยเลื่อนขนาดใหญ่ โดยเฉพาะในบริเวณฝั่งตะวันตกของประเทศ รอยเลื่อนดังกล่าวประกอบไปด้วย: รอยเลื่อนแม่ปิง ซึ่งต่อเนื่องมาจากรอยเลื่อนเมย วางตัวในแนว NW-SE; รอยเลื่อนเจ้าพระยา วางตัวในแนว NW-SE; รอยเลื่อนด่านเจดีย์สามองค์ วางตัวในแนว NW-SE; รอยเลื่อนระนอง-คลองมารุยวางตัวในแนว NE-SW; รอยเลื่อนอุตรดิตถ์ วางตัวในแนว NE-SW

ข้อมูลสนามแม่เหล็กชี้ให้เห็นการกระจายตัวของหินภูเขาไฟชนิดเบสิก-อัลตราเบสิก (basic-ultrabasic rocks) ที่เกิดตามรอยตะเข็บ (suture zone) ระหว่างอนุทวีปชาน-ไทยและอินโดจีน (ดูเพิ่มเติมในบทที่ 8 ในหนังสือธรณีวิทยาประเทศไทยเฉลิมพระเกียรติ์พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว) โดยข้อมูลฯ แสดงให้เห็นถึงความต่อเนื่องกันของรอยตะเข็บอุตรดิตถ์-น่าน กับแนวหินภูเขาไฟทางตอนกลางของประเทศ ที่บริเวณตอนเหนือของจังหวัดสุโขทัย แล้วขยายตัวครอบคลุมพื้นที่ระหว่างจังหวัดพิษณุโลก-จังหวัดสุโขทัย กระจายตัวลงมาในแนวเหนือ-ใต้มายังภาคกลางของประเทศถึงรอยตะเข็บปราจีนบุรี-สระแก้ว ก่อนที่จะแบ่งออกเป็นสองแนว โดยแนวหลักยังคงต่อเนื่องไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้เข้าไปทางประเทศกัมพูชา ส่วนอีกแนวหนึ่งแยกลงไปทางจังหวัดจันทบุรี-เกาะช้าง (Tulyatid and Charusiri, 1999)

สภาพทางธรณีวิทยาและภูมิศาสตร์ทั่วไปของประเทศไทย จึงเป็นผลมาจากวิวัฒนาการอันยาวนาน อันสืบเนื่องมาจากวิวัฒนาการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐาน โดยเฉพาะการชนกันของอนุทวีปชาน-ไทยและอินโดจีน ในช่วงต่อระหว่างมหายุคพาลีโอโซอิก-มีโซโซอิก และการเปิดของอ่าวไทย/ที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาในยุคเทอร์เชียรี วิวัฒนาการเหล่านี้ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวซ้ำซ้อนไปมาของรอยเลื่อนใหญ่และตามรอยตะเข็บต่าง ๆ ทำให้เกิดหินภูเขาไฟและหินอัคนีแทรกซอนในบริเวณรอยตะเข็บ สิ่งเหล่านี้ล้วนมีความสำคัญยิ่งต่อการกำหนดขอบเขตมณฑลแร่

สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทย สามารถดูเพิ่มเติมได้ในบทที่ 10: วิวัฒนาการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานและภูมิศาสตร์บรรพกาลของหนังสือในหนังสือธรณีวิทยาประเทศไทยฯ ส่วนเรื่องของความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งแร่กับธรณีวิทยาแปรสัณฐาน ดูเพิ่มเติมได้จาก Hutchison (1985) และ Evans (1993)

มณฑลแร่ของประเทศไทย

จากหลักฐานและข้อมูลทางด้านแหล่งแร่ ธรณีวิทยาพื้นฐาน ธรณีวิทยาโครงสร้าง ธรณีวิทยาสัณฐาน ธรณีวิทยาแปรสัณฐาน และธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ สามารถแบ่งมณฑลแร่ของประเทศไทยออกได้เป็น 3 ส่วน คือ มณฑลแร่ตะวันออกเฉียงเหนือ มณฑลแร่ตอนกลาง และมณฑลแร่ตะวันตก (รูปที่ 1)

มณฑลแร่ตะวันออกเฉียงเหนือ

มณฑลนี้เป็นบริเวณที่มีสภาพธรณีวิทยาแปรสัณฐานแบบแอ่งสะสมตะกอนที่เกิดในแผ่นทวีป (continental interior basin หรือ intercratonic basin) ครอบคลุมบริเวณที่ราบสูงโคราชทั้งหมด ประกอบด้วยแอ่งสกลนคร และแอ่งโคราช ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอนุทวีปอินโดจีน มีหินที่รองรับเป็นหินยุคพรีแคมเบรียนที่โผล่อยู่ในตอนกลางของประเทศเวียดนามและทางตะวันออกของประเทศลาว ลักษณะของหินตะกอนภาคพื้นทวีปของมหายุคมีโซโซอิกในพื้นที่ แสดงการถูกรบกวนน้อย บ่งบอกถึงความเสถียร (stable) ของบริเวณที่ราบสูงโคราช จากภาพรวมของความเข้มสนามแม่เหล็กที่ปรากฏได้สะท้อนถึงลักษณะหินดานในระดับลึก และแสดงถึงความแตกต่างระหว่างที่ราบสูงโคราชกับมณฑลอย่างชัดเจน แหล่งแร่ที่พบในบริเวณมณฑลแร่ตะวันออกเฉียงเหนือได้แก่ ยูเรเนียม ทองแดง โพแทช (ซิลไวต์ และคาร์นัลไลต์) และเกลือหิน (เฮไลต์)

มณฑลแร่ตอนกลาง

มณฑลแร่ตอนกลางวางตัวอยู่ระหว่างมณฑลแร่ตะวันตกและมณฑลแร่ตะวันออกเฉียงเหนือ มีขอบเขตทางด้านตะวันตกตั้งแต่บริเวณจังหวัดเชียงรายตอนเหนือสุดของประเทศ ตามขอบเทือกหินแกรนิตด้านตะวันออกลงมาทางตอนใต้จนถึงจังหวัดตาก ถูกเฉือนโดยรอยเลื่อนแม่ปิง ทำให้แนวการวางตัวเยื้องไปทางทิศตะวันออกเล็กน้อย แล้วต่อเนื่องลงไปทางใต้ตามแนวรอยเลื่อนสาขาที่เชื่อมต่อระหว่างรอยเลื่อนแม่ปิงกับรอยเลื่อนเจ้าพระยาซึ่งทำให้ทิศทางการวางตัวของมณฑลแร่นี้เปลี่ยนทิศทางไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้เข้าไปสู่ภาคตะวันออกของประเทศ ส่วนขอบเขตทางด้านตะวันออกจรดขอบที่ราบสูงโคราช

ในการแบ่งขอบเขตมณฑลแร่นั้น นอกจากจะใช้ชนิดของแร่และลักษณะทางธรณีวิทยาในการแบ่งเขตแล้ว ยังสามารถใช้ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กจากการบินสำรวจในการแสดงความแตกต่างระหว่างมณฑลแร่ตอนกลาง กับมณฑลแร่ตะวันตกและมณฑลแร่ตะวันออกเฉียงเหนือ โดยข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กของมณฑลแร่ตอนกลางแสดงให้เห็นถึงแนวหินภูเขาไฟอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในกลุ่มหินภูเขาไฟบริเวณจังหวัดน่าน-อุตรดิตถ์ จังหวัดพิษณุโลก-พิจิตร(-เพชรบูรณ์)-ลพบุรี-ปราจีนบุรี-สระแก้ว และบริเวณจังหวัดเลย ตลอดจนแนวจันทบุรี-ตราด-เกาะช้าง และแพร่-ลำปาง-ตาก

จากลักษณะทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานและหลักฐานทางข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ สามารถแบ่งมณฑลแร่ตอนกลางออกได้เป็นสองด้าน คือด้านตะวันตกและด้านตะวันออก ในส่วนของด้านตะวันตกสามารถแบ่งออกเป็น 4 มณฑลแร่ย่อย ได้แก่มณฑลแร่ย่อย แพร่ สุโขทัย อุทัยธานี และจันทบุรี ส่วนทางด้านตะวันออกแบ่งออกเป็น 3 มณฑลแร่ย่อย คือมณฑลแร่ย่อยอุตรดิตถ์-น่าน (หรือ "ผาซ่อม" ใน Sitthithaworn and Wasuwanich, 1992) พิจิตร-ลพบุรี-สระแก้วและเลย

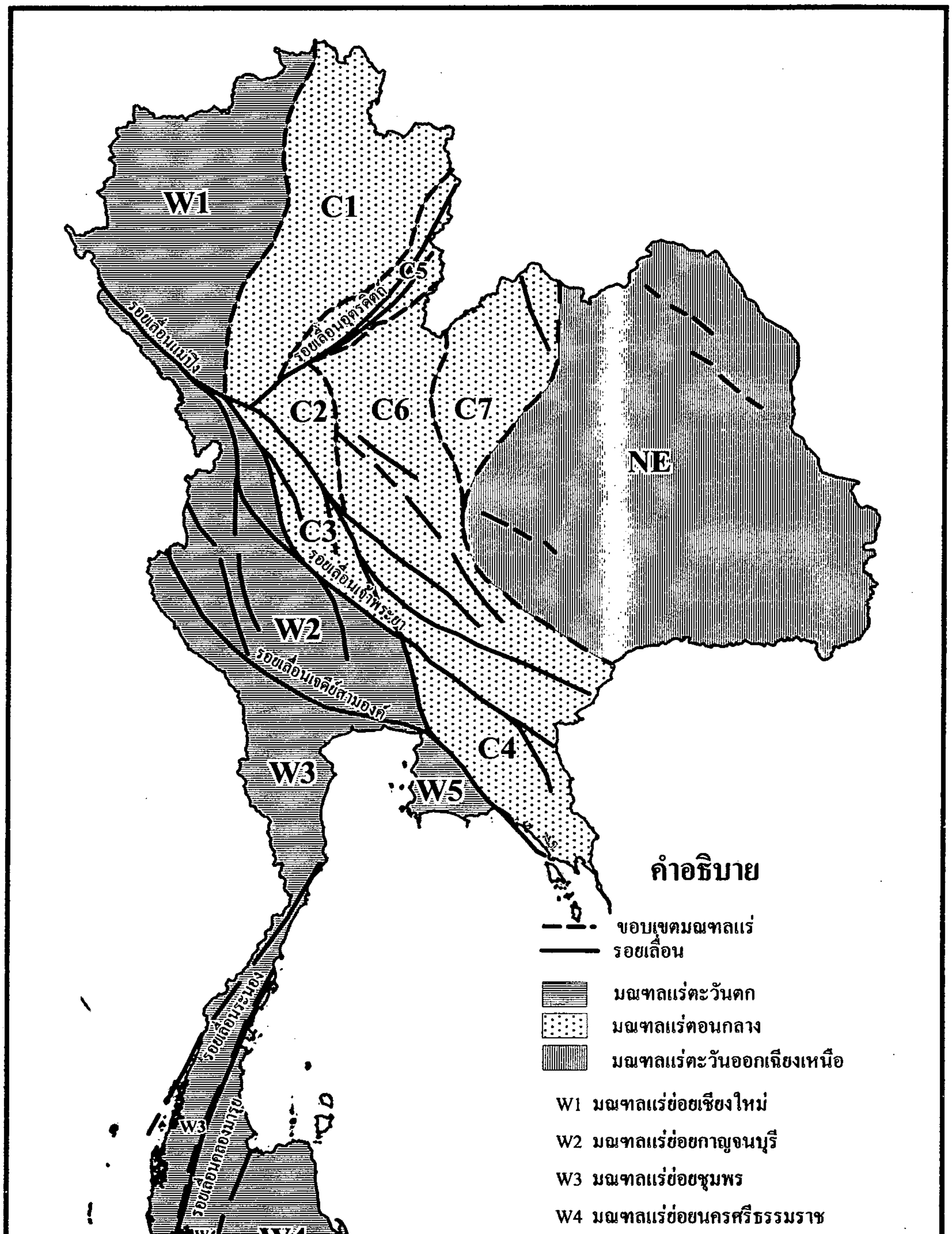
ลักษณะธรณีวิทยาที่เด่นของมณฑลแร่ตอนกลางด้านตะวันตกคือแนวหินภูเขาไฟทางตะวันตก ส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนปลาย ถึงยุคไทรแอสซิกตอนต้น และหินภูเขาไฟที่ถูกแปรสภาพ (metavolcanics) ยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน และคาร์บอนิเฟอรัส ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเกิดอยู่

ในสภาพแวดล้อมเป็นแบบหมู่เกาะรูปโค้งและร่องลึกก้นสมุทร หินอัคนีแทรกซอนที่สำคัญได้แก่หินแกรนิต ควอตซ์-ไดออไรต์ และหินอัคนีพุพวกบะซอลต์ ที่เกิดจากการประทุในแนวเหนือ-ใต้ หินบะซอลต์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงยุคเทอร์เชียรี กลุ่มของแหล่งแร่ที่เกิดได้แก่ ทองแดง พลวง แบไรต์ และฟลูออไรต์ ซึ่งพบกระจายตัวอยู่เป็นจำนวนมากในบริเวณหมู่เกาะรูปโค้งยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสซิก นอกจากนี้ ยังพบแหล่งแร่ทองคำ แมงกานีสและทังสเตน อย่างไรก็ดี จากการศึกษาเปรียบเทียบกับการเกิดแร่ในบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมเป็นแบบระบบหมู่เกาะรูปโค้งจนถึงขอบทวีป พบว่าบริเวณดังกล่าวมีศักยภาพที่จะให้แร่อื่น ๆ อีก เช่นแร่โลหะพื้นฐาน (ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี) โมลิบดีนัมและโลหะมีค่า (เช่น ทองคำ เงิน ทองคำขาว) และโลหะชนิดอื่นๆ ได้แก่ ปรอท เป็นต้น

ทางด้านตะวันออกของมณฑลแร่ตอนกลาง ประกอบด้วย มณฑลแร่ย่อยอุตรดิตถ์-น่าน พิจิตร-ลพบุรี-สระแก้วและเลย เชื่อว่าเป็นบริเวณตามแนวตะเข็บระหว่างอนุทวีปชาน-ไทย (นครไทย) และอินโดจีน มณฑลแร่ย่อยอุตรดิตถ์-น่าน พิจิตร-ลพบุรี-สระแก้ว และเลย มีความแตกต่างกันในด้านอายุและประวัติความเป็นมา ตลอดจนวิวัฒนาการที่เกิดขึ้น ซึ่งแต่ละแห่งก็แตกต่างกันไป

มณฑลแร่ย่อยอุตรดิตถ์-น่าน มีลักษณะเป็นแนวเรียวยาว วางตัวต่อเนื่องเข้ามาจากประเทศลาวที่เขตจังหวัดน่านและอุตรดิตถ์ เลยต่อมาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้จนถึงจังหวัดอุตรดิตถ์และมีแนวต่อเนื่องไปทางจังหวัดตาก นับเป็นระยะทางประมาณ 200 - 250 กิโลเมตร โดยมีส่วนที่กว้างที่สุดประมาณ 10 กิโลเมตร (จากหินอัลตราเมฟิกที่โผล่ที่ระดับผิวดิน) หินเมฟิกและอัลตราเมฟิกในพื้นที่ น่าจะเป็นกลุ่มหินโอฟิโอไลต์ (ophiolite suite) ที่ถูกบีบอัดยกตัวขึ้นมาในช่วงยุคเพอร์เมียน - ไทรแอสซิก แหล่งแร่ที่พบในมณฑลแร่ย่อยอุตรดิตถ์-น่านได้แก่ แร่โครไมต์ แมกนีไซต์ ใยหินและแร่ทัลก์ ในหินเซอร์เพนทิไนต์

มณฑลแร่ย่อยพิจิตร-ลพบุรี-สระแก้ว เป็นส่วนต่อจากด้านใต้ของมณฑลแร่ย่อยอุตรดิตถ์-น่านที่ถูกตัดโดยรอยเลื่อนอุตรดิตถ์และแม่ปิง ขยายตัวครอบคลุมเป็นบริเวณกว้างขึ้นตั้งแต่บริเวณจังหวัดพิษณุโลก พิจิตร (เพชรบูรณ์) ขยายตัวต่อเนื่องลงไปทางทิศใต้ ขอบทางทิศตะวันตกถูกควบคุมโดยกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิงและเจ้าพระยา ยังผลให้มีการเปลี่ยนทิศทางการวางตัวจากเกือบเหนือ-ใต้ไปเป็นตะวันออกเฉียงใต้ผ่านจังหวัดปราจีนบุรี สระแก้วและมีแนวต่อเนื่องเข้าไปในประเทศกัมพูชา มีขอบเขตทางทิศตะวันออกตามขอบตะวันตกของที่ราบสูงโคราช



รูปที่ 13 แผนที่มณฑลแร่ของประเทศไทย

จากข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศที่ปรากฏ มณฑลนี้มีส่วนกว้างที่สุดประมาณ 110 กิโลเมตร เดิม Sitthithaworn and Wasuwanich (1992) จัดให้มณฑลแร่ย่อยพิจิตร-ลพบุรี-สระแก้วนี้เป็นส่วนหนึ่งของมณฑลแร่ย่อยเลย แต่เนื่องจากมีตำแหน่งที่ตั้งและวิวัฒนาการที่แตกต่างกัน อีกทั้งข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศแสดงให้เห็นว่าความต่อเนื่องระหว่างแนวหินภูเขาไฟจากมณฑลแร่ย่อยพิจิตร-ลพบุรี-สระแก้วและเลย ไม่เด่นชัด หินอัคนีของมณฑลแร่ย่อยพิจิตร-ลพบุรี-สระแก้วประกอบด้วยหินที่มีส่วนประกอบตั้งแต่ชนิดกรดถึงเบส ได้แก่หินแอนดีไซต์ไดออไรต์ ไรโอไลต์ มอนโซไนต์ และแกรนิต แหล่งแร่ที่เกิดในบริเวณนี้ ได้แก่แร่ทองแดงที่เกิดในเขตที่มีการแตกหักของหิน (copper-bearing brecciated zone) ที่วางตัวขนานกับหินแกรนิต (สุวิชช์ สัมปัตตะวนิช และงามพิศ อังทะวานิช, 2518) ซึ่งอาจเป็นส่วนที่อยู่ในช่วงใกล้ๆกับแหล่งแร่แบบน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำ (50-200 องศาเซลเซียส) (epithermal deposit) ในลำดับชั้นแหล่งแร่ในแนวดิ่งของรูปแบบการกำเนิดแร่ในระบบหมู่เกาะรูปโค้ง นอกจากนี้ ยังพบแร่โครไมต์ในหินเซอร์เพนทิไนต์ และร่องรอยของแร่นิกเกิลในจังหวัดปราจีนบุรี

มณฑลแร่ย่อยเลย มีลักษณะที่เด่นชัดคือมีหินภูเขาไฟและหินอัคนีแทรกซอนโผล่ ได้แก่หินไรโอไลต์ บะซอลต์ แอนดีไซต์ แกรโนไดออไรต์ และแกรนิต คาดว่าเคยเป็นบริเวณหมู่เกาะรูปโค้งและรอยตะเข็บระหว่างอนุทวีปอินโดจีนกับนครไทย (Charusiri et al., 1997) หรือ บริเวณไซเหมา (Simao Terrain, Wu et al., 1995) แหล่งแร่ที่พบได้แก่แหล่งแร่เหล็กและ ทองแดง (มาลาไคต์ คาลโคไพไรต์) แบบสการ์น ที่พบทองคำ เงิน และโมลิบดีไนต์ เกิดร่วมอยู่ด้วย แร่ทองแดงพบเกิดประอยู่ในหินแกรนิตเนื้อดอกที่ผุพังแสดงถึงการเกิดแบบทองแดงพอฟีรี แร่ทองคำส่วนใหญ่เกิดเป็นสายแร่พลัดไม่ไกลจากหินอัคนีแทรกซอนที่พบเป็นแหล่งแบบสาย

โดยสรุปแล้ว มณฑลแร่ตอนกลาง มักให้แหล่งแร่ที่เกิดในพื้นที่ที่เป็นหินภูเขาไฟและหินอัคนีแทรกซอนที่มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับบริเวณรอยตะเข็บระหว่างอนุทวีป หมู่เกาะรูปโค้งและกลุ่มภูเขาไฟรูปโค้ง

มณฑลแร่ตะวันตก

มณฑลแร่ตะวันตกครอบคลุมบริเวณตั้งแต่ด้านตะวันตกของภาคเหนือ ภาคตะวันตกตอนกลางและภาคใต้ทั้งหมด หินในมณฑลนี้ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินแปรและหินชั้นของมหายุคพาลีโอโซอิกซึ่งมักพบร่วมกับหินแกรนิต ยกเว้นบางบริเวณในภาคใต้ตอนบนที่ประกอบหินโคลนปนกรวด (pebbly mudstone) ยุคคาร์เพอร์เมียน -บอนิเฟอรัส เป็นลักษณะเด่น ในด้านธรณีวิทยาแปรสัณฐาน

มณฑลแร่ตะวันตกเป็นส่วนหนึ่งของอนุทวีปชาน-ไทย (Bunopas, 1981) ในบริเวณนี้ มีรูปแบบการกำเนิดแร่เป็นแบบที่เกิดบนพื้นทวีป ซึ่งมีแหล่งแร่ชนิดต่างๆมากมาย แต่ชนิดของแหล่งแร่ที่มีลักษณะสำคัญ ที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาพแวดล้อมภาคพื้นทวีปคือ แหล่งแร่ดีบุกและทังสเตน แหล่งแร่ที่เกิดแบบสายแร่น้ำร้อน (hydrothermal vein) ได้แก่ พลวง แบไรต์ ตะกั่ว และ ฟลูออไรต์ ซึ่งมักเกิดในช่วงท้ายของกระบวนการแทรกซอนของหินอัคนี นอกจากนี้ ยังมีโอกาสที่จะพบแร่โมลิบดี

ไนต์ที่มักเกิดร่วมกับหินแกรนิต มณฑลแร่ตะวันตกยังแบ่งออกได้เป็น 4 มณฑลแร่ย่อย คือ เชียงใหม่ กาญจนบุรี ชุมพร และนครศรีธรรมราช ตามลำดับจากเหนือลงใต้

มณฑลแร่ย่อยเชียงใหม่ มีแหล่งแร่ดีบุก ทังสเตน พลวง แบไรต์ สังกะสี ฟลูออไรต์ เหล็ก และตะกั่ว ลักษณะของแหล่งแร่ดีบุก-ทังสเตน เป็นแหล่งแบบฝังประ สายแร่น้ำร้อนตัดผ่านในหินแกรนิตหรือหินข้างเคียง สายเพกมาไทต์ และการแปรสภาพโดยการแทนที่

มณฑลแร่ย่อยกาญจนบุรี มีลักษณะธรณีวิทยาคล้ายกับของมณฑลแร่ย่อยเชียงใหม่ แต่มีการแทรกซอนของหินอัคนีน้อยกว่า แหล่งแร่ที่พบได้แก่ ตะกั่ว ดีบุก ทังสเตน พลวง สังกะสี และฟลูออไรต์

มณฑลแร่ย่อยชุมพร มีหินที่แตกต่างไปจากมณฑลแร่ย่อยข้างต้น คือ หินโคลนปนกรวดยุคเพอร์เมียน-คาร์บอนิเฟอรัส มีแร่เด่น คือ ดีบุก และทองคำ มักเกิดแบบฝังประในหินแกรนิตและแบบลานแร่

มณฑลแร่ย่อยนครศรีธรรมราช มีแหล่งแร่เด่น คือ ดีบุก ทังสเตน พลวง แบไรต์ ฟลูออไรต์ สังกะสี และ เหล็ก แม้ว่าจะคล้ายคลึงกับมณฑลแร่ย่อยเชียงใหม่และกาญจนบุรี แต่ในมณฑลแร่ย่อยนี้ พบแหล่งแร่เหล็ก แมกนีไทต์และฮีมาไทต์ชนิดสเปคูลาไรต์ แบบสายแร่น้ำร้อน

คัดลอกจาก “ทรัพยากรแร่ของไทย” *ใน* หนังสือธรณีวิทยาประเทศไทยเฉลิมพระเกียรติ์พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว

แหล่งแร่ในประเทศไทย

ตะกั่ว-สังกะสี

แหล่งแร่ตะกั่วและสังกะสีของประเทศไทย พบมากทางด้านตะวันตกของประเทศ ตั้งแต่ภาคเหนือจดภาคใต้ ส่วนใหญ่มักเกิดร่วมกับหินคาร์บอเนต ของ ยุคออร์โดวิเชียน และบางส่วนเกิดในหินคาร์บอเนตของยุคจูแรสซิก แหล่งแร่ที่พบในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นแหล่งขนาดเล็กไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ที่เป็นแหล่งใหญ่สามารถทำเหมืองผลิตแร่ได้มีเพียงสองแหล่งเท่านั้นได้แก่ แหล่งแร่ตะกั่ว-สังกะสี อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี และแหล่งสังกะสี บริเวณผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก รายละเอียดเกี่ยวกับแหล่งแร่ต่าง ๆ ที่พบในประเทศไทย สามารถสรุปตามลักษณะการเกิดได้ดังต่อไปนี้ (ไวยพจน์ วรกนก ; ติดต่อด้วยวาจา, 2544)

แหล่งแร่ตะกั่ว-สังกะสี อำเภอทองผาภูมิ จังหวัด กาญจนบุรี เป็นแหล่งแร่ปฐมภูมิแบบแหล่งแร่สะสมตัวในชั้นหินอุ้มแร่ แหล่งแร่ในบริเวณนี้พบในหินคาร์บอเนตของยุคออร์โดวิเชียนตอนกลางถึงตอนปลาย แร่ที่พบเป็นแร่ตะกั่ว-สังกะสีที่มีปริมาณแร่ตะกั่วมากกว่าแร่สังกะสีในปัจจุบันพบแหล่งแร่ตะกั่ว-สังกะสีในพื้นที่นี้แล้วมากกว่า 24 แหล่ง สามารถเปิดดำเนินการทำเหมืองมาแล้วถึง 12 แหล่ง ในปัจจุบันมีเหมืองเปิดดำเนินการอยู่ 4แหล่งได้แก่ แหล่งสองท่อ แหล่งบ่องามแหล่งบ่อใหญ่ และแหล่งบ่อน้อย สามารถผลิตสินแร่ตะกั่วได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 37,000 ตันต่อปี มีปริมาณแร่สำรองมากกว่า 8 ล้านตัน ที่ความสมบรูณ์ของโลหะตะกั่วในสินแร่เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 8 รายละเอียดเกี่ยวกับแหล่งแร่ตะกั่ว-สังกะสีที่พบในบริเวณนี้จะกล่าวต่อไปในหน้าที่ 6

แหล่งแร่สังกะสีผาแดง ตำบลพระธาตุ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เป็นแหล่งสังกะสีที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย พบทั้งแหล่งแร่ปฐมภูมิและแหล่งแร่ทุติยภูมิ แหล่งปฐมภูมิมีการเกิดแบบแหล่งแร่สะสมตัวในชั้นหินอุ้มแร่ พบในหินคาร์บอเนตของหมวดหินห้วยหินฝน ยุคไทรแอสซิกถึงจูแรสซิก แหล่งแร่ทุติยภูมิที่เป็นผลผลิตหลักของแหล่งแร่นี้ เกิดจากการถล่มและตกตะกอนใหม่ของแร่ทุติยภูมิ ในระหว่างแนวรอยเลื่อนขนาดใหญ่ที่ตัดเข้าไปในชั้นหินทรายสลับกับหินปูนของบริเวณนี้ แหล่งแร่นี้มีปริมาณแร่สำรองก่อนการทำเหมืองประมาณ 5.2 ล้านตัน ในระหว่างปีพ.ศ. 2527-2540 มีการผลิตแร่ไปแล้ว 4,540,353 ตัน โดยบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด ในปัจจุบันมีปริมาณแร่สำรองคงเหลือเฉพาะแร่ทุติยภูมิอยู่ประมาณ 650,000 ตัน ที่ความสมบรูณ์ของโลหะสังกะสีเท่ากับร้อยละ 19 และแร่ปฐมภูมิเท่ากับ 270,000 ตันที่ความสมบรูณ์ของโลหะสังกะสีเท่ากับร้อยละ 8.6

แหล่งแร่ยางเกี๋ยง อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ เป็นแหล่งแร่สังกะสี-ทองแดง-ตะกั่วที่เกิดแบบสการ์น ในบริเวณรอยสัมผัสของหินแกรนิตและหินปูนยุคแคมเบรียนถึงออร์โดวิเชียน ในลักษณะเป็นรูปเลนซ์ต่อเนื่องกัน วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ ตะวันออกเฉียงใต้ยาวมากกว่า 3 กิโลเมตร แร่ที่พบได้แก่ แร่สฟาเลอไรต์ กาลีนา คาลโคไพไรต์ ไพไรต์และแมกนี

ไทต์ นอกจากนี้ ยังพบแร่กาลีนา แร่วุลแฟรมจำพวกแร่ซีไลต์ (Scheelite) และแร่ดีบุก จากการสำรวจภายใต้โครงการความร่วมมือระหว่างรัฐบาลไทยและญี่ปุ่นระหว่างปี พ.ศ. 2530-2532 พบว่าแหล่งแร่นี้มีปริมาณแร่สำรองประมาณ 899,000 ตัน มีความสมบรูณ์เท่ากับ 1.17% Zn, 0.49%Cu, และ 0.08% Pb

แหล่งแร่ตะกั่วแม่ลาน้อย อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ได้แก่แหล่งตะกั่ว ห้วยแม่กว่าง บ้านแม่เตี๊ยะ ห้วยแม่โถ และที่ดอยขุมคำ ตำบลแม่ลาน้อย อำเภอแม่สะเรียง แหล่งแร่ที่พบเป็นแหล่งแร่แบบสายแร่ เกิดในหินท้องที่ที่เป็นหินชั้นได้แก่ หินคาร์บอเนตที่สะสมตัวในยุคออร์โดวิเชียน หินดินดาน หินชนวน และหินควอร์ตไซต์ ที่สะสมตัวในยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน และหินอัคนีจำพวกหินแกรนิตของยุคไทรแอสซิกที่แทรกดันอยู่ใต้หินชั้นดังกล่าว แร่ที่พบเป็นแร่ตะกั่วชนิดแร่กาลีนา เกิดเป็นสายแร่ร่วมกับสายแร่ควอรตซ์ที่ตัดขึ้นมาในหินท้องที่ต่าง ๆ บางครั้งพบเป็นเม็ดแร่ประอยู่ในเนื้อหินปูนออร์โดวิเชียน แหล่งแร่ต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาแล้วมีขนาดเล็กยังไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ

แหล่งแร่ตะกั่วแม่เหาะ อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ได้แก่แหล่งแร่ตะกั่ว ที่บ้านแม่กะใน และที่ดอยหลวง บ้านดงหลวง ตำบลแม่เหาะ อำเภอแม่ สะเรียง เป็นแหล่งแร่แบบสายแร่ เกิดจากของเหลวเนื่องจากน้ำร้อนแทรกตามแนวรอยเลื่อนและรอยแตก ที่วางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ หินท้องที่ประกอบด้วย หิน ควอร์ตไซต์ของยุคแคมเบรียน หินปูนเนื้อดิน หินแคลค์ซิลิเกต และหินดินดานของยุคออร์โดวิเชียน เข้าใจว่ามีหินแกรนิตที่เป็นหินต้นกำเนิดแร่แทรกซอนอยู่ใต้หินชั้นดังกล่าว แร่ที่พบนอกจากแร่กาลีนาแล้ว ยังมีแร่เงินเกิดร่วมอยู่ด้วย เพื่อนแร่ ได้แก่ แร่ควอตซ์ แร่ไพไรต์ แร่สฟาเลอไรต์ แร่แคลไซต์ และแร่แบไรต์ ที่แม่กะใน พบบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่ตะกั่ว-สังกะสีเป็นแนวกว้าง 200-300 เมตร ยาว 200-600 เมตร ที่ดอยหลวง บริเวณที่มีศักยภาพทางแร่อยู่ในแนวเหนือ-ใต้ มีความกว้าง 100-150 เมตร ยาวไม่น้อยกว่า 100 เมตร และระดับความลึกจากผิวดินถึงความลึกประมาณ 80 เมตร

แหล่งแร่ตะกั่ว-สังกะสี บ้านเมืองกึ๊ด อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นแหล่งตะกั่วแบบสการ์น พบแร่ซัลไฟด์ในหินสการ์นตามขอบรอยสัมผัสของหินแกรนิตและหินปูนที่เกิดในยุคเพอร์เมียน เคยมีการผลิตแร่ซัลไฟด์เกรดสูงในปี พ.ศ. 2509 และหยุดในปี พ.ศ. 2511 แหล่งแร่ตะกั่วห้วยอีปีน บ้านอุมลอง อำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง เป็นแหล่งแร่แบบสายแร่ พบแร่ตะกั่วกาลีนาในสายแร่ควอตซ์ ซึ่งแทรกในหินท้องที่พวกหินฟิลไลต์ หินชนวน และหินชีสต์ ยุคไซลูเลียน-ดีโวเนียน

แหล่งแร่ตะกั่ว-สังกะสี จังหวัดแพร่ ได้แก่แหล่งแร่ตะกั่ว-สังกะสี ที่วังนาง บ่อสามเกลียว บ้านน้ำริน ตำบลต้าผามอก อำเภอลอง แหล่งแร่ตะกั่ว-สังกะสี ห้วยถ้ำควาย ตำบลบ้านปิ่น อำเภอลอง และแหล่งแร่ตะกั่ว-สังกะสี ห้วยบง และห้วยถ้ำ บ้านบ่อ ตำบลบ้านปิ่น อำเภอลอง แหล่งแร่ที่พบทั้งหมดเป็นแหล่งแร่แบบสายแร่ แร่ที่พบประกอบด้วยแร่กาลีนา และแร่สฟาเลอไรต์ ส่วนใหญ่เกิดร่วมกับสายแร่

ควอตซ์ บางครั้งมีแร่มาลาไคต์ คาลโคไพไรต์ แบไรต์ และยิปซัมเกิดร่วมอยู่ด้วย หินท้องที่ประกอบด้วย หินปูน หินโคโลไมต์ หินทราย หินดินดาน และหินดินดานปนชนวน แหล่งแร่เหล่านี้มีขนาดเล็กไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ

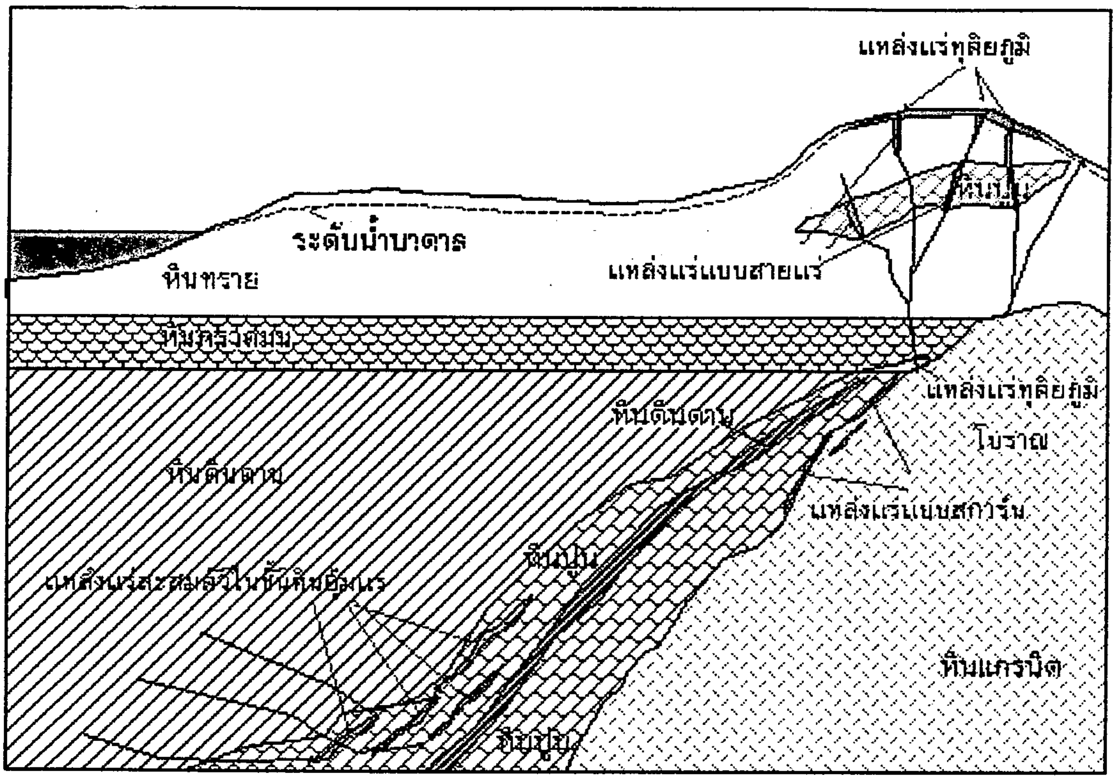
แหล่งตะกั่ว-สังกะสีจังหวัดเลย เป็นแหล่งแร่แบบสายแร่ พบแหล่งแร่ขนาดเล็กกระจายตัวอยู่หลายพื้นที่ในบริเวณอำเภอเมือง อำเภอเชียงคาน และอำเภอท่าลี่ จังหวัดเลย แหล่งแร่ที่พบมีลักษณะเป็น สายแร่เล็ก ๆ เกิดใกล้บริเวณรอยสัมผัสระหว่างหินปูนยุคเพอร์เมียนกับหินอัคนีจำพวกหินไดออไรต์ และหินแกรโนไดออไรต์ บางแห่งพบเป็นสายแร่ในหินไรโอไลต์-แอนดีไซต์ แหล่งแร่เหล่านี้ส่วนใหญ่แล้วมีขนาดเล็กยังไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ

แหล่งแร่บริเวณคลองห้วยะแรด บ้านป่าแดงอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นแหล่งแร่แบบสายแร่ เกิดอยู่เป็นรูปเลนซ์ กว้างประมาณ 1 เมตร ยาวไม่เกิน 25 เมตร ในหินพอร์ไฟไรต์ (porphyrite) สายแร่ที่พบเป็นแร่ซัลไฟด์ประกอบด้วยแร่กาลีนา แร่สฟาเลอไรต์ แร่คาลโคไพไรต์ แร่โคเวลไลต์ และแร่อาเจนไทต์ แหล่งแร่นี้มีขนาดเล็กไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ

แหล่งตะกั่วแก่งงูเห่า อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี เป็นแหล่งแร่แบบสายแร่ พบแร่ตะกั่วชนิดแร่กาลีนาเกิดกระจัดกระจายเป็นหย่อม ๆ ในสายแร่แบไรต์ ที่มีการกำเนิดจากของไหลเนื่องจากน้ำร้อนแทรกขึ้นมาสะสมตัวตามแนวรอยแตก แร่ตะกั่วที่พบมักเกิดอยู่ในช่องว่างของเนื้อแร่แบไรต์ และมักมีชั้นดินเหนียวสีเทา เกิดเป็นชั้นบาง ๆ อยู่ในรอยสัมผัสระหว่างแร่แบไรต์และแร่กาลีนา นอกจากนี้บางส่วนยังพบมีแร่ทองแดง แร่สังกะสี และแร่ไพไรต์เกิดร่วมอยู่ด้วย สายแร่ที่พบแทรกเข้าไปตามรอยแตกของหินท้องที่ที่ประกอบด้วย หินเกรแวค หินดินดาน หินดินดานสลับหินทราย และหินควอร์ตไซต์ ของยุคดีโวเนียน-คาร์บอนิเฟอรัส แหล่งแร่นี้มีขนาดเล็กไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ

แหล่งตะกั่ว เขาถ้ำทะลุ ตำบลถ้ำทะลุ อำเภอบันนังสตาร์ จังหวัดยะลา เป็นแหล่งตะกั่วแบบสการ์น เกิดร่วมกับแร่ดีบุก ในสการ์นตามบริเวณแนวสัมผัสระหว่างหินแกรนิตที่แทรกประทุเข้าไปในหินปูนยุคเพอร์เมียน แหล่งแร่นี้มีการผลิตแร่ตะกั่วเป็นแร่พลอยได้ของการผลิตแร่ดีบุก แร่ที่พบนอกจากแร่ตะกั่วกาลีนาแล้วยังมีแร่เซรัสไซต์ ไพโรมอนไฟต์ ($Pb_5Cl(PO_4)_3$ และในบางแห่งพบแร่สังกะสีซิงค์เบลนด์

นอกจากนี้ยังพบแร่ตะกั่วเป็นปริมาณน้อยในบริเวณต่าง ๆ เช่น พบในสายแร่ควอตซ์ ฟลูออไรต์ ที่ตำบลห้วยปลือ จังหวัดน่าน พบแร่กาลีนาที่ ตำบลแม่เชียงรายบน จังหวัดสุโขทัย ที่ห้วยสบถ้ำ อำเภอเชียงคำ จังหวัดเชียงราย และแร่ตะกั่วในหินปูน ที่ตำบลพิตำ อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นต้น



รูปที่ 14 รูปจำลองการเกิดแร่ตะกั่ว และสังกะสีแบบต่าง ๆ

ดีบุก

การกำเนิดของแร่ดีบุกในประเทศไทยนั้นมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับหินอัคนีแทรกซอนชนิดกรด โดยทั่วไปแล้วจะเกิดอยู่ในสายแร่อุณหภูมิสูงแทรกในหินพวกแกรนิตหรือหินชั้นที่อยู่ข้างเคียง และอาจเกิดเป็นก้อนหรือผลึกเล็ก ๆ ฝังในหินเพกมาไทต์ หินสการ์น รวมถึงในหินแกรนิตที่อยู่ใกล้กับบริเวณเขตสัมผัสกับหินข้างเคียงด้วย สำหรับลักษณะของแหล่งแร่ดีบุกที่พบในประเทศไทยมีดังนี้

แหล่งแร่กำเนิดเดิม (primary deposits)

- แบบฝังประหรือเป็นกระจุกในหินแกรนิต
- แบบแปรสภาพโดยการแทนที่
- แบบสายน้ำร้อน (สายควอตซ์)
- แบบสายเพกมาไทต์, ควอตซ์-เฟลด์สปาร์ และแอไพลต์

แหล่งแร่หลุดจากต้นกำเนิดเดิม (secondary deposits)

- แหล่งแร่พลัดไหล่เขา (colluvium)
- แหล่งแร่พลัดเชิงเขา (eluvium)
- แหล่งแร่ตามท้องห้วย

- ❑ ลานแร่
- ❑ ลานแร่ในทะเล

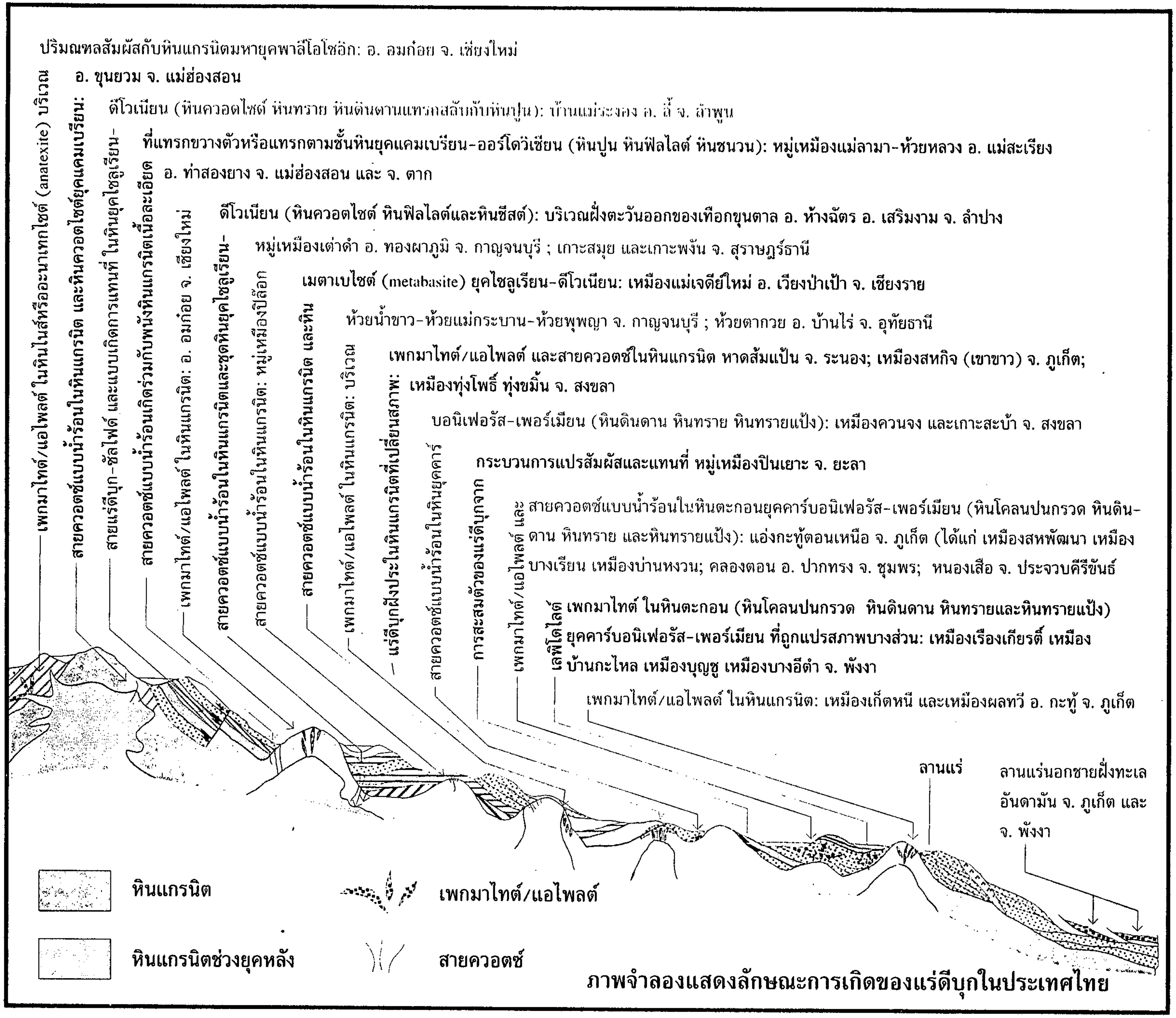
แหล่งแร่ดีบุกส่วนใหญ่พบทางแถบซีกด้านตะวันตก ติดกับชายแดนประเทศสหภาพพม่า โดยพบในภาคใต้ทุกจังหวัด ภาคกลางมีที่จังหวัดอุทัยธานี ชัยนาท สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ราชบุรี และเพชรบุรี ภาคเหนือมีตั้งแต่จังหวัดกำแพงเพชร ตาก ลำพูน ลำปาง เชียงราย เชียงใหม่ และแม่ฮ่องสอน ส่วนภาคตะวันออกพบที่จังหวัด ระยอง และจันทบุรี

หินแกรนิตเป็นหินแม่ที่ให้กำเนิดแร่ดีบุก จึงมักพบแหล่งแร่ดีบุกอยู่ตามแนวเทือกเขาหินแกรนิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่หินแกรนิตแทรกดันขึ้นมาสัมผัสกับหินข้างเคียง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนสภาพของหิน และมีน้ำแร่หรือสายแร่เข้ามาประจุอยู่ตามรอยแตกของหินแกรนิตหรือหินท้องที่

แหล่งแร่ดีบุกอาจแยกออกได้ 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ ชนิดกำเนิดเดิม (primary deposit) และชนิดหลุดจากต้นกำเนิดเดิม (secondary deposit) ชนิดแรกจะพบแร่อยู่ในหินต้นกำเนิดเดิมที่ยังไม่ผุพังทำลาย แหล่งแร่ชนิดนี้สามารถแบ่งย่อยออกไปได้อีกโดยเรียกชื่อตามลักษณะของการกำเนิด ได้แก่ ฝังประในหินแกรนิต เพกมาไทต์ สายควอตซ์ และแบบแปรสภาพโดยการแทนที่

ชนิดหลังเป็นแบบที่แร่ดีบุกหลุดออกมาเมื่อต้นกำเนิดเดิมผุพัง แล้วถูกพัดพาไปโดยกระแสน้ำหรือพลังงานอย่างอื่นไปสะสมตัวอยู่ ณ ที่แห่งใหม่ จะใกล้หรือไกลจากแหล่งกำเนิดนั้นขึ้นกับสภาวะแวดล้อมในแต่ละบริเวณ ระยะแรกจะพบแร่พลัดอยู่ใกล้ต้นกำเนิดเดิมตามไหล่เขาเรียกว่าแหล่งแร่พลัดไหล่เขา หากถูกพัดพาไกลออกไปอีกแล้วสะสมตัวอยู่ตามเชิงเขาที่เป็นส่วนต่อกับที่ราบ เรียกว่า แหล่งแร่พลัดเชิงเขา และในที่สุดเมื่อไปสะสมตัวตามแอ่ง ที่ราบ หรือท้องทะเลทำให้เกิดแหล่งแร่แบบที่เรียกว่า ลานแร่

แหล่งแร่ดีบุกที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจนั้น ส่วนใหญ่เป็นชนิดหลุดจากกำเนิดเดิม พบมากที่สุดในภาคใต้ รองมาเป็นภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกตามลำดับ



รูปที่ 15 ภาพจำลองแสดงลักษณะการเกิดของแร่ดีบุกในประเทศไทย คัดลอกจาก พงศ์ศักดิ์ วิชิต และคณะ (2534)

ตารางที่ 1 แหล่งแร่แบบต่าง ๆ ที่พบในโลก (คัดลอกจาก Reedman, 1979)

Mineral	Magmatic	Volcanogenic	Pegmatite	Pneumatolytic	Hydrothermal	Sedimentory	Weathering	Placer	Metamorphic
Aluminium	x				x		X		x
Antimony					X				
Barium	x				X	x	x		
Beryllium			X	x					X
Bismuth			x		x				
Boron		x				X			
Cadmium					x	x			
Carbon									
-Diamonds	x						x		
-Graphite			x		x				x
Chromium	X							x	
Cobalt	x	x			x	x	x		
Copper	X	x			X	X		,	x
Fluorine	x		x	x	X	x			
Germanium					x				
Gold		x			X	X		X	
Iron	X				X	x	X		x
Lead		x			X	X			x
Lithium			X						
Magnesium					x	X			x
Manganese					x	X	X		x
Mercury					x				

ตารางที่ 1 แหล่งแร่แบบต่าง ๆ ที่พบในโลก (คัดลอกจาก Reedman, 1979) ....ต่อ

Mineral	Magmatic	Volcanogenic	Pegmatite	Pneumatolytic	Hydrothermal	Sedimentory	Weathering	Placer	Metamorphic
Molybdenum	x		x		X				x
Nickel..............................	X				x		x		
Niobium	X		x				X		
Phosphorus.......................	X		x			X	x		
Platinum	X				x			X	
Potassium.........................					x	x			
Rare Earths......................	x		x					x	
Silver		x			x	x		x	
Sulphur		x				X			
Tantalum	x		x				x		
Tin..................................			x	X	X		X		
Titanium	X		x					X	x
Tungsten				x	x	x	x		x
Uranium...........................	x		x		x	X			
Vanadium.........................	x					x	x		
Zinc		x			X	X			x
Zirconium	x		x				X		

เอกสารประกอบการฝึกอบรม

"เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่"

เรื่อง

การสำรวจเพื่อทำแผนที่ธรณีวิทยา

โดย

พล เชาว์ดำรงค์

กองธรณีวิทยา

การสำรวจเพื่อทำแผนที่ธรณีวิทยา ทำอย่างไร

โดย พล เชาว์ดำรงค์
กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี

แผนที่ธรณีวิทยา คือลายแทงขุมทรัพย์ในการค้นหาทรัพยากรธรณี ไม่ว่าจะเป็น หิน แร่ ถ่านหิน ปิโตรเลียม และแหล่งน้ำบาดาล หรือแม้แต่ซากดึกดำบรรพ์ นอกจากนั้นยังมีประโยชน์อีกมากมายในการวางแผนก่อสร้าง การใช้ประโยชน์ที่ดิน การพัฒนาและป้องกันด้านสิ่งแวดล้อม แต่การใช้ประโยชน์ของแผนที่ธรณีวิทยาจะมีมากน้อยแค่ไหน ขึ้นกับองค์ประกอบใหญ่ๆ 3 ประการคือ

1. ความละเอียดและคุณภาพของข้อมูล
2. การสื่อความหมายทำให้เข้าใจได้ยากง่ายอย่างไร และ
3. ความสามารถในการตีความลายแทงของผู้อ่าน

องค์ประกอบสำคัญของแผนที่ธรณีวิทยา มี 3 ส่วน

1. ตัวแผนที่ธรณีวิทยา
2. คำอธิบาย
3. ภาพตัดขวางแสดงโครงสร้างใต้ดิน

ความรู้ที่ต้องใช้ในการทำแผนที่ธรณีวิทยา

1. ใช้ธรณีวิทยาทุกสาขาวิชา มากน้อยขึ้นกับแต่ละพื้นที่
2. ที่ใช้มาก คือ การเรียกชื่อหิน และธรณีวิทยาโครงสร้าง
3. ต้องรู้จักการจัดลำดับชั้นหินของประเทศไทย
4. เป็นคนช่างสังเกต ขี้สงสัย ชอบบันทึก จินตนาการ

เทคนิคของการศึกษาธรณีวิทยาในภาคสนาม

- การศึกษาชั้นหินและธรณีวิทยาโครงสร้างในภาคสนามที่ถูกต้อง ควรเริ่มต้นสังเกตจากระยะห่างก่อนเพราะลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาบางชนิดมีขนาดใหญ่ จะเห็นได้ชัดเมื่อมองจากระยะห่าง หลังจากนั้นค่อยเข้าไปดูอย่างใกล้ชิดเพื่อศึกษาในรายละเอียด
- ทำโพย ข้อมูลที่สำคัญ จำยาก ไว้ในสมุดสนามด้วย เช่น รูปเรียกชื่อหิน
- ควรบันทึกข้อมูลให้ละเอียดมากที่สุด การวาดรูปประกอบหรือถ่ายรูปด้วย จะทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น ในกรณีที่ชั้นหินโผล่ให้เห็นต่อเนื่องได้ดี ก็ควรทำการบันทึกใน graphic loge ซึ่งจะช่วยให้เห็นโครงสร้างการเรียงตัวของชั้นหินได้เด่นชัดยิ่งขึ้น
- ใช้ดินสอสีช่วยในขณะทำการสำรวจ

- นำผลของวันก่อน มาใช้ในวันนี้
- มองโลกให้กว้าง อย่าจำกัดตัวเองเฉพาะพื้นที่สำรวจ

วิธีการสำรวจเพื่อทำแผนที่ธรณีวิทยา

แผนที่ธรณีวิทยาที่เราสำรวจอยู่ส่วนใหญ่ เป็นการจัดแบ่งตามคุณสมบัติทางกายภาพของหิน (Lithostratigraphy) แบ่งการจัดทำได้เป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ

1. **การเตรียมงานก่อนออกสำรวจ:** ครอบคลุมถึงการรวบรวม ศึกษาข้อมูลที่มีอยู่ก่อนแล้ว เช่น แผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วนต่าง ๆ รายงานต่าง ๆ ผลวิเคราะห์ทางเคมี ทางกล การแปลผลภาพถ่ายทางอากาศ/ดาวเทียม/ธรณีฟิสิกส์ และจัดทำแผนที่ธรณีวิทยาต้นร่าง

2. **การปฏิบัติงานในภาคสนาม:** รวมถึงการเตรียมอุปกรณ์การสำรวจ การวางแผนสำรวจ การบันทึกรายละเอียดของแต่ละจุดสำรวจ เช่น ชื่อหิน ลักษณะเนื้อหิน ความสัมพันธ์ของหิน ความหนา วัด section, bedding, joint, fault, cleavage รวมทั้งชื่อของหน่วยหิน และเก็บตัวอย่าง(ต้องสดและเป็นตัวแทนได้) ฯลฯ

- ข้อมูลที่ลงบนแผนที่ไม่ได้ (unmappable unit) ก็ควรบันทึกและเขียนแสดงไว้ในรายงาน
- Models ทั้งของการสะสมตัวและธรณีวิทยาโครงสร้าง มีส่วนช่วยอย่างมากในการสำรวจ ทำให้การสำรวจเร็วขึ้น และมีรสชาติ
- แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลในภาคสนามของกองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี ได้แนบไว้เป็นตัวอย่างข้างท้าย

3. **การจัดทำแผนที่:** ลงข้อมูล fact ทั้งหมดบนแผนที่ เช่น การวางตัวของชั้นหิน ตำแหน่งจุดสำรวจ faults, cleavages, foliations, folds, veins ขอบเขตของหน่วยหิน ตำแหน่งแหล่งแร่หรือเหมืองแร่ ตำแหน่งซากดึกดำบรรพ์ที่สำคัญ ฯลฯ

- ความละเอียดของหน่วยหินที่ลงบนแผนที่ ขึ้นกับมาตราส่วนของแผนที่ ถ้าสามารถลงขอบเขตบนแผนที่ได้ก็ใช้ได้ ความหนาของเส้นดินสอ/ปากกา ประมาณ 0.5 มม. ในมาตราส่วน 1:50,000 ชั้นหิน/แร่ ที่กว้าง 150 เมตร จะเท่ากับ 3 มม. คาดว่าเป็น mappable unit ได้ ทั้งนี้ยกเว้นพวกที่เป็นสายเช่น แร่ หรือ fault ที่สามารถแสดงได้แม้มีความหนาไม่มาก
- สีของหน่วยหิน ควรสื่อความหมายได้ การใช้ pattern จะช่วยสื่อได้เร็วขึ้น
- คำอธิบาย หมายรวมถึงชื่อผู้สำรวจ ชื่อองค์กร ชื่อแผนที่ มาตราส่วน ดัชนีแผนที่ ที่มาของข้อมูล (กรณีที่ดัดแปลงงานจากผู้อื่น) การเทียบสัมพันธ์หน่วยหิน(correlation of map units) คำอธิบายหน่วยหิน รวมทั้งสัญลักษณ์และคำย่อ
- หน่วยหินที่ประกอบด้วยหินมากกว่าหนึ่งชนิด ให้เขียนเรียงลำดับจากหินที่พบมากไปหาน้อย สำหรับสัญลักษณ์และคำย่อ ให้ใช้ตามมาตรฐาน
- ชื่อสำหรับการอ้างอิง ปกติจะอ้างถึงชื่อผู้สำรวจ ส่วนปี พ.ศ. จะเป็นปีที่ตีพิมพ์ ไม่ใช่ปีที่ทำการสำรวจ
- รายละเอียดโปรดหาอ่านได้จากเอกสารประกอบที่อ้างถึง

การจำแนกลำดับชั้นหินมีกี่แบบ (Categories of Stratigraphic Classification)

หินทุกชนิด คือหินชั้น หินแปร และหินอัคนี ต่างก็อยู่ในกระบวนการจำแนกลำดับชั้นหิน (stratigraphic classification) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของหิน ตลอดจนธรณีประวัติของชั้นหิน จากการจัดแบ่งของ IUGS (ข้อมูลปี ค.ศ. 1994 และ 1999) การจำแนกลำดับชั้นหินแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ใหญ่ ๆ คือ

1. Lithostratigraphic units การจำแนกลำดับชั้นหิน โดยใช้คุณสมบัติทางกายภาพของหิน (lithology) เป็นหลัก ขอบเขตของหน่วยหิน(unit) อยู่ตรงที่หินเปลี่ยนชนิด

2. Biostratigraphic units การจำแนกลำดับชั้นหิน โดยใช้ชนิดของซากดึกดำบรรพ์ที่อยู่ในหินนั้น ๆ เป็นหลัก ขอบเขตของหน่วยหินประเภทนี้ไม่ขึ้นกับลักษณะหิน แต่อยู่ตรงที่ซากดึกดำบรรพ์เปลี่ยนชนิด

3. Chronostratigraphic units การจำแนกลำดับชั้นหิน โดยใช้อายุของชั้นหินนั้น ๆ เป็นหลัก ขอบเขตของหน่วยหินประเภทนี้ไม่ขึ้นกับลักษณะหินหรือซากดึกดำบรรพ์ แต่อยู่ตรงที่อายุของชั้นหินเปลี่ยนไป

4. Magnetostratigraphic polarity units การจำแนกลำดับชั้นหิน โดยใช้ทิศทางการวางตัวของสนามแม่เหล็กโบราณที่อยู่ในหินเป็นหลัก

5. Unconformity-bounded units การจำแนกลำดับชั้นหิน โดยใช้แนวชั้นไม่ต่อเนื่องใหญ่ (significant unconformity) เป็นขอบเขตบนและล่างของหน่วยหิน

ข้อควรรู้เกี่ยวกับการตั้งชื่อลำดับชั้นหินตามคุณสมบัติทางกายภาพของหิน (lithostratigraphic nomenclature)

1. ชื่อที่ใช้เรียกแทนหน่วยหิน (unit term) ของการจำแนกลำดับชั้นหินมี 2 แบบคือหน่วยแบบทางการ (formal unit) และหน่วยแบบไม่ทางการ (informal unit)

ชื่อหน่วยลำดับชั้นหินตามแบบทางการ (formal stratigraphic terminology) เป็นชื่อที่ตั้งขึ้นตามกฎเกณฑ์ของการตั้งชื่อ อักษรตัวแรกของคำทั้งหลายที่ใช้ตั้งชื่อของหน่วยหินต้องเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ (upper case) เช่น Lampang Group, Hong Hoi Formation, Khorat Group, Slochteren Sandstone Formation

ชื่อหน่วยลำดับชั้นหินแบบไม่ทางการ (informal stratigraphic terminology) เป็นชื่อที่ไม่ได้ตั้งขึ้นตามหลักของการตั้งชื่อ อักษรตัวแรกของคำทั้งหลายที่ใช้เรียกจึงไม่มีความหมายพิเศษใด ๆ ชื่อแบบนี้อักษรตัวแรกของชื่อจะเป็นตัวพิมพ์เล็ก (lower case) เช่น chalky formation, Dok Du formation

2. ชื่อลำดับชั้นหินแบบทางการที่ตั้งขึ้นใหม่ ควรจะถูกตีพิมพ์เผยแพร่ทั่วไปในหนังสือที่ได้รับการยอมรับด้วย

3. ชื่อลำดับชั้นหินแบบทางการที่ตั้งขึ้นก่อน และถูกต้องตามกฎเกณฑ์ของการตั้งชื่อ ควรมีสิทธิ์ได้รับการยอมรับก่อน (priority)

4. ให้หลีกเลี่ยงการตั้งชื่อซ้ำ (duplication of names) ชื่อเดียวกันไม่ควรนำไปใช้เรียกหน่วยชั้นหินมากกว่า 1 หน่วย แม้ว่าจะมีลำดับที่ต่างกันก็ตาม ทั้งนี้เพื่อป้องกันความสับสน

5. ชั้นหินแบบฉบับ (stratotype หรือ type section) ในหนังสือศัพท์ลำดับชั้นหิน (พ.ศ. 2527) กล่าวว่า "เป็นลำดับชั้นหินใด ๆ ที่กำหนดให้เป็นมาตรฐานเพื่อใช้อ้างอิงในการนิยามลำดับชั้นหิน โดยมีคุณ

สมบัติพิเศษที่เป็นเอกลักษณ์และบอกขอบเขตบนและล่างของลำดับชั้นหินนั้นไว้ด้วย ชื่อของชั้นหินแบบหนึ่ง ๆ จะตั้งขึ้นตามชื่อท้องถิ่นของหินแบบฉบับนั้น ๆ”

6. หมวดหิน (formation) เป็นหน่วยหลักในการจำแนกลำดับชั้นหินตามลักษณะหิน โดยอาศัยลักษณะทางกายภาพของหินและตำแหน่งของหินเป็นหลักและเป็นหน่วยหินที่สามารถลงบนแผนที่ธรณีวิทยาได้ หมวดหินหนึ่ง ๆ อาจหนาน้อยกว่าหนึ่งเมตร ไปจนถึงหลายพันเมตร และอาจประกอบด้วยหินชั้น หินอัคนี และหินแปร

กลุ่มหิน (group) ในหนังสือศัพท์ลำดับชั้นหิน (พ.ศ. 2527) กล่าวว่า “เป็นหน่วยลำดับชั้นหินตามลักษณะหินหน่วยหนึ่ง ประกอบด้วยหมวดหินที่อยู่ติดกัน 2 หมวด หรือมากกว่านั้น ซึ่งมีลักษณะเนื้อหินที่สำคัญ ๆ เป็นแบบเดียวกัน ก่อกำเนิดหรือมีอายุอยู่ในยุคหรือมหายุคเดียวกัน”

รายละเอียดที่ควรมีเมื่อตั้งชื่อลำดับชั้นหินตามคุณสมบัติทางกายภาพของหินแบบทางการ

1. ชื่อ (name) : ชื่อของหน่วยหินควรตั้งขึ้นตามชื่อทางภูมิศาสตร์ของบริเวณที่มีหน่วยชั้นหินนั้น ๆ อยู่ เช่น กลุ่มหินลำปาง (Lampang Group) มี type sections และพบมากที่จังหวัดลำปาง การตั้งชื่อของหมวดหินหรือหมู่หินในกรณีที่หน่วยหินนั้นประกอบด้วยหินเพียงชนิดเดียว อาจใช้ชื่อของหินเป็นคุณศัพท์ขยายชื่อของหน่วยหินได้ Loch Tay Limestone Formation หรือ Mae Lu Sandstone Member

2. ให้เหตุผลของการตั้งชื่อและลำดับ (rank) ของหน่วยหินที่จะตั้ง ว่าเป็นลำดับประเภทใด เช่นเป็นกลุ่มหิน (Group) หมวดหิน (Formation) หมู่หิน (Member) หรือ ชั้นหิน (bed)

3. ประวัติความเป็นมาของชื่อหน่วยหิน

4. ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของชั้นหินแบบฉบับ (type section) ควรมีรายละเอียดที่ผู้อื่นสามารถไปค้นหาได้

5. รายละเอียดทางธรณีวิทยาของชั้นหินแบบฉบับ type sections เช่นลักษณะทางกายภาพของหิน การเปลี่ยนแปลงทางลักษณะหินในแนวตั้งและแนวนอน ลักษณะและตำแหน่งที่พบของซากดึกดำบรรพ์ ลักษณะการวางตัวของชั้นหิน รวมทั้งข้อมูลของขอบเขตบน/ล่างของหน่วยชั้นหิน (เช่น ความหนา รูปร่าง ชนิด และตำแหน่งของรอยสัมผัสกับหน่วยชั้นหินอื่น)

6. การแผ่กระจายของหน่วยหิน ว่าพบที่ใดบ้าง และถ้าเป็นไปได้ควรบอกสภาวะแวดล้อมของการสะสมตัวของหน่วยหินด้วย

7. การเปรียบเทียบหรือเทียบสัมพันธ์ที่มีต่อหน่วยชั้นหินอื่น ๆ ทั้งด้าน vertical และ horizontal

8. อายุ

9. เอกสารอ้างอิง

ข้อแนะนำการศึกษาหินชั้นในภาคสนาม

การศึกษาหินชั้นในภาคสนาม ควรจะหาข้อมูลในรายละเอียดอย่างน้อย 6 หัวข้อคือ

1. Lithology: ลักษณะทางกายภาพและส่วนประกอบของหิน รวมทั้งชื่อหิน
2. Texture: ลักษณะของการเรียงตัว รูปร่าง และขนาดของตะกอน (fabric, grain shape, roundness, sorting และ grain size)

3. Sedimentary structure: ลักษณะโครงสร้างหินชั้น ที่พบบนผิวและภายในของชั้นหิน โครงสร้างหินชั้นบางชนิดสามารถบอกทิศทางการไหลของตะกอนโบราณ (Paleocurrents) ได้
4. Color: ควรระบุสีของหินด้วยว่ามีสีอะไร เป็นหินสด หรือหินผุ
5. Thickness and geometry: ความหนาและรูปทรงสัณฐานของชั้นหิน (beds) และของหน่วยชั้นหิน (rock units)
6. Fossils: ชนิดและลักษณะที่พบของซากดึกดำบรรพ์ มีการวางตัวเช่นไร มีสภาพรูปร่างสมบูรณ์หรือเป็นเศษแตกหักรวมทั้งพบมากน้อยเพียงใด

ข้อมูลทั้ง 6 หัวข้อข้างต้นจะช่วยให้ทราบถึงกระบวนการ และสภาวะแวดล้อมของการสะสมตัวของชั้นหินได้ ซึ่งมีประโยชน์เป็นอย่างยิ่งต่อการหาแหล่งทรัพยากรธรณีที่เกิดร่วมด้วย

ข้อแนะนำการศึกษาหินอัคนีในภาคสนาม

การศึกษาหินอัคนีในภาคสนาม ควรจะสังเกตและบันทึกข้อมูล ดังต่อไปนี้

1. ลักษณะเนื้อหิน (texture) สีของหินสด (fresh rock) และสีของหินผุ (weathered rock)
2. ชนิดและปริมาณของแร่ต่าง ๆ ที่สามารถมองเห็นด้วยแว่นขยาย
3. โครงสร้างภายใน (internal structure) ของมวลหินอัคนี และทิศทางการวางตัวของโครงสร้างต่าง ๆ เช่นพวก planar หรือ linear structures
4. สายแร่ที่เกิดจากสารละลายร้อน (hydrothermal vein) และลักษณะการเปลี่ยนสภาพ (alteration) ของหินอัคนี ซึ่งคลุมถึง สี ลักษณะเนื้อหิน และองค์ประกอบทางแร่
5. ลักษณะการเกิด (mode of occurrence) ลักษณะบริเวณรอยสัมผัส(contact) ของหินแต่ละ phase และที่สัมผัสกับ country rocks และทิศทางการวางตัวของมวลหินอัคนี
6. ชนิดของหินอัคนี โดยอาศัยข้อมูลดังกล่าวข้างต้น

ข้อแนะนำการศึกษาหินแปรในภาคสนาม

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อหิน ความสม่ำเสมอของเนื้อหิน สี ขนาด(grain size) porphyroblast
2. หินเดิมก่อนเปลี่ยนเป็นหินแปร
3. ลำดับความสัมพันธ์ของ metamorphic facies
4. Metamorphic grade, มีหรือไม่มี metamorphic index minerals
5. วัดทิศทางของโครงสร้าง เช่น foliations, cleavages, fault, fold
6. จำนวนครั้งของการถูกแรงมากระทำ (D_1, D_2 .... /S_0, S_1, S_2..........)
7. ความสัมพันธ์กับ country rocks

เอกสารประกอบที่น่าสนใจ

กองธรณีวิทยา, 2528, ข้อแนะแนวในการเขียนรายงาน และแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1: 50,000 เอกสารกองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี 20 หน้า

กองธรณีวิทยา, 2531, คู่มือการจัดทำแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:50,000 และรายงานการสำรวจธรณีวิทยา เอกสารเลขที่ T-06-2-0119-89/GEOL กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี 40 หน้า

กองธรณีวิทยา, 2533, ข้อแนะแนวการสำรวจทำแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:50,000 เอกสารกองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี 63 หน้า

ประคอง พลหาญ, 2530, การทำรายงานการสำรวจ การทำแผนที่ธรณีวิทยา และเก็บตัวอย่าง เอกสารกองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี 20 หน้า

ฝ่ายสำรวจธรณีวิทยา, 2529, การสำรวจธรณีวิทยา เอกสารกองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี 26 หน้า

พิสิทธิ์ ธีรดิลก, 2528, การใช้ประโยชน์ แผนที่ธรณีวิทยา เอกสารประกอบการบรรยายพิเศษกรมทรัพยากรธรณี ครั้งที่ 9/2528 กรมทรัพยากรธรณี 27 หน้า

ยืนยง ปัญจสวัสดิ์วงศ์ และพล เชาว์ดำรงค์, 2536, คู่มือสำรวจธรณีวิทยาภาคสนาม: หินอัคนีและหินชั้น ภาควิชาธรณีวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 115 หน้า

แบบฟอร์ม 2	แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลในสนาม	เอกสาร กธ-P1-W2-F1
		วันที่มีผลบังคับใช้

Outcrop

Outcrop ID : *** Project Name :

Date : Geologist : ***

Geographic Data

Accessibility :

Province : Amphoe : Village :

Map Sheet : *** Easting : *** Northing : *** Elevation : m.

Outcrop Description

Type : (1) Character : (2) Size : m. (WxL or WxLxH)

Body shape : (3) Stratigraphic Formation:

Rock relationship:

Mineral Deposit/Occurrence

Mineral specimen : ID :

Mineral : Deposit type : (4) Original body shape:(5)

Remarks :

หมายเหตุ: - Outcrop ID ใน Mapsheet เดียวกันจะต้องไม่ซ้ำกัน แนะนำตัวอย่าง : ชื่อย่อนักธรณี ตามด้วยปี ตามด้วย running no.

- Format ของ Date : 12 June 1998
- ต้องใส่เลขจำนวน 6 ตัวใน Easting และ 7 ตัวใน Northing
- Stratigraphic formation : interpreted rock information e.g. Huai Hin Lat Formation
- Rock relationship(general description of rock relation in the outcrop) e.g. sand&shale interbedding, with granite dike
- Remarks สำหรับกรณีที่ต้องการบรรยายเพิ่มเติม
- *** ต้องมีข้อมูล (Required data) ตามเงื่อนไขของระบบฐานข้อมูลฯ

---

(1) Outcrop type : 1. Along the beach 2. Cave 3. Foot of the hill 4. Hill slope 5. Hill top 6. Mine 7. Mountain ridge 8. Pit 9. Pool 10 Quarry 11. River bank 12. River cliff 13. Road cut 14. Rocky shore 15. Shore cliff 16. Stream cut 17. Trench 18. Volcano 19. Waterfall 98. Other 99. No data

(2) Outcrop Character : 1. Fresh 2. Slightly weathered 3. Moderately weathered 4. Strongly weathered 5. Weathered 6. Layer 7. Deformed 98. Other 99. No data

(3) Outcrop body shape : Igneous rock : 1. Batholith 2. Dyke 3. Flow layer 4. Inclusion 5. Lacolith 6. Pluton 7. Shallow intrusive 8. Sheet 9. Sill 10 Skarn 11. Stock 12. Vein 13 Veinlet 14 . Xenolith

Sedimentary rock: 15. Interbedding 16. Intercalating 17.Roof pendant 18. Cavity filling 19 Sand dyke 20.Speleothem (cave deposit) 21. Lens 98. Other 99. No data

(4) Deposit type : 1. Cavity filling 2. Metasomatism 3. Evaporation 4. Hydrothermal 5. Magmatic concentration 6. Metamorphism 7. Replacement 8. Residual and mechanical concentration 9. Sedimentation 10. Sublimation 11. Submarine exhalative volcanism 12. Surficial oxidation and supergene enrichment 98. Other 99. No data

(5) Original body shape : 1. Layer 2 Pocket 98. Other 99. No data

แบบฟอร์ม 2	แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลในสนาม	เอกสาร กธ-P1-W2-F1
		วันที่มีผลบังคับใช้

Rock Information

Outcrop_ID: ***

Rock Information(A)

Rock type : (1) *** Rock name :(2) *** Rock proportion :(3) Above outcrop base :

Rock Information(B)

Rock type : (1) *** Rock name :(2) *** Rock proportion :(3) Above outcrop base :

Rock Information(C)

Rock type : (1) *** Rock name :(2) *** Rock proportion :(3) Above outcrop base : –

Rock Information(D)

Rock type : (1) *** Rock name :(2) *** Rock proportion :(3) Above outcrop base :

Remarks :

หมายเหตุ : - Above outcrop base : Lowermost stratigraphic sequence of the outcrop

- Remarks สำหรับกรณีที่ต้องการบรรยายเพิ่มเติม

- *** ต้องมีข้อมูล (Required data) ตามเงื่อนไขของระบบฐานข้อมูลฯ

---

(1)Rock type: 1. Intrusive rock 2. Extrusive rock 3. Shallow Intrusive rock 4. Metamorphic rock 5. Terrigenous rock (sedimentary) 6. Carbonate rock (sedimentary) 7.Siliceous rock 8.Ferruginous rock 9. Evaporite (sedimentary) 99. No data

(2)Rockname: Intrusive rock: 1. Alkali feldspar granite 2. Alkali feldspar syenite 3. Anorthosite 4. Diorite 5. Gabbro 6. Granite 7. Granodiorite 8. Monzogranite 9. Monzodionte 10. Monzogabbro 11. Monzonite 12. Quartz-rich granitoids 13. Quartz alkali feldspar syenite 14. Quartz anorthosite 15. Quartz diorite 16. Quartz gabbro 17. Quartz monzodiorite 18. Quartz monzogabbro 19. Quartz monzonite 20. Quartz syenite 21. Quartzolite (Silexite) 22. Syenite 23. Syeno-granite 24. Tonalite 25. Foidolite 26. Foid syenite 27. Foid diorite 28. Foid gabbro 29. Foid monzodiorite 30. Foid monzogabbro 31. Foid monzosyenite

Extrusive rock; 1. Andesite 2. Basaltic andesite 3. Basaltic trachyandesite 4. Basaltic trachyandesite 5. Basalt 6. Basanite 7. Basanite tephrite 8. Boninite 9. Dacite 10. Foidite 11. Komatiite 12. Latite 13. Meimechite 14. Nephilinite 15. Phonolite 16. Phonotephrite 17. Spilite 18. Trachyte 19. Perlite 20. Pumice 21. Rhyolite 22.Scoria 23. Spilitic basalt 24. Olivinite 25. Trachyandesite 26.Tuff 27. Andesitic tuff 28. Rhyolitic tuff 29. Agglomerate

Shallow Intrusive rock : 1.Lamprophyre 2. Lamphroite 3. Kimberlite 4. Dorelite (Diabase) 5. Kersantite 6. Vogesite 7. Minette

Metamorphic rock: 1.Amphibolite 2.Gneiss 3.Granofels 4.Granulite 5.Hornfels 6.Marble 7.Migmatite 8.Mylonite 9. Blastomylonite 10.Pseudotachylite 11.Ultramylonite 12.Phyllonite 13.Quartzite 14.Schist 15.Semischist 16.Slate 17.Tactite (Skarn) 18. Calc-silicates 19.Metasiltstone 20.Metasandstone 21.Meta tuff 22. Metachert 23. Phyllitic tuff

Terrigenous rock: 1.Claystone 2.Mudstone 3. Shale 4.Siltstone 5.Sandstone 6.Conglomerate 7.Polymict conglomerate 8.Oligomict conglomerate 9.Conglomerate intraformational 10.Breccia 11.Collapse breccia 12.Arkose 13.Subarkose 14.Graywacke 15.Subgraywack 16.Protoquartzite 17.Orthoquartzite 18.Pelitic rock 19.Fanglomerate 20.Varve clay 21.Tuff

Carbonate rock: 1.Limestone 2.Dolomitic Limestone 3.Dolomite 4.Marble 5.Travertine 6.Dolomite and dolomitic limestone 7.Dolomitic marble 8. Argillaceous limestone 9. Undifferentiated carbonate rocks 10. None-carbonate-found area 11.Calcarenite 12.Calcilutite 13.Calcirudite 14.Dolostone 15.Boundstone 16.Grainstone 17.Packstone 18.Wackestone 19.Limemudstone 20.Coquinite 21.Marlstone 22.Travertine 23.Speleothem 24.Breakdown 25.Flowstone 26.Rimstone 27.Stalacmite 28.Stalactite

Siliceous rock 1.Chert 2.Silcrete 3.Diatomite

Ferruginous rock 1.Ironstone 2.Laterite 3.Ferricrete

Evaporite rock: 1. Rock salt 2. Potash 3. Gypsum 4. Anhydrite

(3) Rock proportion: 1. Major 2. Minor

แบบฟอร์ม 2	แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลในสนาม	เอกสาร กธ-P1-W2-F1 วันที่มีผลบังคับใช้

Sedimentary Rocks (Terrigenous, Carbonate and Evaporite rocks).

Outcrop_ID ***

Clastic Texture

Texture type: (1)
Color (Munsell's chart):
Grain size (mode) cm.
Grain sizeclass :(2)
Grain mineral (major) : (3)
Percentage:
Grain mineral (minor) :(4)
Percentage:
Secondary mineral:(5)
Percentage:
Grain maturity: (6)
Matrix size : mm
Matrix sizeclass:(7)
Matrix mineral(3) :
Cement: (8)
Rock maturity: (9)
Roundness: (10)
Sorting: (11)
Sphericity: (12)

Nonclastic Texture

Texture type:(1)
Color (Munsell's chart):
Carbonate grain : (2)
Percentage:
Matrix (percentage):
Cement :(3)
Impurity: (4)

Sedimentary Structure:

Bedding thickness:(1)
Bedding type:(2)
Bed form:(3)
Bed contact
Upper contact:(4)
Lower contact:(4)
Bedding position:(5)
Dip direction:
Dip angle:
Cross bedding(6)
Dip direction:
Dip angle:
Graded bedding:(7)
Ripplemark type:(8)
Height: cm. Width: cm.Dip direction:
Degree of bioturbation:(9)
Biogenic structure:(10)
Biogenic structure-bedding relationship :(11)
Bedding Structure : Upper:(12) Lower:(12) Internal:(13)
Other Structure:

Fossils:

General name:
Scientific name:
Fossil occurrence:(1)
Fossil assemblage:(2)
Fossil articulation:(3)

Remarks :

หมายเหตุ - Remarks สำหรับกรณีที่ต้องการบรรยายเพิ่มเติม

- *** ต้องมีข้อมูล (Required data) ตามเงื่อนไขของระบบฐานข้อมูลฯ

แบบฟอร์ม 2	แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลในสนาม	เอกสาร กธ-P1-W2-F1
		วันที่มีผลบังคับใช้

Sedimentary Rocks

Clastic Texture

(1)Texture type 1.Clastic 2.Grain-supported 3.Matrix-supported

(2)Grain sizeclass 1.Clay (<4 micron) 2.Silt (4-63micron) 3.Very fine sand (63-125micron) 4.Fine sand (125-250micron) 5.Medium sand (250-500micron) 6.Coarse sand (500-1000micron) 7.Very coarse sand (1-2mm) 8.Granule (2-4mm) 9.Fine Granule 10.Coarse granule 11.Pebble (4-64mm) 12.Cobble (64-256mm) 13.Boulder (>256mm) 14.Fine gravel 15.Medium gravel 16.Coarse gravel

rain mineral (major) Matrix mineral 1.Quartz 2.Feldspar 3.Lithic rock fragment 4.Volcanic rock fragment 5.Rock Fragment 6.Clay mineral 98. Other

(4)Grain mineral (minor) 1.Biotite 2.Hematite 3.Mica 4.Muscovite 5.Ilmenite 6.Rutile 98. Other 99 No data

(5)Secondary mineral 1.Magnetite 2.Pyrite 3.Chlorite 98. Other

(6)Grain maturity: 1. Immature 2.Moderately immature 3.Moderately mature 4.Mature 99.No data

(7)Matrix sizeclass: 1.Clay 2.Silt 3.Very fine sand 4.Fine sand 5.Medium sand 6.Coarse sand 7.Very coarse sand 8.Granule

(8) Cement: 1.Calcareous 2.Ferruginous 3.Gypsiferous 4.Manganiferous 5.Siliceous 6. Clay 98. Other

(9) Rock maturity: 1. Immature 2.Moderately immature 3.Moderately mature 4 Mature 99.No data

(10)Roundness 1. Very angular 2 Angular 3. Subangular 4. Subrounded 5. Rounded 6. Well rounded

(11)Sorting: 1.Very poorly sorting 2.Poorly sorting 3.Moderate sorting 4. Well sorting 5.Very well sorting

(12)Sphericity: 1.High sphericity 2 Low sphericity

Nonclastic Texture

(1)Texture type: 1.Clastic 2.Crystalline 3.Oolitic 4.Pisolitic 5.Spherulitic 6.Colloform 7 Recrystalline 8.Sugary(Saccharoidal) 9 Elephant skin 10 Mud supported 11.Grain-supported 12.Slightly recrystalline

(2)Carbonate grain: 1.Intraclast 2.Ooid 3.Pellet 4 Bioclast 5. Oncoid 6. Coated grain 98. Other 99.No data

(3)Cement: 1.Calcareous 2.Siliceous 3 Ferruginous 4.Gypsiferous 5.Manganiferous 98. Other 99

(4)Impurity: 1.Dolomitic patch 2.Chert nodule 3.Chert bed 4.Chert nodule and bed 5.Siliceous patch 6.Disseminated Mineral 99.No data

Sedimentary Structure

(1)Bedding thickness: 1.Very thin lamination (<0.5mm) 2.Thin lamination (0.5-1mm) 3.Medium lamination (1-5mm) 4.Thick lamination (5-10mm) 5.Very thin bed (1-3cm) 6.Thin bed (3-10cm) 7.Medium bed (10-30cm) 8.Thick bed (30-100cm) 9.Very thick bed (100-200cm) 10.Massive

(2)Bedding type: 1.Single layer 2.Simple layer 3 Simple cross bed 4.Simple cross lamination 5.Composite 6.Interbed 7.Intercalation 8.Lenticular bed

(3)Bed form: 1. Even, parallel 2. Discontinuous, even, parallel 3. Even, nonparallel 4. Discontinuous, even, nonparallel 5. Wavy, parallel 6 Discontinuous, wavy, parallel 7. Wavy, nonparallel 8. Discontinuous, wavy, nonparallel 9.Curved, parallel 10. Discontinuous, curved, parallel 11. Curved, nonparallel 12. Discontinuous, curved, nonparallel

(4)Upper and Lower bed contact: 1.Sharp (within 1cm) 2.Abrupt (within 1-3cm) 3.Gradual (within 3-10cm) 4.Even 5.Smooth 6.Irregular 7.Wavy 98. Other

(5)Bedding position: 1 Normal 2. Overturned

(6)Cross bedding 1 Climbing ripple 2 Herring-bone 3 Hummocky 4 Ripple-drift 5.Swaley 6 Tabula 7.Tangential 8.Trough / Festoon

(7)Graded bedding: 1. Fining upward 2 Coarsening upward

(8)Ripplemark type: 1.Current ripple 2.Dune 3.Megaripple 4.Sand wave 5.Wave ripple 6.Wind ripple

(9)Degree of bioturbation: 1.Bioturbated 2.Non-bioturbated 3.Slightly bioturbated 4.Moderately bioturbated 5.Intensely bioturbated 6.Thoroughly bioturbated 7 Mottled

(10)Biogenic structure: 1.Burrow 2.Boring 3.Track 4.Trail 5.Graphoglyptid burrow 6.Grazing 7.Foot print 8.Coprolith (Excretion)

(11)Biogenic structure-bedding relationship: 1.Top/Upper 2.Internal/Within 3.Bottom/Lower 99.No data

(12)Upper and Lower structure 1.Raindrop imprint 2.Groove 3.Tool mark 4.Scour mark 5.Trace fossil 6.Load cast 7.Channel 8.Gutter cast 9.Escape burrow 10.Foot print 11.Dessication crack 12.Bubble print 13.Rill mark 14.Ripple mark 15.Synaresis crack 16.Track 17.Trail 18.Salt crystal cast 19.Flute cast 20.Groove cast 21.Burrow cast 99.No data

(13)Internal structure 1.Structureless 2.Lemination 3.Horizontal lemination 4. Cross-lamination 5.Flaser lamination 6.Convolute lamination 7 Wavy lamination 8.Graded bedding 9.Normal graded bedding 10 Reverse graded bedding 11.Imbrication 12.Growth structure 13.Ball-and-pillow 14.Biogenic structure 15.Bioturbation 16.Concretion 17.Cone-in-cone 18.Dish structure 19 Nodule 20.Septarion 21.Sandstone sill 22.Sandstone dyke 23.Slump structure 99.No data

Fossil

(1)Fossil occurrence: 1.Single 2.Lense 3.Pocket 4.Coquinite 5.Strom bed

(2)Fossil assemblage: 1.Life 2.Disturbed neighborhood 3. Transported

(3)Fossil articulation: 1.Articulated 2.Disarticulated 3.Broken 4.Fragmented

แบบฟอร์ม 2	แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลในสนาม	เอกสาร กธ-P1-W2-F1
		วันที่มีผลบังคับใช้

Metamorphic Rock

Outcrop_id: ***

Metamorphic Texture

Texture and structure types: (1)

Metamorphic grain size: (2)

Phenoblast: (3) mineral: Percentage: Size: mm

Groundmass: Grain size:(4) Precentage:

Mineral component: Essential mineral: (5) Precentage:

Accessory mineral: (6) Precentage:

Secondary mineral: (7) Precentage:

Color:(Munsell's chart)

Metamorphic type:(8)

Original rock :(9)

Metamorphic Structure

Foliation type: (10) Dip-direction: Dip-angle:

Remarks :

หมายเหตุ - Remarks สำหรับกรณีที่ต้องการบรรยายเพิ่มเติม

- *** ต้องมีข้อมูล (Required data) ตามเงื่อนไขของระบบฐานข้อมูลฯ

---

(1) Texture and structure type: 1. Augen structure 2. Cataclastic 3. Gneissic (Semischistose) 4. Granoblastic 5. Granofelsic 6. Hornfelsic 7. Mylonitic 8. Non-foliated 9. Phyllitic 10. Idioblastic 11. Xenoblastic 12. Crystalloblastic 13. Lineation 14. Nematoblastic 15. Lepidoblastic 16. Poikiloblastic 17. Porphyroblastic 18. Protomylonitic 19. Schistose(Foliated) 20. Slaty cleavage 21. Spotted 22. Ultramylonitic 23. Migmatitic 24. Relic structure 25. Banded 98 Other 99. No data

(2) Metamorphic grain size: 1. Very fine grained 2. Fine grained 3.Medium grained 4. Coarse grained 5. Very coarse grained

(3)Phenoblast 1. Amphibole 2. Andalusite 3. Biotite 4. Chlorite 5. Diopside 6. Garnet 7. Kyanite 8 Serpentinite 9. Sillimanite 10.Staurolite 11.Glaucophane

(4) Ground mass grain size: 1. Very fine grained 2. Fine grained 3.Medium grained 4. Coarse grained 5. Very coarse grained

(5) Essential: 1. Amphibole 2. Andalusite 3. Biotite 4. Chlorite 5. Diopside 6. Garnet 7. Kyanite 8 Serpentinite 9. Sillimanite 10.Staurolite 11.Glaucophane

(6) Accessory: 1. Amphibole 2. Andalusite 3. Biotite 4. Chlorite 5. Diopside 6. Garnet 7. Kyanite 8 Serpentinite 9. Sillimanite 10.Staurolite 11.Glaucophane

(7) Secondary mineral: 1. Amphibole 2. Andalusite 3. Biotite 4. Chlorite 5. Diopside 6. Garnet 7. Kyanite 8 Serpentinite 9. Sillimanite 10.Staurolite 11.Glaucophane 12.pyrite 13. Arsenopyrite 14. Chalcopyrite

(8) Metamorphic type 1. Regional 2. Contact 3. Cataclastic

(9) Original rock: 1. Rhyolite 2. Andesite 3. Rhyolitic tuff 4. Andesitic tuff 5. Agglomerate 6. Granite 7. Granodiorite 8. Limestone 9. Graywacke 10. Orthoquartzite 11. Arkose 12. Siltstone 13. Shale 14. Chert

(10)Foliation type: 1. Foliated 2. Non-foliated 3. Schistose 4. Gneissic 5. Mylonitic 98. Other

แบบฟอร์ม 2	แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลในสนาม	เอกสาร กธ-P1-W2-F1
		วันที่มีผลบังคับใช้

Igneous Rocks
(Intursive, Extrusive, Shallow intrusive)

Outcrop_ID: ***

Igneous Texture

Texture type: (1)		Igneous structure: (2)	
Phaneritic grain size:	mm.	Phenocryst grain size:	mm.
Phenocryst mineral: (3)		Percentage:	
Groundmass ratio:		Percentage:	

Mineral component:

Essential mineral: (4)		Percentage:	
Accessory mineral: (5)		Precentage:	
Secondary mineral: (6)		Precentage:	
Color: (Munsell's chart)			

Igneous Structure

Igneous body	Type:(7)		Dip-direction:		Dip-angle:
	Flow structure:		Dip-direction:		Dip-angle:
Foliation:	Type(8):		Dip-direction:		Dip-angle:

Remarks :

หมายเหตุ - Remarks สำหรับกรณีที่ต้องการบรรยายเพิ่มเติม

- *** ต้องมีข้อมูล (Required data) ตามเงื่อนไขของระบบฐานข้อมูลฯ

---

(1)Texture type: 1.Aphanitic 2. Phaneritic 3. Equigranular 4. Inequigranular 5 Cryptocrystalline 6. Very fine grained 7. Fine grained 8. Medium grained 9. Coarse grained 10. Very coarse grained 11. Porphyritic 12. Pegmatitic 13 Holocrystalline 14. Holohyaline 15. Hypocrystalline 16. Amygdaloidal 17. Banding 18. Directionless 19.Graphic 20. Miarolitic 21. Perlitic 22. Perthitic 23. Pipe vesicle 24. Protoclastic 25. Pumiceous 26. Schlieren 27. Scoriaceous 28. Vesicular 29. Zonal

(2)Igneous structure: 1. Blocky lava (aa) 2. Columnar jointing 3. Exfoliation 4. Flow layer 5. Foliation 6. Lineation 7. Pillow (ellipsoidal) 8. Ropy structure (pahoehoe) 9. Sheeting 10. Vesicular pipe

(3)Phenocryst mineral: 1. Quartz 2. Orthoclase 3. Microcline 4. Sanidine 5. K-feldspar 6. Na-feldspar 7. Plagioclase 8. Albite 9. Oligoclase 10. Andesine 11. Labradorite 12. Bytownite 13. Anorthite 14. Periclase 15. Amphibole 16. Augite 17. Olivine 18. Pyroxene 19. Hornblende 20. Anorthoclase 21. Feldspathoid 22. Melilite 98. Other

(4)Essential Minerals: 1. Quartz 2. Orthoclase 3. Microcline 4. Sanidine 5. K-feldspar 6. Na-feldspar 7. Plagioclase 8. Albite 9. Oligoclase 10. Andesine 11. Labradorite 12. Bytownite 13. Anorthite 14. Periclase 15. Amphibole 16. Augite 17. Olivine 18. Pyroxene 19. Hornblende 20. Anorthoclase 21. Feldspathoid 22. Melilite 98. Other

(5)Accessory Mineral: 1. Biotite 2. Muscovite 3. Chlorite 4. Allanite 5. Apatite 6. Beryl 7. Cassiterite 8. Diopside 9. Fluorite 10. Ilmenite 11. Magnetite 12. Monazite 13. Pyrite 14. Sphene 15. Tourmaline 16. Zircon 98. Other

(6)Secondary Minerals: 1. Sericite 2. Biotite 3. Chlorite 4. Ponite 5. clay minerals 6. Sericite 7. Zeolite 8. Hematite 9 Bytownite 10. iddingsite 11. Pyroxene 12. Serpentine 13. Talc 14. Calcite 15. Epidote 16. Amphibolite 17. Leucoxene 18.Pyrite 19.Chalcopyrite 20.Arsenopyrite 98. Other

(7)Igneous body type: 1. Batholith 2.Pluton 3. Stock 4. Inclusion 5. Xenolith 6. Laccolith 7. Sheet 8. Sill 9. Dyke 10. Vein 11. Veinlet 12. Flow layer 13. Vent 14. Plug 15. Pipe 16. Core 98. Other

(8)Foliation type: 1. Foliated 2. Non-foliated 3 Lineation

แบบฟอร์ม 2	แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลในสนาม	เอกสาร กธ-P1-W2-F1
		วันที่มีผลบังคับใช้

Deformation Structure

(for each rock type)

Outcrop_ID: ***

Fold
- Fold form:(1) ____ Fold type:(2) ____
- Fold shape:(3) ____ Axial plane orientation:(4) ____
- Fold symmetry:(5) ____ Fold width: ____ m. Fold height: ____ m.
- Dip-direction of fold axis: ____ Dip-angle of fold axis: ____
- Dip-direction of fold limb: ____ Dip-angle of fold axis: ____

Fault
- Fault type:(6) ____ Strike-slip movement:(7) ____
- Fault rock:(8) ____ Displacement of strata: ____ cm.
- Dip-direction of fault: ____ Dip-angle of fault: ____
- Dip-direction of slickenside: ____ Dip-angle of slickenside: ____

Joint
- Joint type:(9) ____
- Dip-direction of joint: ____ Dip-angle of joint: ____ Joint spacing: ____ cm.

Cleavage
- Cleavage type:(10) ____
- Dip-direction of cleavage: ____ Dip-angle of cleavage: ____

Lineation
- Lineation type:(11) ____
- Dip-direction of lineation: ____ Dip-angle of lineation: ____

Unconformity
- Unconformity type:(12) ____
- Dip-direction of unconformity: ____ Dip-angle of unconformity: ____

Other structure: ____

Remarks : ____

หมายเหตุ - Remarks สำหรับกรณีที่ต้องการบรรยายเพิ่มเติม

- *** ต้องมีข้อมูล (Required data) ตามเงื่อนไขของระบบฐานข้อมูลฯ

---

(1)Fold form: 1.Anticline 2.Syncline 3.Antiform 4.Synform 5.Antiformal syncline 6.Synformal anticline

(2)Fold type: 1.Similar 2.Parallel 3.Harmonic 4.Disharmonic 5.Intrafolial 6.Ptygmatic 7.Chevron 8.Isoclinal 9.Polyclinal 10.Kink 11. Tight 12. Broad 98. Other 99. No data

(3)Fold shape: 1.Box 2.Curved double hinged 3.Semi-ellipses 4.Parabolas 5.Semichevron 6.Chevron

(4)Axial plane orientation: 1.Recumbent 2.Gently inclined 3.Moderately inclined 4.Steeply inclined 5.Upright 6.Polyclinal 99.No data

(5)Fold symmetry: 1.Asymmetric 2.Symmetric

(6)Fault type: 1.Normal 2.Reverse 3.Thrust 4. Wrench 5.Transform 6.Listric

(7)Fault movement: 1.Sinistral (Left-lateral) 2.Dextral (Right-lateral) 3.Dip-slip 4.Strike-slip 5. Oblique

(8)Fault rock: 1.Fault breccia 2.Fault gauge 3.Pseudotachylite 4.Crush breccia 5.Protocataclastic 6.Cataclastic 7.Ultracataclastic 8.Foliated faulted breccia 9.Foliated gauge 10.Foliated pseudotachylite 11.Protomylonite 12.Mylonite 13.Ultramylonite 14.Blastomylonite

(9)Joint type: 1.Dilational 2.Shear 3.Hybrid 4.Irregular extension 5. Open 6. Close

(10)Cleavage type: 1.Crenulation 2.Fracture 3.Pressure-solution 4.Slaty

(11)Lineation type: 1.Bedding-cleavage intersection 2 Crenulation 3.Pencil cleavage 4.Mineral stretching 5.Boudinage 6.Mullion 7.Roddings 99.No data

(12)Unconformity type: 1.Angular unconformity 2.Disconformity 3.Nonconformity 4.Hiatus 5.Diastem 6.Diachronous

แบบฟอร์ม 2	แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลในสนาม	เอกสาร กธ-P1-W2-F1
		วันที่มีผลบังคับใช้

Sample Analysis

Outcrop_ID: [***]

Sample ID: [ ] Fossil specimen No.: [ ] Rock name:(1) [ ]

Analysis: fossil analysis:(2) [ ] Chemical analysis:(3) [ ]

Petrographic analysis:(4) [ ]

Number of photographs: Please use the following format: [year]-[roll number] I.e. 2541-14-27 [ ]

Remarks : [ ]

หมายเหตุ - Remarks สำหรับกรณีที่ต้องการบรรยายเพิ่มเติม

- *** ต้องมีข้อมูล (Required data) ตามเงื่อนไขของระบบฐานข้อมูลฯ

---

(1)Rockname: Intrusive rock: 1. Alkali feldspar granite 2. Alkali feldspar syenite 3. Anorthosite 4. Diorite 5. Gabbro 6. Granite 7. Granodiorite 8. Monzogranite 9. Monzodiorite 10. Monzogabbro 11. Monzonite 12. Quartz-rich granitoids 13. Quartz alkali feldspar syenite 14. Quartz anorthosite 15. Quartz diorite 16. Quartz gabbro 17. Quartz monzodiorite 18. Quartz monzogabbro 19. Quartz monzonite 20. Quartz syenite 21. Quartzolite (Silexite) 22. Syenite 23. Syeno-granite 24. Tonalite 25. Foidolite 26. Foid syenite 27. Foid diorite 28. Foid gabbro 29. Foid monzodiorite 30. Foid monzogabbro 31. Foid monzosyenite

Extrusive rock: 1. Andesite 2. Basaltic andesite 3. Basaltic trachyandesite 4. Basaltic trachyandesite 5. Basalt 6. Basanite 7. Basanite tephrite 8. Boninite 9. Dacite 10. Foidite 11. Komatiite 12. Latite 13. Meimechite 14. Nephilinite 15. Phonolite 16. Phonotephrite 17. Spilite 18. Trachyte 19. Perlite 20. Pumice 21. Rhyolite 22.Scoria 23. Spilitic basalt 24. Olivinite 25. Trachyandesite 26.Tuff 27. Andesitic tuff 28. Rhyolitic tuff 29. Agglomerate

Shallow intrusive rock : 1.Lamprophyre 2 Lamphroite 3. Kimberlite 4. Dorelite (Diabase) 5. Kersanite 6. Vogesite 7. Minette

Metamorphic rock: 1.Amphibolite 2.Gneiss 3.Granofels 4.Granulite 5.Hornfels 6.Marble 7.Migmatite 8.Mylonite 9. Blastomylonite 10.Pseudotacnylite 11.Ultramylonite 12.Phyllonite 13.Quartzite 14.Schist 15.Semischist 16.Slate 17.Tactite (Skarn) 18. Calc-silicates 19.Metasiltstone 20.Metasandstone 21.Metatuff 22. Metachert 23. Phyllitic tuff

Terrigenous rock: 1.Claystone 2.Mudstone 3. Shale 4.Siltstone 5.Sandstone 6.Conglomerate 7.Polymict conglomerate 8.Oligomict conglomerate 9.Conglomerate intraformational 10.Breccia 11.Collapse breccia 12.Arkose 13.Subarkose 14.Graywacke 15.Subgraywack 16.Protoquartzite 17.Orthoquartzite 18.Pelitic rock 19.Fanglomerate 20.Varve clay 21.Tuff

Carbonate rock: 1.Limestone 2.Dolomitic Limestone 3.Dolomite 4.Marble 5.Travertine 6.Dolomite and dolomitic limestone 7.Dolomitic marble 8. Argillaceous limestone 9. Undifferentiated carbonate rocks 10. None-carbonate-found area 11.Calcarenite 12.Calcilutite 13.Calcirudite 14.Dolostone 15.Boundstone 16.Grainstone 17.Packstone 18.Wackestone 19.Limemudstone 20.Coquinite 21.Marlstone 22.Travertine 23.Speleothem 24.Breakdown 25.Flowstone 26.Rimstone 27.Stalacmite 28.Stalactite

Siliceous rock 1.Chert 2.Silcrete 3.Diatomite

Ferruginous rock 1.Ironstone 2.Laterite 3.Ferricrete

Evaporite rock: 1. Rock salt 2. Potash 3. Gypsum 4. Anhydrite

(2)Fossil analysis 1.yes 2.no

(3)Chemical analysis 1.yes 2.no

(4)petrographic analysis 1.yes 2.no

แบบฟอร์ม 3	แบบฟอร์มประมวลผลทางด้านลำดับชั้นหิน	เอกสาร กธ-P1-W2-F2
		วันที่มีผลบังคับใช้

GRAPHIC LOGS OF SEDIMENTARY FORMATIONS

LOG NUMBER PROJECT

PLACE MAP REF. DATE

THICKNESS IN CM	ROCK TYPE	BEDDING PLANE PROPERTIES		CURRENT DIRECTION	LAYER PROPERTIES	TEXTURE						CEMENT / INDURATION	FOSSILS	SAMPLE NUMBER	LITHOLOGY				CARBONATES	HEAVY MINERALS	ROUNDNESS	COLOUR	NUMBER OF LAYER
		TYPE	STRUCTURES			m.G.	f.G.	c.S.	m.S.	f.S.	CLAY, SILT	4 3 2 1			CLAY, SILT	QUARTZ	FELDSPAR	MICA	70 % 30 %		ROUNDED ANGULAR		

LEGEND FOR DETAILED GRAPHIC LOGS OF SEDIMENTARY FORMATIONS

Column 1) Rock type

- Sandstone
- Greywacke
- Conglomerate
- Limestone
- Shale
- Quartzite

Column 2) Bedding plane properties

Type

- Very sharp flat contact
- Sharp flat contact
- Gradual flat contact
- Undulating very sharp contact
- Undulating gradual contact

Structure

- Current ripple mark.
- Wave ripple mark
- Scour mark
- Tool mark
- Load cast
- Flute cast
- Groove
- Bioturbation

Column 3) Current direction

- Line of flow and pointing distinct (SW to NE)
- Line of flow distinct, pointing doubtful (SW - NE)

Column 4) Layer properties

- Level surface bedding
- Level surface lamination
- Wavy lamination
- Wavy cross bedding
- Lenticular bedding
- Graded bedding
- Cross bedding < 2 cm.
- Cross bedding 2 - 20 cm.
- Cross bedding 20 - 200 cm.
- Alternating direction cross bedding
- Clay galls > 5 cm.
- Clay galls ≤ 5 cm.
- Concretions

Column 5) Texture

Clay, silt < 0.063 mm.

f. s.	0.063-0.2	mm.
m. s.	0.2 -0.63	mm.
c. s.	0.63 -2.0	mm.
f. g.	2.0 -6.3	mm.
m. g.	6.3 -20.0	mm.

Column 6) Cement/Induration

1 Loose

2 Friable

3 Moderately hard

4 Hard

- Clay cement
- SiO_2 cement
- $CaCO_3$ cement
- Ferritic cement

Column 7) Fossils

- Fossils in general
- Fossil fragments
- Brachiopods
- Bryozoa
- Foraminiferas
- Plant remains
- Ichnofossils
- Corals

Column 11) Heavy minerals

Zr. - Zircon

Tr. - Tourmaline

Mg. - Magnetite

Rt. - Rutile

Column 12) Colour

w. - White

y. - yellow

gr. - grey

r. - red

rgr. - reddish-grey

ry. - reddish-yellow

rb. - reddish-brown

dkl. - dark

เอกสารประกอบการฝึกอบรม

"เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่"

เรื่อง

ธรณีเคมีกับงานสำรวจทรัพยากรแร่

โดย

มานิตย์ จำนงค์ไทย

ฝ่ายธรณีเคมี

กองเศรษฐธรณีวิทยา

ธรณีเคมีกับงานสำรวจทรัพยากรแร่

โดย
นายมานิตย์ จำนงค์ไทย
นายสุรศักดิ์ มีตุวงศ์

ฝ่ายธรณีเคมี
กองเศรษฐธรณีวิทยา

2544

เอกสารเพื่อการฝึกอบรม"เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่"
ในโครงการเร่งรัดการสำรวจและประเมินทรัพยากรแร่
ระหว่างวันที่ 15-19 มีนาคม 2544 ณ กองเศรษฐธรณีวิทยา

บทนำ

ธรณีเคมี (geochemistry) เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของวัตถุต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ดังนั้น การสำรวจธรณีเคมี (geochemical exploration) หมายถึงการสำรวจ เก็บตัวอย่างวัตถุต่าง ๆ เช่น ดิน หิน น้ำ อากาศ และพืช นำมาวิเคราะห์ทางเคมี การเลือกชนิดตัวอย่างขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการสำรวจ ผลการวิเคราะห์ทางเคมี ปริมาณของธาตุต่าง ๆ ในตัวอย่างบริเวณหนึ่งใช้เปรียบเทียบกับปริมาณธาตุของตัวอย่างชนิดเดียวกันในบริเวณอื่น ๆ แล้วประเมินผลการสำรวจ โดยวิชาทางสถิติทำให้สามารถศึกษาการแพร่กระจายของธาตุ ซึ่งมีทั้งเป็นแบบปกติ (normal distribution) และเป็นแบบผิดปกติ (anomaly) จากนั้นนำผลที่ได้มาจัดทำแผนที่ธรณีเคมี

บริเวณที่มีค่าผิดปกติ เป็นบริเวณเป้าหมายที่น่าสนใจของการสำรวจธรณีเคมี ซึ่งสามารถกำหนดเป็นพื้นที่ศักยภาพทางแร่ (บริเวณที่มีโอกาสพบแร่สูง) หรือกำหนดเป็นพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนตามธรรมชาติจากการกระทำของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาหารายละเอียดเกี่ยวกับแหล่งที่มา ต่อไป

วิธีการสำรวจธรณีเคมี เป็นวิธีสำรวจหาแหล่งแร่ที่มีประสิทธิภาพดี ประหยัดทั้งเวลา และค่าใช้จ่าย ข้อเขียนในวารสารเล่มนี้ อาจจะเกี่ยวข้องกับวิชาการบ้าง ด้วยเหตุผลก็คือ ใช้เป็นเอกสารคู่มือสำหรับนักเรียน นักศึกษา ตลอดจนผู้สนใจทั่วไป ได้ศึกษาหาความรู้ในด้านนี้มากขึ้น

แผนที่ธรณีเคมี

แผนที่ธรณีเคมี เป็นผลผลิตในการนำเสนอข้อมูลธรณีเคมี แสดงการแพร่กระจายของธาตุต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุ ที่มีการสำรวจและเก็บตัวอย่าง อย่างเป็นระบบ ดังนั้น แผนที่ธรณีเคมี จึงได้มีการแยกประเภทตามองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. แผนที่แสดงตำแหน่งและชนิดของตัวอย่างที่เก็บ เช่น ตัวอย่างดิน ตะกอนท้องน้ำ หรือตัวอย่างน้ำ เป็นต้น

2. แผนที่แสดงการแพร่กระจายของธาตุ เช่น แผนที่แสดงการแพร่กระจายของธาตุตะกั่ว หรือแผนที่แสดงการแพร่กระจายของธาตุต่าง ๆ หลายธาตุด้วยกัน ในแผนที่แผ่นเดียวกัน (multi-elements geochemical map)

3. แผนที่ธรณีเคมี แสดงศักยภาพทางแร่ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือกลุ่มแร่ที่ได้จากกการแปลความหมายทางธรณีเคมี ซึ่งแผนที่ประเภทนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนงานสำรวจและการบริหารจัดการเกี่ยวข้องกับการใช้พื้นที่

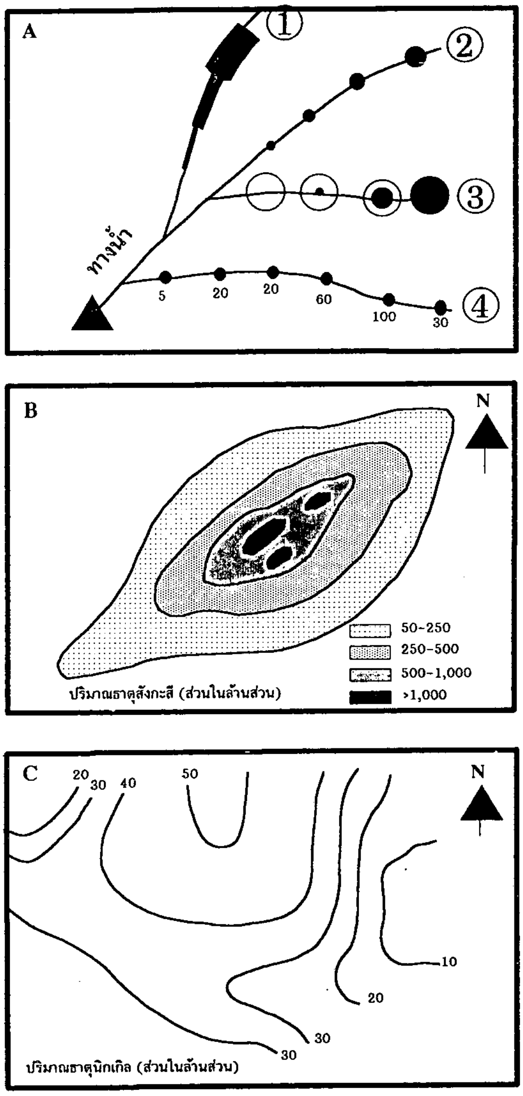
ผลการสำรวจและวิเคราะห์ทางเคมี จะถูกนำมาประมวลผลและแปลความหมายทางธรณีเคมี นำมาจัดทำแผนที่ เพื่อแสดงระดับความสูง-ต่ำ ของการแพร่กระจายของธาตุต่าง ๆ โดยลักษณะของเส้นรูปสัญลักษณ์ หรือแถบสีต่าง ๆ ให้มีความหมาย เข้าใจง่าย สะดวกต่อการใช้งาน และมีรายละเอียดถูกต้องสมบูรณ์ แผนที่ธรณีเคมีมีลักษณะ ดังนี้

1. แบบสัญลักษณ์หรือตัวเลข เป็นแบบที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะกับแผนที่ธรณีเคมีบริเวณไพศาล (มาตราส่วน 1:250,000 และ 1:50,000) เพราะสามารถแสดงผลลัพธ์ได้ชัดเจน ถึงแม้ว่าจะมีการเก็บตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ ปัจจุบันสามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เช่น Surfer, Mapinfo หรือ Geosoft ช่วยในการทำแผนที่

2. แบบ Isopleths แสดงระดับปริมาณของธาตุด้วยแถบสัญลักษณ์ หรือแถบสีต่างชนิดกัน เป็นแบบที่นิยมใช้กับงานสำรวจธรณีเคมีขั้นรายละเอียด เพื่อต้องการกำหนดหลุมเจาะสำรวจ ขุดหลุมทดลอง

หรือขุดร่องทดลอง ปัจจุบันสามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เช่น Surfer หรือ Geosoft ช่วยในการทำแผนที่ได้

3. แบบเส้น Contour แสดงระดับปริมาณเท่า ๆ กันของธาตุ เป็นแบบที่นิยมใช้กับงานสำรวจธรณีเคมีในทุกขั้นตอน สามารถกำหนดขอบเขตปริมณฑลแร่ รวมทั้งกำหนดตำแหน่งหลุมเจาะ หลุมทดลอง และร่องทดลองได้ ปัจจุบันสามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เช่น Surfer และ Geosoft ช่วยในการทำแผนที่ได้เช่นกัน



รูปที่ 1 แสดงการเขียนแผนที่ธรณีเคมี ในลักษณะต่าง ๆกัน

A การเขียนแผนที่ธรณีเคมี โดยใช้สัญลักษณ์หรือตัวเลข

B การเขียนแผนที่ธรณีเคมี โดย Isopleths

C การเขียนแผนที่ธรณีเคมี โดยใช้เส้น Contour

การใช้ประโยชน์จากแผนที่ธรณีเคมี

แผนที่ธรณีเคมีสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน แต่ที่สำคัญใช้ในการวางแผนสำรวจหาทรัพยากรแร่ และที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเรามากที่สุด ได้แก่ แผนที่ธรณีเคมีที่เกี่ยวข้องกับด้านสิ่งแวดล้อมในเรื่องมลภาวะเป็นพิษ เนื่องมาจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท การแต่งแร่ การเกษตรกรรม ทำให้เกิดมลภาวะในดิน น้ำ รวมทั้งในอากาศ การใช้ประโยชน์จากแผนที่ธรณีเคมีทางด้านต่าง ๆ สรุปได้ ดังต่อไปนี้

1. การวางแผนงานสำรวจหาแหล่งแร่ แผนที่ธรณีเคมี จะแสดงให้เห็นการแพร่กระจายของธาตุต่าง ๆ หรือกลุ่มธาตุ สามารถทำให้กำหนดพื้นที่เป้าหมายของแร่แต่ละชนิดได้แน่นอน การสำรวจธรณีเคมีที่มีการวางแผนงานอย่างมีระบบ สามารถกำหนดพื้นที่แหล่งแร่ได้ ทั้งบนดิน และใต้ดิน อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การจำแนกพื้นที่เพื่อการใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะการกำหนดพื้นที่แหล่งแร่ รวมทั้งพื้นที่ทำเหมืองแร่ที่อาจมีผลก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษ ทั้งในดิน ในน้ำ และในอากาศ ที่มีผลต่อระบบนิเวศน์และการเกษตรกรรม ดังนั้น ควรจำแนกพื้นที่แหล่งแร่ออกจากพื้นที่ใช้สอยอื่น ๆ เช่น ไม่ควรมีการก่อสร้างใด ๆ ได้แก่ เขื่อนกั้นน้ำ โรงเรียน บ้านที่อยู่อาศัย บนบริเวณพื้นที่ที่กำหนดเป็นพื้นที่แหล่งแร่

3. การวางแผนเพื่อพัฒนาที่ดินเพื่อการเกษตรกรรม การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของดินสามารถกำหนดพื้นที่ที่มีสภาพความเป็นกรด-ด่าง รวมทั้งธาตุที่เป็นส่วนประกอบในดิน ทำให้สามารถปรับสภาพของดินโดยการเติมวัสดุทางเคมี เพื่อให้เหมาะสมแก่การปลูกพืชแต่ละชนิดได้

4. ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานทางธรณีเคมีในสภาพการณ์ปัจจุบัน ถ้าหากในอนาคตมีการเปลี่ยนปริมาณองค์ประกอบทางเคมี เช่นมีมลภาวะประเภทธาตุอาร์เซนิกในน้ำสูงจนเกิดเป็นพิษ ก็สามารถหาสาเหตุและป้องกันได้

หลักการเบื้องต้นในการสำรวจธรณีเคมี

การสำรวจธรณีเคมี จะต้องอาศัยคุณสมบัติทางเคมีของวัตถุต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ หินและแร่ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนผิวโลก เกิดมาจากขบวนการเปลี่ยนแปลงหลายขั้นตอน เป็นวัฏจักรหมุนเวียนเริ่มต้นจากหินหนืดใต้พื้นพิภพ เมื่อเย็นตัวก็ตกผลึก แยกเป็นหินอัคนีชนิดต่าง ๆ ต่อมาจะถูกขบวนการผุพังทำลาย เป็นเศษตะกอนดิน ถูกพัดพาไปสะสมในที่ใดที่หนึ่งทับถมกัน แล้วกลายเป็น หินชั้น หินแปร สุดท้ายก็ถูกเปลี่ยนไปเป็นหินอัคนี เมื่อมีความร้อนและความกดดันเพิ่มขึ้นเป็นวัฏจักร เช่นนี้ หินต่าง ๆ เหล่านี้ จะประกอบด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบหลัก (major element) และส่วนประกอบรอง (minor element) ส่วนแร่ธาตุทางเศรษฐกิจจะเป็นธาตุที่มีส่วนน้อย หรือธาตุร่องรอยเท่านั้น (trace element) แหล่งแร่ต่าง ๆ ก็จะประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ หลายชนิดที่เกิดร่วมกันหรือมีความสัมพันธ์กัน มีคุณสมบัติเฉพาะตามสภาพการกำเนิด หรือภาวะแวดล้อมแตกต่างกัน บางธาตุมีคุณสมบัติทางเคมี มีการละลายน้ำได้ดี สามารถแพร่กระจายไปได้ไกลจากแหล่ง แต่บางธาตุก็ไม่ละลายน้ำ ทำให้แพร่กระจายได้ไม่ไกลจากแหล่งมากนัก ดังนั้น การสำรวจธรณีเคมี จึงอาศัยคุณสมบัติการแพร่กระจายของธาตุใช้ในการวางแผนงานเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์ทางเคมี เช่นการสำรวจหาแหล่งแร่ทองแดง ก็จะทำการวิเคราะห์ทางเคมี หาปริมาณธาตุทองแดง ในกรณีนี้ เรียกธาตุทองแดงว่าเป็นธาตุบ่งชี้ (indicator element) อีกในกรณีหนึ่ง เช่น การสำรวจหาแหล่งแร่ทองคำ อาจใช้ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของธาตุอื่น ๆ เช่น ธาตุอาร์เซนิก หรือพลวง อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองชนิดแทนได้ เนื่องจากธาตุทองคำมีการแพร่กระจายได้ไม่กว้างไกล และอาจมีความยุ่งยากในการวิเคราะห์ เรียกธาตุเหล่านี้เป็นธาตุชี้นำ (pathfinder element)

ลักษณะการแพร่กระจายของธาตุ

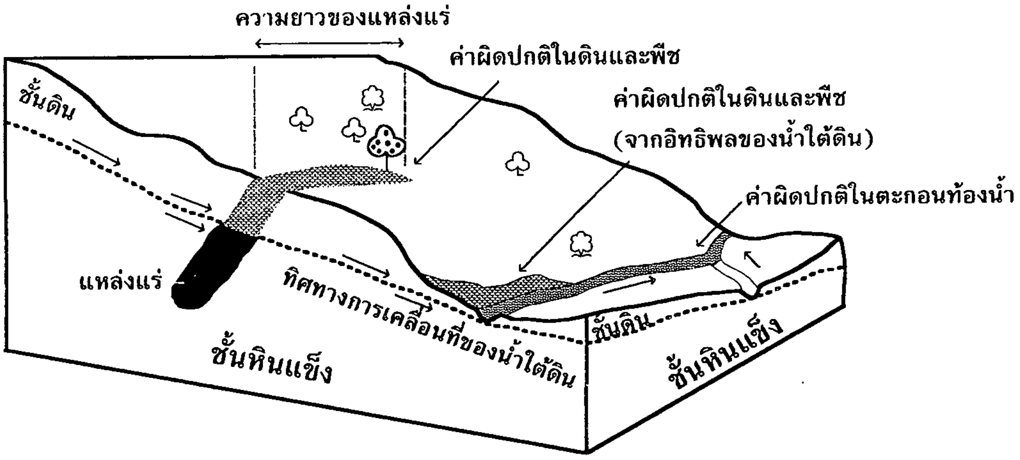
การแพร่กระจายของธาตุ เป็นวิธีการที่อะตอมของธาตุเคลื่อนที่จากที่แห่งหนึ่งไปสะสมตัวอยู่อีกที่หนึ่งในภาวะแวดล้อมเหมาะสม โดยทางกลศาสตร์ (mechanics) หรือทางเคมี การแพร่กระจายอาจเกิดได้ทั้งในระดับลึกและบนพื้นผิว

ภาวะแวดล้อมแบบปฐมภูมิ (Primary environment)

ภาวะแวดล้อมแบบปฐมภูมิเป็นภาวะที่มีการแพร่กระจายของธาตุในระดับลึกจากผิวดินเกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรสภาพ (metamorphism) และกระบวนการแยกตัวของหินอัคนี (igneous differentiation) เนื่องจากมีอุณหภูมิและความดันสูง การแพร่กระจายของธาตุแบบปฐมภูมิเกิดพร้อม ๆ กับการกำเนิดแหล่งแร่แบบปฐมภูมิ ซึ่งมีระยะไม่ไกลจากแหล่ง ดังนั้น การสำรวจธรณีเคมี จึงทำโดยการเก็บตัวอย่างหิน เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุในหินบริเวณนั้น

ภาวะแวดล้อมแบบทุติยภูมิ (Secondary environment)

ภาวะแวดล้อมแบบทุติยภูมิเป็นภาวะแวดล้อมที่มีการแพร่กระจายของธาตุอยู่ในช่วงบนของเปลือกโลกเกี่ยวข้องกับกระบวนการผุพังทำลาย การพัดพา การทับถมโดยมีอุณหภูมิและความดันต่ำ ในภาวะแวดล้อมนี้ มีความสำคัญสูงสุดในการสำรวจธรณีเคมี แร่และหินต่าง ๆ จะผุพัง ทำลาย และเคลื่อนที่ไปได้ไกลจากแหล่งในลักษณะละลายไปกับน้ำ โดยกระบวนการทางเคมี และทางกลศาสตร์ ความสามารถแพร่ไปได้ไกลถึงใกล้ที่สุด ดังนี้ คือ ธาตุในตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ ดินตามสองฝั่งลำธาร ดิน (และพืช) และในหิน ตามลำดับ ดังนั้น การสำรวจธรณีเคมี จึงได้มีการวางแผนการสำรวจและเก็บตัวอย่างอย่างเป็นระบบ ตามระดับการแพร่กระจายของธาตุ



รูปที่ 2 แสดงรูปจำลองการกำเนิดค่าผิดปกติ ในบริเวณต่าง ๆของผิวโลก

การแพร่กระจายของธาตุใต้ผิวโลก

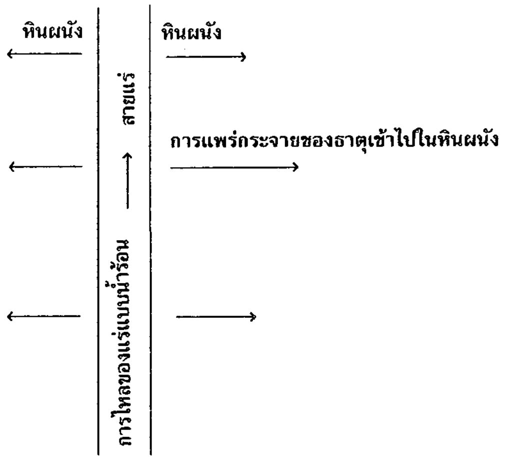
การกำเนิดแร่ในระดับลึกจากผิวดิน ก่อให้เกิดบริเวณค่าผิดปกติในหินแข็งใกล้แหล่งกำเหนิดและสามารถแพร่ไปได้ไกลออกไปตามคุณสมบัติของธาตุแต่ละชนิด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. บริเวณค่าผิดปกติของธาตุที่เกิดพร้อม ๆกันหรือในเวลาเดียวกันกับหินอุ้มแร่ (syngenetic)

2. บริเวณค่าผิดปกติของธาตุ เกิดขึ้นในหินข้างเคียง เนื่องจากการแพร่กระจายของธาตุจากแหล่งกำเนิด (epigenetic) มีการกำเนิดแร่ที่มีลักษณะเป็นแร่สาย จากสารละลายน้ำร้อนทำให้เกิดการแปรสภาพของหินเดิมบริเวณนั้น มีการแลกเปลี่ยนอิออน ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีและทางด้านแร่วิทยา ค่าผิดปกติที่พบบริเวณนี้ เป็นพื้นที่เป้าหมายสำหรับการสำรวจแร่ที่ดี มีกลไกที่ควบคุมการกำเนิดของค่าผิดปกติอยู่ 2 ลักษณะ คือ

ลักษณะ1. การแพร่กระจายสายของธาตุในสายแร่เข้าไปในหินข้างเคียงเรียก การแพร่บริเวณปริมณฑลสัมผัส (diffusion aureoles) ขนาดของบริเวณค่าผิดปกติจะเล็กหรือมีขนาดใหญ่ มีสาเหตุ ดังต่อไปนี้

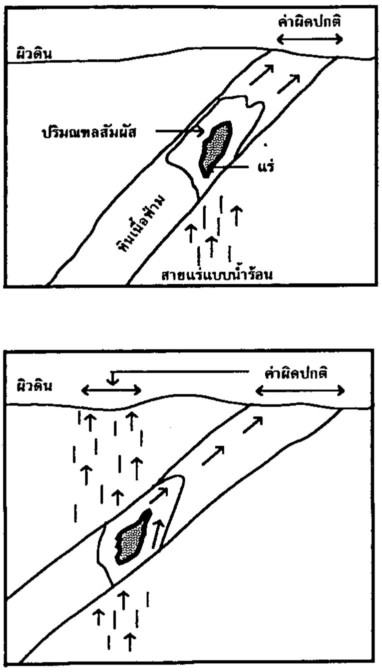
- ปริมาณความเข้มข้นของธาตุในสายแร่
- ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา
- ความพรุนของหิน รวมทั้งชนิดของหินด้วย
- อุณหภูมิของน้ำแร่ร้อน



รูปที่ 3 รูปจำลองแสดงการแพร่กระจายของธาตุด้านข้างสายแร่

ลักษณะ2 การแทรกซึม (leakage anomaly) เป็นการแพร่กระจายของธาตุผ่านเข้าไปในหินแข็งทั้งด้านบน ด้านล่าง และด้านข้าง ตามรอยแตกของหินบริเวณที่พบ ขนาด และปริมาณความเข้มของค่าผิดปกติ มีสาเหตุดังต่อไปนี้

- จำนวนรอยแตกของหิน
- ปริมาณความเข้มข้นของธาตุ
- คุณสมบัติการสะสมตัวระหว่างน้ำแร่ร้อนและหินข้างเคียง



รูปที่ 4 รูปจำลองแสดงการเกิดบริเวณค่าผิดปกติตามแนวปริมณฑลสัมผัสและบริเวณข้างเคียง

การแพร่กระจายของธาตุบนผิวโลก

แบบ clastic ส่วนมากมักจะเกี่ยวข้องกับธาตุที่เคลื่อนที่ได้ยาก(immobile element) พบได้ในดินชนิด residual, colluvium และ alluvium ซึ่งเป็นผลมาจากการผุพังของหินที่มีปริมาณธาตุสูงที่รองรับอยู่ข้างล่าง บางกรณีถูกชะล้างลงมาสะสมตัวในตะกอนท้องน้ำ

แบบ hydromorphic เป็นการแพร่กระจายที่มีน้ำเป็นสื่อ ซึ่งมีการแพร่ใน 2 ลักษณะ คือ ในลักษณะที่เป็นสารละลายในน้ำ สามารถตกตะกอนโดยวิธีทางเคมีหรือการระเหย เช่น แร่เหล็กและแมงกานีส และลักษณะที่แพร่ตามกระแสน้ำ โดยการดูดซับของตะกอนขนาดเล็กเช่นดินและอินทรีย์สารอื่น ๆ

แบบ biogenic เป็นการแพร่กระจายที่มีพืชเป็นสื่อ โดยพืชสามารถดูดซับธาตุจากดินและน้ำในบริเวณที่พบค่าผิดปกติของธาตุ เข้าสู่ราก ลำต้นและใบแล้วแต่กรณี ในกรณีที่พืชนั้น ๆ ตายก็สามารถจะแพร่กระจายธาตุไปสู่แหล่งใหม่ได้เช่นกัน

ระบบงานสำรวจธรณีเคมี

ระบบงานสำรวจธรณีเคมี สามารถจำแนกออกได้เป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้คือ

1. การวางแผนงานสำรวจ
2. การเก็บตัวอย่าง
3. การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ทางเคมีและการวิเคราะห์ทางเคมี
4. การจัดเก็บข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์
5. การจัดทำแผนที่ธรณีเคมีในลักษณะต่าง ๆ ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์
6. การแปลความหมายข้อมูล

7. สรุปผลและจัดทำแผนที่/รายงาน

การวางแผนงานสำรวจ

การสำรวจธรณีเคมี เป็นงานสำรวจเพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่ศักยภาพสูงทางธรณีเคมี โดยมีจุดประสงค์เพื่อกำหนดพื้นที่แหล่งแร่ หรือจุดประสงค์อื่น ๆ ดังนั้น การสำรวจมักจะเริ่มต้นสำรวจในพื้นที่ขนาดใหญ่ แล้วลดขนาดพื้นที่ลงตามขั้นตอนจนสามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่แหล่งแร่ได้ ดังนั้น การวางแผนงานสำรวจจะต้องมีปัจจัย ดังต่อไปนี้

1. จุดประสงค์ของงานสำรวจ เช่น ผลงานสำรวจจะสิ้นสุดในขั้นตอนไหน ถ้าหากว่าต้องการทราบขนาด ปริมาณ ทิศทาง และปริมาณสำรองแร่ จะต้องมีการดำเนินงานหลายขั้นตอน
2. ขนาดพื้นที่ ลักษณะภูมิประเทศ ตลอดจนโครงสร้างพื้นฐาน
3. อัตรากำลัง อุปกรณ์ และยานพาหนะ
4. งบประมาณ
5. ระยะเวลาของโครงการ

การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างทางธรณีเคมี ที่นิยมเก็บในงานสำรวจ ได้แก่ ตัวอย่างดินและตะกอนท้องน้ำ หินและแร่ พืช และตัวอย่างน้ำ จากหลักการณ์เบื้องต้นของงานสำรวจธรณีเคมี ดังได้กล่าวมาแล้ว งานสำรวจธรณีเคมีในขั้นตอนแรก (พื้นที่ขนาดใหญ่) จะนิยมเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ (รวมทั้งตัวอย่างแร่หนักที่ได้จากการเลียง) ขั้นตอนต่อไปก็จะเก็บตัวอย่างดิน และพืช สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างหิน จะดำเนินการในขั้นตอนท้าย ๆ ของการสำรวจ ยกเว้นในกรณีที่มีข้อมูลอื่น ๆ สนับสนุนว่าเป็นหินที่มีการแปรสภาพ อาจมีความเกี่ยวข้องกับแหล่งแร่

การเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ เป็นชนิดตัวอย่างที่นิยมอย่างแพร่หลายในการสำรวจธรณีเคมีเบื้องต้น โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีธารน้ำครอบคลุมอย่างทั่วถึงทั้งพื้นที่ วิธีการเก็บทำโดยเลือกเก็บตะกอนขนาดเล็กที่มีการเคลื่อนไหวโดยกระแสน้ำ (active stream sediment) เฉพาะบนผิวท้องน้ำในปริมาณที่เหมาะสม และให้มีความหนาแน่นของจำนวนตัวอย่างต่อพื้นที่ที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังมีการเลียงสำรวจแร่หนักตามท้องน้ำควบคู่ไปด้วย วิธีการเก็บตัวอย่างทั้งสองชนิดนี้ สามารถกำหนดแหล่งที่มาของแร่ ชนิดคงทนต่อการผุพัง เช่น แร่ดีบุกและทองคำแล้ว ยังสามารถกำหนดแหล่งแร่ประเภทซัลไฟด์ของธาตุ เช่น ทองแดง และสังกะสี เป็นต้น โดยหลักการว่าเมื่อแร่เหล่านี้ผุพังทำลายสามารถเคลื่อนที่ (mobile) ในรูปของสารละลายแล้วถูกดูดซับด้วยตะกอนขนาดเล็ก ผลการสำรวจธรณีเคมีจะชี้นำไปยังแหล่งแร่ต้นน้ำหรือพื้นที่รับน้ำ (catchment)

การเก็บตัวอย่างดิน เป็นงานสำรวจที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางเคมีของชั้นดิน (เช่น ดินชั้นเอ ชั้นบีและชั้นซี) สำหรับงานสำรวจธรณีเคมี เพื่อหาแหล่งแร่นิยมเก็บดินชั้นบี ซึ่งเป็นชั้นที่มีคุณสมบัติการสะสมธาตุชนิดต่าง ๆ (accumulated layer) เพราะว่าประกอบด้วยดินเม็ดละเอียดและเหล็กออกไซด์สามารถดูดซับธาตุโลหะได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม ดินชั้นเอและชั้นซี ก็สามารถบ่งชี้แหล่งแร่ได้เช่นกัน การสำรวจโดยการเก็บตัวอย่างดินไม่นิยมเก็บในงานสำรวจธรณีเคมีเบื้องต้น เพราะว่าพื้นที่ค่าผิดปกติที่พบโดยตัวอย่างดิน จะมีขนาดเล็กตามการกำเนิดของแหล่งแร่โลหะทั่วไป ส่วนใหญ่ผลการสำรวจจะแสดงคุณสมบัติทางเคมีของหินที่รองรับ (bedrock geochemistry) มากกว่าแสดงค่าผิดปกติที่เกิดจากแหล่งแร่ การเก็บตัวอย่างดินสามารถทำได้ในกรณีดังต่อไปนี้

1. การสำรวจธรณีเคมีเบื้องต้น ในพื้นที่ที่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ในพื้นที่ที่ไม่มีลำห้วยมากพอ

2. ติดตามผลการสำรวจธรณีเคมีจากตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ

3. ติดตามผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ

4. ในพื้นที่ศักยภาพ เช่นพื้นที่มีสภาพทางธรณีวิทยาที่เหมาะสม และพบร่องรอยการกำเนิดแร่

การเก็บตัวอย่างหิน ส่วนใหญ่จะทำการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างหิน ในบริเวณพื้นที่เป้าหมายจากการเก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำและดิน ผลวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างหินเป็นการหาการแพร่กระจายแบบปฐมภูมิ ซึ่งแพร่กระจายได้ไม่ไกลนักจากแหล่งแร่ การสำรวจธรณีเคมีโดยการเก็บตัวอย่างหินทำได้ในกรณี ดังต่อไปนี้

1. การสำรวจหาแหล่งแร่ขนาดใหญ่ แต่มีความสมบูรณ์ต่ำ ๆ เช่น การสำรวจหาแหล่งแร่ทองคำในปัจจุบันของประเทศไทยและต่างประเทศ

2. การสำรวจหาแหล่งแร่ที่มีความต่อเนื่องจากแหล่งเดิม

3. การสำรวจในบริเวณแหล่งแร่ที่พบแล้ว เพื่อชี้นำไปยังแหล่งอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

4. หินที่ได้จากหลุมเจาะ

การเก็บตัวอย่างหมวกแร่ (gossan) การสำรวจธรณีเคมีต้องมีความระมัดระวังในการเก็บตัวอย่างหมวกแร่ ในทางวิชาการหมวกแร่มี 2 ชนิดคือ หมวกแร่จริง (true gossan) เป็นหมวกแร่ที่เกิดจากการผุพังทำลายของแร่ซัลไฟต์ใต้พื้นดิน อีกชนิดหนึ่ง คือ หมวกแร่ปลอม (false gossan) ประเภทศิลาแลง ซึ่งเกิดจากการสะสมตัวของสารละลายเหล็ก จากหินผุพังชนิดต่าง ๆ

ผลวิเคราะห์ทางเคมีของหมวกแร่ทั้งสองชนิด จะมีรูปแบบการแพร่กระจายคล้ายคลึงกัน ดังนั้นการแปลความหมายทางธรณีเคมี อาจต้องใช้ธาตุชี้นำ (pathfinder element) อื่น ๆ ช่วยหรือใช้การแปลความหมายแบบหาความแปรปรวนรวมของธาตุต่าง ๆ (multivariate statistic)

การเก็บตัวอย่างแร่ มีจุดประสงค์ในการเก็บอยู่ 2 ประการคือ

1. เพื่อพิสูจน์ว่าในแหล่งแร่นั้น ประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง ซึ่งสามารถใช้เพื่อเป็นธาตุบ่งชี้หรือธาตุชี้นำ ในการสำรวจธรณีเคมีในบริเวณอื่น ๆ

2. เพื่อหาความสมบูรณ์ของแหล่งแร่ ในการประเมินมูลค่า

การเก็บตัวอย่างพืช การเก็บตัวอย่างพืชในทางด้านธรณีเคมี ด้วยหลักการว่า รากของพืชสามารถชอนไชลงในดินระดับลึกได้ และสามารถดูดสารละลายของธาตุไปสะสมตามราก ลำต้น และใบพืชที่มีการสะสมของธาตุโลหะหนักมักจะไม่ค่อยสมบูรณ์ ต้นเล็กและใบเหลือง การเก็บตัวอย่างพืชเพื่อหาแหล่งแร่ไม่มีการใช้แพร่หลาย เนื่องจากสามารถเก็บตัวอย่างดินได้ผลดี สะดวกกว่าทั้งทางด้านการเก็บและการวิเคราะห์ทางเคมี ในประเทศไทยพบว่ามีพืชที่เป็นตัวชี้นำในการสำรวจแร่มีอย่างน้อย 2 ชนิด คือ ต้นเฟินตะกั่ว หรือที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า “กูดดอย” พบที่แหล่งแร่ตะกั่ว อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี และต้นสังกะสี พบที่แหล่งแร่สังกะสี อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

การเก็บตัวอย่างน้ำ การเก็บตัวอย่างน้ำ สามารถใช้ได้ในงานสำรวจด้านสิ่งแวดล้อมตั้งแต่งานขั้นต้นถึงขั้นรายละเอียด ตัวอย่างน้ำที่ทำการเก็บได้แก่ น้ำตามลำน้ำทั่วไป น้ำพุ น้ำซึมน้ำซับ หนอง หรือทะเลสาป ตลอดจนน้ำบ่อหรือจากหลุมเจาะ

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างทางเคมี

ชนิดตัวอย่าง	การเตรียมตัวอย่าง	การละลายตัวอย่าง	วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี
หิน	1. ย่อยและบดละเอียด	1. ละลายบางส่วนหรือทั้งหมด หรือการหลอมตัวอย่าง	1. Atomic Absorption 2. Plasma Emission 3. Colorimetry
		2. ไม่ต้องละลาย	1. XRF 2. DC-Arc Emission
ดินและตะกอนท้องน้ำ	1. ทำให้แห้งบดหรือคลึงให้ตัวอย่างแยกจากกันแล้วผ่านตะแกรง	1. ละลายบางส่วนหรือทั้งหมด	1. Atomic Absorption 2. Plasma Emission 3. Colorimetry 4. XRF
		2. หลอม	1. XRF 2. DC-Arc-Emission
พืช	1. อบแห้งที่ 110°C	1.ทำปฏิกริยากับกรด	1. Colorimetry 2. Plasma Emission 3. Colorimetry
	2 เผาที่ 450°C	2. หลอม	1. DC-Arc-Emission 2. XRF
น้ำ	1. น้ำ		1. Colorimetry 2. Plasma Emission 3. Colorimetry
	2. ไอน้ำ 3. การทำสารละลายแยกชั้น		1. Atomic Absorbtion 2. Colorimeter
	4. การทำให้ตกตะกอน		1. XRF

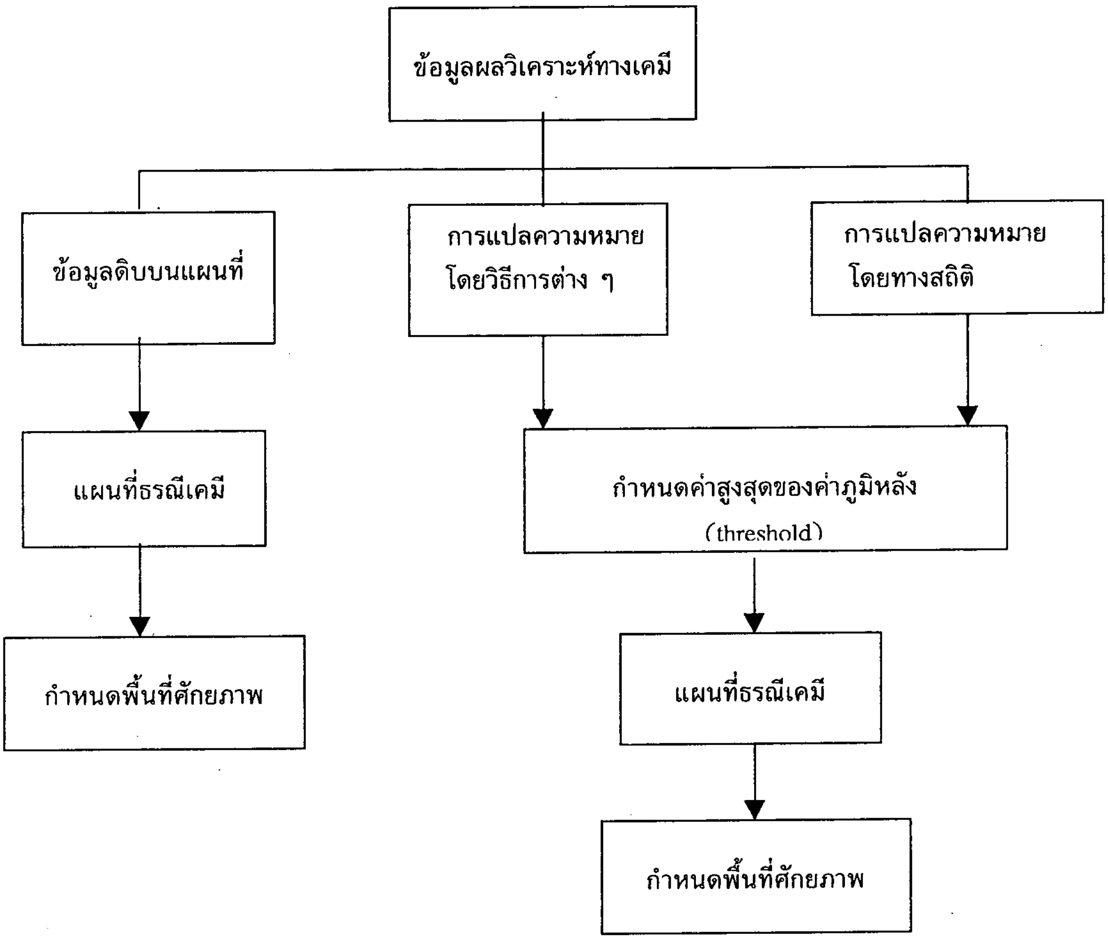
หมายเหตุ วิธีวิเคราะห์ทางเคมีที่ใช้ในปัจจุบัน อาจมีการเปลี่ยนตามเทคโนโลยี่

ระบบการจัดเก็บข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

ระบบข้อมูลที่สำคัญในงานสำรวจธรณีเคมีอย่างน้อยที่สุดควรจะประกอบด้วย 5 ระบบข้อมูล ได้แก่

1. ระบบข้อมูลพื้นที่สำรวจ ซึ่งประกอบด้วย ชื่องาน/โครงการ ปีที่ทำการสำรวจ ชนิดตัวอย่างที่เก็บ/จำนวนตัวอย่าง ธาตุที่ทำการวิเคราะห์และวิธีวิเคราะห์ทางเคมี และอื่น ๆ
2. ระบบข้อมูลตำแหน่งที่เก็บ ซึ่งประกอบด้วยตำแหน่งพิกัด ลักษณะธารน้ำ ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะของตัวอย่าง รวมทั้งการใช้พื้นที่ และอื่น ๆ
3. ระบบข้อมูลผลวิเคราะห์ทางเคมี
4. ระบบข้อมูลแผนที่ธรณีเคมีของธาตุต่าง ๆ
5. ระบบข้อมูลแผนที่ศักยภาพแร่

ขั้นตอนการแปลความหมายข้อมูล

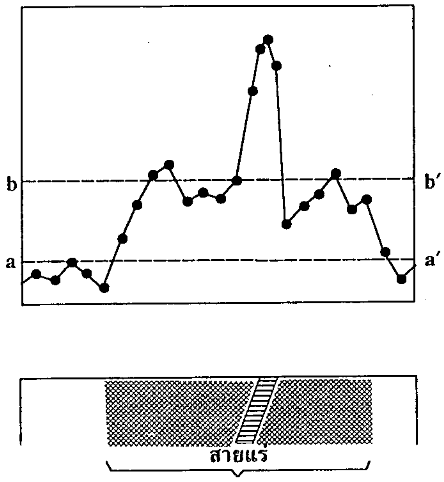


การกำหนดพื้นที่ศักยภาพ)

การกำหนดพื้นที่ศักยภาพเกี่ยวข้องโดยตรงกับการกำหนดค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง ซึ่งใช้ในการแสดงผลของการสำรวจว่า พื้นที่ใดหรือบริเวณไหน ควรจะมีการสำรวจติดตามหาแหล่งแร่ในขั้นรายละเอียดต่อไป ก่อนอื่น ควรรู้จักคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องในงานสำรวจธรณีเคมี ดังต่อไปนี้

ค่าภูมิหลัง (background)

เป็นค่าแสดงการแพร่กระจายของธาตุโดยทั่วไปตามธรรมชาติ ในบริเวณที่ไม่มีแหล่งแร่ ค่าภูมิหลังจะไม่เท่ากับในทุกพื้นที่ ส่วนใหญ่จะแสดงเฉพาะบริเวณหนึ่งบริเวณใดเท่านั้น ค่าภูมิหลังของธาตุแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดหินที่รองรับ



รูปที่ 5 แผนภูมิและรูปตัดแสดงค่าสูงสุดของค่าภูมิหลังในบริเวณกว้าง(aa′)และเฉพาะบริเวณ (bb′)

ค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง (threshold)

หมายถึงขีดจำกัดหรือค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง (upper limit of normal background value) ของธาตุที่แพร่กระจาย เฉพาะในบริเวณที่สำรวจเท่านั้น แต่อาจใช้ในพื้นที่สำรวจอื่น ๆ ได้ในบางกรณี

ค่าผิดปกติ (anomaly)

หมายถึงค่าที่สูงกว่าค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง (higher than threshold value) ยกตัวอย่างเช่น ในการสำรวจธรณีเคมีบริเวณจังหวัดเพชรบูรณ์ คลุมพื้นที่มากกว่า 18,000 ตารางกิโลเมตร สภาพทางธรณีวิทยาประกอบด้วยหินภูเขาไฟและหินตะกอนหลายชนิด ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของธาตุทองแดง มีดังนี้

ค่าภูมิหลัง	=	1-40	ppm.
ค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง	=	40	ppm.
ค่าผิดปกติ	มีค่าตั้งแต่	41	ppm. ขึ้นไป

การกำหนดค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง

การกำหนดค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง เป็นหัวใจในการสำรวจธรณีเคมี เนื่องจากจะใช้ค่านี้ในการลากขอบเขตพื้นที่ศักยภาพทางแร่ การกำหนดค่าโดยใช้หลักวิชาทางสถิติมากเกินไป อาจจะไม่ตรงกับจุดประสงค์ของการสำรวจ เช่น การเลือกค่าสูงสุดของค่าภูมิหลังสูงเกินไป ทำให้การสำรวจติดตามผลไม่ครอบคลุมแหล่งแร่ทุกแหล่ง ในทางกลับกันการกำหนดค่าต่ำเกินไปทำให้มีพื้นที่ศักยภาพทางแร่กว้างเกินไป หรือมีจำนวนพื้นที่มากเกิน มีผลทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการสำรวจติดตามผลโดยเปล่าประโยชน์ โดยเหตุนี้ ผู้มีประสบการณ์สามารถประสานการกำหนดค่าระหว่างวิชาการและจุดประสงค์ได้ดี

การกำหนดค่าสูงสุดของค่าภูมิหลังทำได้หลายวิธี เช่น

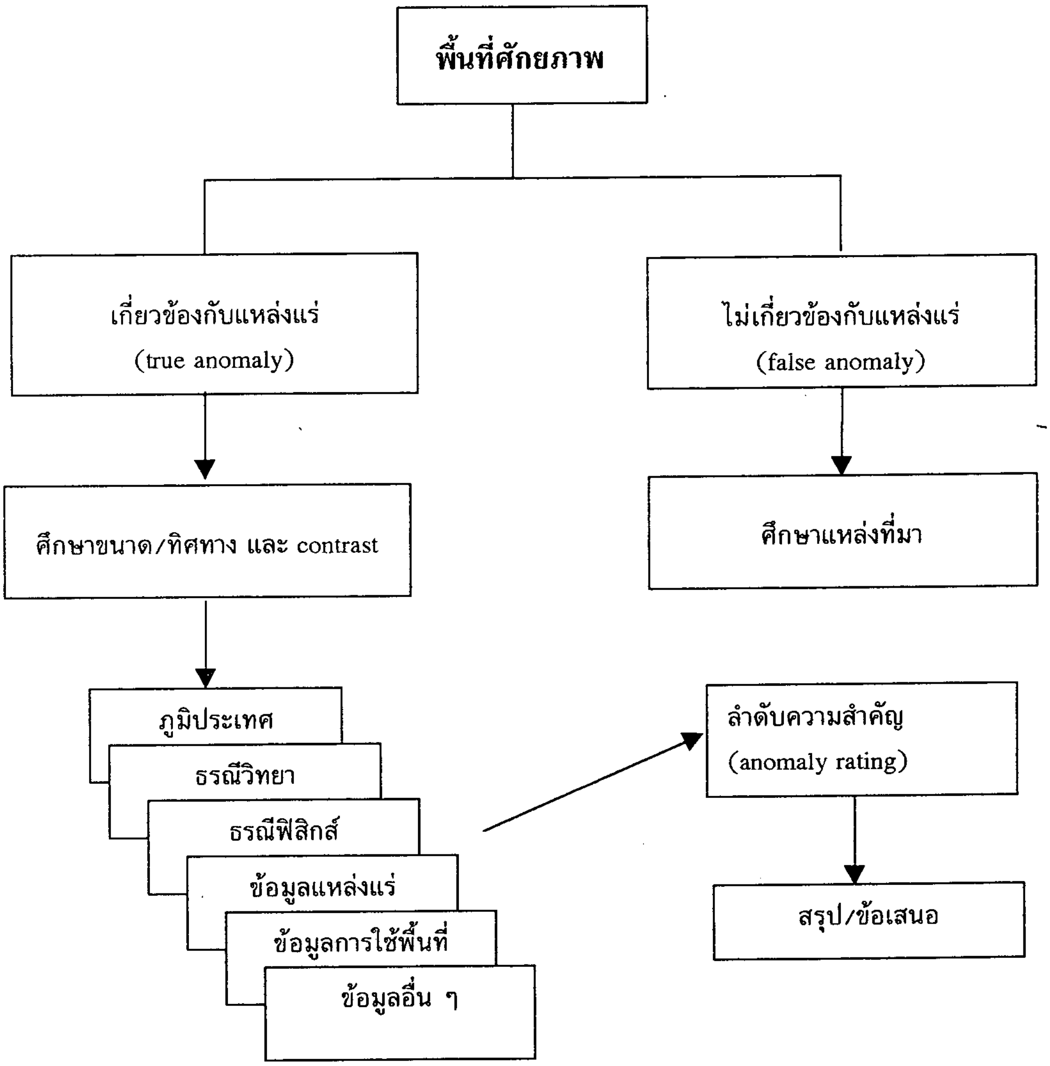
1. กำหนดค่าจากการสำรวจธรณีเคมีเบื้องต้น (บางกรณี)
2. การคำนวณทางสถิติเบื้องต้น

ค่าสูงสุดของค่าภูมิหลัง = ค่าเฉลี่ย (mean) × 2 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

วิธีนี้ใช้ได้ดีเฉพาะธาตุที่มีการแพร่กระจายแบบปกติ หรือ normal distribution (สร้างกราฟได้รูประฆังคว่ำ) เท่านั้น

3. การสร้างเส้นกราฟแสดงความถี่สะสม ตามวิธีของ Sinclair (1974) หรือ Lepeltier (1969)
4. กำหนดค่าที่ร้อยละ 10 ของค่าความถี่สะสม ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้กันมากในวารสารธรณีเคมีของต่างประเทศ

การพิจารณาพื้นที่ศักยภาพ



เอกสารประกอบการฝึกอบรม

"เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่"

เรื่อง

การสำรวจธรณีฟิสิกส์สำหรับการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่

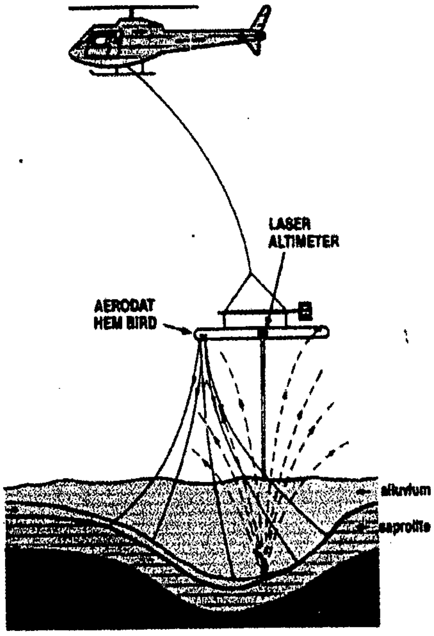
โดย

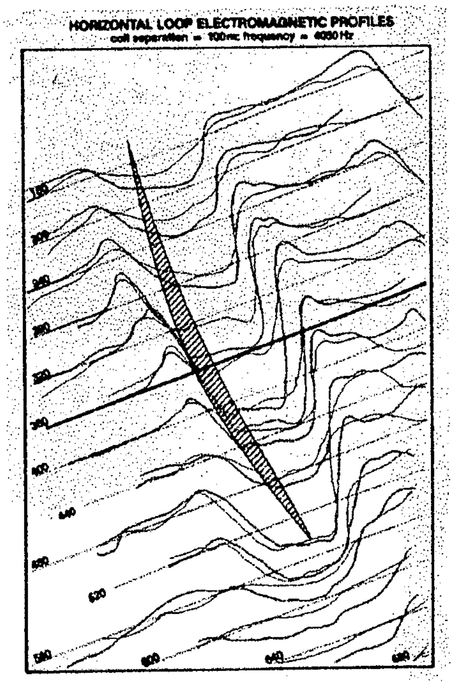
วีระ กาหลง

ฝ่ายธรณีฟิสิกส์

กองเศรษฐธรณีวิทยา

การสำรวจธรณีฟิสิกส์สำหรับการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่





โดย

วีระ กาหลง

ฝ่ายธรณีฟิสิกส์

กองเศรษฐธรณีวิทยา

มีนาคม

2544

สารบัญ

หน้า

1. บทนำ.. 1
2. เรื่องทั่วไปของการสำรวจธรณีฟิสิกส์...2-4
3. การออกแบบการสำรวจ Survey Design...5-7
4. บทบาทของการสำรวจธรณีฟิสิกส์กับธรณีวิทยาแหล่งแร่......................................8-11
5. ตัวอย่างการสำรวจธรณีฟิสิกส์ต่าง ๆ...12-

1. บทนำ

การสำรวจธรณีฟิสิกส์เป็นเทคนิควิธีการสำรวจที่ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งในงานของกองเศรษฐธรณีวิทยา ของการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่มาไม่น้อยกว่า 50 ปี แต่งานดังกล่าวโดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจแหล่งแร่ยังไม่ได้พัฒนาไปเท่าที่ควร อาจมีสาเหตุมาจากหลายประการส่วนที่เป็นสิ่งสำคัญคือ ขาดความเข้าใจในความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวิชาทางธรณีฟิสิกส์ที่จะเอื้ออำนวยให้เกิดประโยชน์แก่การสำรวจแหล่งแร่ อีกส่วนหนึ่งการจัดซื้อจัดหาเครื่องมือสำรวจมีค่าใช้จ่ายสูง การพัฒนาบุคลากรของฝ่ายให้สามารถดำเนินการสำรวจได้อย่างเป็นขั้นเป็นตอนถือเป็นเรื่องความจำเป็นอย่างสูง การเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจแก่บุคคลที่เกี่ยวข้องถือเป็นประเด็นที่เป็นเนื้อหาสาระของการอบรมเรื่อง “เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่” ในครั้งนี้

ฝ่ายธรณีฟิสิกส์ ในฐานะที่เป็นผู้ดูแลรับผิดชอบเกี่ยวกับกิจกรรมการสำรวจธรณีฟิสิกส์ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้รับการฝึกอบรมควรจะได้รับประโยชน์จากข้อมูลพื้นฐานในครั้งนี้

2. เรื่องทั่วไปของการสำรวจธรณีฟิสิกส์

การสำรวจธรณีฟิสิกส์เป็นการสำรวจที่ใช้เครื่องมือวัดค่าต่าง ๆ ที่มีความไวสูงมาก โดยจะทำการวัดที่พื้นผิวใด ๆ อย่างมีระบบ ค่าที่ทำการวัดเมื่อผ่านกระบวนการประมวลผลที่ถูกต้องและเหมาะสมแล้ว สามารถนำมาใช้ประกอบกับการสำรวจธรณีวิทยาที่จะสามารถแสดงผลการวิเคราห์แปลความหมายที่สามารถบ่งบอกถึงมวลสารที่เป็นสาเหตุของลักษณะสัญญาณผิดปกติภายใต้พื้นผิวที่ระดับตื้นจนถึงระดับลึกนับเป็นร้อยเมตรหรือกิโลเมตร โดยไม่ต้องมีการทำลายชั้นดินหรือชั้นหินนั้น

2.1 ชนิดของการสำรวจธรณีฟิสิกส์ (Classification of Geophysical Surveys) แบ่งตามลักษณะพื้นที่สำรวจ

- Regional Geophysics
  a) Airborne geophysics
  b) Reconnaissance geophysics
- Semidetail Geophysics
- Detailed Geophysics

2.2 ชนิดของการสำรวจธรณีฟิสิกส์ (Classification of Geophysical Surveys) แบ่งตามเครื่องมือที่ใช้วัดค่าคุณสมบัติทางกายภาพ

1. Magnetometer Survey
2. Gravity Survey
3. Electrical Survey
4. Electromagnetic Survey
5. Seismic Survey
6. Borehole Geophysical Logging
7. Radiometric Survey

2.3 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ (Physical Properties)

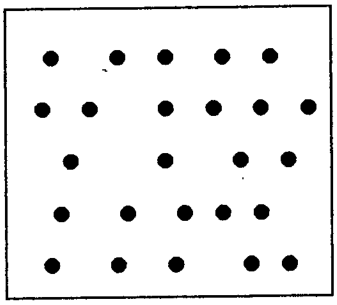
- Radioactivity
- Magnetic Susceptibility
- Density
- Electrical conductivity
- Velocity (P-wave/S-wave)
- Induced Polarization Effect

2.4 ปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ (Physical Phenomena)

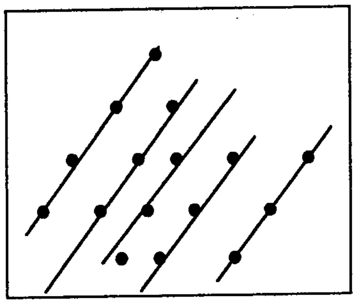
- gravitational acceleration
- magnetic field strength
- gamma ray intensity
- electromagnetic field Strength
- traveltimes of seismic wave

2.5 รูปแบบของการสำรวจธรณีฟิสิกส์ (Pattern of Geophysical Surveys)

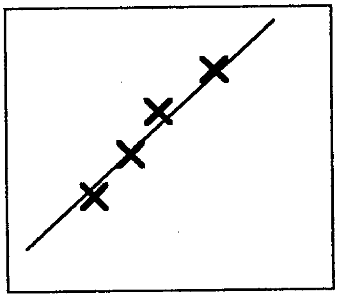
1. Random point (เช่น วิธี Gravity)
2. Line – oriented (เช่น วิธี magnetometer/IP/Resistivity)
3. Single point (เช่น วิธี Electrical Sounding)



1. Random



2. Line oriented



3. Single point (✕)

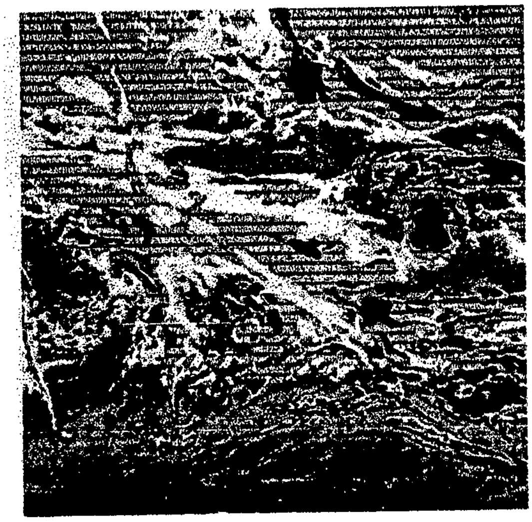
2.6 Result Presentation

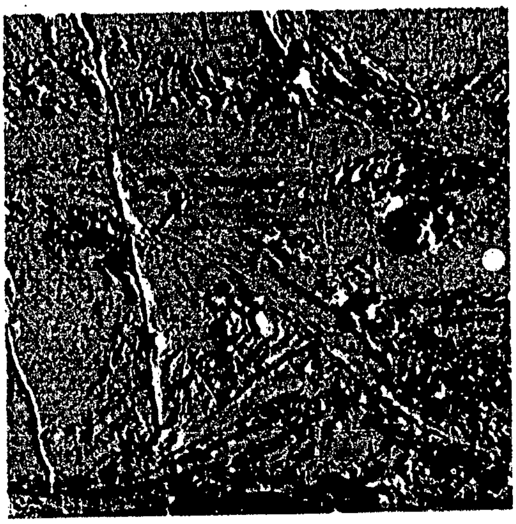
Plan map

Profile map

Depth imaging section

การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศด้วยเครื่องบิน Helicopter ทำการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกและค่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดความถี่ต่าง ๆ

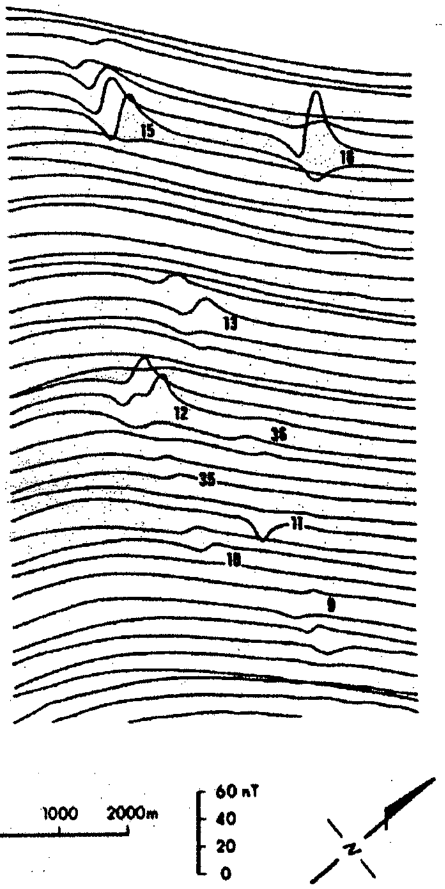




Planmap

แสดงผลการสำรวจวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก ชนิด color gridded map และ shaded relief gridded map

(a)



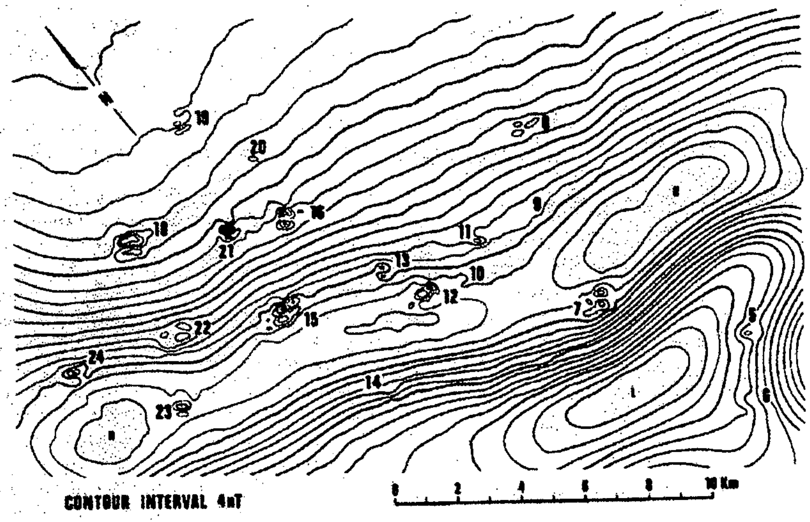
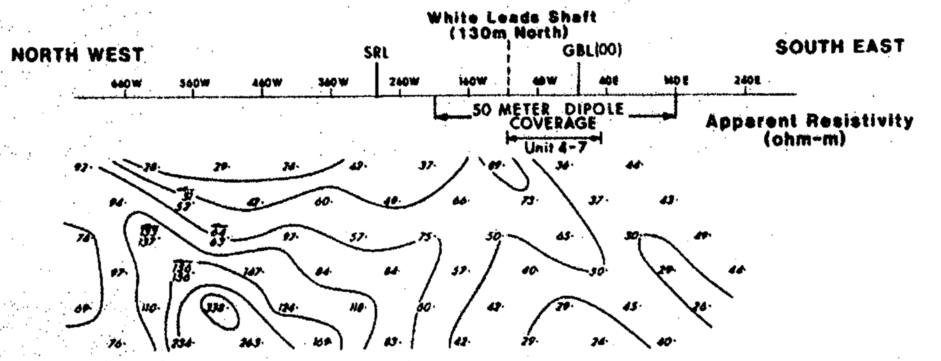


FIG. 11. Contours of airborne total magnetic intensity, Ellendale, Western Australia.

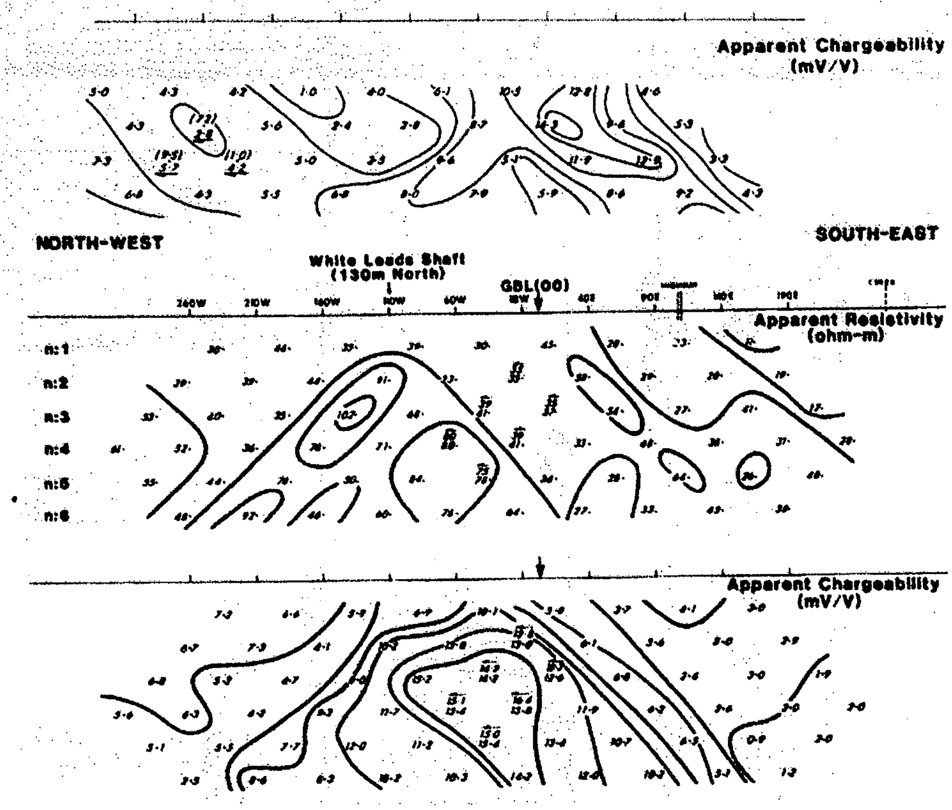
(b)

(a) **Stacked profile map**

(b) **Contour map**



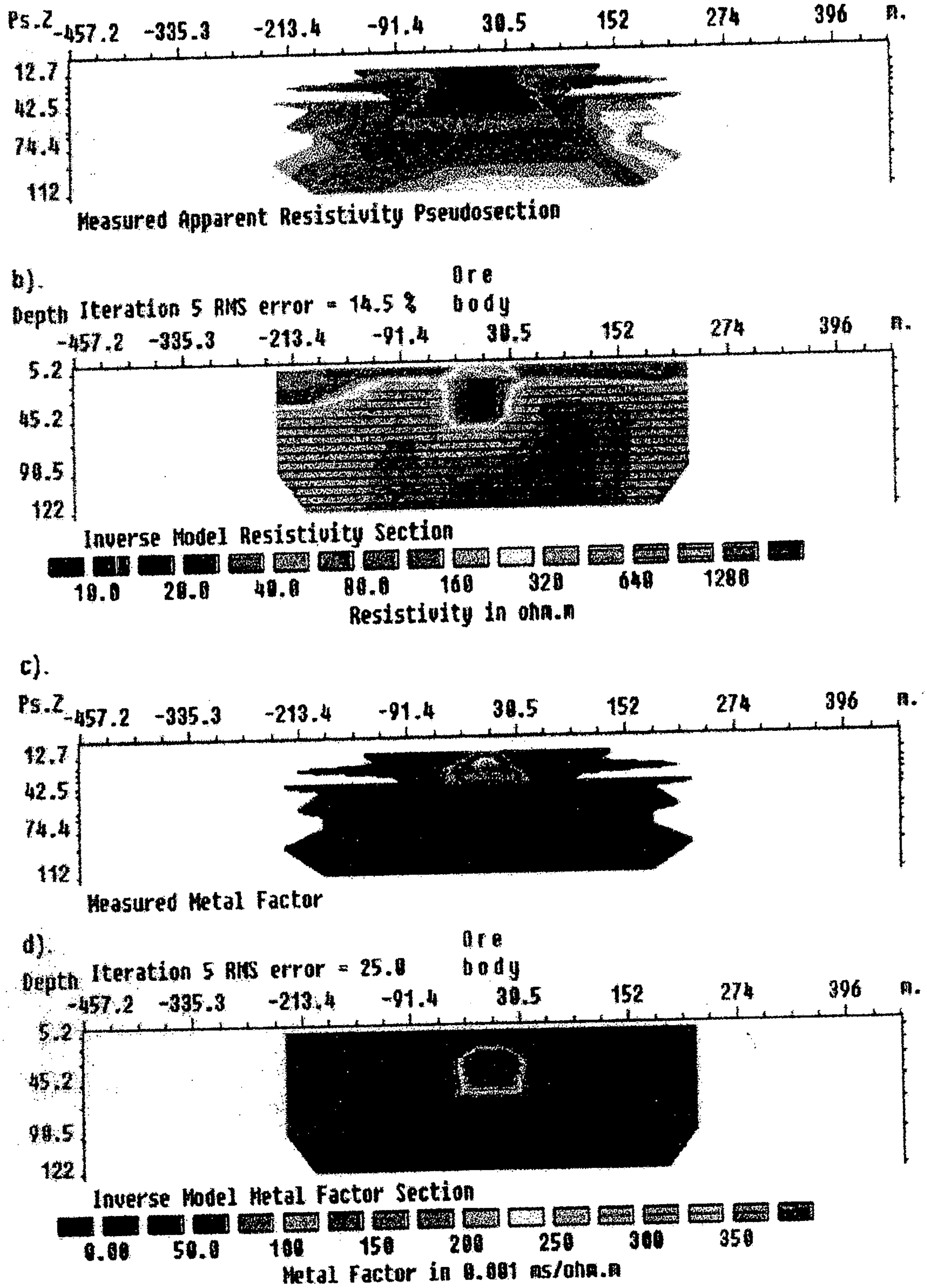
a = 100 m



a = 50 m

pseudo section map

(Induced Polarization Survey)



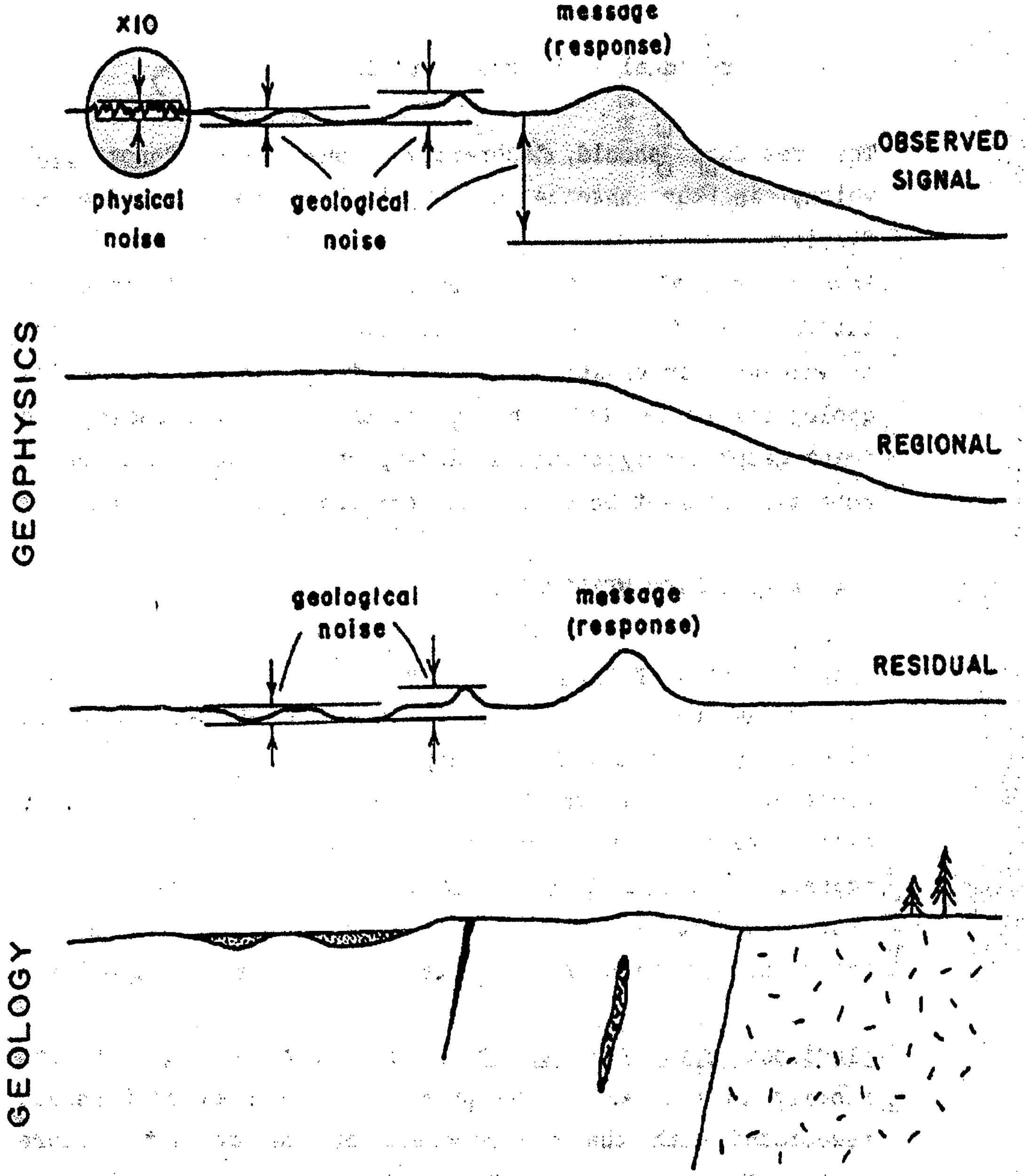
Depth image section

2.7 องค์ประกอบของข้อมูลธรณีฟิสิกส์

signal = message + noise

message เป็นสัญญาณหรือข้อมูลที่ต้องการนำไปใช้ประโยชน์ อาจเรียกว่า geophysical response ในบางกรณีอาจเรียกว่า geophysical anomaly ส่วน noise เป็นสัญญาณรบกวน อาจมีตั้งแต่

- instrument noise
- surrounding noise
- geological noise



แผนภาพแสดงองค์ประกอบของข้อมูลธรณีฟิสิกส์

3. Survey design การออกแบบการสำรวจ

3.1 Parameters ที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจธรณีฟิสิกส์

โดยทั่วไป

Geophysical Anomaly มีความสัมพันธ์กับ parameter ต่าง ๆ ดังนี้

$$GA \alpha (IF)(SF)(PPF)(GF)$$

เมื่อ

IF = inducing field

SF = size factor

PPF = physical property factor

(หรือ physical property contrast)

GF = geometric factor

ดังนั้นก่อนการสำรวจ ควรต้องมีการออกแบบการสำรวจก่อน (Presurvey : design survey) ซึ่งนอกจากจะคำนึงถึง geophysical technique (ไม่ว่าจะเป็นแบบ single หรือ multiple techniques) ควรมีคำตอบสำหรับคำต่อไปนี้

1. ความกว้างใหญ่ของพื้นที่สำรวจ
2. Line orientation (Line direction)
3. Line spacing
4. Data spacing
5. Equipment configuration
6. Optimal budget

3.2 การประยุกต์ใช้วิธีการสำรวจธรณีฟิสิกส์

ในการสำรวจแร่โดยทั่วไปมักมีความประสงค์จะใช้วิธีการสำรวจธรณีฟิสิกส์ในการค้นหาแหล่งแร่โดยตรง ซึ่งโดยทั่วไปมักจะทำได้ยากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของแหล่งแร่ที่ต้องการค้นหา รวมทั้งสภาวะแวดล้อมทางธรณีวิทยา อาจกล่าวได้ว่าความสามารถของการสำรวจด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์มีเพียง 2 ชนิดเท่านั้น คือ

1. <u>การค้นหาแหล่งแร่ได้โดยตรง (Direct Orebody Detection)</u>

สามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ geophysical anomaly มีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณสมบัติทางกายภาพของแหล่งแร่ เช่น ค่า gravity high ที่มีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นของแร่ เช่น barite หรือ lead-zinc sulphide หรือค่า magnetic anomalies ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับ magnetite content ของแหล่งแร่เหล็กบางชนิด

2. <u>การค้นหาแหล่งแร่โดยอ้อม (Indirect Orebody Detection)</u>

เกิดขึ้นเมื่อ geophysical anomalies มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพของแร่ที่เป็นเพื่อนแร่กับแร่ที่ต้องการค้นหา เช่น

① IP anomalies ของ เหล็ก sulphide mineralization ที่สัมพันธ์กับแร่ basemetal หรือแร่ทองคำ

② magnetic anomalies ที่มีความสัมพันธ์กับ magnetite content ในแหล่ง chromium-nickel-platinum deposits

③ EM anomalies ที่เกิดจาก high conductivity ของ graphite ที่มีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่ Uranium

<u>ศัพท์บางคำที่น่าสนใจ ที่บางคนไม่อยากสนใจ *</u>

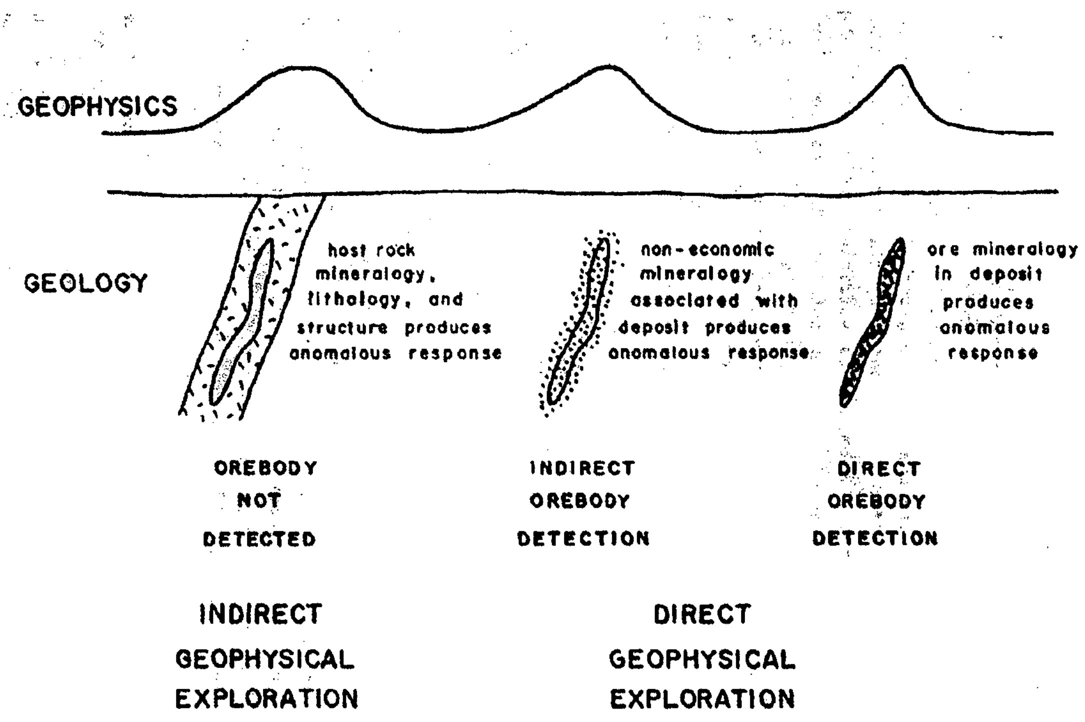
① Penetration หรือ depth of investigation หมายถึง maximum distance วัดจากพื้นผิวที่ทำการวัดจนถึง target body ที่มี anomalous physical property

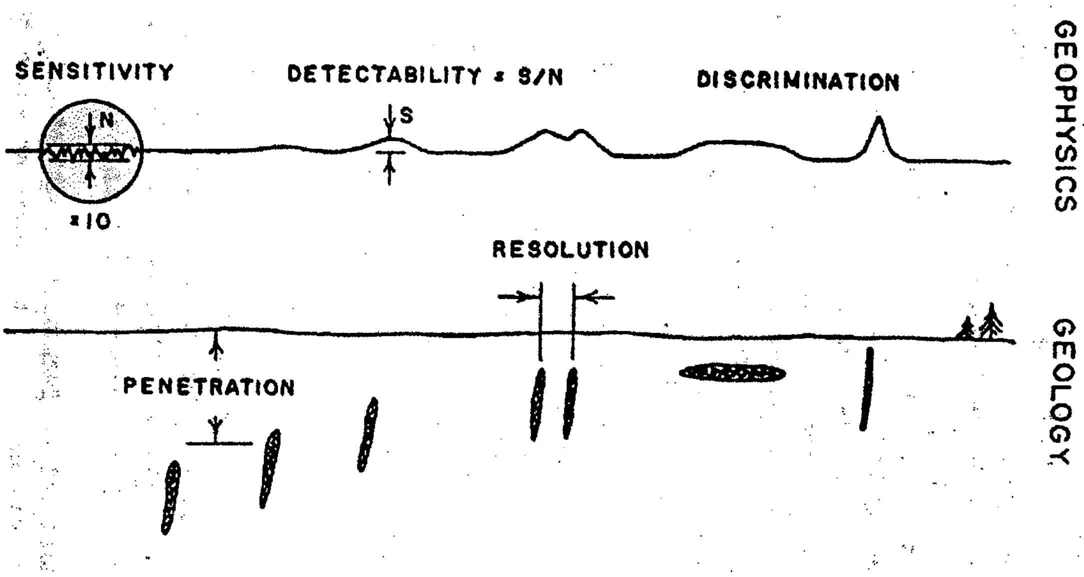
② Sensitivity มีความสัมพันธ์กับสัญญาณรบกวนในวิธีทางธรณีฟิสิกส์ กล่าวคือ ยิ่งมีสัญญาณรบกวนน้อยเท่าใด จะมี sensitivity สูงขึ้นเท่านั้น

③ Detectability คือ signal/noise ratio เมื่อใช้วิธีการสำรวจเฉพาะอย่าง เช่น anomalous response บางชนิดอาจเกิดจาก ore body แล้วแต่ยังมีขนาดของสัญญาณรบกวนสูงอยู่ เช่น เกิดจาก geological noise ที่มีระดับสูง อาจแก้ไขได้โดยเช่น เพิ่มกำลังของการส่งสัญญาณ อาจเพิ่มความสามารถในการตรวจจับได้

④ Resolution ความสามารถของ geophysical technique ที่จะสามารถแยกแยะความแตกต่างของ orebody ที่เกิดอยู่ใกล้กัน เช่นการใช้ filter technique หรือการลดระยะ transmitter-receiver

⑤ Discrimination ความสามารถเมื่อใช้วิธีทางธรณีฟิสิกส์แล้วสามารถแสดงความแตกต่างของการวางตัวของ orebody





การสำรวจหาแหล่งแร่ด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์และ parameters ที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 1 แสดงการประยุกต์ใช้เครื่องมือสำรวจธรณีฟิสิกส์สำหรับงานธรณีวิทยาแหล่งแร่

	Method (A)Active (P) Passive	Parameter Measured: Designation	Parameter Measured: Unit	Characterictic Physical Property	สาเหตุของการเกิด anomalies
ELECTRICAL	RESISTIVITY (A)	Apparent resistivity	Ω-m	Resistivity Conductivity	Conductive veins,sedimentary layers, volcanic intrusions, shear zones, faults, weatherings, hot waters
ELECTRICAL	INDUCED POLARIZATION (A)	Time domain:chargeability polarizability Frequencydomain:frequency effect Phase domain: phase shift	ms pfe pfe mr	Ionic-electronic Over Voltage	Conductive mineralizations: disseminated or massive graphite, sulfides, clay
ELECTRICAL	SELF POTENTIAL (P)	Natural potential	mV	Conductivity Oxydability	Massive conductive ores Graphite Electro-filtration Faults
ELECTRICAL	MISE-A-LA-MaSSE (A)	Applied potential	mV	Conductivity	Extension of previously located, Conductive orebodies
ELECTRICAL	TELLURIC (P)	Relative ellipse area Ratios-apparent resistivity	Ω-m	Conductance	Basin and Range studies Conductance of sedimentary series Salt domes, geothemal
ELECTRICAL	MAGNETOTELLURIC (P)MT-AMT (A)CS-AMT	Apparent impedance (resistivity and phase)	Ω-m degrees	Resistivity Conductivity	Conductive veins, sedimentary Layers, shear zones, faults, Weatherings, resistive basements, Bedded ores
ELECTRICAL	ELECTROMAGNETIC (A)	Phase difference Tilt angle Amplitude ratio Sampling decay curve induced in receiving coil by eddy currents In-phase, Out-of-phase components	degrees Ω-m δt	Electrical conductivity	Conductive meneralizations Surficial conductors Shear zones
	MAGNETIC (P)	Earth magnetic field Vertical component A. Total intensity Horizontal gradient Vertical gradient	$1\gamma = 10^{-5}$ gauss	Magnetic susceptibility	Contrasts of magnetization Magnetite content of the materials
	GRAVITY (P)	Gravity field	Miligal (1 gal = 1 cm/s^2)	Density	Deposits of heavy ores Salt domess (light) Basement rocks
	RADIOACTIVITY (P)	Intensity and spectral composition of gamma rays	cps	Radioactivity	Radioactive elements Uranium-Thorium-K_{40}
SEISMIC	REFRACTION (A) REFLECTION (A)	Traveling time of seismic waves	Milliseconds Feet per second	Seismic wave velocity Dynamic modulus	Contrasts of velocity: Markers at variable depth Fissured rocks
	THERMOMETRY (P)	Temperature	•C	Geothermal gradient and temperture	Abnormal flux of heat Thermal inertia of rocks

4. บทบาทของธรณีฟิสิกส์กับการสำรวจแหล่งแร่

โดยที่มีความเชื่อกันว่าประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรแร่ในด้านต่าง ๆ ตั้งแต่ทรัพยากรดิน น้ำบาดาล ปิโตรเลียมรวมทั้งแหล่งแร่ชนิดต่าง ๆ มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งถ้านับถอยหลังไปประมาณ 50 ปี คงเคยได้ยินกันว่าการดำเนินการกิจกรรมเหมืองแร่มักไม่จำเป็นจะต้องใช้วิชาการใด ๆ ในการสำรวจแร่ เนื่องจากความอุดมสมบูรณ์ของแร่ อีกทั้งยังไม่ลึกมากเกินไปเกินที่จะไขว่คว้า เนื่องจากอยู่ในระดับตื้น อีกทั้งยังเห็นว่าเป็นความสิ้นเปลืองทั้งเวลาและเงินลงทุน

แม้ว่าเวลาจะผ่านไปหลายสิบปีแล้วก็ตาม และถึงแม้ว่าจะมีความก้าวไกลในเทคโนโลยีการผลิตแร่ในอุตสาหกรรมแหล่งแร่แล้วก็ตาม แต่ยังขาดการผลักดันจากผู้เกี่ยวข้องและนโยบายแห่งชาติในอันที่จะเสริมสร้างความแข็งแกร่งในการพัฒนาบุคลากรในด้านการสำรวจแหล่งแร่ โดยเฉพาะในแนวทางการพัฒนาการสำรวจธรณีฟิสิกส์ ซึ่งหมายถึงงบประมาณในการลงทุนที่สูง โดยเฉพาะการจัดซื้อเครื่องมือสำรวจและการพัฒนาบุคลากรให้มีความสามารถและประสิทธิภาพโดยเร็ว ทั้งยังมีความเชื่อว่ายังมีแหล่งทรัพยากรแร่ยังคงหลงเหลืออีกเป็นจำนวนมากที่รอการสำรวจในระดับลึก ถึงแม้จะมีการลงทุนในเบื้องแรกค่อนข้างสูง แต่ก็ควรได้รับการสนองตอบจาก**เจ้าหน้าที่ระดับสูง** ในการสำรวจเพื่อนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้อย่างเหมาะสมโดยใช้วิทยาการที่ก้าวไกลซึ่งยังมีอีกเป็นจำนวนมากที่หลายคนอาจจะไม่เชื่อว่าได้มีการนำมาใช้แล้วจะเกิดความสำเร็จ

การทำเหมืองแร่ในระดับลึกมีอยู่น้อยแห่งในประเทศไทย ซึ่งกำลังส่อเค้าว่าจะหาปริมาณแหล่งแร่เพิ่มเติมได้ยากขึ้นทุกที ถ้ายังคงใช้เทคโนโลยีแบบเดิม การทำเหมืองอาจประสบความล้มเหลวอย่างหลีกเลี่ยงมิได้

การสำรวจแหล่งแร่โดยเฉพาะชนิดสายแร่มิใช่เป็นของง่าย โดยเฉพาะแหล่งแรกที่มีการเกิดแทรกตัวเป็นสายแร่ แม้ว่าจะอยู่ไม่ลึกจากผิวดินก็ตาม แต่มักเป็นสิ่งที่มองไม่เห็น การทำเหมืองแร่ในเมืองไทยปัจจุบันยังไม่นิยมการสำรวจเบื้องต้น มักนิยมการทำเหมืองไปสำรวจไปจะได้กำไรทันตาเห็นก็ต่อเมื่อพบแร่และขายได้ทันที แต่การทำเหมืองโดยไม่ทราบปริมาณแร่สำรองที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงเป็นการเสี่ยงต่อการลงทุนอย่างมาก การลงทุนจัดหาเครื่องมือเครื่องจักรมากนักก็ไม่ได้ เกรงว่าปริมาณแร่ที่ขุดขึ้นมามีมูลค่าน้อยกว่าที่ได้ลงทุนไป ลงทุนน้อยก็ไม่อาจจัดหาเครื่องมือทำเหมืองให้พอที่จะผลิตแร่ให้ได้กำไร ในที่สุดจำเป็นต้องใช้คนแทนเครื่องจักร เป็นวิธีที่เสี่ยงกับการขาดทุนน้อยที่สุด โดยให้ชาวบ้านเข้าไปขุดแร่ในบริเวณประทานบัตร แล้วนำไปขายให้แก่ผู้เป็นเจ้าของประทานบัตร วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับแหล่งแร่ที่มีราคาสูง เกิดอยู่ใกล้หมู่บ้านที่มีประชาชนอยู่หนาแน่นและลักษณะแหล่งแร่เป็นสายขนาดเล็กกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป บางแหล่งมีความสมบูรณ์ทางแร่สูง วิธีการทำเหมืองแบบทำไปสำรวจไป จะประสบความสำเร็จ มีกำไรมากในระยะแรก แต่ต้องขาดทุนในระยะหลัง เนื่องจากไม่ทราบทิศทางและลักษณะของสายแร่ที่แท้จริง จึงไม่สามารถวางแผนผังโครงการทำเหมืองได้ถูกต้อง

การสำรวจแหล่งแร่เบื้องต้นอาจดำเนินการตามหลักวิชาเป็นขั้นตอนดังนี้

1. การสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ครอบคลุมพื้นที่กว้างในระยะเวลาอันสั้นส่วนใหญ่ภายใน 2 อาทิตย์ ดำเนินการได้โดยใช้นักธรณีวิทยา 1 หรือ 2 คน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศและการเข้าถึงพื้นที่ เมื่อได้ผลการสำรวจแล้ว นักธรณีวิทยาอาจจะไม่แนะนำให้ทำการสำรวจอย่างใดอย่างอื่นต่อไป หรืออาจแนะนำให้สำรวจขั้นต่อไป

2. ในการสำรวจแหล่งแร่บางชนิด นักธรณีวิทยาอาจแนะนำให้สำรวจธรณีเคมีในพื้นที่ขนาดเดียวกันหรือใกล้เคียงกันโดยการวางกริด ให้มี data interval ระดับหนึ่ง การเก็บตัวอย่างดินจะไม่ใช้เวลามาก อีกทั้งค่าใช้จ่ายน้อย แต่การวิเคราะห์ตัวอย่างอาจใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูงขึ้นอีกมากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนแร่ที่ทำการวิเคราะห์ด้วย เมื่อได้แผนที่ธรณีเคมีที่มีสัญญาณบ่งบอกและมีความสัมพันธ์กับแร่หรือหินที่โผล่จะช่วยจำกัดพื้นที่การสำรวจให้แคบลง เพื่อดำเนินการสำรวจแร่ระดับรายละเอียดต่อไป

3. ถ้าผลการสำรวจธรณีเคมีได้ผลเป็นที่น่าพอใจมาก นักธรณีวิทยาอาจแนะนำให้ทำการเจาะเลยที่เดียว การเจาะสำรวจนับเป็นวิธีที่แน่นอนที่จะทราบปริมาณแร่สำรองของแหล่งแร่ แต่เนื่องจากการเจาะสำรวจจำต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมาก ทั้งยังมีอุปสรรคมากมายในการขออนุญาตทำการเจาะสำรวจ ยังมีทางเลือกอีกวิธีหนึ่งที่นักธรณีวิทยาจะแนะนำ ซึ่งก็คือ**การสำรวจธรณีฟิสิกส์** เพื่อแก้ปัญหาเฉพาะอย่าง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ค่าใช้จายค่อนข้างถูกมากเมื่อเปรียบเทียบกับการเจาะและวิธีทางธรณีฟิสิกส์สามารถทำการสำรวจได้ครอบคลุมพื้นที่กว้างในระยะเวลาอันสั้น การสำรวจธรณีฟิสิกส์เปรียบประดุจการถ่ายเอ็กซเรย์ภายใต้พื้นดินโดยใช้เครื่องวัดวัดค่าต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพของแร่หรือมวลสารภายใต้ผิวสำรวจ วิธีทางธรณีฟิสิกส์สามารถประยุกต์ใช้ทั้งการสำรวจแร่โดยตรงและการสำรวจแร่โดยอ้อม อีกทั้งยังสามารถค้นหาตรวจสอบลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างบางชนิดที่เอื้ออำนวยต่อการเกิดแหล่งแร่

การสำรวจหาแหล่งแร่อย่างกว้างขวางครอบคลุมพื้นที่ได้รวดเร็วในระยะเวลาอันสั้นซึ่งก็คือการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ ซึ่งกรมทรัพยากรธรณีได้ดำเนินการโดยว่าจ้างบริษัทที่ปรึกษาดำเนินการในระหว่างปี 2527-2532 ซึ่งผลการสำรวจคือเป็นข้อมูลในระดับ regional geophysic เป็นข้อมูลพื้นฐานในการช่วยการทำแผนที่ธรณีวิทยา ค้นหาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่อาจเอื้ออำนวยให้เกิดแหล่งแร่สามารถกำหนดพื้นที่ขนาดเล็กลง เพื่อการดำเนินการตรวจสอบภาคพื้นดิน

การสำรวจธรณีฟิสิกส์นอกจากจะใช้ค้นหาตำแหน่งแหล่งแร่บางชนิดแล้ว ยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางเชื่อมโยงระหว่างการสำรวจธรณีวิทยากับการเจาะ เนื่องจากผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ในปัจจุบันสามารถแสดงเป็นภาพ (image) ใต้ดินแสดงให้เห็นความต่อเนื่องทั้งด้านแนวระนาบและแนวดิ่ง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลหลุมเจาะที่เป็นจุด control ในพื้นที่สำรวจ จะสามารถคาดการณ์ความเป็นไปได้ภายใต้พื้นผิวอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องทำการเจาะสำรวจ

การที่จะคัดเลือกวิธีการสำรวจธรณีฟิสิกส์ใด ๆ สำหรับการสำรวจแหล่งแร่อะไร ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจธรณีวิทยา ธรณีเคมี ก่อนเลือกวิธีสำรวจจำเป็นต้องทราบลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ ชนิดของแหล่งแร่ แร่อื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่ที่กำลังค้นหา ทิศทางของสายแร่โดยประมาณ โดยทั่วไปแหล่งแร่มักมีคุณสมบัติทางกายภาพที่โดดเด่นประจำตัว ซึ่งบางครั้งอาจมีส่วนช่วยให้การสำรวจได้ผลดี คุณสมบัติดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

1. คุณสมบัติทางแม่เหล็ก เช่นพวกแหล่ง magnetite hematite pyrhotite manganese เป็นต้น
2. คุณสมบัติความถ่วงจำเพาะ โดยเฉพาะแร่ที่มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าหินโดยทั่วไป ตั้งแต่ 2.0-2.5 เช่น galena molybdenite stibnite chromite barite และ florite ทั้งนี้ให้คำนึงถึง volume ของการเกิดด้วย
3. คุณสมบัติตัวนำไฟฟ้า ได้แก่ แร่เบสเมทัล ทั่วไป
4. คุณสมบัติของแร่ที่ทำปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้ากับน้ำใต้ดิน เช่นพวกแร่ซัลไฟด์

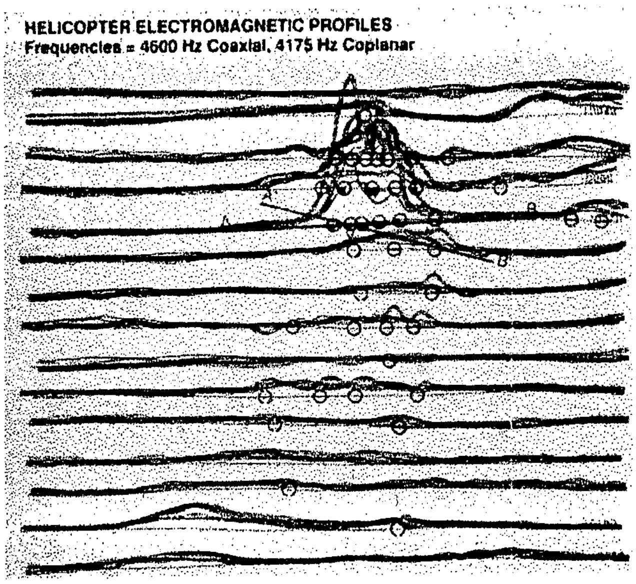
ตารางที่ 2 แสดงแนวทางการใช้ธรณีฟิสิกส์ สำหรับแหล่งแร่บางประเภท รวมทั้งข้อมูลที่อาจได้รับ

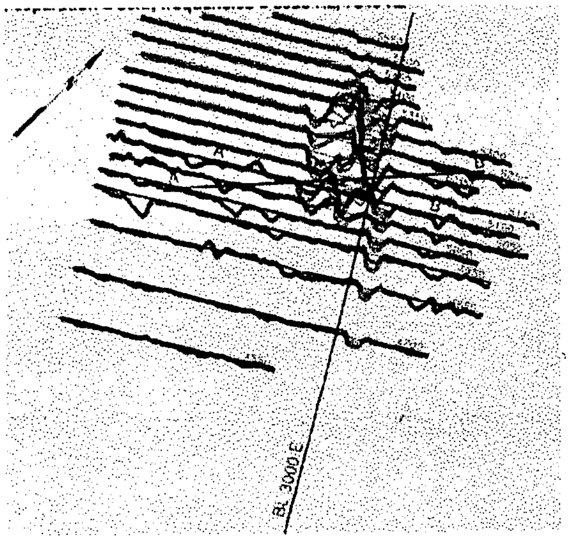
ชนิดของแหล่งแร่	วิธีการสำรวจ	ข้อมูลที่จะได้รับ
แหล่งแร่เหล็ก	Magnetometer	ปริมาณแร่สำรอง
แหล่งแร่โลหะ (massive)	Magnetometer Gravimeter Spontaneous Polarization	แนวสัมผัส ปริมาณแร่สำรอง ลักษณะของสายแร่
แหล่งแร่เบสเมทัล (ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี) (massive)	Electromagnetic Gravitymeter Spontaneous Polarization Electrical	บริเวณสายแร่ แนวและขนาดของสายแร่ บริเวณสายแร่ บริเวณแนวสัมผัส
แหล่งแร่โลหะ (ความถ่วงจำเพาะสูงกว่าหินรอบข้าง)	Gravitymeter	ขนาดของสายแร่
แหล่งแร่เบสเมทัล (disseminated)	Induced Polarization	บริเวณของแร่
แหล่งแร่ตามแนว shear หรือแนว fault	Electromagnetic	ตำแหน่งแนว shear หรือ fault
แหล่งแร่ชนิดลานแร่ หรือสะสมตัวในทางน้ำเก่า	Refraction Seismic Electrical Ground Penetrating Radar	Geometry ของกะสะ บริเวณร่องน้ำเก่า geometry ของร่องน้ำเก่า

การค้นหาทรัพยากรแร่ในอนาคต มีความจำเป็นต้องสำรวจแร่ในระดับลึกมากขึ้นทุกที มีความจำเป็นต้องใช้ประโยชน์ของการสำรวจธรณีฟิสิกส์ระดับลึก เช่นเครื่องมือ Time Domain Em เครื่องมือ Reflection Seismic การทำ Tomography ระหว่างหลุมเจาะ รวมทั้ง borehole logging ชนิดต่าง ๆ ซึ่งต้องมีการเตรียมความพร้อมของเครื่องมือสำรวจรวมทั้งการพัฒนาบุคลากร มีความจำเป็นต้องใช้การลงทุนเบื้องต้นค่อนข้างสูง ควรมีการพัฒนาบุคลากรเป็นกลุ่มหรือเป็นหมู่เหล่าพร้อมกันที่เดียว และควรให้กลับมาทำงานเฉพาะอย่างที่ได้เรียนหรือฝึกอบรมมา ในอนาคตประเทศที่จะสามารถผลิตแร่ส่งออกได้มาก ต้องประกอบด้วยสิ่งสำคัญ 4 ประการ คือ

1. ธรณีวิทยาหรือความสมบูรณ์ของแหล่งแร่
2. ลักษณะการเมืองและสิ่งแวดล้อม
3. เทคโนโลยีที่เหมาะสม
4. การตลาด

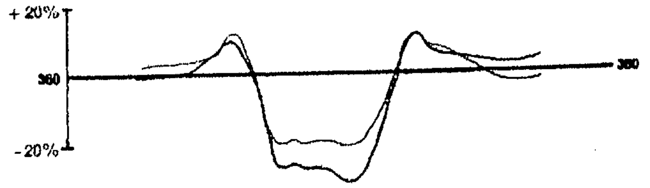
5. ตัวอย่างการสำรวจธรณีฟิสิกส์ชนิดต่าง ๆ



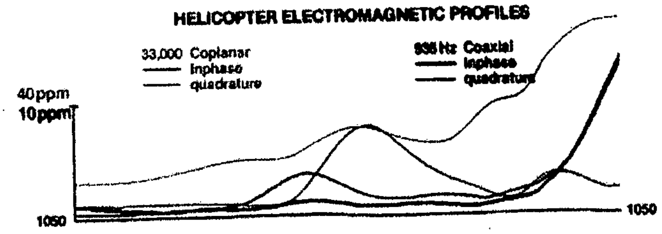


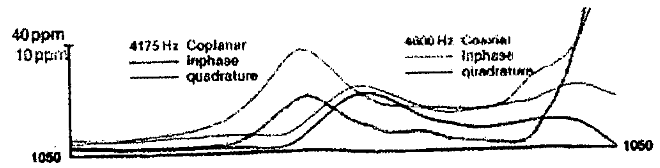
Stacked profile map แสดงผลการสำรวจ Helicopterborne Electromagnetic Survey

HORIZONTAL LOOP ELECTROMAGNETIC PROFILE
coil separation = 100m; frequency = 4060Hz

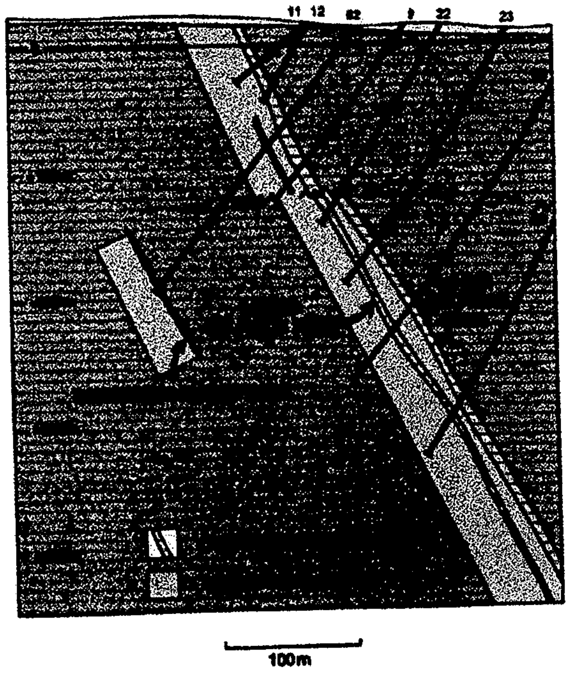


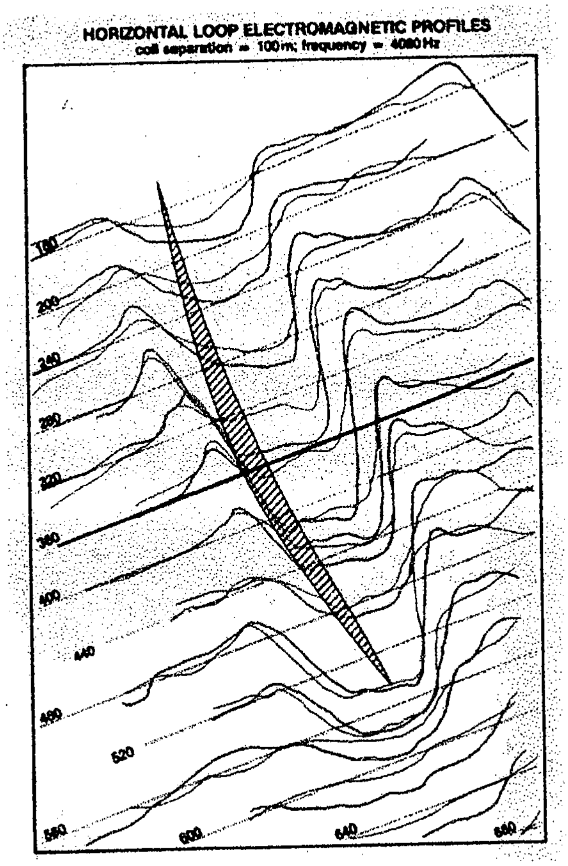
HELICOPTER ELECTROMAGNETIC PROFILES





SUNRISE DEPOSIT — CROSS-SECTION 3 + 60S





geophysical

response ของ ground EM (frequency domain) ของแร่ sulphides

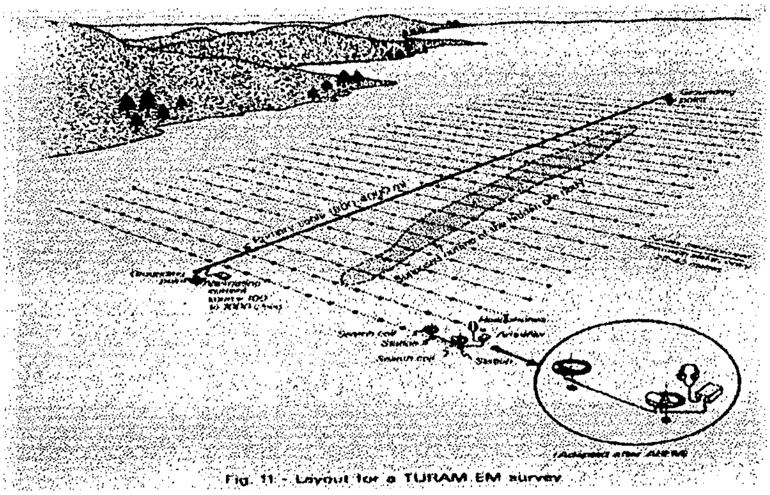


Fig. 11 - Layout for a TURAM EM survey

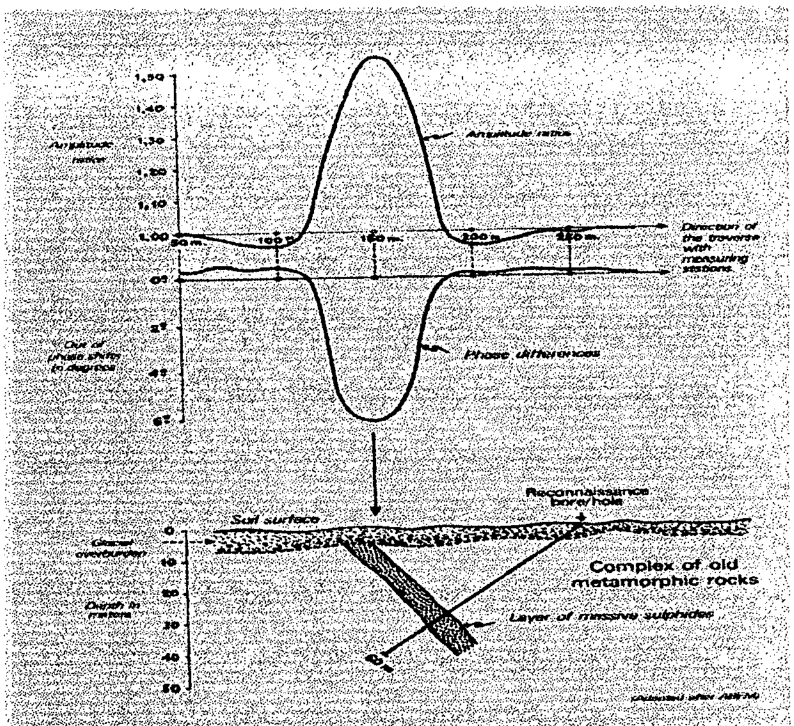


Fig. 12 - Turam profiles

Turam response ของการสำรวจแหล่งแร่

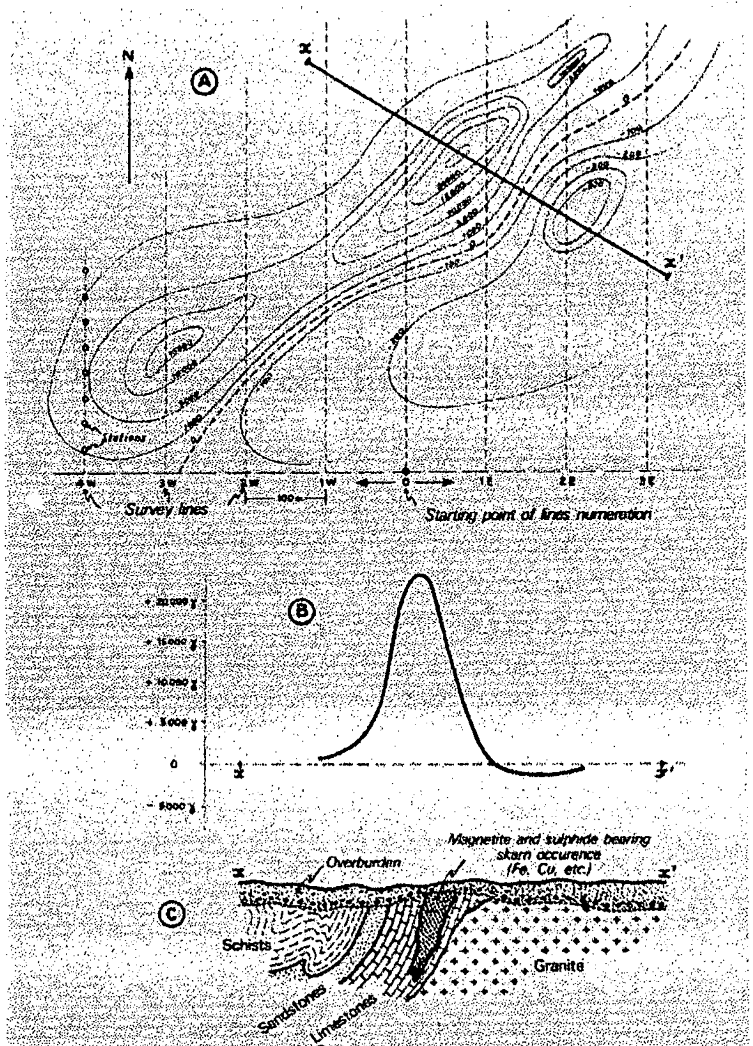
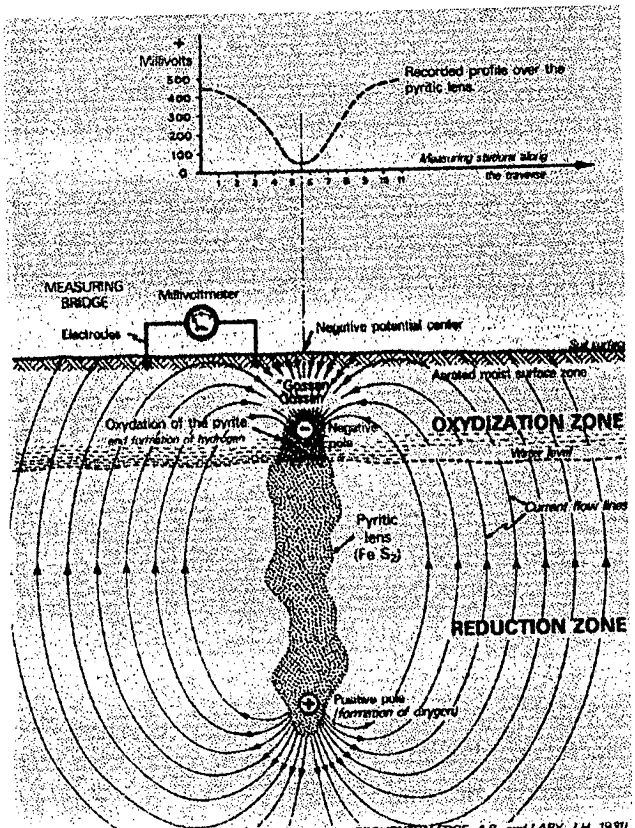


Fig. 17 - Example of a total field magnetic survey.
- Ⓐ Magnetic isoanomaly map, with values in gammas.
- Ⓑ Magnetic profile through x - x'.
- Ⓒ Geological section through x - x'.

Magnetic anomaly [illegible] magnetite

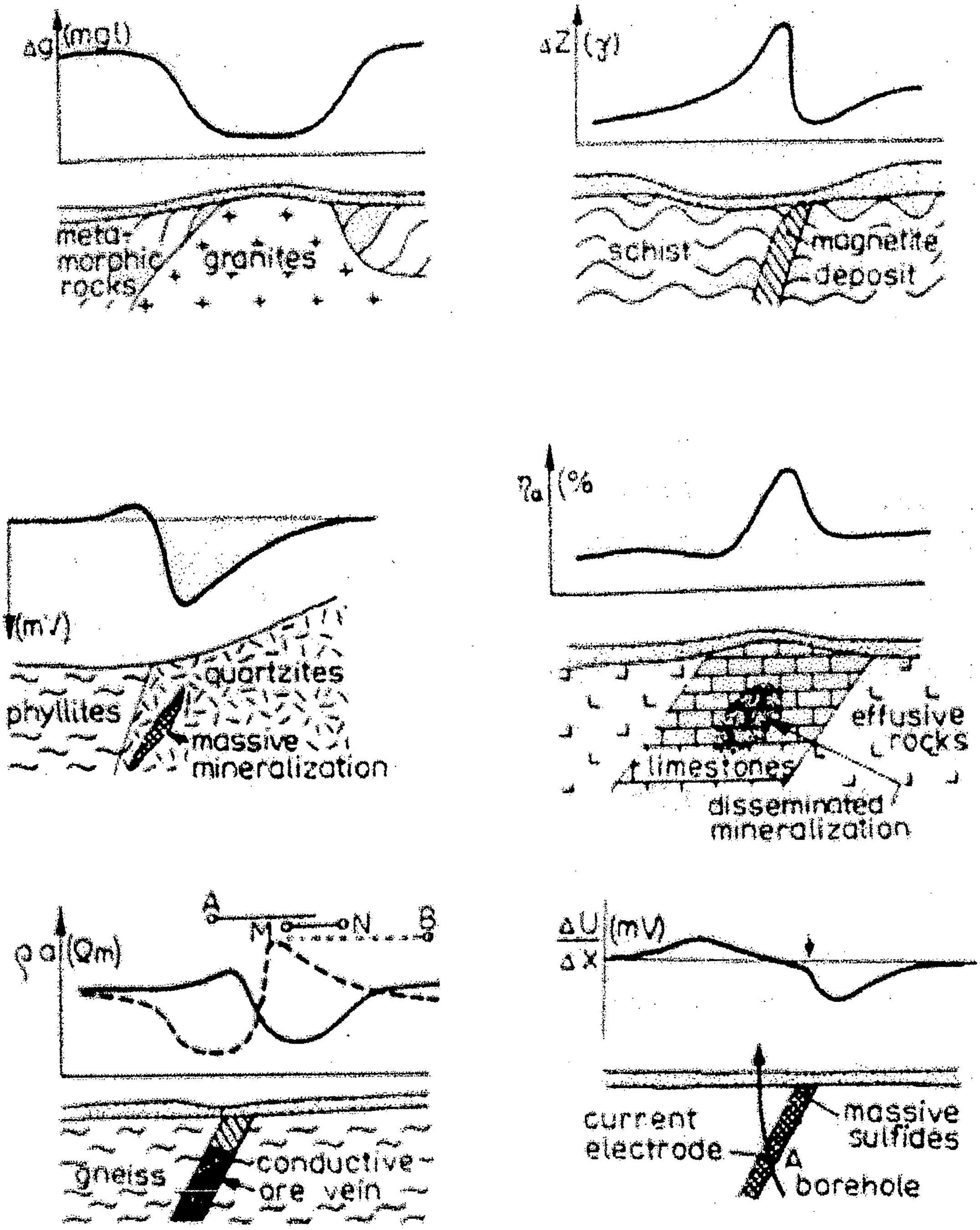


(Adapted after BROUGHTON EDGE, A.B. and LABY, J.H., 1931)

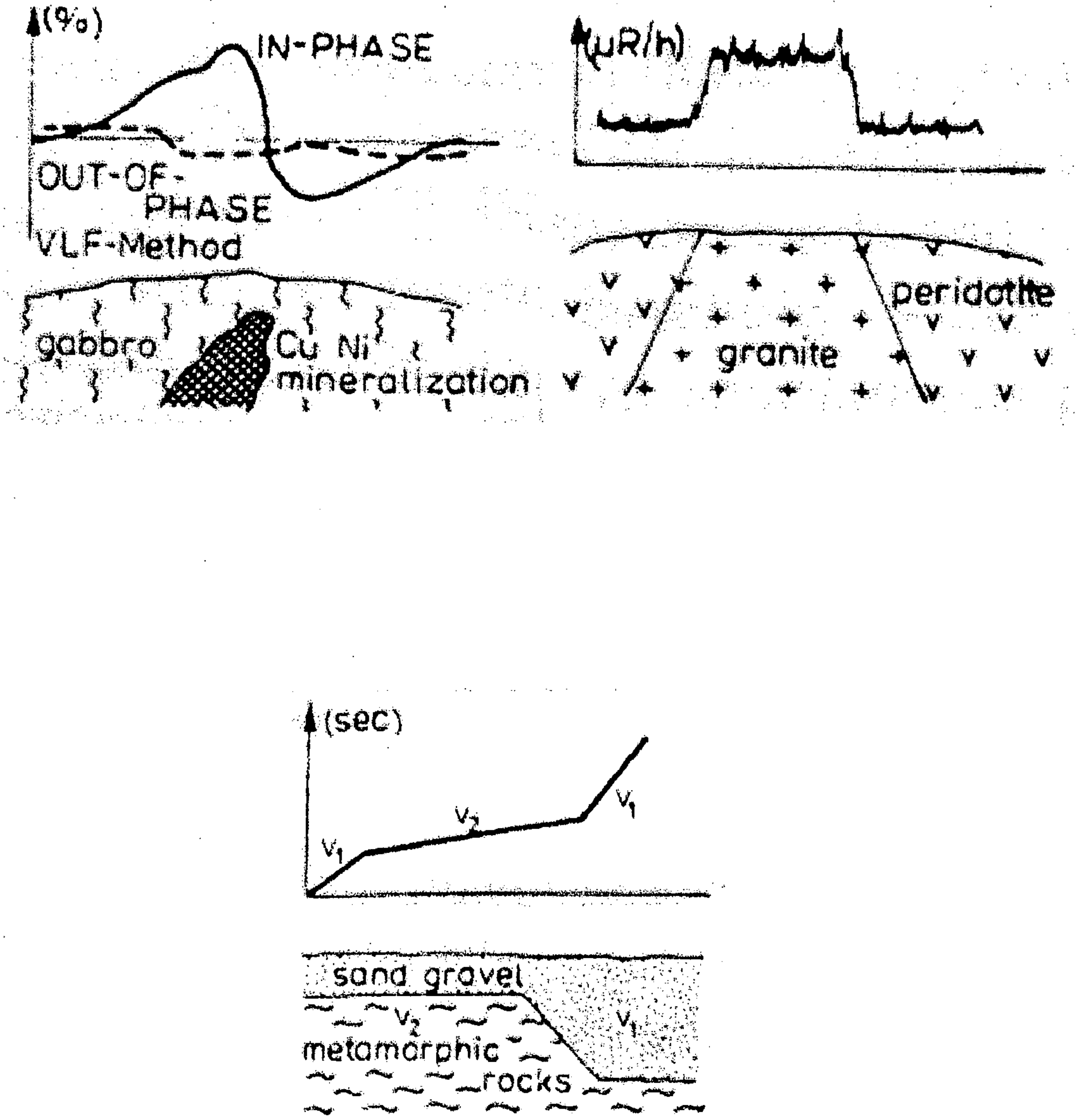
Fig. 22 - Self potential method

Oxydization phenomena of the pyritic lens produces continuous currents. The negative potential center is just above the upper portion of the lens.

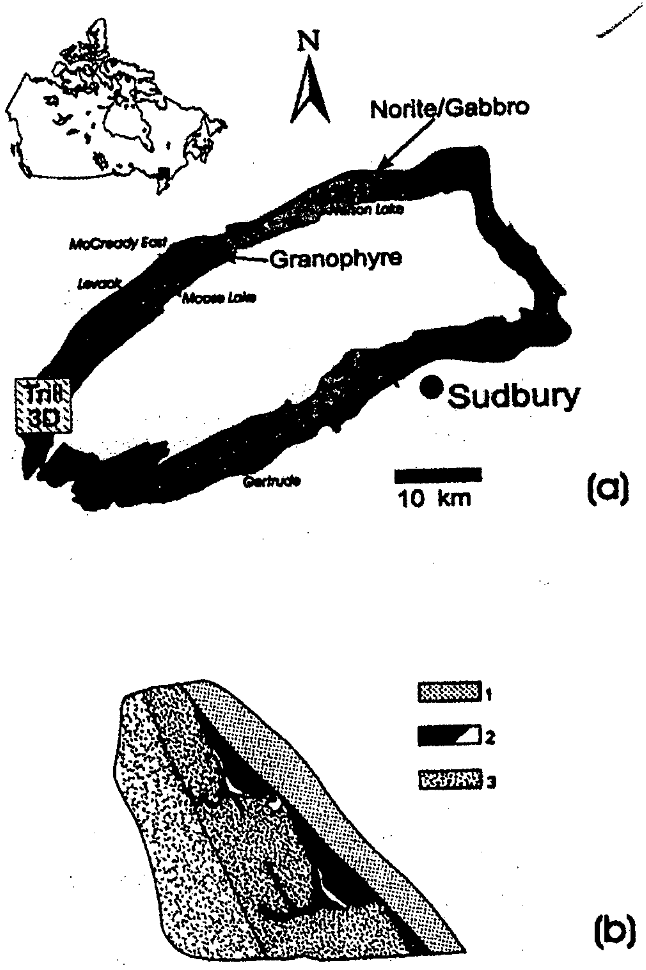
Spontaneous Polarization ของ Conductor ที่มีปฏิกิริยาทางเคมีกับชั้นน้ำบาดาล



ตัวอย่างของ geophysical responses ของการสำรวจด้วยวิธีต่าง ๆ (a)


(%)
IN-PHASE
OUT-OF-PHASE
VLF-Method
gabbro
Cu Ni mineralization
(μR/h)
peridotite
granite
(sec)
V1
V2
V1
sand gravel
V2
metamorphic rocks
V1

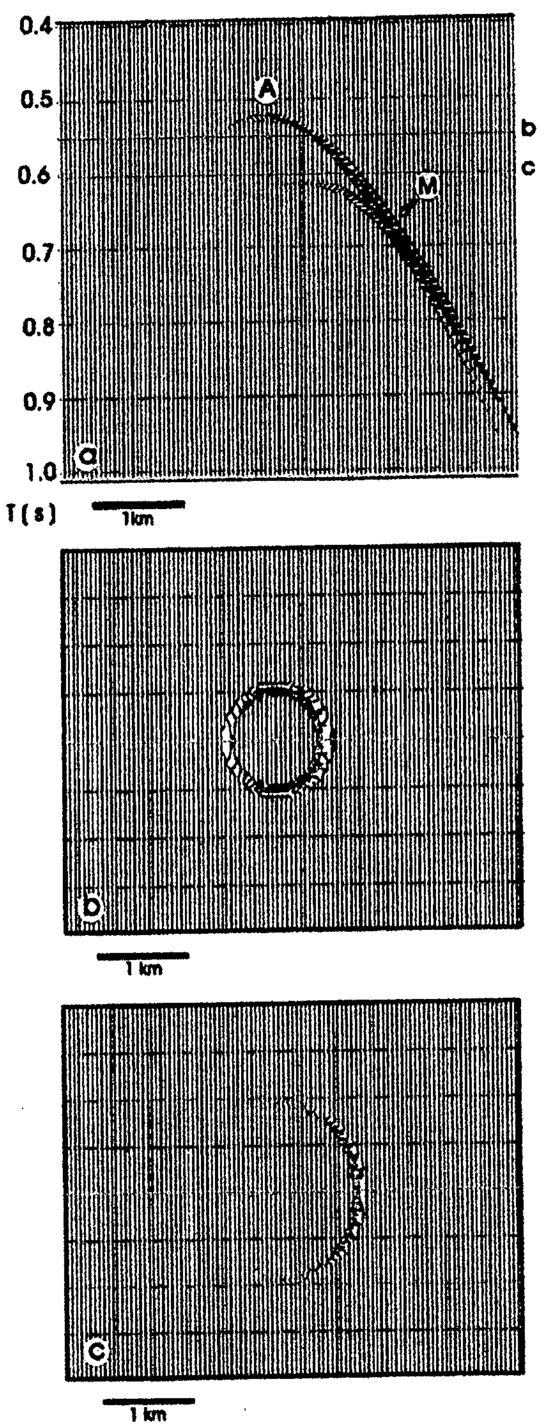
(b)



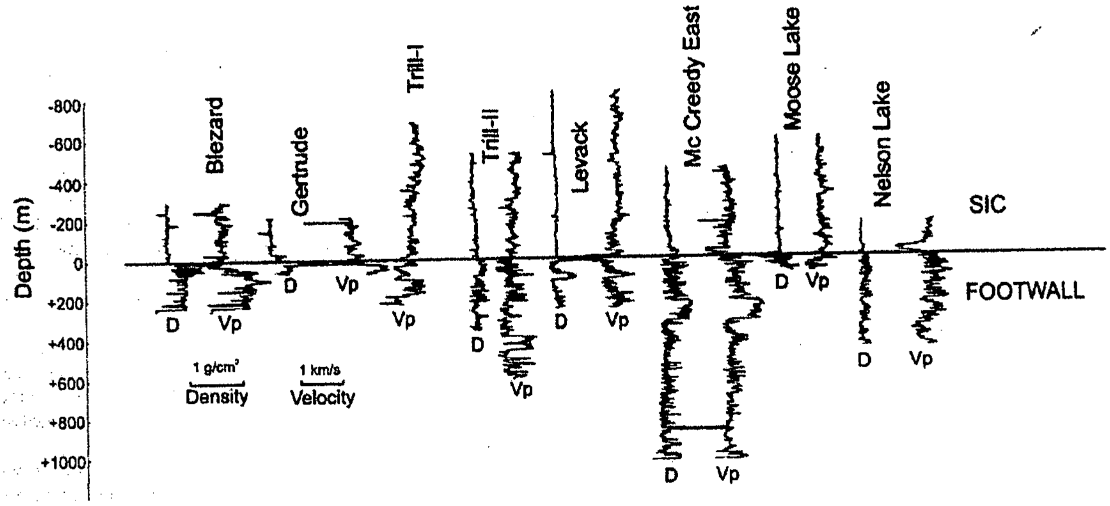
(A)

(A) - (F)

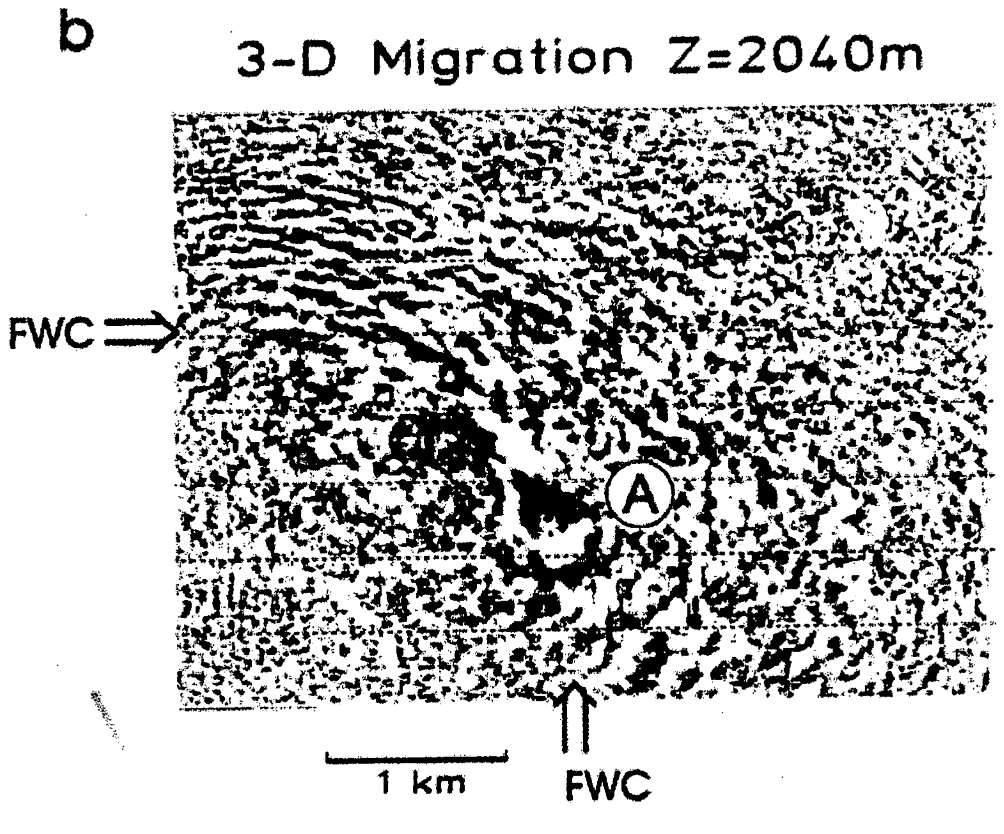
การสำรวจ 3D-seismic ใน Sudbury Basin



(B)

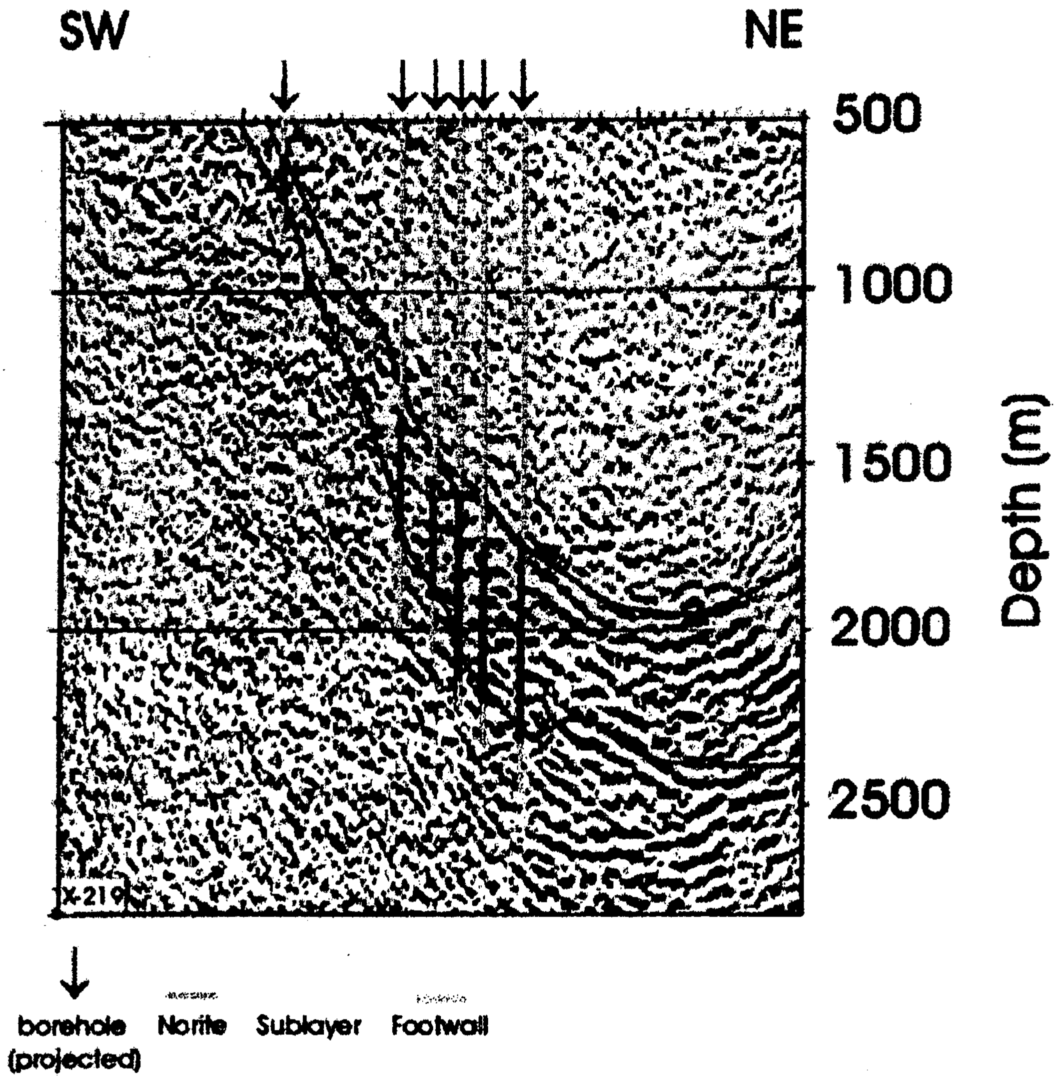


Depth (m)
-800
-600
-400
-200
0
+200
+400
+600
+800
+1000
Blezard
Gertrude
Trill-I
Trill-II
Levack
Mc Creedy East
Moose Lake
Nelson Lake
D
Vp
1 g/cm³
Density
1 km/s
Velocity
SIC
FOOTWALL



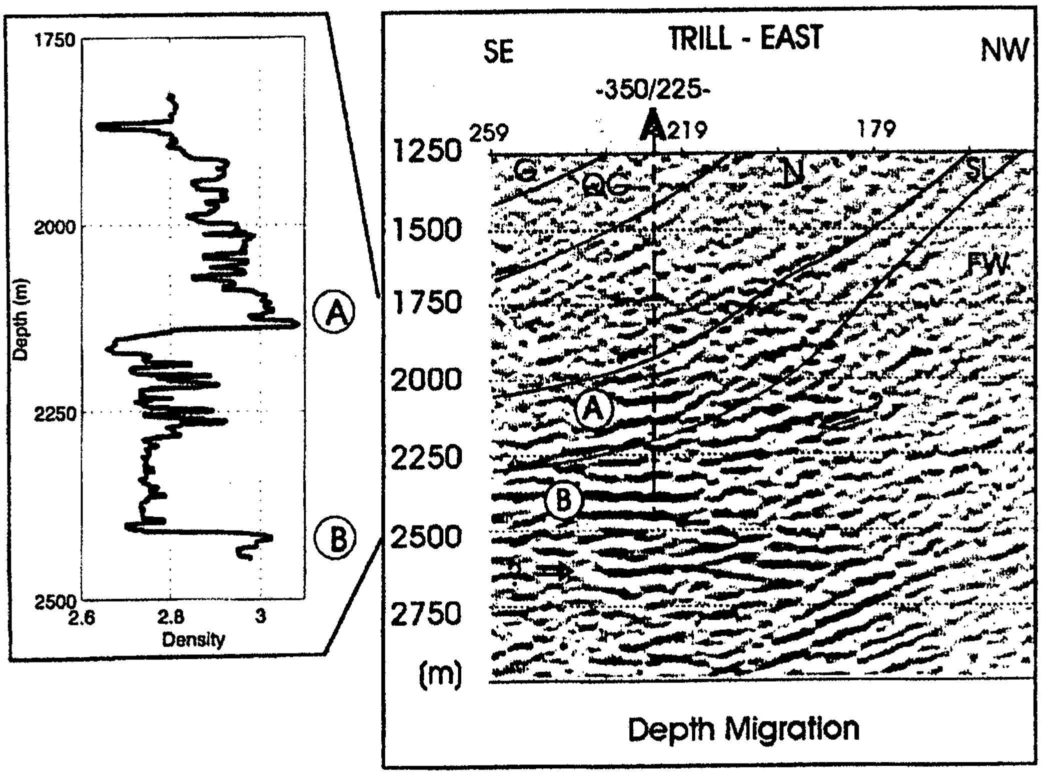
b
3-D Migration Z=2040m
FWC
A
1 km
FWC

(C)

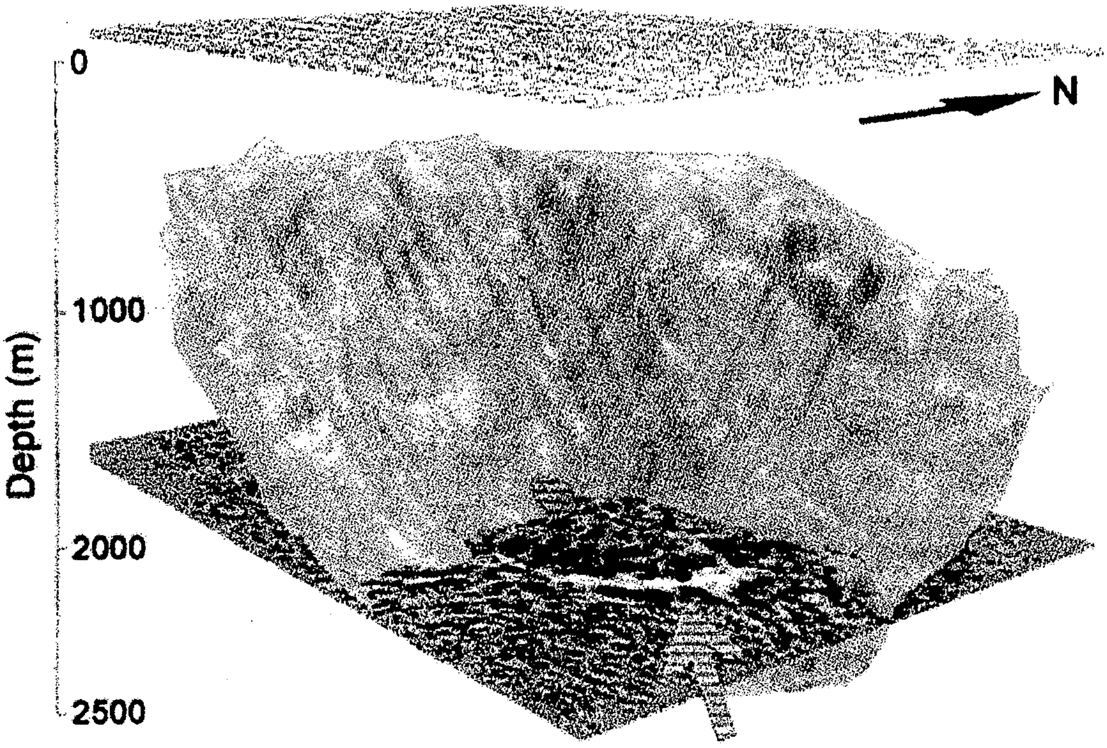

SW
NE
500
1000
1500
2000
2500
Depth (m)
X-219
borehole
(projected)
Norite
Sublayer
Footwall

(D)

3-D Seismic Exploration Technology



(E)



(F)

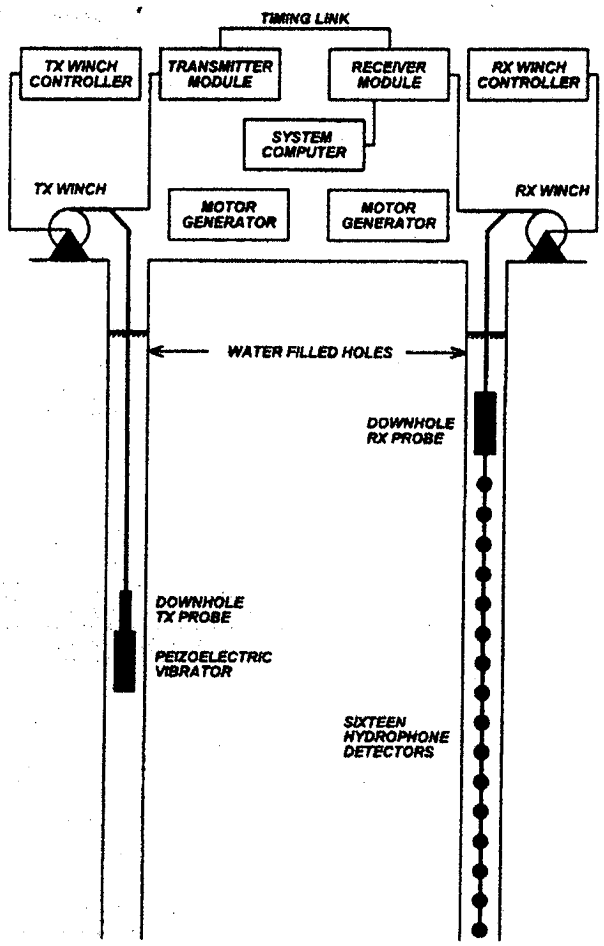
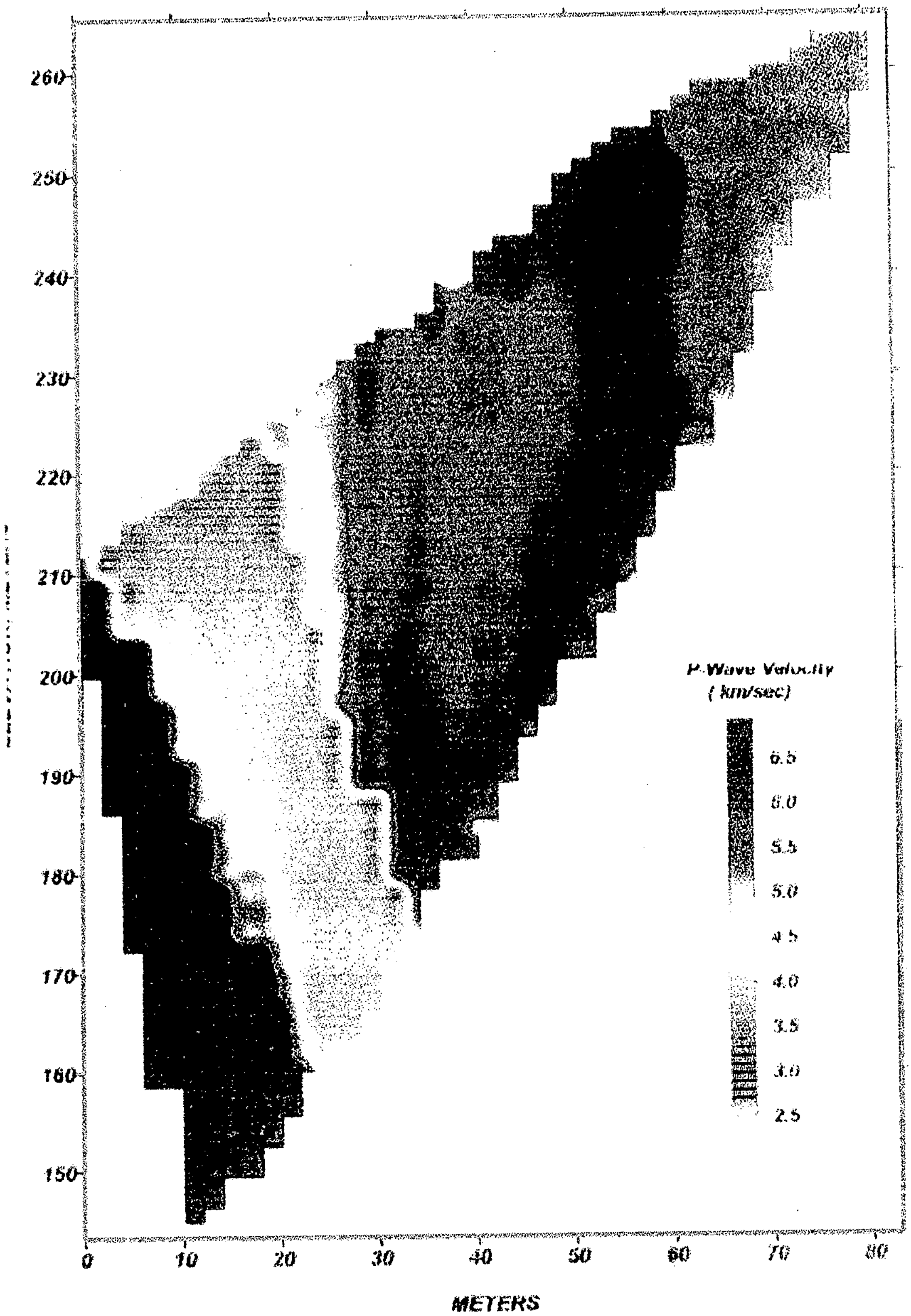


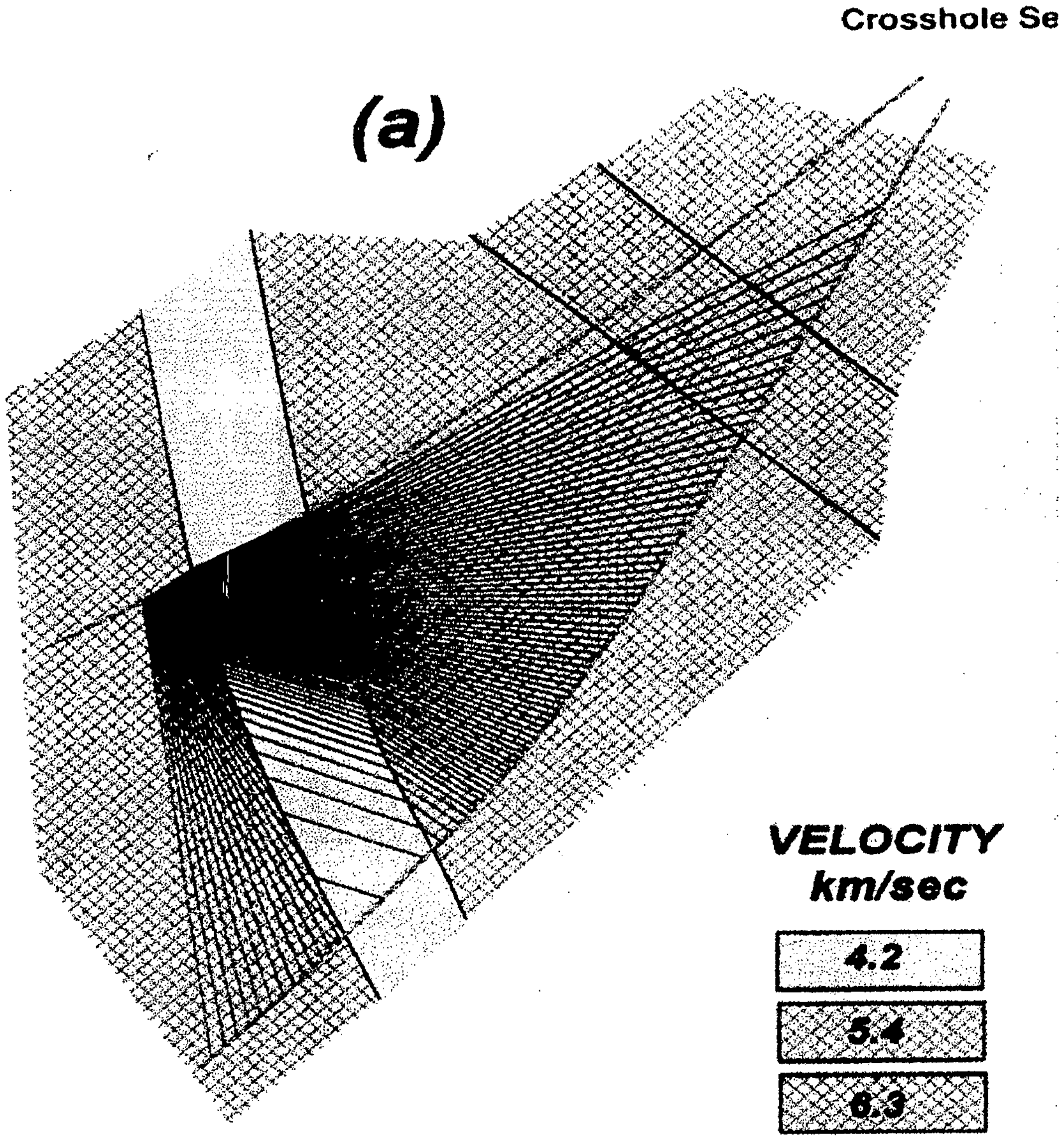
FIG. 2. Schematic of the CORRSEIS borehole seismic system.

การสำรวจหยั่งธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะเพื่อทำ Tomography

(A) ——▶ (C)


260
250
240
230
220
210
200
190
180
170
160
150
0
10
20
30
40
50
60
70
80
METERS
P-Wave Velocity
(km/sec)
6.5
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5

(B)



Cross hole tomography

(C)

เอกสารประกอบการปฏิบัติงานในภาคสนาม

"เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่"

เรื่อง

การสำรวจธรณีฟิสิกส์

โดย

อดิชาติ สุรินทร์คำ

อภิชาติ ไพยารมณ์

กองเศรษฐธรณีวิทยา

การสำรวจธรณีฟิสิกส์

อดิชาติ สุรินทร์คำ
อภิชาติ ไพยารมณ์

1. การสำรวจด้านความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity Method)

หลักการ และรูปแบบการสำรวจ

ชั้นดินชั้นหินโดยส่วนใหญ่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า คือไม่ยินยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน แต่เนื่องจากในชั้นดินชั้นหินจะมีช่องว่างขนาดเล็กอยู่ทั่วไปและมักมีสารละลายซึมแทรกอยู่ด้วย สารละลายเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจึงสามารถไหลผ่านชั้นดินชั้นหินได้ แต่กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านชั้นดินชั้นหินต่างชนิดกันได้ดีไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลาย และปริมาณของสารละลายที่ซึมแทรกอยู่ในชั้นดินชั้นหิน

จากคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นเราจึงสามารถตรวจวัดสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวที่ตำแหน่งใด ๆ ได้ โดยการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินชั้นหิน ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่า การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในแนวดิ่ง (vertical electric sounding)

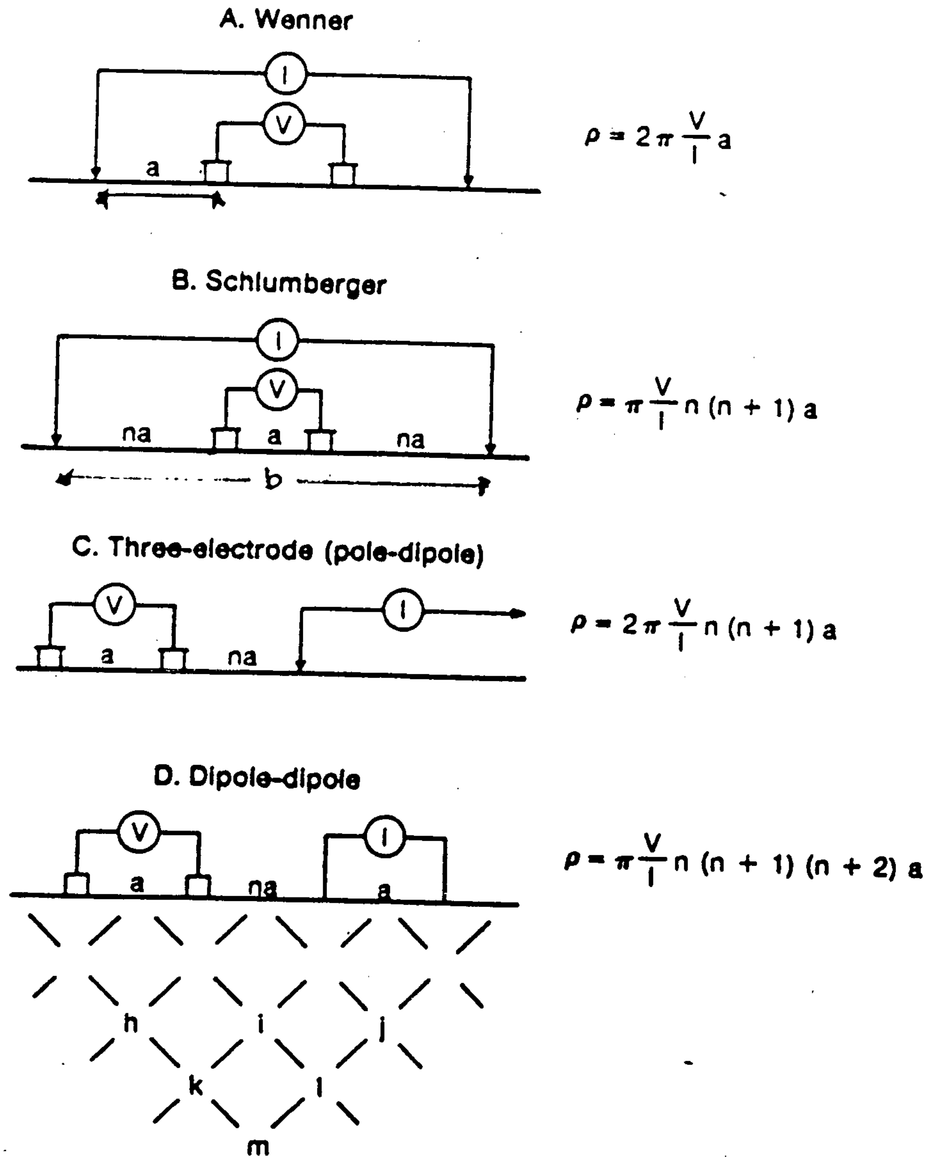
วิธีการสำรวจทำได้โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าลงในดินผ่านขั้วกระแสไฟฟ้าสองขั้ว (current electrodes, C1-C2) การไหลของกระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นในดิน ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแปรเปลี่ยนตามค่าของกระแสไฟฟ้าที่เราปล่อยลงไปในดิน และความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินชั้นหินที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถตรวจวัดได้ผ่านขั้วศักย์ไฟฟ้าสองขั้ว (potential electrodes, P1-P2)

ความลึกของเส้นทางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชั้นดินชั้นหิน แปรผันตามระยะห่างระหว่างขั้วกระแสไฟฟ้าทั้งสอง (C1-C2) ในการสำรวจโดยทั่วไปจะเริ่มจากระยะ C1-C2 เล็ก ๆ เพื่อวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินชั้นหินระดับตื้น แล้วจึงค่อย ๆ เพิ่มระยะ C1-C2 ขึ้นเพื่อวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินชั้นหินในระดับลึกลงไปจนถึงระดับที่ต้องการ

การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในแนวดิ่งมีรูปแบบแตกต่างกันมากมาย แต่ที่นิยมใช้ทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบเวนเนอร์ (Wenner configuration) และแบบชลัมเบอร์เจร์ (Schlumberger configuration)

สำหรับการสำรวจโดยทั่วไปจะวางอุปกรณ์การสำรวจแบบชลัมเบอร์เจร์ โดยระยะห่างระหว่างขั้วกระแสไฟฟ้า มีขนาดใหญ่กว่าระยะห่างระหว่างขั้วศักย์ไฟฟ้า ประมาณ 5 เท่าหรือมากกว่า ส่วนแบบ Wenner configuration จะมีระยะห่างระหว่างขั้วเท่ากันตลอด (รูปที่ 1.1)

ส่วนการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแนวราบ จะสำรวจโดยให้ระยะห่างระหว่างขั้วกระแสไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างขั้วศักย์ไฟฟ้า มีขนาดเท่ากันตลอดการสำรวจเพื่อจะได้ให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าในระดับความลึกใด ๆ ตามที่ถูกกำหนดโดยระยะห่างของขั้วกระแสไฟฟ้า หรือประมาณ 1/3 จนถึง 1/2 ของระยะห่างขั้วกระแสไฟฟ้า (b ในแบบชลัมเบอร์เจร์) หรือ 1a-1.5a ในแบบเวนเนอร์



รูปที่ 1.1 รูปแบบการวางขั้วกระแสไฟฟ้า และขั้วศักย์ไฟฟ้า

2. การสำรวจด้านแม่เหล็กไฟฟ้า (Eletromagnetic method)

การสำรวจด้านแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นการสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนผิวดิน ซึ่งเป็นผลจากที่เรามีขดลวดที่กำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิ (primary field) หรือขดลวดส่งสัญญาณ (transmitting coil; Tx) ที่กำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าบนผิวดิน และจากกฎการเหนี่ยวนำไฟฟ้า (electromagnetic induction) จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ใต้พื้นดิน และทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิ (secondary field) ไปรบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิ ค่าที่เราจะวัดคือสนามลัพธ์ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสอง เราสามารถวัดค่าดังกล่าว โดยใช้ขดลวดรับสัญญาณ (receiving coil; Rx) ที่จัดไว้อย่างเหมาะสม สนามลัพธ์จะแตกต่างไปจากสนามปฐมภูมิทั้งความเข้ม, เฟส และทิศทาง และจะเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีตัวนำไฟฟ้าที่ดีอยู่ในบริเวณนั้นหรือไม่ รูปที่ 2.1 แสดงหลักการเบื้องต้นของการสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

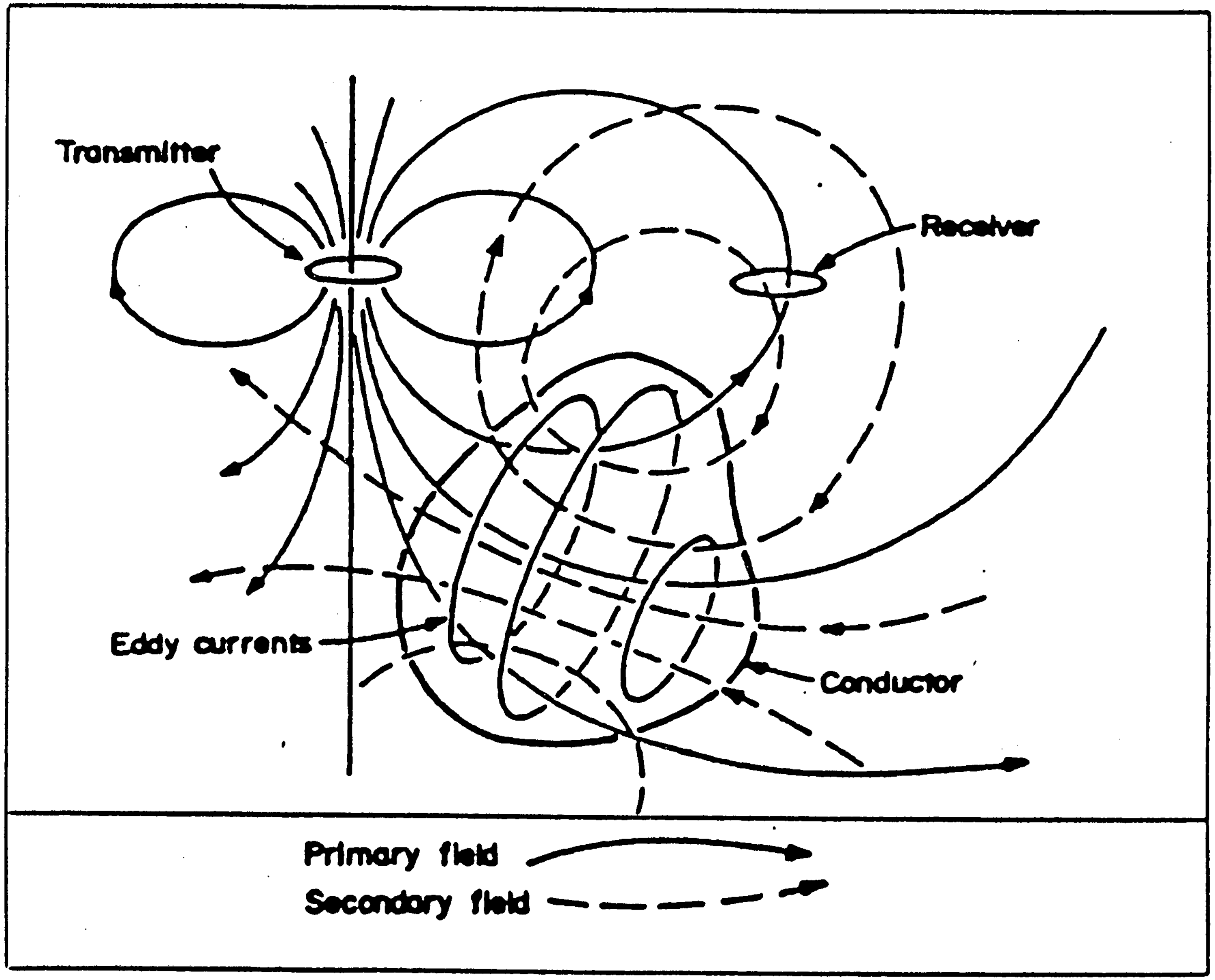
ความสัมพันธ์ค่าเฟส (Phase relation)

ในการสำรวจด้านแม่เหล็กไฟฟ้าจะวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิ ที่ก่อกำเนิดขึ้นเนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้า และมีเฟสเดียวกัน โดยเปรียบเทียบกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิค่าที่วัดได้จะอยู่ในรูปเปอร์เซนต์หรือหนึ่งส่วนในล้านส่วน (% หรือ ppm) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิ (H_P) ที่ถูกกำเนิดขึ้นจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทุติยภูมิ (H_S) ซึ่งมีเฟสล้าหลังสนามแม่เหล็กปฐมภูมิไปเท่ากับ 90^0 หรือ $\pi/2$ และทำให้กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิที่เกิดขึ้นมีเฟสล้าหลังสนามแม่เหล็กปฐมภูมิไป $\pi/2+\varnothing$ ($\varnothing$ คือคุณสมบัติของวงจรทุติยภูมิในขดลวด)

	H_P	=	$A \sin wt$
เมื่อ	H_P	=	สนามแม่เหล็กปฐมภูมิ
	w	=	$2\pi f$ (f คือค่าความถี่ของคลื่น)
	t	=	เวลา
	$\varnothing$	=	$\tan^{-1}(wL/Z)$
เมื่อ	$\varnothing$	=	คุณสมบัติของวงจรทุติยภูมิ
	L	=	ค่าความเหนี่ยวนำของตัวนำ
	Z	=	ค่าความต้านทางของตัวนำ

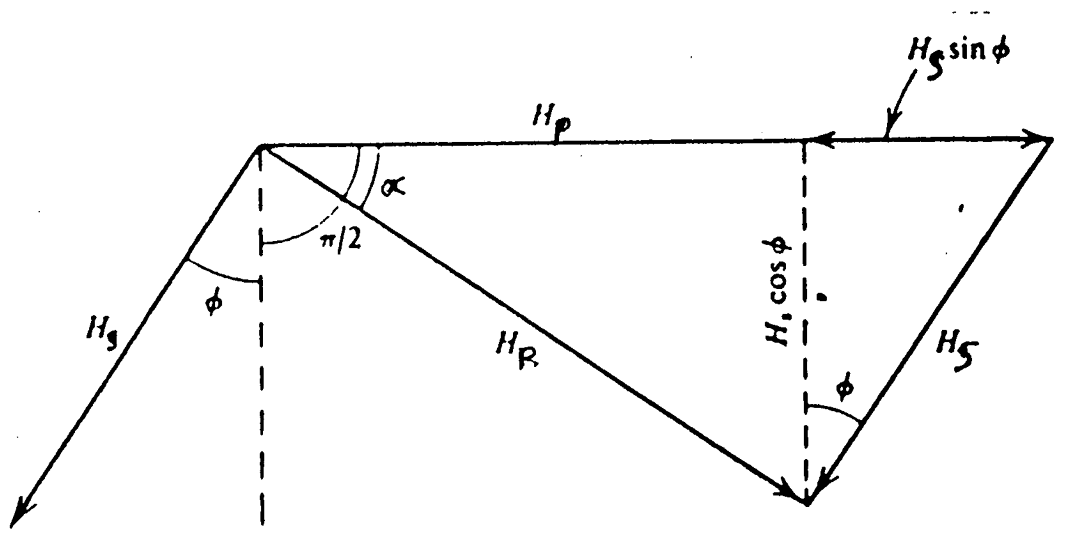
ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิ (H_P) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิ (H_S) และสนามลัพธ์แสดงได้ใน (รูปที่ 2.2) ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิที่เกิดขึ้นถ้าเป็นสนามที่เกิดจากลักษณะตัวนำไฟฟ้าที่ดีจะมีเฟสทิศทางเกือบตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กปฐมภูมิ ($\varnothing = \pi/2$) ส่วนประกอบ (component) ของสนามแม่เหล็กทุติยภูมิ (H_S) ที่มีเฟสตามสนามแม่เหล็กปฐมภูมิ (H_P) คือส่วนประกอบจริง (real component หรือ in-phase component) และส่วนประกอบที่มีเฟสล้าหลัง H_P ไป 90^0 คือส่วนประกอบจินตภาพ (imaginary component หรือ out-of-phase component หรือ quadrature

รูปที่ 2.1



หลักการเบื้องต้นการสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic survey)

(Grant and West, 1965)



รูปที่ 2.2 Vector diagram showing phase shift between H_s and H_p

component) จากความสัมพันธ์ของค่าเฟสเราสามารถนำค่าส่วนประกอบจริง และส่วนประกอบจินตภาพที่วัดได้ในสนามมาใช้ในการแปลความหมายเชิงคุณภาพ (qualitative interpretation) ได้ คือตัวนำไฟฟ้าที่ดีมีขนาดของส่วนประกอบจริงสูงกว่าส่วนประกอบจินตภาพ และในทางกลับกันตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดีจะมีขนาดของส่วนประกอบจินตภาพสูงกว่าส่วนประกอบจริง

การจำแนกวิธีการสำรวจด้านแม่เหล็กไฟฟ้า

เราสามารถจำแนกวิธีการสำรวจด้านแม่เหล็กไฟฟ้าบนผิวดิน (ground EM systems) ออกได้ 2 กลุ่ม คือ

- ระบบที่ให้แหล่งกำเนิดคลื่นอยู่กับที่ (fixed source system) ระบบนี้ให้แหล่งกำเนิดคลื่นอยู่กับที่ ในขณะที่ขดลวดรับสัญญาณที่ทำการสำรวจวัดค่านั้นเคลื่อนที่ เช่น วิธีคอมเพนเซเตอร์ (compensator หรือ sundberg method) และวิธีทูแรม (turam) เป็นต้น
- ระบบที่ให้แหล่งกำเนิดคลื่น และตัวรับสัญญาณเคลื่อนที่ไปพร้อมๆ กัน (moving source system) ระบบนี้แหล่งกำเนิดคลื่นและขดลวดรับสัญญาณจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน ขณะที่ดำเนินการสำรวจ เช่น slingram MAXMIN EM-gun และ demigun เป็นต้น

การสำรวจวิธี Frequency Domain Electromagnetic (FEM) แบบ Horizontal Loop Electromagnetic (FEM)

การสำรวจ FEM เป็นการสำรวจ EM ระบบที่ขดลวดส่งสัญญาณและขดลวดรับสัญญาณเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน และกำหนดความถี่ในการสำรวจไว้โดยเฉพาะและจะทำการวัดผลการรวมทางเวคเตอร์ (vector) ของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิ และคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิ เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิ (primary field; P) ผ่านวัตถุที่เป็นตัวนำ จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กทุติยภูมิ (secondary field; S) ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสองจะรวมกันเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลัพธ์ (resultant field; R) โดยที่ขนาดและทิศทางของ R และ S จะแสดงให้เห็นสภาพความเป็นตัวนำของวัตถุนั้นๆ เนื่องจาก P ถูกกำหนดขึ้นมาก่อน ฉะนั้นการแสดงคุณสมบัติของตัวนำ จะอ้างอิงถึงขนาดและทิศทางของ P เสมอ ในส่วนของ R สามารถที่จะเปลี่ยนให้อยู่ในระนาบเดียวกับ P และในแนวตั้งฉากกับ P โดยอยู่ในรูปของ $R \cos\varnothing$ และ $R \sin\varnothing$ ตามลำดับซึ่ง $R \cos\varnothing$ คือส่วนประกอบจริงมีทิศทางในระนาบเดียวกันกับ P ส่วน $R \sin\varnothing$ คือส่วนประกอบจินตภาพ เพราะมีทิศทางตั้งฉากกับระนาบของ P ในส่วนของ S ก็สามารถแยกส่วนประกอบได้ในลักษณะเดียวกันกับ R โดยที่ $S \sin\varnothing$ เป็นส่วนประกอบจริง และ $S \cos\varnothing$ เป็นส่วนประกอบจินตภาพ (Beck, 1981)

ในขณะเดียวกันหากคำนึงถึงขนาดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ณ เวลาใดๆ แสดงได้โดย $I_t = I_{oe}^{iwt}$ นั้นก็สามารถให้คำนิยามอีกแบบหนึ่งได้ เพราะ

$$I_t = I_{oe}^{iwt} = I_o \cos wt + iI_o \sin wt$$

โดยที่ I_t = ขนาดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ณ เวลา t ใดๆ

I_o = ขนาดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อ t=0

$i \quad = \quad \sqrt{-1}$

$w \quad =$ ความเร็วเชิงมุม ซึ่งถูกกำหนดโดยความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

$t \quad =$ เวลาเฉพาะที่ใช้กำหนดหาขนาดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ในส่วนของ $I_o \cos wt$ เรียกว่า real component เพราะสามารถหาค่าเป็นจำนวนจริงได้ ส่วน iI_o จะเรียกเป็น imaginary component เพราะค่าที่หาได้จะอยู่ในรูปของ i หรือ $\sqrt{-1}$ เสมอ

ลักษณะของค่าผิดปกติ HLEM (HLEM anomaly)

รูปแบบมาตรฐานของการสำรวจแบบ HLEM จะมีอัตราส่วนของส่วนประกอบจริงต่อส่วนประกอบจินตภาพมากที่บริเวณเหนือตัวนำไฟฟ้า เครื่องหมายแสดงเปอร์เซนต์ที่เปลี่ยนไปเมื่อขดลวดส่งสัญญาณและขดลวดรับสัญญาณเคลื่อนที่ไปเหนือตัวนำไฟฟ้า สามารถอธิบายได้โดยเส้นแรง (flux) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ในรูป A นั้น coupling coefficient มีค่าเป็นบวก เมื่อขดลวดรับสัญญาณอยู่เหนือตัวนำไฟฟ้า (รูป B) จะทำให้ coupling ระหว่างขดลวดรับสัญญาณและตัวนำไฟฟ้ามีค่าต่ำสุด ฉะนั้นขนาดของสนามทุติยภูมิจะมีผลต่อขดลวดรับสัญญาณน้อยมาก จนทำให้อัตราส่วนของสนามทุติยภูมิต่อสนามปฐมภูมิมีค่าเป็นศูนย์

เมื่อตัวนำไฟฟ้าอยู่ระหว่างขดลวดส่งสัญญาณและขดลวดรับสัญญาณนั้น coupling coefficient จะเปลี่ยนเป็นค่าลบ (รูป C) เมื่อเทียบกับลักษณะที่เห็นในรูป A ลักษณะนี้จะปรากฏอยู่จนกระทั่ง ขดลวดส่งสัญญาณมาอยู่เหนือตัวนำไฟฟ้า coupling coefficient ระหว่างขดลวดส่งสัญญาณและตัวนำไฟฟ้ามีค่าน้อยมาก ทำให้ไม่มีกระแสไหลในตัวนำนั้นเลย เป็นเหตุให้อัตราส่วนของสนามทุติยภูมิต่อสนามปฐมภูมิมีค่าเป็นศูนย์ (รูป D)

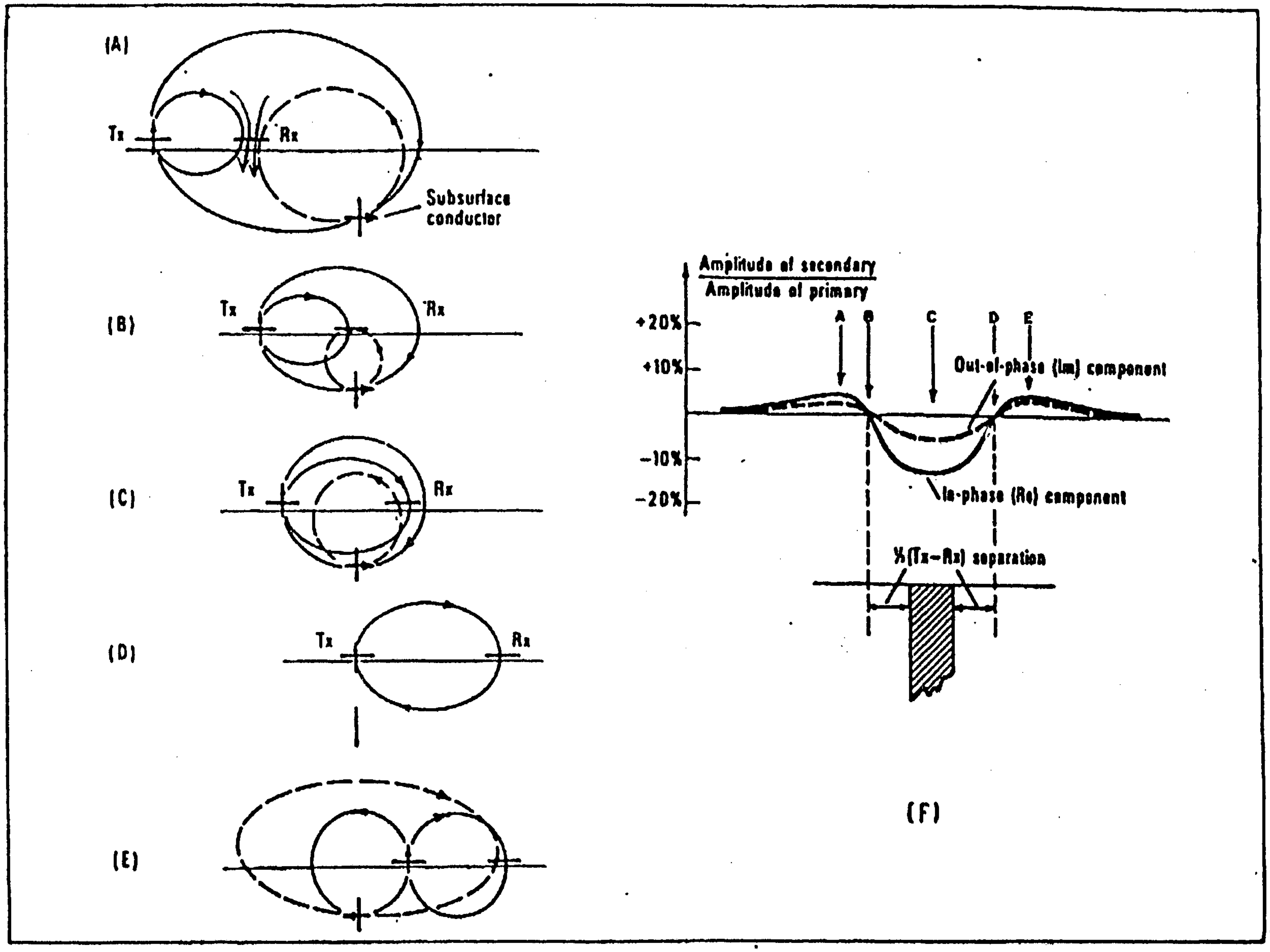
เมื่อทั้งขดลวดส่งสัญญาณและขดลวดรับสัญญาณเคลื่อนไปอยู่อีกด้านหนึ่งของตัวนำ ค่า coupling coefficient จะมีเครื่องหมายเป็นบวกเหมือนตอนเริ่มต้นอีกครั้ง (รูป E)

การสำรวจด้านแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำ (Very Low Frequency EM; VLF EM)

การสำรวจ VLF EM เป็นการสำรวจชนิด Frequency Domain EM อีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งใช้แหล่งกำเนิดคลื่นที่อยู่ไกลออกไปมาก เป็นวิธีการสำรวจที่เรียกว่า far-fied method เมื่อเทียบกันกับวิธีการสำรวจแบบ FEM ทั่วๆ ไป วิธีการสำรวจชนิดนี้นิยมใช้ในการสำรวจขั้นเบื้องต้น (reconnaissance survey) เพราะสามารถทำได้รวดเร็ว แต่เนื่องจากประเทศไทยอยู่ตำแหน่งที่จะรับสัญญาณ VLF EM ได้ค่อนข้างจำกัด ฉะนั้นการสำรวจ VLF EM ในประเทศไทย จะได้ผลเฉพาะบริเวณที่มีสภาพธรณีวิทยาที่เหมาะสมเท่านั้น

ลักษณะของค่าผิดปกติ VLF (VLF EM anomaly)

ในการสำรวจ VLF EM จะใช้ต้นกำเนิดสัญญาณของ electromagnetic radiation ที่ถูกส่งมาจากสถานีวิทยุซึ่งมีกำลังส่งสูงมาก และเป็นคลื่นความถี่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นที่ส่งมาจากสถานีวิทยุธรรมดาทั่วๆ ไป โดยจะส่งคลื่นความถี่ระหว่าง 15-30 kHz เพื่อประโยชน์ในการสื่อสารระยะไกลและการ



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นแรงของสนามปฐมภูมิ (เส้นทึบ) และสนามทุติยภูมิ (เส้นประ) เมื่อตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ที่ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อเทียบกับลักษณะของ anomaly curves ของ semi-infinite conductor

รูปที่ 2.3

หาตำแหน่งในการเดินเรือในมหาสมุทร ปกติการสำรวจวิธีนี้สามารถใช้สำรวจหาวัตถุตัวนำที่อยู่ห่างจากสถานีต้นกำเนิดคลื่นได้หลายพันกิโลเมตร

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าระยะห่างออกไปจากสถานีต้นกำเนิดคลื่นมาก ๆ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งใช้เป็นสนามปฐมภูมิของการสำรวจแบบ VLF EM นี้ จะอยู่ในรูปของ planar และ horizontal โดยมี electric component อยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวการเดินทางของคลื่นนั้นหรือในแนวดิ่ง ส่วน magnetic component จะวางตัวอยู่ในแนวระนาบเดียวกับคลื่นต้นกำเนิด

ดังนั้นหากมีตัวนำวางตัวอยู่ในแนวเดียวกับการเดินทางของคลื่นต้นกำเนิด magnetic component จะตัดผ่านตัวนำนั้นทำให้เส้นแรงแม่เหล็ก (magnetic flux) ซึ่งอยู่ภายใต้ตัวนำเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา การเปลี่ยนแปลงของ magnetic flux ในระยะเวลาต่าง ๆ นั้น จะทำให้เกิด eddy current ขึ้นภายในตัวนำ ซึ่งจะเป็นต้นกำเนิดของ secondary electromagnetic field

เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ VLF EM เป็นเครื่องมือขนาดเล็กที่ประกอบด้วยขดลวดรับสัญญาณ 2 ชุดที่วางตัวตั้งฉากกัน และสามารถปรับความถี่ให้รับสัญญาณเฉพาะความถี่ของสนามปฐมภูมิเท่านั้น ตามปกติขอลวดที่ใช้รับสัญญาณจะมีคลื่นเสียงเกิดขึ้น เนื่องจากมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากคลื่นต้นกำเนิดและสนามทุติยภูมิที่เกิดจากตัวนำไฟฟ้ามาตัดผ่านขดลวดทั้งสองชุด

ทิศทางของคลื่นต้นกำเนิด สามารถหาได้จากการหมุนขดลวดให้อยู่ในแนวระนาบกับแนวทางเดินของคลื่นต้นกำเนิด จากนั้นก็สามารถใช้ขดลวดอีกด้านหนึ่งหาทิศทางของสนามทุติยภูมิ ตำแหน่งที่ขดลวดวางตัวอยู่ในแนวเดียวกันกับทิศทางของคลื่นทั้งสอง จะทำให้เกิด minimum coupling ในขดลวด เป็นผลให้เสียงที่เกิดจากการตัดผ่านของคลื่นเข้าไปในขดลวดมีน้อยที่สุด ทิศทางการวางตัวของแนว สนามทุติยภูมิที่เปลี่ยนไปเมื่อทำการสำรวจผ่านตัวนำไฟฟ้า จะใช้เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของตัวนำไฟฟ้าได้

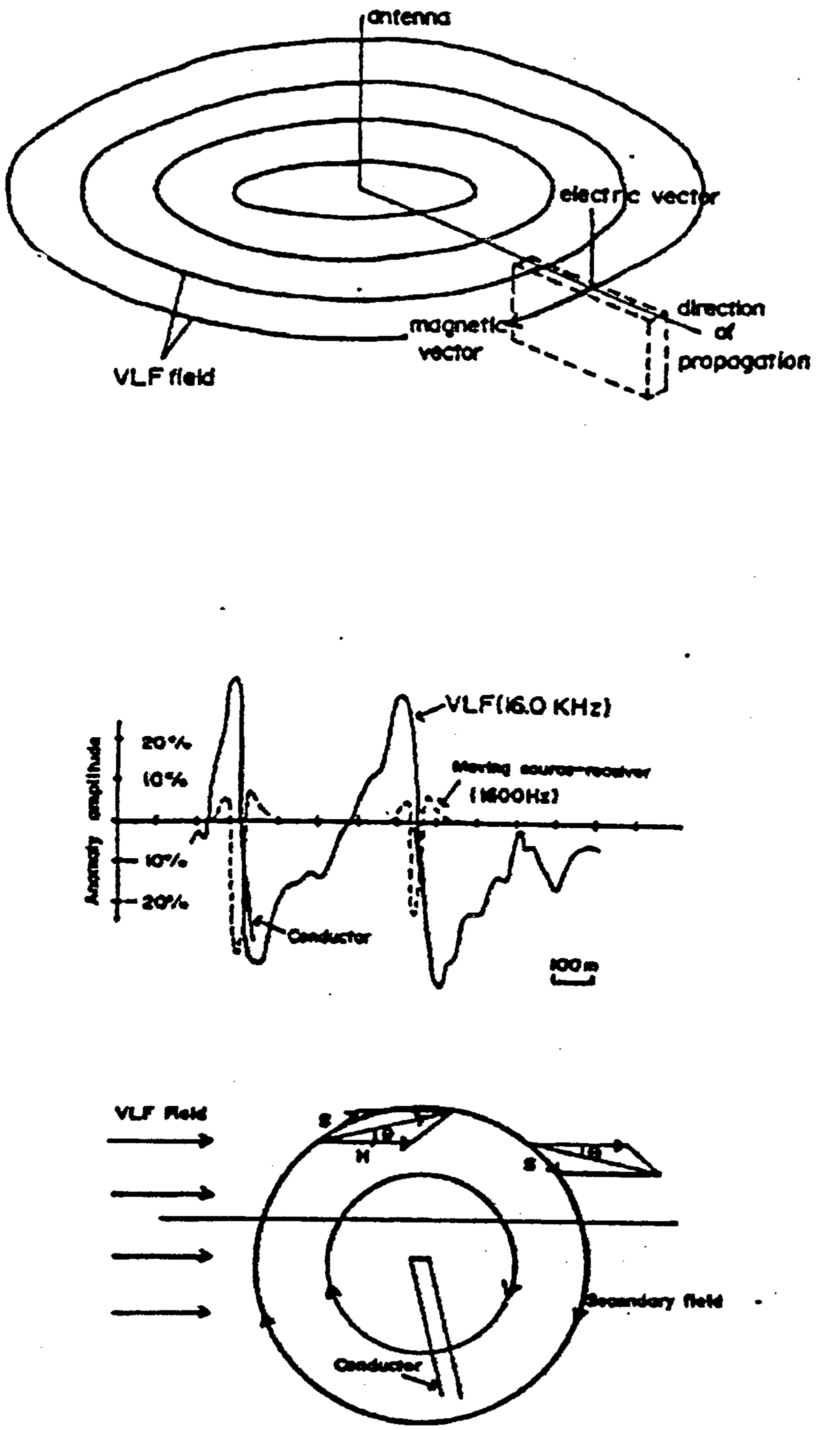
การสำรวจ Pulse Electromagnetic (PEM)

การสำรวจ PEM เป็นการสำรวจแบบ time domain electromagnetic ที่มีประสิทธิภาพในการหาแหล่งแร่ massive sulfides มาก ดังปรากฏให้เห็นในเอกสารการวิจัยในต่างประเทศมากมาย

วิธีการสำรวจ PEM

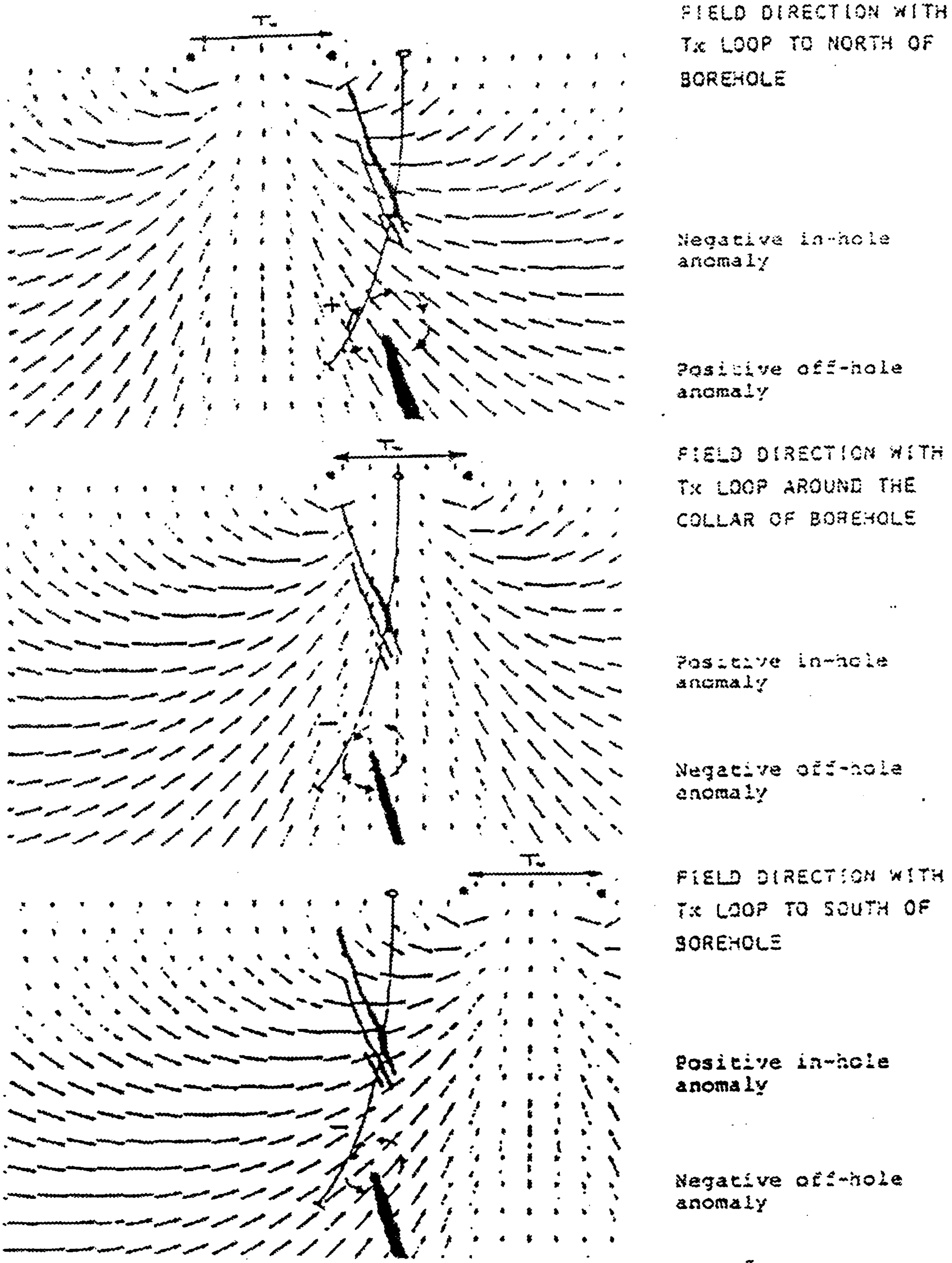
PEM สามารถหาความลึก การวางตัว ความนำไฟฟ้า และความกว้างของตัวนำไฟฟ้าใต้ผิวดินได้ดี จากการที่ใช้ wide frequency spectrum ในการสำรวจทำให้สามารถหาแร่ตัวนำภายใต้สภาวะที่เป็น conductive environment ได้ ซึ่งช่วง spectrum ความถี่ต่ำจะสามารถผ่านชั้นของ conductive layer ได้ และ PEM นี้จะไม่มีผลของระยะ coil separation และ elevation ต่อการสำรวจเหมือนใน frequency domain EM โดยสามารถสรุปให้เห็นชัดได้ในตารางที่ 2.1

วิธีการสำรวจทางแม่เหล็กไฟฟ้าแบบนี้ ใช้ต้นกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิเป็นแบบ pulse โดยการปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงผ่านขดลวด เพื่อให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กปริมาณคงที่ในระยะเวลาจำกัด แล้วหยุดปล่อยกระแสตรงเป็นจังหวะ ๆ ในช่วงเวลาที่เท่ากัน ในช่วงเวลาที่มีการปล่อยกระแส คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิในตัวนำไฟฟ้าจะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปฐม



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดง วิธีการสำรวจแบบ VLF - EM

(FROM WOOD, 1975)



Primary field direction diagrams for transmitter loops located to the north, south and around the collar of the Virginia lead-zinc borehole.
top: Tx loop north of borehole: negative "in-hole" anomaly, positive "off-hole" anomaly.
middle: Tx loop around borehole collar; positive "in-hole" anomaly, negative "off-hole" anomaly.
bottom: Tx loop south of borehole: positive "in-hole" anomaly, negative "off-hole" anomaly.

รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดง MAGNETIC FLUX ขณะทำการสำรวจเหนือบริเวณที่เป็น CONDUCTOR ด้วยเครื่องมือ PULSE EM (FROM KEAREY AND BROOKS, 1984)

ภูมิมีค่าคงที่ แต่เมื่อหยุดปล่อยกระแสในขดลวดนั้น เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่คงที่แต่จะลดลงตามเวลา จึงสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิในวัตถุตัวนำไฟฟ้า ซึ่งขนาดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิ จะลดลงตามความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิ ฉะนั้นหากสามารถวัดค่าความเปลี่ยนแปลงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิ จะสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นตัวนำไฟฟ้าของวัตถุนั้นๆ ได้ การแสดงผลของความเป็นตัวนำไฟฟ้า จึงอยู่ในรูปของค่าความต่างศักย์หน่วยเป็นไมโครโวลต์ (microvolt) ต่อขนาดของกระแสไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (ampere)

โดยปกติต้นกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นวงรอบ (loop) ที่อาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือวงกลมที่มีขนาดตั้งแต่ 10 x10 เมตร ถึง 1,000 x 1,000 เมตร ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการสำรวจและกำลังของต้นกำเนิดกระแสตรง

เมื่อกระแสที่ไหลในขดลวดส่งสัญญาณหยุดลง หรือเมื่อมีการส่ง pulse ลงไปที่ผิวดิน จะเกิด transient current ไหลวนอยู่ในพื้นดินภายใต้ขดลวดส่งสัญญาณ มีลักษณะเป็นวงแหวน กระแสที่ไหลเป็นวงแหวนนี้จะไปเหนี่ยวนำทำให้เกิดวงแหวนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นไปในระดับลึกลงไปเรื่อยๆ (รูปที่ 2.5)

บริเวณที่มีตัวนำไฟฟ้าวางตัวอยู่ในระดับลึกลงไปจากผิวดิน เส้นแรงแม่เหล็กที่มีทิศทางตั้งฉากกับวงแหวนจะทำให้เกิดกระแสไหลวนในตัวนำไฟฟ้านั้น และทำให้เกิดเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิ (รูปที่ 2.5)

ลักษณะของค่าผิดปกติ PEM (PEM anoamly)

บริเวณที่เป็น PEM anomaly อาจจะสมมติได้จากการที่ตัวนำไฟฟ้าถูกเหนี่ยวนำหลังจากการหยุดปล่อยกระแส ทำให้เกิด induced current ภายในตัวนำไฟฟ้านั้น ซึ่งเป็นไปตามสมการดังนี้

$$RI + L\ (dI/Dt) = 0$$

โดยที่ t = time

R = resistance

และ L = self-inductance ของตัวนำไฟฟ้า

หากเราคำนึงถึงลักษณะทั้งหมดของ induced current ก่อนที่จะมีการส่ง primary pulse ครั้งต่อไป จะสามารถแทนได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$I_o = I_o \exp[R/L)t]$$

โดยที่ I = ปริมาณของกระแส ณ เวลาใดๆ

I_o = ปริมาณของกระแส เมื่อ $t = 0$ หรือเมื่อมีการหยุดส่ง primary pulse ทันที

ในขณะเดียวกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิ (S_o) ซึ่งเกิดจากการไหลของกระแส I_0 ในตัวนำไฟฟ้าที่วัดได้ในขดลวดรับสัญญาณ แสดงได้ด้วยสมการเดียวกัน คือ

$$S_o = S_o \exp[R/L)t]$$

จะเห็นได้ว่าหากแสดงแผนภูมิระหว่าง *ln* S และ t ความลาดชันของเส้นกราฟจะมีค่าเท่ากับ -(R/L) ฉะนั้นหาก R มีค่ามาก ความลาดชันของเส้นกราฟจะมีค่ามาก ทำให้ S_o หายไปอย่างรวดเร็ว ตรงกับข้ามกับบริเวณที่ R มีค่าน้อย ค่า S_o จะลดลงอย่างช้า ๆ (รูปที่ 2.6)

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า S_o ในระยะเวลาที่กำหนดไว้สามารถนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาความเป็นตัวนำและตำแหน่งของตัวนำได้

การจัดวางวิธีการสำรวจแบบ Moving coil

การสำรวจชนิดนี้จะใช้ขดลวดส่งสัญญาณ ที่มีความยาวเส้นละ 22.10 เมตร จำนวน 2 เส้น ต่อกันเป็นวงรอบแบบวงกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 14.06 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ 155.41 ตารางเมตร ทั้งขดลวดส่งสัญญาณและขดลวดรับสัญญาณจะเคลื่อนที่ไปตามแนวสำรวจพร้อม ๆ กัน (รูปที่ 2.7) มีระยะห่างกันประมาณ 50 ถึง 200 เมตร จุดกึ่งกลางระหว่างขดลวดทั้งสองจะเป็นจุดที่ทำการวัดค่า (reading point) โดยแต่ละจุดสำรวจ (station) จะวัดค่า vertical component ของสนามแม่เหล็กทุติยภูมิ (secondary magnetic field) โดยเป็น time derivative (dB/dt)

ขดลวดที่ใช้ส่งกระแสจะต่อเข้ากับขดลวดรับสัญญาณโดย synchronized cable หรือโดยคลื่นวิทยุ เพื่อกำหนดให้ขดลวดรับสัญญาณทราบว่าขดลวดส่งสัญญาณหยุดปล่อยกระแสเข้าขดลวดเมื่อไร หลังจากนั้นขดลวดรับสัญญาณจะเริ่มวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิที่เกิดขึ้น แล้วนำไปเปรียบเทียบกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิซึ่งเป็นค่าคงที่ที่วัดได้ ขณะที่ขดลวดส่งสัญญาณหยุดปล่อยกระแส

ตามปกติขดลวดส่งสัญญาณ จะส่งกระแสสลับทิศทางทุก ๆ pulse เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิด ground polarization ฉะนั้นขดลวดรับสัญญาณจึงต้องเปลี่ยนทิศทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิก่อนสะสมไว้ ค่าความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จะถูกหารด้วยจำนวนครั้งที่มีการสะสม เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยตามจำนวน pulse ที่ถูกส่งไปจากขดลวดส่งสัญญาณ

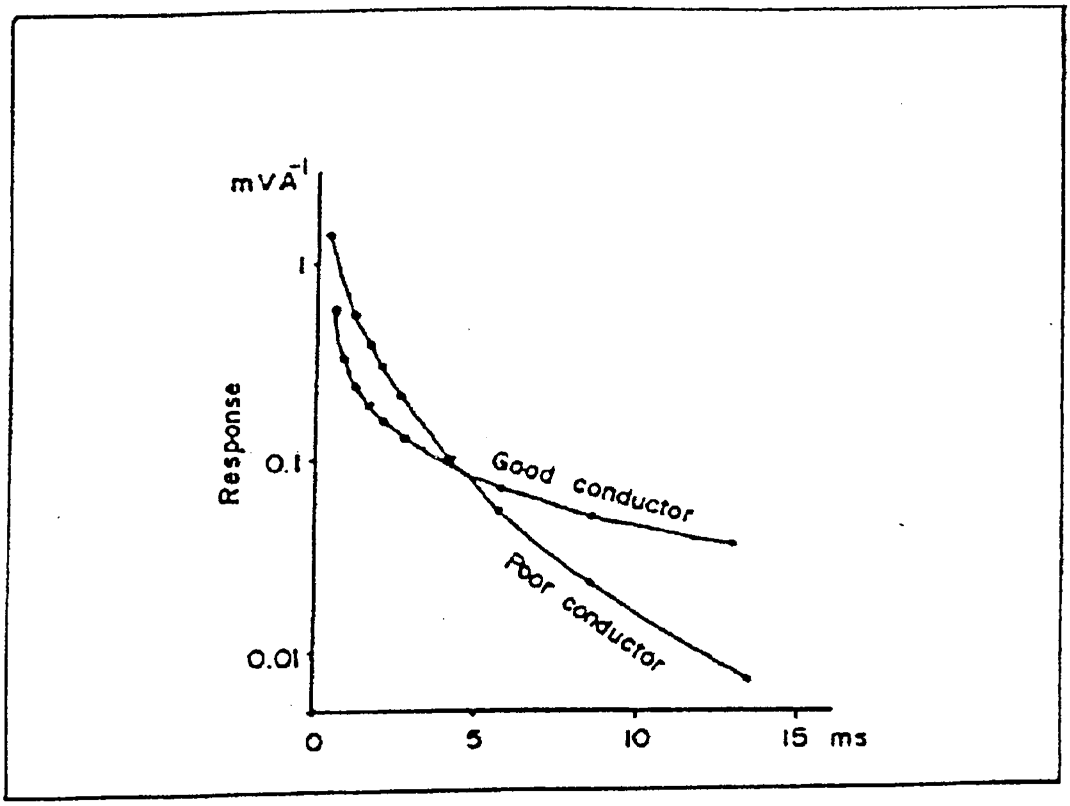
ค่าความเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ขณะที่ทำการสำรวจจะถูกเก็บไว้ใน microcomputer ที่อยู่ในขดลวดรับสัญญาณ การสำรวจแบบนี้ต้องการค่าความละเอียดในช่วงเวลาไม่เกิน 1/50 วินาที บริเวณที่มีวัตถุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะมีค่าอัตราส่วนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุตุยภูมิต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิสูงกว่าบริเวณที่ไม่มีวัตถุที่เป็นตัวนำไฟฟ้า รวมทั้งทิศทางที่ตรงกันข้ามของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุติยภูมิและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปฐมภูมิ (รูปที่ 2.8)

สำหรับข้อดีข้อเสียของการจัดรูปแบบการสำรวจแบบนี้ อาจสรุปได้ดังนี้คือ

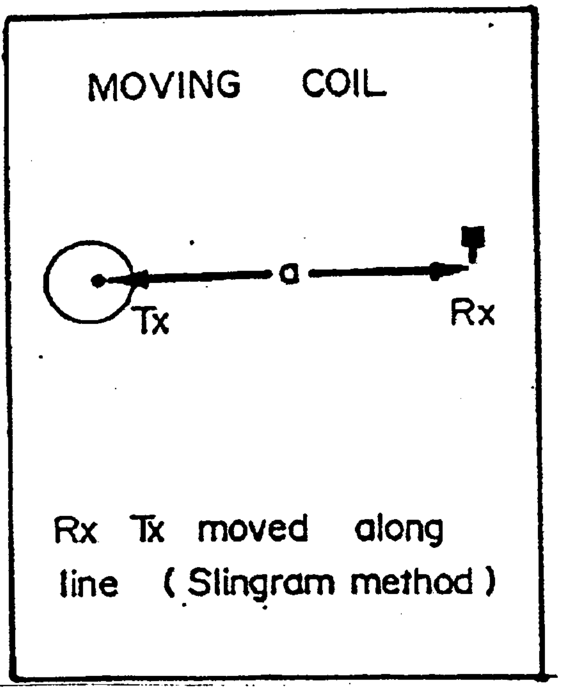
1. ใช้ได้ดีในการหาตัวนำไฟฟ้าที่วางตัวในแนวดิ่ง (vertical) และแนวราบ (flat lying conductor) ได้ โดยจะหาตัวนำไฟฟ้าที่วางตัวในแนวดิ่งและอยู่ลึก 0.75 และ 1.25 เท่าของระยะระหว่างขดลวดทั้งสอง (a) ในตัวนำไฟฟ้าแนวราบได้

2. ใช้ในพื้นที่ที่มีชั้นดินปิดทับที่นำไฟฟ้าได้ดี (conductive overburden) ได้ ซึ่ง frequency domain EM ใช้ไม่ค่อยได้ผลนัก

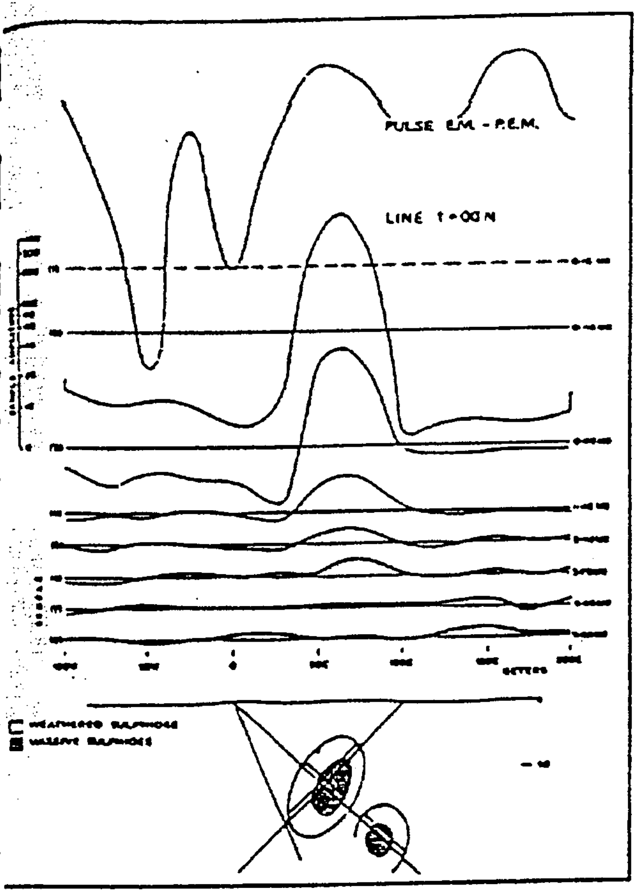
3. หาลักษณะการวางตัวและความลึกของตัวนำไฟฟ้าได้ค่อนข้างแม่นยำ และหาค่าความกว้างและการนำไฟฟ้า (conductivity-thickness) ได้ด้วย



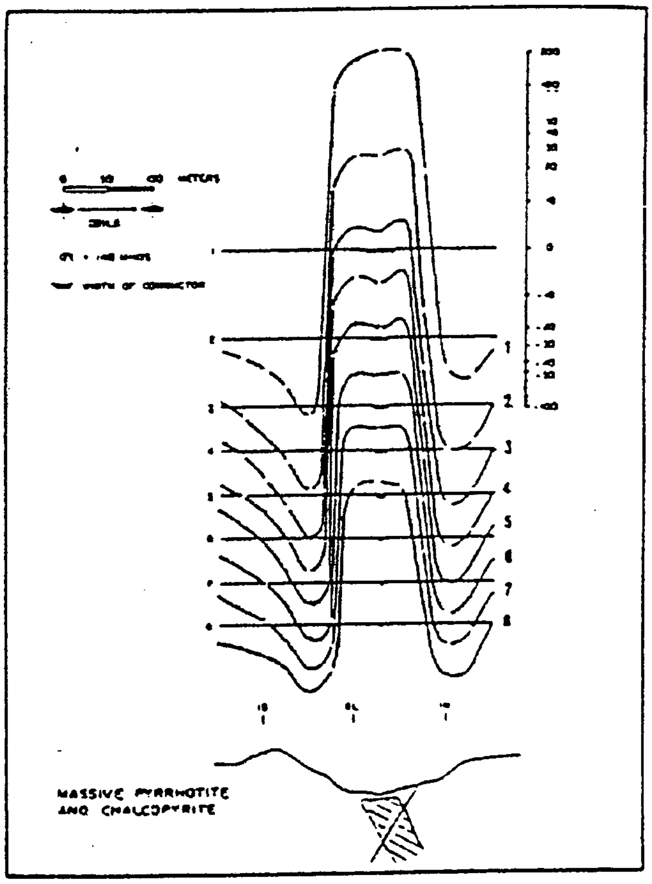
รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดง DECAY CURVE ของ MAGNETIC FLUX เหนือบริเวณที่เป็น GOOD CONDUCTOR และ POOR CONDUCTOR



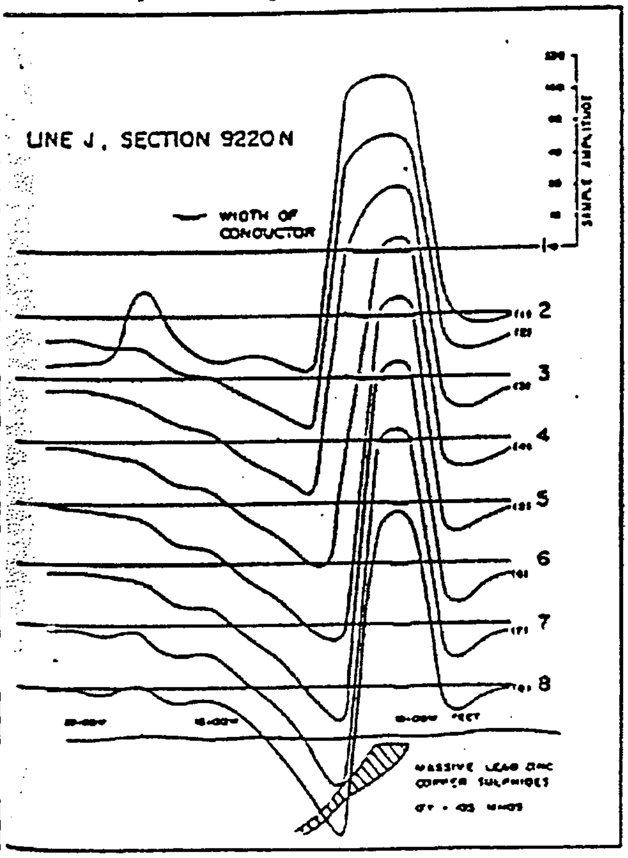
รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงวิธีการสำรวจ PULSE EM แบบ MOVING COIL



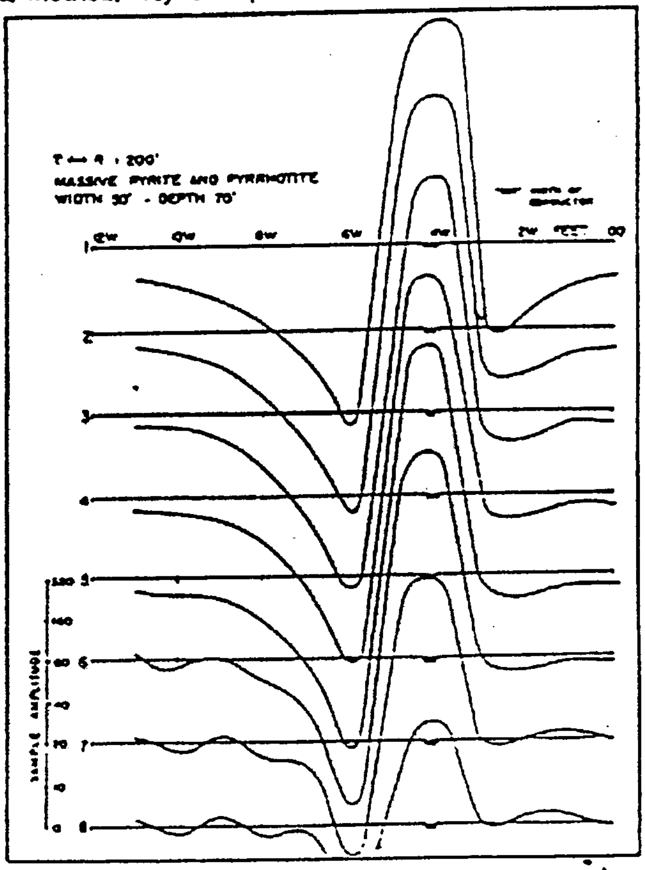
Pulse EM profile. 50 m coil spacing. moving method. Bayda showing. Sultanate of Oman.



Pulse EM profile. 100 m coil spacing. moving coils method. Maydan deposit. Sultanate of Oman.



Pulse EM profile. 200 ft coil spacing. moving method. Jododex. Woodlawn deposit. Australia.



Pulse EM profile 200 ft coil spacing. moving coils method. Massive Sulphide Body. Arizona.

รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงตัวอย่างผลการสำรวจ PULSE EM แบบ MOVING COIL

(FROM CRONE, 1979)

<u>ตารางเปรียบเทียบการสำรวจ PEM/FEM</u>

(Parasnis, 1986)

PEM	FEM
1. Time Domain Fourier Pair $f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(f)\, e12^{wft}\, df$	1. Frequency Domain Fourier Pair $F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\, e^{-i2wft}\, dt$
2. ข้อมูลจากการสำรวจได้มาจากการส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีระยะเวลานานเพียงพอ 2.1 การตอบสนองเครื่องรับสัญญาณในระยะเวลาช่วงต้น ใช้สำหรับการตรวจสอบวัตถุเป้าหมายในระดับตื้น 2.2 การตอบสนองของเครื่องรับสัญญาณในระยะเวลาที่นานขึ้น ใช้สำหรับการตรวจสอบวัตถุเป้าหมายในระดับที่ลึกมากขึ้น	2. ข้อมูลจากการสำรวจได้มาจากการวัดการตอบสนองต่อการส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหลายความถี่ 2.1 การตอบสนองของเครื่องรับสัญญาณสำหรับคลื่นความถี่สูงใช้ตรวจสอบวัตถุเป้าหมายระดับตื้น 2.2 การตอบสนองของเครื่องรับสัญญาณสำหรับคลื่นความถี่ต่ำใช้ตรวจสอบวัตถุเป้าหมายในระดับลึก
3. เครื่องมือ PEM สามารถใช้ในการหาตำแหน่งตัวนำไฟฟ้าที่วางตัวอยู่ใต้ชั้นดินหรือหินปิดทับที่นำไฟฟ้าได้ดี	3. FEM สามารถใช้หาตำแหน่งตัวนำไฟฟ้าที่วางอยู่ใต้ชั้นหินที่นำไฟฟ้าได้เหมือนกัน แต่ต้องใช้คลื่นความที่มีกำลังส่งสูงและความถี่ต่ำมาก ๆ
4. ความแตกต่างของระดับภูมิประเทศแทบจะไม่มีผลต่อการแปลความหมายข้อมูลการสำรวจ PEM	4. การแปลความหมายข้อมูลการสำรวจ FEM ต้องใช้ความระมัดระวังเพราะความแตกต่างของภูมิประเทศมีอิทธิพลต่อผลการสำรวจมาก
5. การสำรวจ PEM ใช้เวลาในการดำเนินการสำรวจค่อนข้างนาน	5. การสำรวจ FEM ตามปกติไม่ยุ่งยากและใช้เวลาน้อย รวมทั้งสามารถแปลความหมายในเชิงคุณภาพได้ง่าย
6. เครื่องรับสัญญาณของ PEM จะรับคลื่นหลายความถี่รวมกัน ไม่สามารถเลือกความถี่เฉพาะเจาะจงเพื่อเพิ่ม signal to noise ratio	6. ความถี่ใดความถี่หนึ่งสามารถนำมาเลือกใช้ได้ ดังนั้น ในสภาพธรณีวิทยาที่เหมาะสม signal to noise ratio จะมีค่าสูง

วัตถุประสงค์การสำรวจ

สำหรับวัตถุประสงค์ด้านแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถกล่าวได้โดยย่อ ๆ ได้ดังนี้

1. เพื่อสำรวจหาแหล่งแร่โลหะตัวนำไฟฟ้าโดยตรง เช่น คาลโคไพไรต์ (chalcopyrite) และ พิร์โรไทต์ (pyrrhotite)

2. เพื่อสำรวจหาแหล่งโลหะหรือแร่ชนิดอื่นโดยทางอ้อม เช่น

- สำรวจหาแหล่งแร่ทองคำ (gold) ในกรณีที่คาดว่าแหล่งแร่ทองคำเกิดสัมพันธ์กับแร่ตัวนำไฟฟ้าชนิดอื่น เช่น ไพไรต์ (pyrite) พิร์โรไทต์ (pyrrhotite) และ แกรไพท์ (graphite)
- ถ้าในกรณีสัมพันธ์กับโครงสร้างทางธรณีวิทยา (structural geology) เช่นพวก conductive fault หรือ conductive shear zone ซึ่งเป็นบริเวณที่น่าสนใจสำหรับการเกิดแหล่งแร่
- กรณีแหล่งแร่เกิดสัมพันธ์กับ alteration zone ทั้งแบบ ore alteration, chemical alteration และ weathering alteration

นอกจากนี้การสำรวจด้านแม่เหล็กไฟฟ้า ยังมีประโยชน์ในการทำแผนที่ความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน (overburden resistivity map) หาขอบเขตของชั้นเกลือแทรกซอน (saline intrusion) ทำแผนที่อุทกธรณีวิทยาใต้ดิน และการกำหนดตำแหน่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ เป็นต้น

3. การสำรวจการเหนี่ยวนำโพลาไรเซชั่น (Induced Polarization; IP)

หลักการเบื้องต้น

หลักการสำคัญที่ทำให้เกิด IP effect ใน mineralized rocks คือปฏิกิริยาที่เกิดจากการส่งผ่าน current-induced electron ระหว่าง electrolyte ions กับ metallic-luster minerals (รูปที่ 3.1)

การเกิด IP effect จะต้องมี fluid-filled pores ใน mineralized rocks และ electrolyte ต้องมีส่วนสัมผัสกับ metallic minerals นั้นๆ ดังนั้น IP effect จะทำให้เกิดได้โดยการผ่าน controlled inducing current (I_p) เข้าสู่ชั้นหินและชั้นดิน จะทำให้เกิดค่าความต่างศักย์ปฐมภูมิ (primary voltage; V_p) ซึ่งค่าความต่างศักย์นี้จะเปลี่ยนไป เมื่อหยุดส่งกระแส หรือเมื่อ I_p มีค่าเป็นศูนย์ การเปลี่ยนแปลงของ V_p อาจจะเป็นได้ทั้ง time หรือ frequency variations

ในแง่ของ time variation หรือเรียกว่า การสำรวจแบบ time domain (รูปที่ 3.2) จะเห็นว่าเมื่อหยุดส่งกระแส ความต่างศักย์ปฐมภูมิ (primary voltage ; V_p) จะลดลงทันที แล้วเปลี่ยนเป็นความต่างศักดิ์ทุติยภูมิ (secondary voltage; V_t) และเกิด transient decay voltage (V_p) ซึ่งค่ายๆ ลดลงตามระยะเวลาที่ผ่านไป จนกว่าจะมีการส่งกระแสมาอีกครั้งหนึ่ง การวัดค่า V_s และการสังเกตการลดลงของ V_t จะแสดงให้เห็นผลของการ polarization ของชั้นหินและชั้นดินนั้นๆ (รูปที่ 3.3)

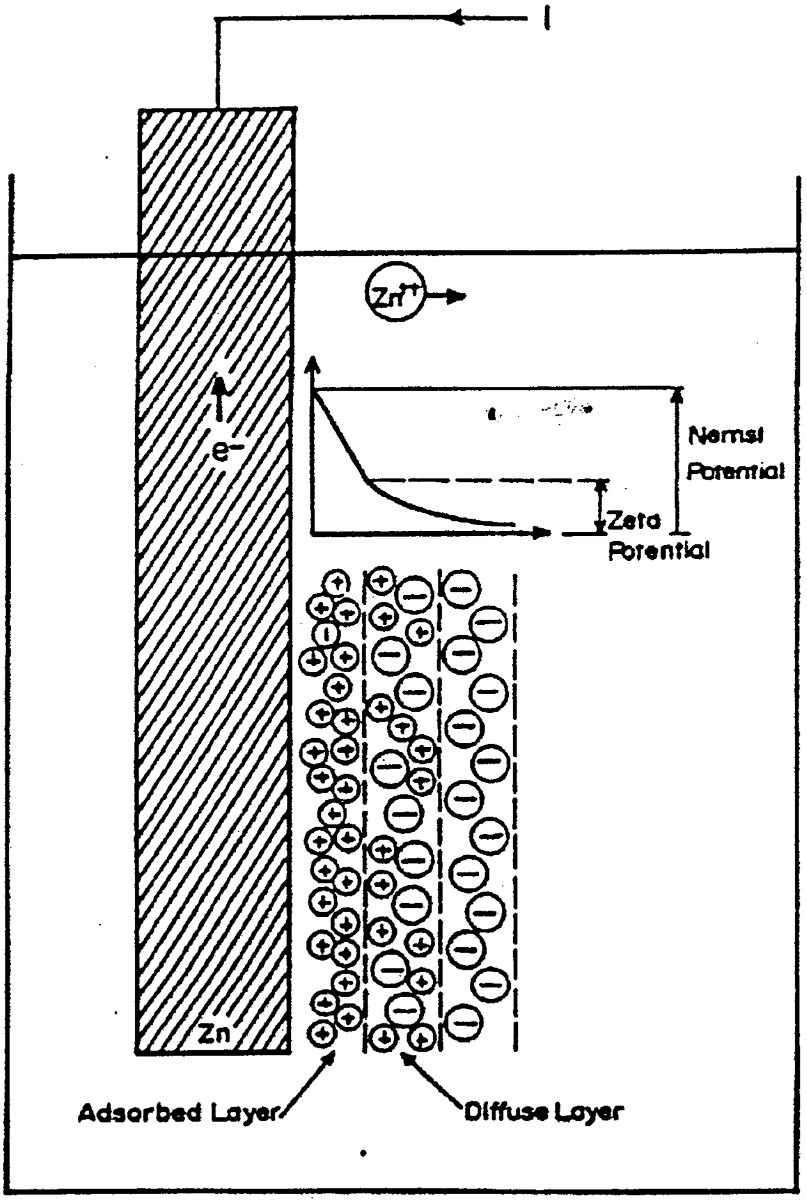
สำหรับ frequency variation ในการเกิด polarization ค่า voltage และ resistance ของ polarized zone จะลดลงเมื่อเพิ่มความถี่ของกระแสไฟฟ้า การวัดค่า voltage จากผลของการส่งกระแสไฟฟ้าหลายๆ ความถี่ จะแสดง polarization property ของบริเวณนั้นๆ ได้ คุณสมบัติในข้อนี้เป็นหลักการสำคัญในการสำรวจ IP แบบ frequency domain

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในชั้นดินและชั้นหินบริเวณที่ทำการสำรวจ IP จะเป็น diffusion ของ ions ที่อยู่ติดกับ metallic minerals รวมทั้ง electrochemical ที่เป็น oxidation-reduction reaction ระหว่าง electrolyte และ metallic luster minerals เช่นกลุ่มแร่ซัลไฟด์ รวมทั้ง ion mobility ใน pore-filling electrolyte ที่มักเกิดอยู่กับชั้นหินหรือบริเวณที่มี disseminated sulfides ดังนั้นการสำรวจโดยวิธี IP จึงเหมาะสำหรับใช้สำรวจหา disseminated sulfides รวมทั้งขอบเขตของ massive sulfides ด้วย

การสำรวจ IP เป็นที่นิยมมาก เพราะรูปแบบการแสดงผลการสำรวจอยู่ในลักษณะที่สามารถใช้แปลความหมายเพื่อการตัดสินใจที่จะพัฒนาแหล่งแร่นั้นๆ ต่อไปหรือไม่ได้ทันที เนื่องจากผลการสำรวจจะแสดง anomalous zone ที่มีค่า IP เป็นบวกสูง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยทั่วไป (background)

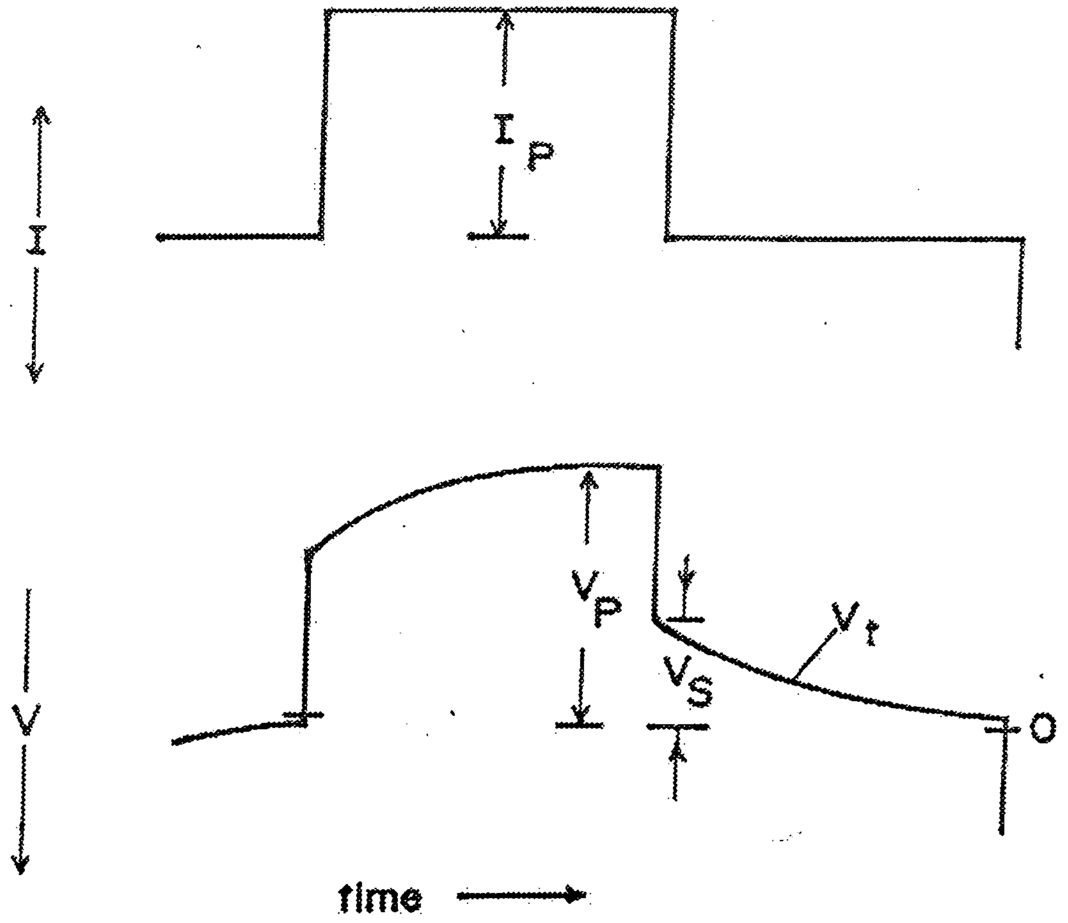
ในการออกแบบ Transmitter ที่เป็นตัวควบคุม การส่งกระแสไฟฟ้าลงสู่ผิวดิน สามารถส่งได้ทั้งในรูปแบบของ time domain ที่มี on-off time เป็น 2^n เช่น 1, 2, 4, 8, วินาที และในรูปแบบของ frequency-domain ที่มีหลายความถี่ โดยแต่ละความถี่ (frequency; f) มีค่าเท่ากับ 1/T ดังแสดงใน (รูปที่ 3.4)

ลักษณะของ IP anomaly



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดง ELEMENTS ต่าง ๆ ของ ELECTRODE POLARIZATION ในการสำรวจ IP

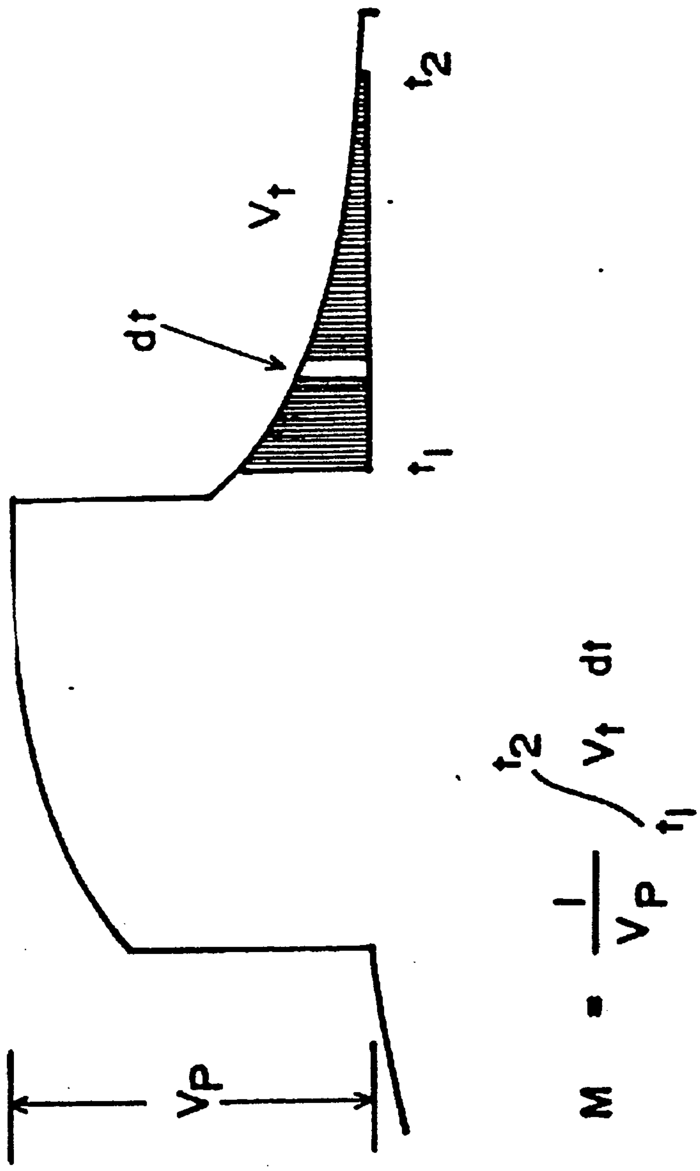
(FROM SUMNER , 1976)



I_P = Primary induced current
V_P = Primary voltage
V_S = Secondary voltage
V_t = Voltage decay curve

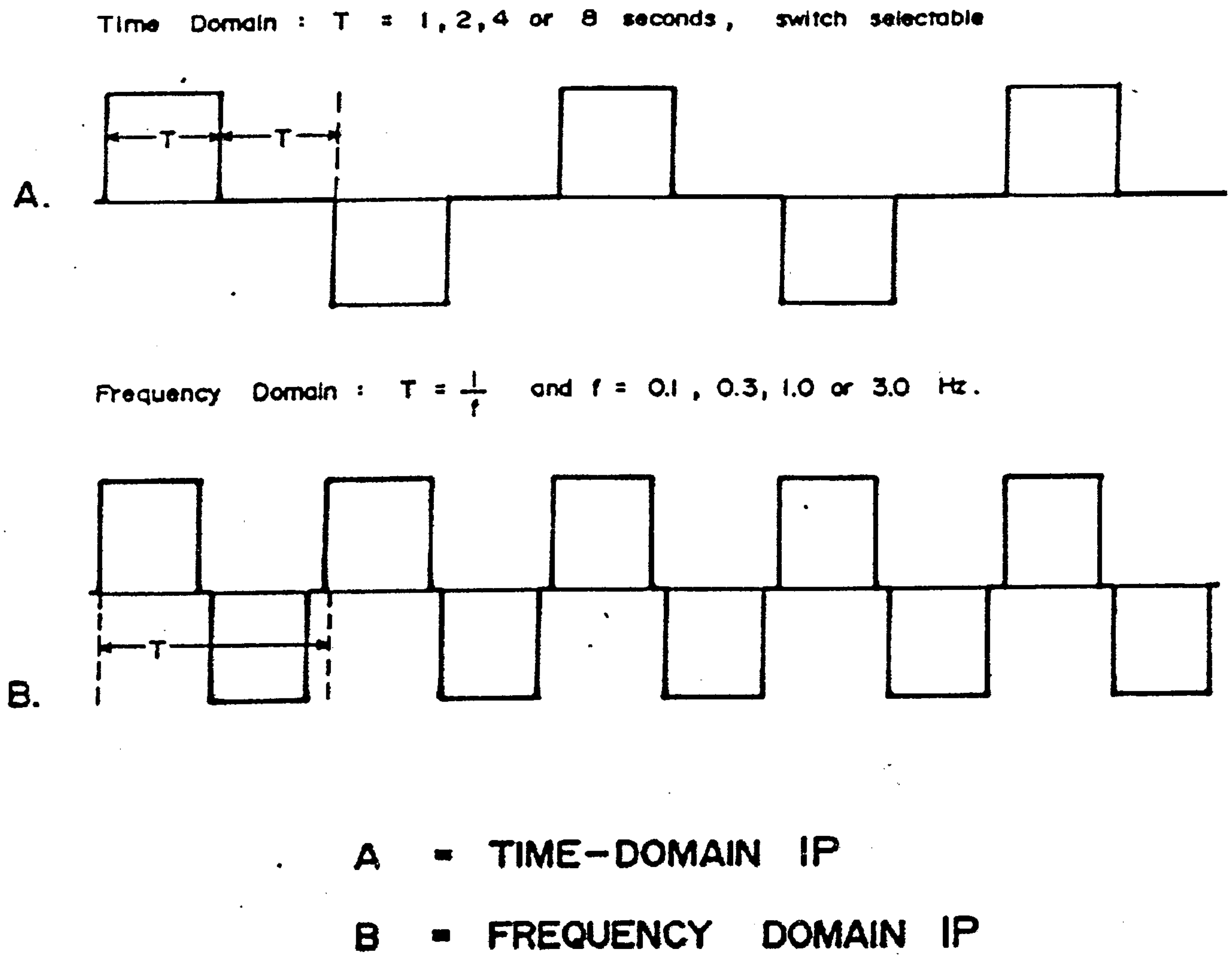
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดง ทฤษฎีการสำรวจ IP แบบ TIME DOMAIN

(FROM SUMNER, 1976)



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดง INTEGRATED DECAY VOLTAGE เพื่อหาค่า CHARGABILITY (M)

(FROM SUMNER, 1976)



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดง WAVEFORMS ที่ออกมาจาก TRANSMITTER

วิธีการสำรวจของทั้ง time domain IP และ frequency domain IP จะต่างกันที่การวัดค่า IP response ซึ่งเป็น dimensionless quantity เท่านั้น ในการสำรวจ frequency domain IP จะวัดค่า IP response เมื่อมีการปล่อยกระแสไฟฟ้า ส่วน IP time domain จะวัดค่า IP response ขณะที่มีการหยุดปล่อยกระแสไฟฟ้า (รูปที่ 3.5)

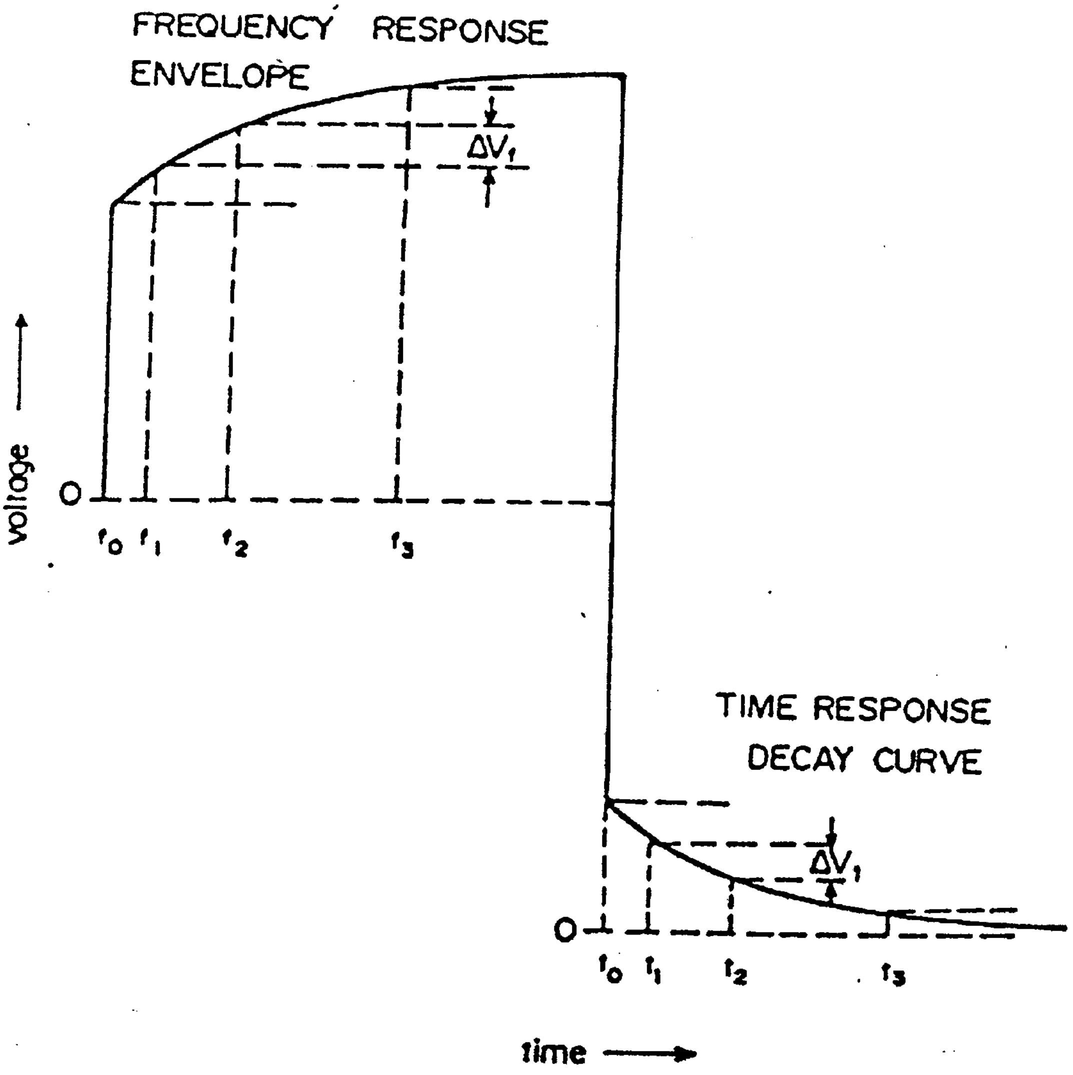
สำหรับการแสดงค่า IP response ที่ใช้ frequency domain นั้นแสดงโดยค่า frequency effect (FE) ซึ่งมีค่าเท่ากับ V_f/V โดยที่ $V_f = V_2 - V_1$ โดยที่ FE มีค่าเหมือนกับ IP response ที่ได้จากการสำรวจแบบ time domain ซึ่งแสดงเป็นค่า chargeability (M) ที่มีค่าเท่ากับ V_t/V

การดำเนินการสำรวจ

การสำรวจนิยมใช้การจัดวาง electrode แบบ dipole-dipole configuration (DPDP) แม้ว่าจะสิ้นเปลืองกำลังงาน และใช้เวลาในการปฏิบัติงานมากกว่า configuration แบบอื่นๆ แต่วิธีนี้เป็นวิธีที่พิสูจน์แล้วว่าจะให้ผลการสำรวจที่น่าเชื่อถือมากที่สุด (Coggan, 1973)

การจัดวาง current electrode และ potential electrode ในแบบ DPDP แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 ตำแหน่งของ transmitter จะอยู่ไปทาง station ที่มีค่าน้อยกว่าเสนอ เพื่อให้การนำเสนอข้อมูลในการสำรวจอยู่ในรูปแบบที่มีความต่อเนื่องทั้งในแนวราบและแนวลึก (successive continuous sounding)

เมื่อได้ข้อมูลภาคสนาม ซึ่งจะแสดงค่า chargeability ที่วัดมาจากแต่ละ dipole ก็สามารถนำมาแสดงในรูปของ pseudosection โดยที่ตำแหน่งของ IP response จะอยู่ที่ 45° จากกึ่งกลางของ current dipole และ potential dipole ที่สอดคล้องกัน โดย pseudosection นี้จะแสดง electrical property หรือ IP response ในแบบของ 2-dimensions ที่ง่ายต่อการแปลความหมายทั้งในทางในแนวระนาบ (profile) และในทางลึก (sounding) ดังแสดงใน (รูปที่ 3.7)

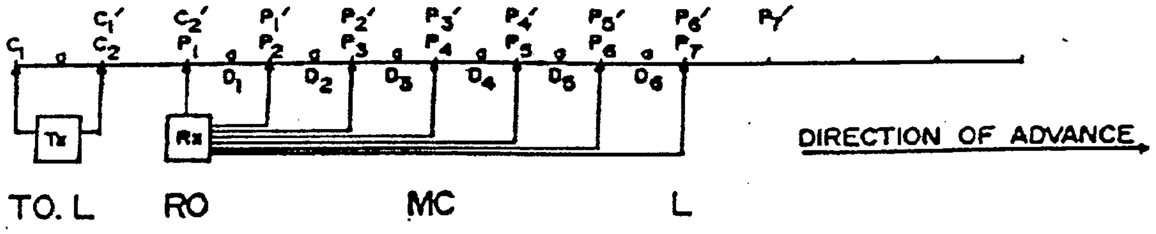


รูปที่ 3.5

แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างการสำรวจแบบ FREQUENCY DOMAIN และ TIME-DOMAIN โดยใช้ LONG-PERIOD SQUARE WAVE

(FROM SUMNER , 1976)

DIPOLE-DIPOLE ARRAY



Tx – TRANSMITTER

Rx – RECEIVER

D – DIPOLE

RO – RECEIVER OPERATOR

L – LINEMAN

P – POTENTIAL ELECTRODE

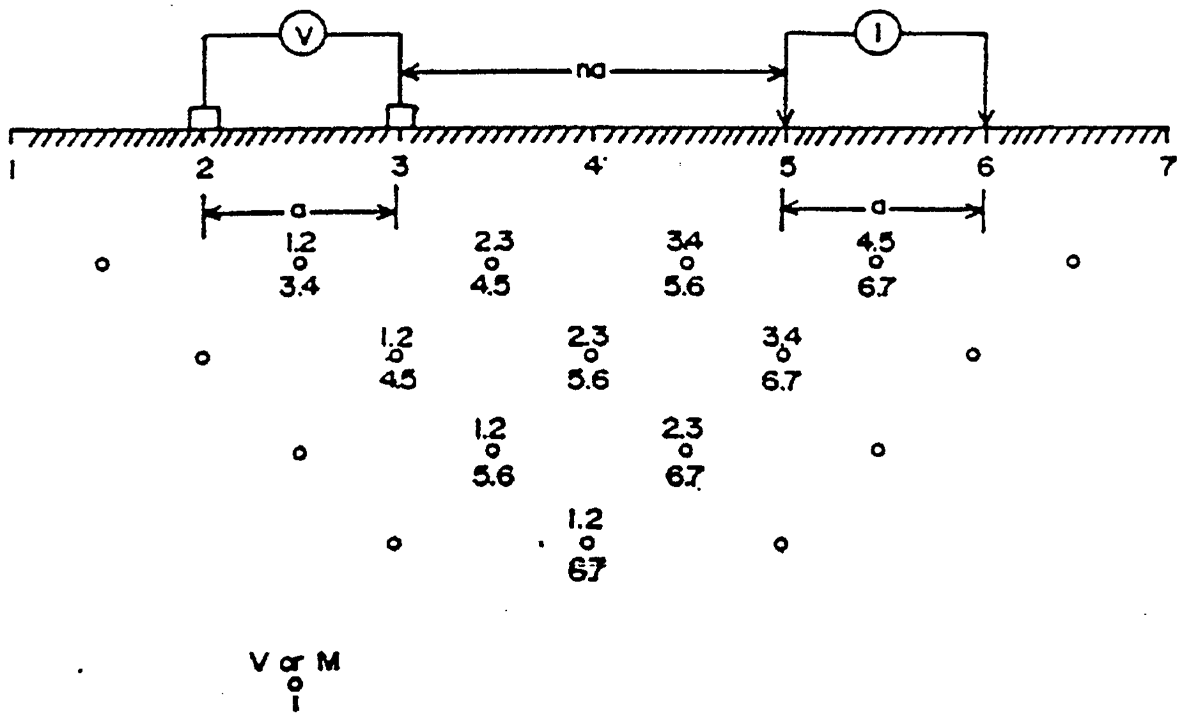
C – CURRENT ELECTRODE

MC – MULTICONDUCTOR CABLE

TO – TRANSMITTER OPERATOR

รูปที่ 3.6

แผนภาพแสดงวิธีการสำรวจ เพื่อบันทึกข้อมูลการสำรวจ IP แบบ DIPOLE - DIPOLE



$$\rho_a = \pi \frac{I}{V} n(n+1)(n+2)a$$

รูปที่ 3.7

แผนภาพแสดง *DIPOLE-DIPOLE ARRAY PSEUDOSECTION* ที่แสดง ELECTRICAL PROPERTY ในตำแหน่ง 45° จากกึ่งกลางของแต่ละ DIPOLE

(FROM SUMNER, 1976)

4. การสำรวจด้านแม่เหล็ก Magnetic Method

การสำรวจด้านแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นการสำรวจธรณีฟิสิกส์ที่อาศัยคุณสมบัติความเข้มสนามแม่เหล็กโลก (magnetic intensity) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของความเป็นแม่เหล็ก (magnetic susceptibility) ของแร่หรือหินต่าง ๆ ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกแบ่งออกได้สองประเภทคือ ความเข้มที่เกิดจากสนามแม่เหล็กโลกโดยตรง (remanent magnetiztion) และความเข้มที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กโลกต่อมวล หรือสารที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก (induced magnetization)

สนามแม่เหล็กโลก (The earth magnetic field)

การสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยวิธีการแม่เหล็ก เป็นการวัดค่าความผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลก ซึ่งเราต้องทราบลักษณะสนามแม่เหล็กโลก (Earth's magnetic field) ก่อน (รูปที่ 4.1) ลักษณะสนามแม่เหล็กโลกทั้งสองสนามแม่เหล็กโลกจะมีลักษณะ vertical บริเวณขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ และมีลักษณะ horizontal บริเวณเส้นศูนย์สูตร ขั้วของสนามแม่เหล็กจะมีทิศทางกลับกันกับขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ สนามแม่เหล็กโลกเป็นปริมาณเวคเตอร์ (vectors) ซึ่งสามารถใช้กำหนดขนาดและทิศทาง ณ จุดใด ๆ ปริมาณเวคเตอร์ประกอบด้วยตัวประกอบในแนวดิ่ง (Z) และตัวประกอบในแนวนอน (H) มุมระหว่างตัวประกอบแนวนอนกับขั้วเหนือทางภูมิศาสตร์ (geographic north pole) เรียกว่า declination angle (รูปที่ 4.2) และมุมระหว่างสนามแม่เหล็กโลกลัพธ์ (F) กับ ตัวประกอบในแนวนอนเรียกว่า inclination angle (รูปที่ 4.3)

ในบริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก (magnetic equator) จะมีค่ามุม inclination = 0^0 และอยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตรทางภูมิศาสตร์แต่ไม่ขนานกันและเนื่องจากขั้วแม่เหล็กเหนือใต้ทิศทางกลับกันกับขั้วเหนือและใต้ทางภูมิศาสตร์ ทำให้ตำแหน่งที่มีค่ามุม inclination = 90^0 อยู่ทางซีกโลกด้านเหนือ และตำแหน่งที่มีมุม inclination = -90^0 อยู่ทางซีกโลกใต้ ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกขึ้นอยู่กับลักษณะคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กของเปลือกโลกในแต่ละบริเวณ ค่าดังกล่าวจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากหินหรือแร่มีสารแม่เหล็กประกอบอยู่ต่างกัน

ทฤษฎีพื้นฐาน

แรงทางแม่เหล็ก

จากกฎของคูลอมบ์ (Coulomb's low) แรงทางแม่เหล็กคล้ายกับแรงของกฎการโน้มถ่วงของนิวตันขนาดของแรงที่เกิดขึ้น เนื่องจากขั้วแม่เหล็กสองขั้ว m_1 และ m_2 วางห่างกันคือ

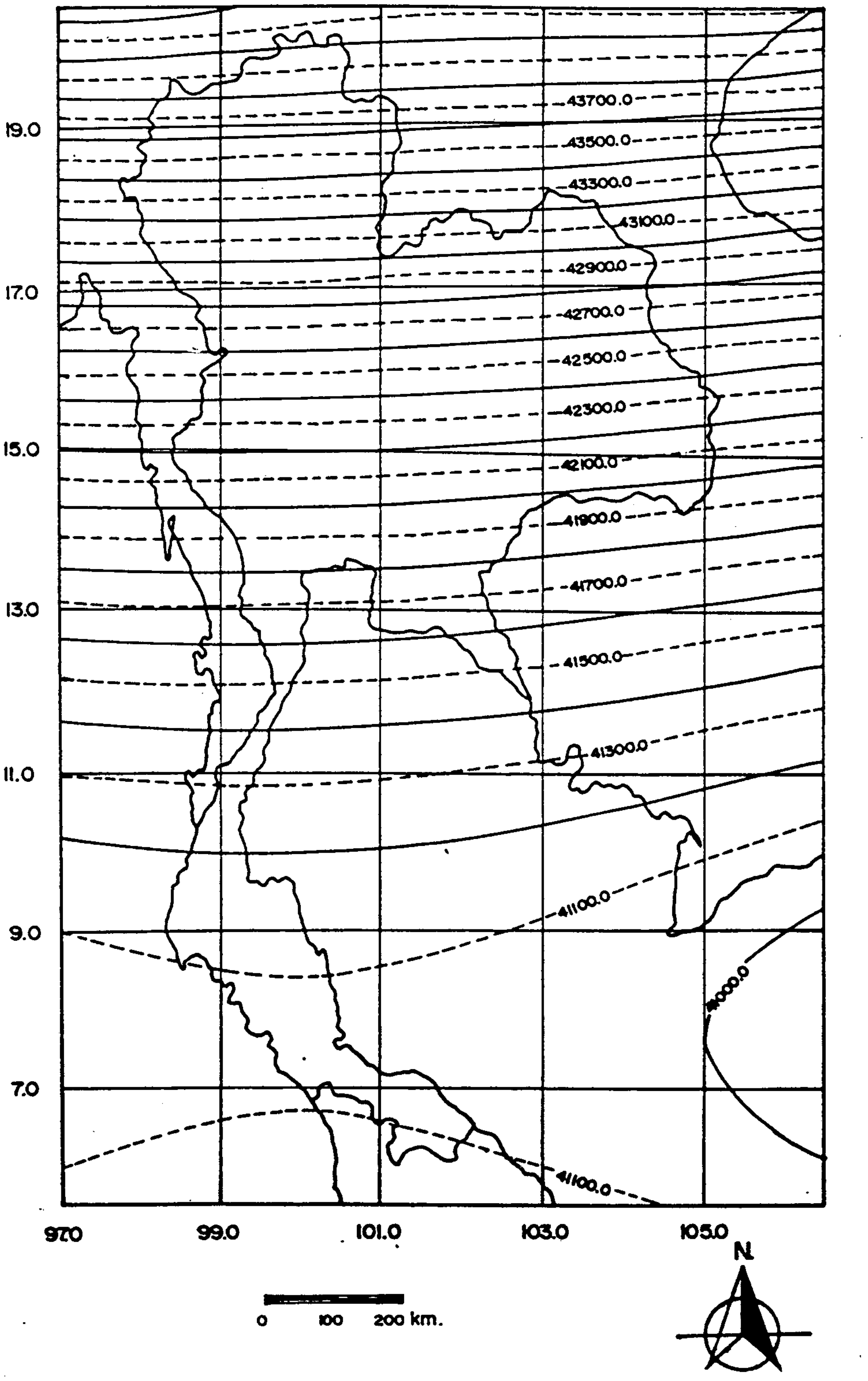
$$F = \frac{(m_1 m_2 r_1)}{Hr^2}$$

เมื่อ F เป็นแรงทางแม่เหล็กมีหน่วยเป็นดายน์ (dyne)

$m_1 m_2$ เป็นความเข้มทางขั้วหน่วย e.m.u.

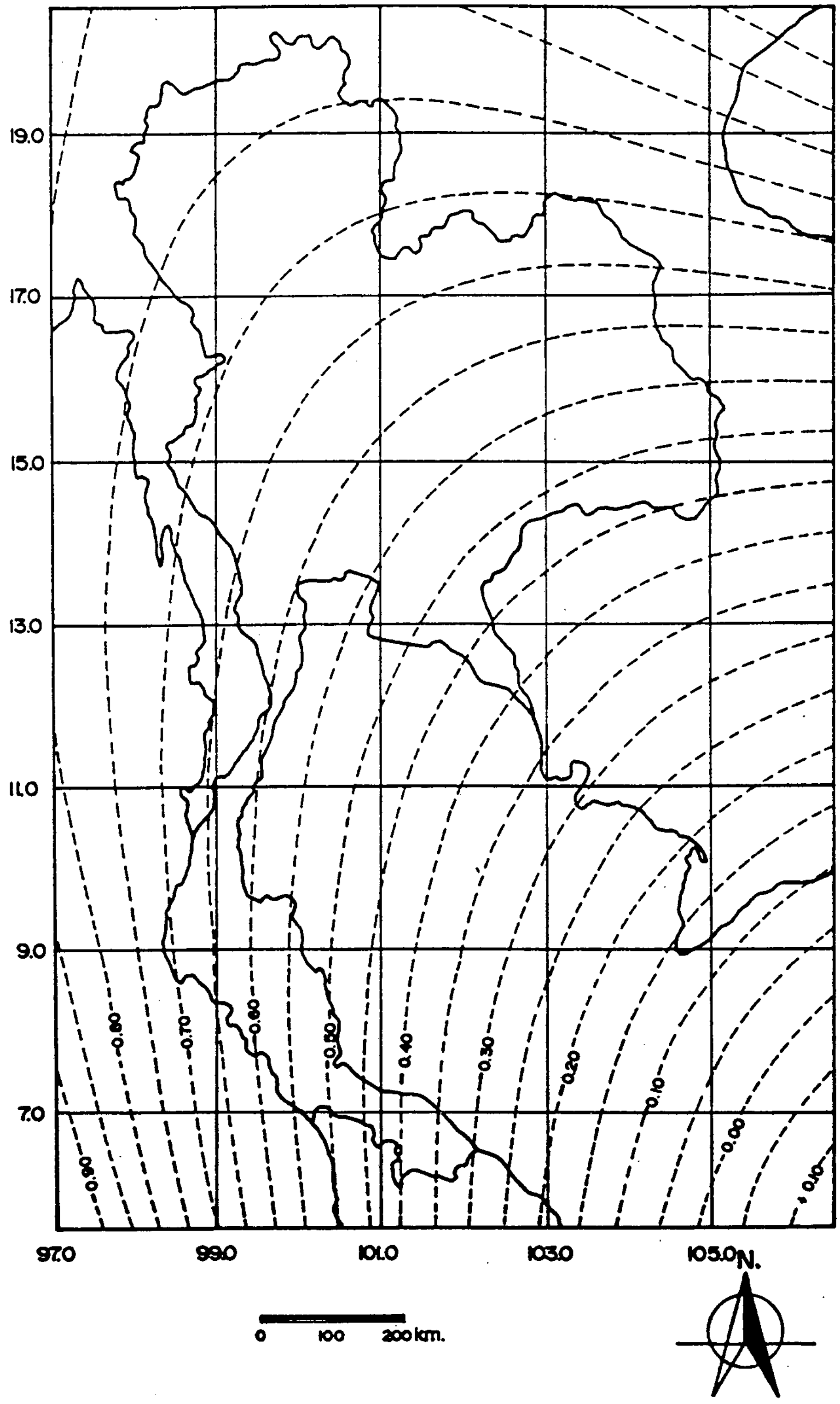
μ คือ magnetic permeability

ISODYNAMIC MAP OF THAILAND (1985)



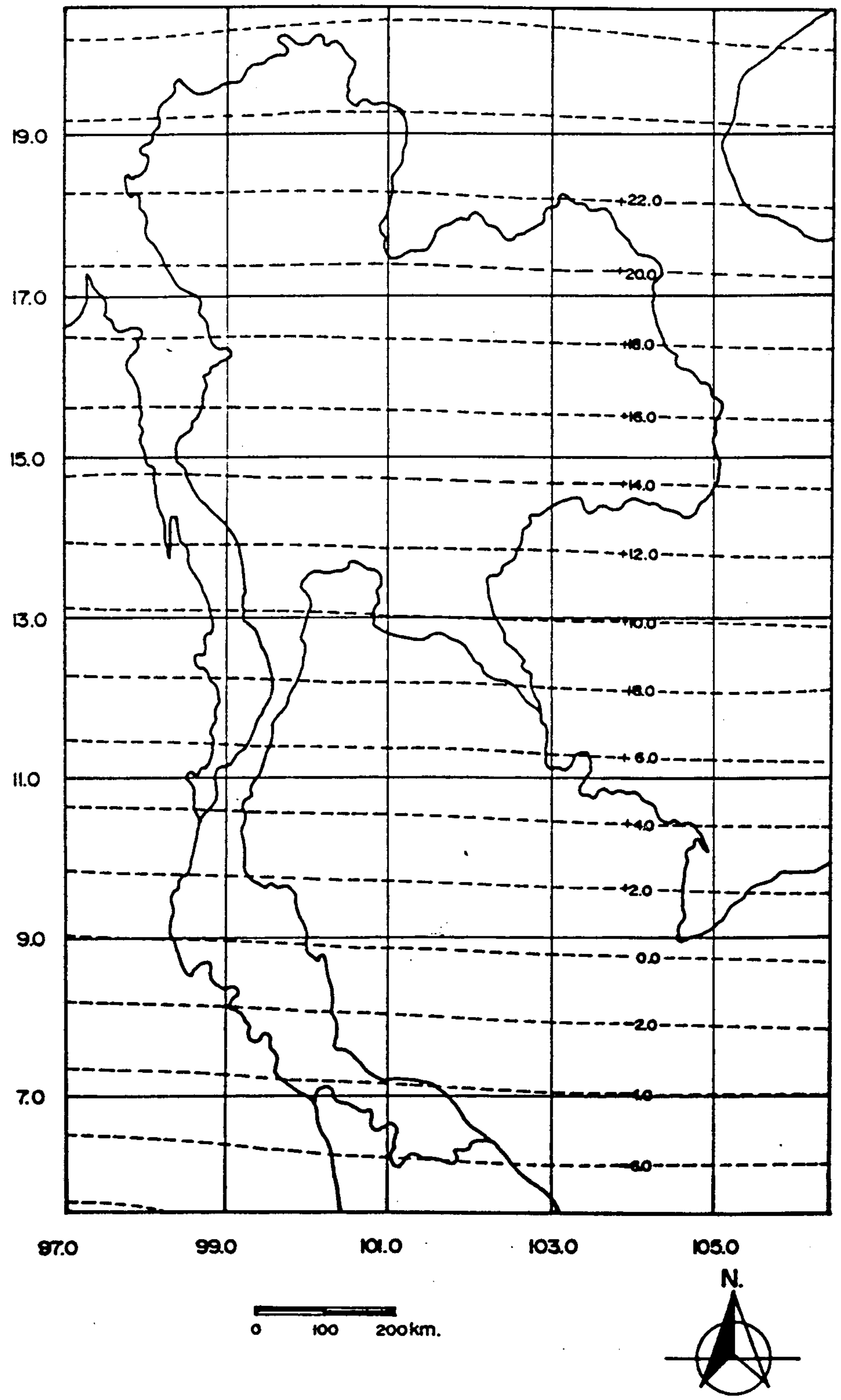
รูปที่ 4.1 Isodynamic Map of Thailand for 1985. The contour line shows the variation of Earth's magnetic total field intensity at 300m above msl..

ISOGONIC MAP OF THAILAND(1985)



รูปที่ 4.2 Isogonic Map of Thailand for 1985. The contour line shows the declination angle (in degree) of the Earth's magnetic field.

ISOCLINIC MAP OF THAILAND (1985)



รูปที่ 4.3 Isoclinic Map of Thailand for 1985. The contour line shows the inclination angle (in degree) of the Earth's magnetic field.

r	คือระยะห่างระหว่างขั้ว
r_1	เป็น unit vector

ความเข้มสนามแม่เหล็ก (magnetic field strength; H)

$$H = \frac{mr_1}{\mu r^2}$$

ในหน่วย cgs ความเข้มสนามแม่เหล็กโลกเป็นเออร์เท็ด (Oersted) หรือดายน์ต่อหน่วยขั้ว

ความเป็นแม่เหล็ก (magnetic susceptibility; K)

ค่าความเป็นแม่เหล็กหมายถึง การที่สารถูกเหนี่ยวนำให้เป็นแม่เหล็กได้ยากหรือง่ายเพียงใด ซึ่งขึ้นกับสารชนิดนั้นว่าประกอบด้วยสารแม่เหล็กมากน้อยเท่าไร

$$K = I/H$$

เมื่อ I = intensity of magnetization

H = magnetic field strength

การวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของสารแต่ละชนิดมีความสำคัญมากต่อการสำรวจ เพราะหากสารสองชนิดมีความเป็นแม่เหล็กแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยหรือไม่แตกต่างกันเลย ความเป็นสนามแม่เหล็กจากการเหนี่ยวนำของสารสองชนิดที่วัดได้บนผิวดินจะมีค่าไม่แตกต่าง ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการสำรวจโดยวิธีแม่เหล็กในการแยกสารสองชนิดออกจากกัน เพราะฉะนั้นก่อนการสำรวจด้านแม่เหล็กควรจะมีการวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของหินหรือแร่บริเวณที่จะทำการสำรวจก่อน

อินดักชั่นแม่เหล็ก (Induction magnetization; B)

การเกิดอินดักชั่นแม่เหล็ก หมายถึง เมื่อสารแม่เหล็กวางในสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีความเข้ม H ความเข้มสนามจะทำให้ขั้วแม่เหล็กคู่ภายในสารแม่เหล็กเรียงตัวให้สอดคล้องกับสนาม เมื่อเรียงตัวแล้วจะให้สนามตัวเองคือ H โดยที่

$$H = \Delta \pi I \qquad (1)$$

$$B = H + H \qquad (2)$$

(1) แทน (2) $= H + \Delta \pi I$

$= (1 + \Delta \pi K) H$

$B = H$

เมื่อ B คืออินดักชั่นแม่เหล็ก (Induced magnetization)

μ คือ magnetic permeability มีหน่วยเป็น gauss

ความเป็นแม่เหล็กตกค้าง (remanent or permanent magnetization; I)

ความเป็นแม่เหล็กตกค้าง คือความเป็นแม่เหล็กที่หลงเหลืออยู่ในสาร เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอกมาเกี่ยวข้อง หินเกือบทุกชนิดมีความเป็นแม่เหล็กตกค้างอยู่ (Ir) นอกเหนือจากความเป็น

แม่เหล็กจากการเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็กโลกปัจจุบัน (Ii) ความเข้มของการเป็นแม่เหล็กทั้งหมด (I) คือผลบวกรวมแบบเวคเตอร์ของ Ir และ Ii ค่าความเป็นแม่เหล็กตกค้าง Ir มีค่าสูงในหินอัคนี และหินแปรบางชนิด อัตราส่วนของ Ir กับ Ii เรียกว่า Konigsberger (Q) ความเป็นแม่เหล็กตกค้างอาจมีอิทธิพลเหนือความเป็นแม่เหล็กปัจจุบัน การพิจารณาและแปลความหมายข้อมูลการสำรวจต้องนำค่าความเป็นแม่เหล็กตกค้างมาร่วมในการพิจารณาด้วย

การแปรผันของสนามแม่เหล็กโลกกับเวลา (Temporal variations)

สนามแม่เหล็กโลกที่วัดได้ในบริเวณต่างๆ ทั่วโลก มีการแปรผันตลอดเวลาโดยการแปรผันเวลาที่คาบการแปรผันตั้งแต่วัน ชั่วโมง และวินาที ซึ่งเป็นผลมาจากดวงอาทิตย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม การแปรผันของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สำคัญได้แก่ การแปรผันประจำวัน (diurnal variation) พายุแม่เหล็ก (magnetic strom) การแปรผันเซกกิวลาร์ (secular variation) และการผันกลับของสนามแม่เหล็กโลก (reverse of the earth magnetic field) การแปรผันประจำวัน และพายุแม่เหล็กมีความสำคัญต่อการสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีแม่เหล็กมากในการสำรวจต้องมีการแก้ไข และหลีกเลี่ยงปรากฏการณ์ดังกล่าว เราจึงจำเป็นต้องศึกษาและทราบลักษณะการแปรผันของสนามแม่เหล็กโลก

การแปรผันประจำวัน (diurnal variation)

การแปรผันประจำวันของสนามแม่เหล็กโลกมี 2 ประเภทคือ ประเภทที่มีคาบการแปรผัน 24 ชั่วโมง มีขนาดการเปลี่ยนแปลง 30-60 gammas เรียกว่าการแปรผันประจำวันโดยดวงอาทิตย์ (solar diurnal variation) เป็นผลมาจากการที่สนามแม่เหล็กของโลกถูกรบกวนจากอิทธิพลดวงอาทิตย์ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในชั้นบรรยากาศของโลก ทำให้สนามแม่เหล็กโลกจะเปลี่ยนในช่วงเวลากลางวันมากกว่าในเวลากลางคืน ส่วนการแปรผันอีกประเภทหนึ่ง คือการแปรผันประจำวันโดยดวงจันทร์ (lunar diurnal variation) มีคาบการแปรผัน 20 ชั่วโมง มีขนาดประมาณ 2 gammas การแปรผันประจำวันโดยดวงอาทิตย์มีผลกระทบต่อข้อมูลการสำรวจด้านแม่เหล็กมาก ดังนั้นในการสำรวจจึงต้องมีการวัดค่าแปรผันดังกล่าวเพื่อนำไปแก้ค่าผลการสำรวจด้วย

พายุแม่เหล็ก (Magnetic storm)

ในบางครั้งสนามแม่เหล็กจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน อาจจะมีการแปรผัน 50-100 gammas ในช่วงเวลา 2-3 นาที ช่วงการแปรผันอาจเกิดในช่วงสั้นๆ หรืออาจเกิดเป็นเวลานาน ในขณะที่เกิดการแปรผันพายุแม่เหล็กเราต้องหยุดทำการสำรวจด้านแม่เหล็กไว้ก่อน

ไมโครพัลเซชั่น (Micropulsations)

เป็นการแปรผันของสนามแม่เหล็กที่เกิดในช่วงสั้นๆ 0.01 วินาที ถึง 10 นาที เป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดไม่ใหญ่

เครื่องมือวัดสนามแม่เหล็กและลักษณะค่าผิดปกติจากการสำรวจ

สำหรับเครื่องมือที่ใช้วัดสนามแม่เหล็กแบ่งออกได้หลายชนิด ปริมาณที่ต้องการวัดคือค่าสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็ก ณ จุดต่างๆ ตัวอย่างของเครื่องมือดังกล่าวเช่น แบบวารีโอมิเตอร์แม่เหล็ก

(magnetic variometer) พวก Schmidt vertical balance และ torsion head magnetometer แบบฟลักซ์เกทแมกนีโตมิเตอร์ และแบบโปรตอนแมกนีโตมิเตอร์ ซึ่งข้อดีของโปรตอนแมกนีโตมิเตอร์ คือมีความแม่นยำถึง 1 gamma

สำหรับลักษณะของ profile ค่าความผิดปกติจากการสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งในกรณีนี้ขอกล่าวเฉพาะสนามรวม (total field) เพราะในปัจจุบันโปรตอนแมกนีโตมิเตอร์ ซึ่งใช้วัด (total magnetic field) ได้เข้ามามีบทบาทมากในการสำรวจด้านแม่เหล็ก เนื่องจากสนามรวมเป็นผลรวมทางเวคเตอร์ของสนามแม่เหล็กโลก และสนามแม่เหล็กของวัตถุแม่เหล็กที่อยู่ในบริเวณนั้น ซึ่งสนามแม่เหล็กของวัตถุมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับสนามแม่เหล็กโลก ดังนั้นสนามแม่เหล็กรวมถึงมีค่าแตกต่างกับสนามแม่เหล็กโลกเล็กน้อย และมีทิศทางตามสนามแม่เหล็กโลกซึ่งคงที่ในบริเวณหนึ่ง ๆ ลักษณะ profile ค่าผิดปกติรวม (total magnetic field anomaly; F) ขึ้นอยู่กับมุมเท (inclination) ของบริเวณนั้นด้วย

วัตถุประสงค์การสำรวจ

วิธีการสำรวจด้านแม่เหล็ก อาศัยการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กบนผิวโลก เพื่อค้นหาสิ่งที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้น เพราะวัตถุแต่ละชนิดที่อยู่ใต้ผิวโลกมีความสามารถเป็นแม่เหล็กไม่เหมือนกัน จากคุณสมบัติดังกล่าวเราสามารถประยุกต์ใช้สำรวจหาแหล่งแร่เหล็ก เช่น แมกนีไทต์ (magnetite) อิลเมไนต์ (ilmenite) และ พิร์โรไทต์ (pyrrhotite) นอกจากจะใช้สำรวจสินแร่ดังกล่าวยังใช้ศึกษาสภาพทางธรณีวิทยาและธรณีโครงสร้างต่าง ๆ ด้วย และเพื่อนำข้อมูลมาประกอบพิจารณาร่วมกับการสำรวจธรณีฟิสิกส์วิธีอื่น ๆ

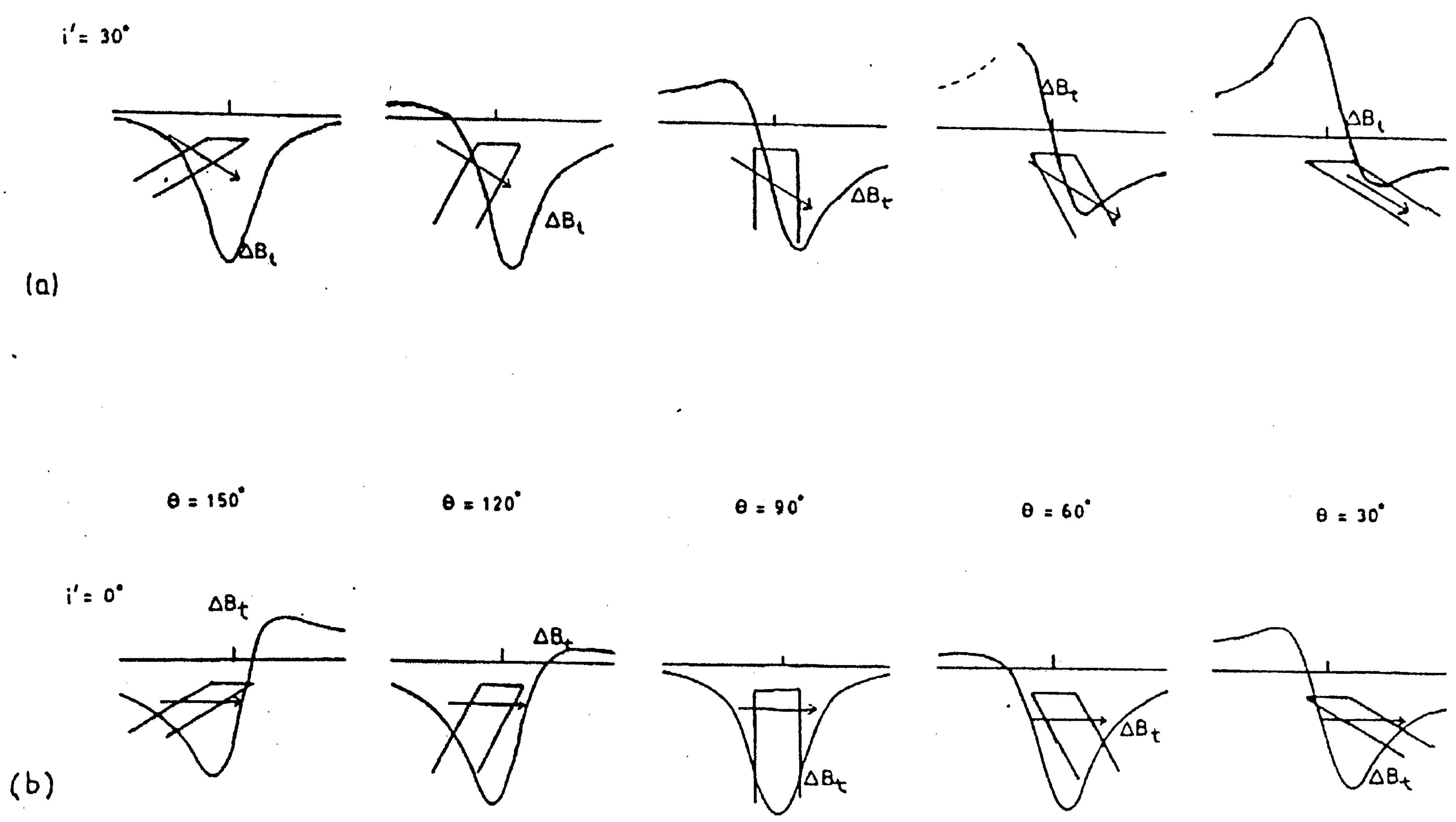
ความเข้มสนามแม่เหล็กของวัตถุใด ๆ ขึ้นอยู่กับค่าสนามแม่เหล็กโลก ค่าความซึมซาบในการเป็นแม่เหล็ก (magnetic susceptibility) ของวัตถุ แร่แมกนีไทต์เป็นแร่ที่มีค่าความซึมซาบในการเป็นแม่เหล็กสูงที่สุด

การกำหนดลักษณะของ Magnetic anomaly

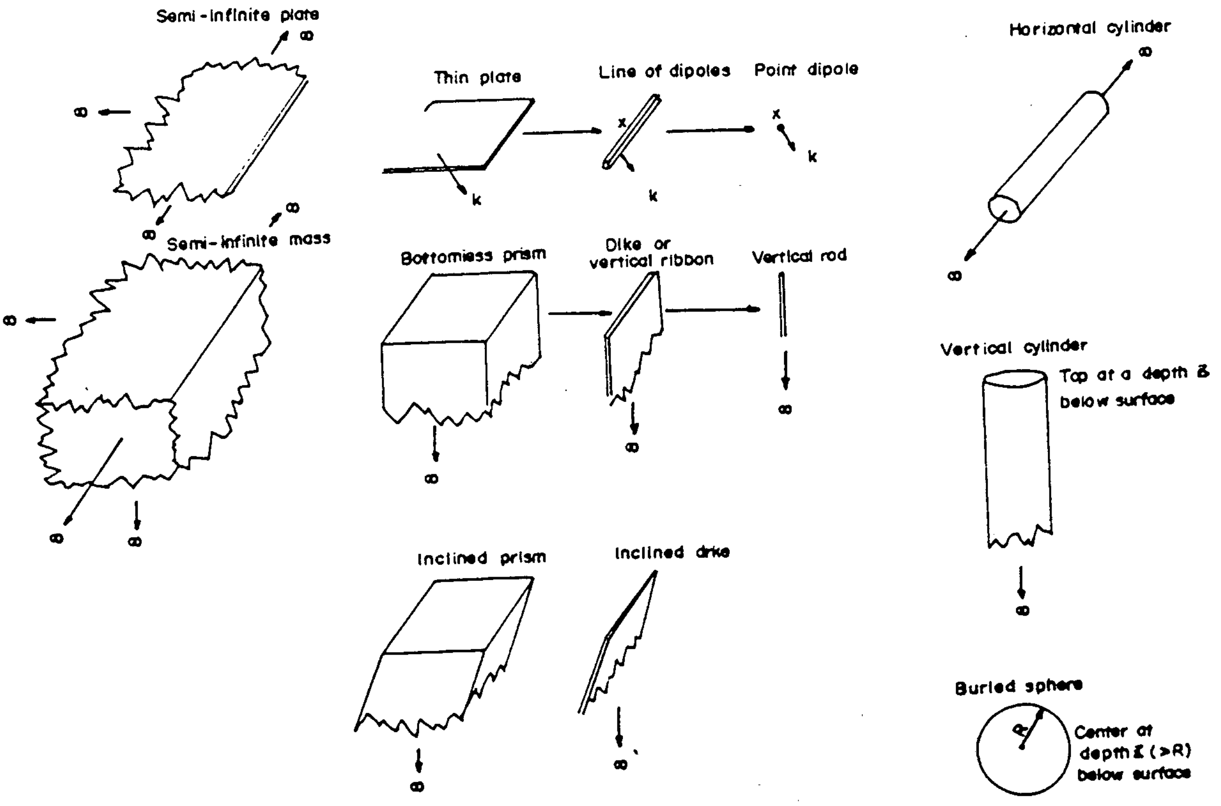
รูปแบบค่าผิดปกติจะขึ้นอยู่กับค่ามุมเทที่ตำแหน่งของวัตถุบนพื้นโลก และการวางตัวของวัตถุ (orientation) สำหรับประเทศไทย จะมีค่ามุมเทน้อยระหว่าง 6° S - 22° N รูปร่างของค่าผิดปกติจึงมีทั้งค่าบวกและค่าลบดังแสดงในรูปที่ 4.4

การแปลความหมายโดยทั่ว ๆ ไป นิยมใช้การสร้างรูปแบบจำลอง (model) ของมวลวัตถุตามข้อมูลทางธรณีวิทยาโดยสร้างรูปแบบจำลองให้สอดคล้องกับลักษณะทางธรณีวิทยา เช่นที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 และคำนวณหาค่าความเข้มสนามแม่เหล็กของวัตถุนั้น ให้มีค่าใกล้เคียงที่สุดกับผลการสำรวจที่ได้จากการวัดค่าในสนาม

การสำรวจด้านแม่เหล็ก นอกจากจะใช้หาแหล่งแร่ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กสูงแล้ว ยังสามารถใช้หาโครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่น รอยเลื่อน (fault) เพราะแร่โลหะจำพวก oxides มักจะสะสมตัวอยู่ตามรอยแตกของหินที่เกิดจากรอยเลื่อนต่าง ๆ หรือใช้หาขอบเขตของชนิดหิน เนื่องจากหินต่างชนิดกันจะมีส่วนประกอบของสารแม่เหล็กต่างกันด้วย



รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดง MAGNETIC ANOMALOUS CURVE สำหรับการสำรวจในประเทศไทย (FROM PARASNIS, 1986)



รูปที่ 4.5 Simple magnetic Models.
(from Sheriff (1973) p. 144)

เอกสารประกอบการฝึกอบรม

"เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่"

เรื่อง

การสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ผิวดิน

โดย

พัชระ จริยาวัฒน์

ฝ่ายแร่โลหะ

กองเศรษฐธรณีวิทยา

การสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ผิวดิน

หลังจากทำการสำรวจธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ ธรณีเคมี ธรณีฟิสิกส์ และแปลความหมายข้อมูลดังกล่าวแล้วพบว่า ในพื้นที่สำรวจมีบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่ ขั้นตอนต่อมาเป็นการสำรวจขั้นรายละเอียดโดยการสำรวจใต้ผิวดิน เพื่อตรวจสอบให้แน่ชัดว่าบริเวณดังกล่าวมีแหล่งแร่อยู่จริงหรือไม่ อีกทั้งมีขนาด รูปร่าง ตลอดจนมีความสมบูรณ์เป็นอย่างไร ทั้งนี้เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้สำหรับการประเมินปริมาณสำรองของแหล่งแร่นั้น ๆ ต่อไป

การสำรวจในขั้นตอนนี้กระทำได้โดยการขุดหลุมทดลอง ขุดคูทดลอง และเจาะสำรวจ การเลือกใช้วิธีการใดให้เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการกำเนิดของแหล่งแร่ สภาพทางธรณีวิทยา สภาพภูมิประเทศ ตลอดจนรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องการจะได้

การขุดหลุมทดลอง

→ ลานแร่ดีบุก, ลานแร่พลอย
→ มักมีปัญหา "น้ำใต้ดิน"

การขุดหลุมทดลองโดยอาศัยแรงงานคนและเครื่องมือขุดอย่างง่าย ๆ เช่น จอบ เสียม ชะแลง และอีเตอร์ เป็นต้น นับเป็นวิธีการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ผิวดินแบบที่ง่ายที่สุดที่ทำกันมาตั้งแต่สมัยอดีต และปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศไทยและประเทศที่ยังคงมีค่าแรงงานถูก วิธีการนี้เหมาะสำหรับงานสำรวจแหล่งแร่ในระดับตื้นหรือลึกไม่เกิน 10 เมตร และสภาพของชั้นดิน ชั้นหิน ที่แร่สะสมตัวอยู่นั้นจะต้องไม่แข็งมากนัก เช่น แหล่งลานแร่ดีบุกและแหล่งลานแร่พลอย เป็นต้น

โดยทั่วไปหลุมทดลองจะมีขนาดกว้างและยาวไม่น้อยกว่า 1 เมตร (รูปที่ 1) ส่วนความลึกมักจะขุดให้ถึงชั้นหินดาน (bed rock) หรือเท่าที่จะสามารถขุดได้ ปัญหาที่มักจะประสบอยู่เสมอและเป็นอุปสรรคสำคัญของงานขุดหลุมทดลองก็คือ "น้ำใต้ดิน" ซึ่งเป็นตัวการที่ทำให้เกิดการพังทลายและทรุดตัวของผนังหลุมสูง ส่งผลให้งานขุดกระทำได้ค่อนข้างยากลำบาก การแก้ปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยเครื่องสูบน้ำช่วยสูบน้ำออกจากหลุมและใช้วัสดุค้ำยันผนังหลุม ตัวอย่างเช่น การขุดหลุมทดลองสำรวจแร่พลอยในพื้นที่อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ใช้การสานชะลอมไม้ไผ่ลงไปขัดค้ำยันผนังหลุม (รูปที่ 2)

รูปที่ 1 หลุมขุดทดลอง

รูปที่ 2 ลักษณะการสานชะลอมไม้ไผ่ลงไปขัดค้ำยันหลุมทดลอง

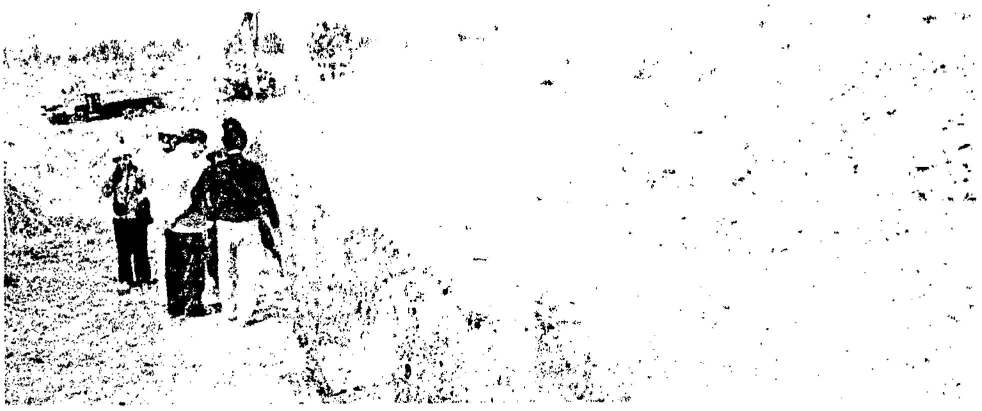
ในการบันทึกข้อมูลหลุมทดลอง ข้อมูลตำแหน่งหลุม และข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ทางธรณีวิทยา อาทิ ความหนาของชั้นดิน ชั้นหิน ชั้นกะสะที่ให้แร่ ฯลฯ จะต้องได้รับการบันทึกไว้อย่างละเอียดตามแบบฟอร์มที่กำหนด และควรถ่ายภาพข้อมูลทางธรณีวิทยาจากหลุมทดลองที่ขุดโดยมีเทปวัดระยะเป็นมาตราส่วนด้วย

ส่วนการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์หาชนิดแร่และปริมาณแร่นั้น จะเก็บตามระดับความลึก โดยจำนวนตัวอย่างจะขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงทางกายของชั้นดินและหิน แต่ควรเก็บตัวอย่างแต่ละช่วงความลึกไม่เกินประมาณ 0.5 เมตร การเก็บตัวอย่างให้เก็บจากด้านใดด้านหนึ่งของหลุมทดลอง โดยการเซาะเป็นร่องให้มีขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร และลึก 5 เซนติเมตร หรือมากกว่า ให้ได้ตัวอย่างละประมาณ 1 กิโลกรัม

การขุดคูทดลอง

→ ขอบเขตการแผ่กระจาย & ความต่อเนื่องของแหล่งแร่

การสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ผิวดินโดยการขุดคูทดลอง เหมาะสำหรับแหล่งแร่ระดับตื้นที่มีสภาพของชั้นดิน-หิน ไม่แข็งมากนัก เช่นเดียวกับการขุดหลุมทดลอง แต่วิธีการนี้เป็นการสำรวจเพื่อหาขอบเขตการแผ่กระจายและตรวจสอบความต่อเนื่องของแหล่งแร่หรือสายแร่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง (รูปที่ 3) ในอดีตการขุดคูทดลองใช้แรงงานคนเป็นหลัก แต่ปัจจุบันในบางพื้นที่ เช่น แถบอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ได้มีการนำรถขุดตัก (backhoe) เข้ามาช่วย ทำให้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น



รูปที่ 3 การขุดคูทดลอง

โดยทั่วไปคูทดลอง มีขนาดกว้างไม่น้อยกว่า 1 เมตร และลึกไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร หรือลึกจนถึงชั้นหินดาน ส่วนความยาวไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพของแหล่งแร่ในแต่ละพื้นที่ซึ่งแตกต่างกัน รวมถึงรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องการจะได้ โดยอาจยาว 25 เมตร หรือ 50 เมตร หรืออาจถึง 100 เมตร ก็เป็นได้

ในการบันทึกข้อมูลการสำรวจ ตำแหน่งของคูทดลอง และรายละเอียดต่างๆ ของข้อมูลธรณีวิทยา เช่น ความหนาของชั้นดิน-ชั้นหิน การเปลี่ยนสภาพของหิน ขนาดและทิศทางของสายแร่ตัดผ่านชั้นหิน ฯลฯ จะต้องบันทึกไว้โดยละเอียดตามแบบฟอร์มที่กำหนด และควรถ่ายภาพข้อมูลทางธรณีวิทยาของคูทดลองโดยมีเทปวัดระยะเป็นมาตราส่วนด้วย

ส่วนการเก็บตัวอย่าง ให้เก็บตัวอย่างหินทุกช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพตามแนวยาว แต่ควรเก็บที่ทุกช่วงความยาว 0.5-1 เมตร เพื่อนำมาวิเคราะห์ทางเคมี ส่วนตัวอย่างดินให้เก็บทุกระยะ 1 เมตร โดยเก็บตัวอย่างที่ก้นหลุมของคูทดลองให้ได้ตัวอย่างละประมาณ 1 กิโลกรัม

การเจาะสำรวจ

การเจาะสำรวจเป็นวิธีที่ใช้ในการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ผิวดินในระดับความลึกมากกว่าการขุดหลุมทดลอง และคูทดลอง ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การเจาะสำรวจมีหลายแบบหลายวิธี แต่ที่จะกล่าวถึง ณ ที่นี้ คือ การเจาะสำรวจด้วยชุดเจาะบังก้า การเจาะสำรวจด้วยเครื่องเจาะแบบเข็มเจาะ

การเจาะสำรวจด้วยชุดเจาะบังก้าหรือเอ็มไพร์ (Banka or Empire drill)

(คัดลอกจากบางส่วนของบทความเรื่อง "เข็มเจาะ (Bore-Pile Drilling) กับเครื่องผสมคอนกรีต (Concrete Mixer) ทางเลือกใหม่ในการสำรวจแหล่งลานแร่พลอย" โดย รวย ลิ้มสุวรรณ, 2544 *ใน* เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องพลอยมาดากัสการ์ : นิมิตรใหม่ของผู้ประกอบการไทย, กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี)

ชุดเจาะบังก้า (Banka drill) เป็นชุดเครื่องมือเจาะสำรวจที่นิยมใช้ในการสำรวจแหล่งลานแร่ดีบุกในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มาตั้งแต่อดีต และได้ถูกนำเอามาใช้เป็นแบบอย่างเพื่อเจาะสำรวจแหล่งลานแร่รัตนชาติและแหล่งลานแร่ชนิดอื่น ๆ อีกหลายชนิดในหลายพื้นที่ของประเทศไทยกันอย่างแพร่หลาย (รูปที่5)

รูปที่ 5 การเจาะและอุปกรณ์ของชุดเจาะสำรวจแบบบังก้า

ชุดเจาะบังก้าเป็นเครื่องมือเจาะสำรวจที่ใช้กำลังของแรงงานคนเป็นหลักในการเจาะ เหมาะสมกับการเจาะที่ความลึกไม่ควรเกิน 100 ฟุต หากต้องการเจาะสำรวจที่ความลึกมากกว่านี้ ควรใช้พลังงานจากเครื่องยนต์แทน ปกติขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อกรุ (Casing) มีหลายขนาดตั้งแต่ 3.5, 4, 5 และ 6 นิ้ว แต่ขนาดมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากคือ ท่อกรุขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ซึ่งมีท่อเก็บตัวอย่าง (Sand bailer) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว

ส่วนประกอบหลักของชุดเจาะบังก้า

1. คนงานจำนวน 10-14 คนต่อชุดเจาะ 1 คณะ
2. ท่อกรุ (Casing) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ยาว 5 ฟุต จำนวน 20 ท่อน
3. หัวท่อกรุ (Casing cutting shoe) จำนวน 2-4 อัน
4. หัวบนท่อกรุ (Casing-head) จำนวน 10-12 อัน
5. ตัวประกับจับท่อกรุ (Casing clamp) จำนวน 2-3 คู่
6. ท่อเก็บตัวอย่าง (Sand bailer) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ยาว 3 และ 5 ฟุต จำนวน 2-4 อัน
7. หัวท่อเก็บตัวอย่าง (Sand bailer cutting shoe) จำนวน 10-12 อัน
8. หัวเจาะแบบอื่นเช่น หัวแบบลิ่ม หัวแบบสว่าน ฯลฯ
9. เหล็กตีหัวบนท่อกรุ จำนวน 2 อัน
10. ก้านเจาะสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาด $1^1/_8$ x $1^1/_8$ ตร.นิ้ว ยาว 5 และ 10 ฟุต จำนวน 10 อัน
11. ประแจจับก้านเจาะ จำนวน 8 อัน
12. ไม้กระดานแท่นยืน (Platform) จำนวน 1 อัน
13. อื่น ๆ เช่น ถาดรับกะสะ ถังตวง เลียง เสียม ชะแลง กระสอบป่านบังแดด ฯลฯ

วิธีการเจาะเก็บตัวอย่างของชุดเจาะบังก้า (Banka drilling method)

การทำงานของชุดเจาะบังก้าต้องใช้คนงานอย่างน้อยที่สุด 10 คน แบ่งเป็นช่างเจาะ 8 คน หัวหน้างาน 1 คน ทำหน้าที่เก็บข้อมูลทำตัวอย่างและรายงาน พนักงานหาบน้ำและงานเบ็ดเตล็ดซักล้างหุงหาอาหารอีก 1-2 คน เวลาทำงานจะเริ่มตั้งแต่ 6 โมงเช้า ถึงบ่าย 2 โมง เจาะได้ความลึกเท่าไรก็เอาแค่นั้นไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของช่างเจาะและลักษณะชั้นใต้ดินของแหล่งแร่

วิธีการเจาะ เริ่มต้นโดยใช้ชะแลงและเสียมขุดดินตรงตำแหน่งที่ต้องการเจาะสำรวจ ให้ได้หลุมที่มีขนาดใหญ่กว่าความโตของท่อกรุเล็กน้อย และลึกประมาณ 3-4 ฟุต จากนั้นก็นำ “ตัวนำ” คือ ท่อกรุที่ประกอบหัวท่อกรุซึ่งทำด้วยเหล็กแข็งพิเศษปลายล่างลบเหลี่ยมด้านในเป็นสันคม ลงเป็นท่อนแรกให้ฝังตัวดีแล้วใส่หัวบนท่อกรุ จากนั้นจึงต่อท่อกรุอีกท่อนหนึ่ง โดยใช้ตัวประกับจับท่อกรุจับตอนบนท่อกรุ โดยอยู่ใต้ล่างหัวบนท่อกรุ แล้วประกอบแท่นยืนไม้กระดานบนก้านของตัวประกับจับท่อกรุ จากนั้นช่างเจาะจำนวน 4 คน ขึ้นไปยืนบนแท่น แล้วต่อท่อเก็บตัวอย่างเข้ากับก้านเจาะหย่อนลงในท่อกรุ โดยใช้ประแจจับก้านเจาะยืนทะแยงมุมกัน ให้สัญญาณเสียงแล้วยกประแจขึ้นพร้อมกัน ท่อเก็บตัวอย่างจะถูกยกขึ้นและกระแทกลงไปฝังในชั้นดิน (รูปที่ 5)

จากนั้นจับประแจยึดก้านเจาะไว้แล้วเดินวนขวาไปรอบ ๆ เพื่อทำให้ท่อเก็บตัวอย่างหลวมแล้วจึงยกขึ้นพร้อมกันกระแทกลงไปอีก ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ส่วนคนงานอีก 4 คนข้างล่างจะยืนบนพื้นดิน ทำหน้าที่จับแกนตัวประกับจับท่อกรุหมุนโยกท่อกรุกลับไปกลับมาเพื่อให้ท่อกรุฝังตัวลึกตามลงไปเรื่อย ๆ หากท่อกรุนั้นหมุนไม่ลง คนงานที่ยืนอยู่บนแท่นไม้กระดานจะเปลี่ยนประแจจับก้านเจาะอันใดอันหนึ่งเป็นแผ่นเหล็กตีหัวท่อกรุ จับยึดก้านเจาะตรงตำแหน่งเหนือหัวบนท่อกรุเล็กน้อย แล้วยกขึ้นพร้อมกันตีแผ่นเหล็กลงไปที่หัวท่อกรุจะทำให้ท่อกรุฝังตัวลงไป คนงานที่อยู่ข้างบนและข้างล่างจะสลับเปลี่ยนกันขึ้นลง เพราะช่างเจาะ 4 คนที่ทำงานเจาะอยู่ข้างบนจะทำงานเหนื่อยมากกว่าคนที่อยู่ข้างล่าง

การเก็บตัวอย่าง เมื่อเจาะลึกได้ระยะประมาณ 1-2 ฟุต จะยกถอนก้านเจาะเพื่อดึงท่อเก็บตัวอย่าง (Sand bailer) ขึ้นมา ท่อเก็บตัวอย่างจะมีลิ้นป้องกันการไหลกลับของตัวอย่างอยู่ตอนปลายล่าง

ตัวอย่างสามารถที่จะไหลเข้าได้แต่จะไหลย้อนกลับออกไปไม่ได้ ตัวอย่างที่เก็บได้จะถูกเทหรือกระแทกออกทางปลายเปิดด้านบน โดยใช้ไม้หมอนรองกันเกลียวปลายท่อเก็บตัวอย่างชำรุด (รูปที่ 6)

รูปที่ 6 การเก็บตัวอย่างของชุดเจาะสำรวจแบบบังก้า

เมื่อเจาะถึงชั้นที่ต้องการเก็บตัวอย่าง ซึ่งนิยมเก็บทุกช่วง 3 หรือ 5 ฟุต โดยวัดหรือดูจากระยะความลึกของท่อกรุ จะเก็บตัวอย่างรวมกันใส่ถุงเขียนเบอร์พร้อม รายละเอียดต่าง ๆ แล้วส่งไปทำตัวอย่างเพื่อประเมินผลต่อไป การเจาะจะดำเนินไปจนหมดชั้นกะสะแร่หรือถึงชั้นดานรองรับชั้นกะสะแร่ที่ต้องการ

การถอนท่อกรุ จะใช้ตัวประกับจับท่อกรุไว้ ใช้ไม้หมอนรองแล้วใช้ไม้ท่อนยาว ๆ งัดถอนท่อกรุขึ้นทีละท่อน หรือใช้ชุดสามขาพร้อมรอกค่อย ๆ ถอนท่อกรุขึ้น ทีละท่อน

ประสิทธิภาพและความสามารถในการทำงาน (Capability) ของชุดเจาะสำรวจบังก้า (Banka drilling)

ชุดเจาะสำรวจบังก้าขนาดมาตรฐานที่มีท่อกรุขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ยาว 3 และ 5 ฟุต และมีท่อเก็บตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว มีประสิทธิภาพและความสามารถในการทำงานดังนี้คือ

1. เครื่องมือมีขนาดเล็กคล่องตัว เข้าถึงพื้นที่ได้ง่าย
2. ใช้พื้นที่ทำงานน้อย ที่ดินไม่เสียหาย
3. เก็บตัวอย่างในชั้นตะกอนละเอียดได้ดี กรณีชั้นกะสะแร่ที่มีกรวดใหญ่มาก มักจะเก็บตัวอย่างในท่อกรุได้ประมาณ 30-60% ของปริมาตรท่อกรุ
4. อัตราเร็วในการเจาะเฉลี่ย 3 ฟุต/ชั่วโมง
5. ความลึกที่เหมาะสมไม่ควรเจาะเกินระยะ 30 เมตร (100 ฟุต) หากเจาะลึกกว่านี้ควรใช้แรงขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์แทน
6. ปริมาตรท่อกรุขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว x 3 ฟุต เท่ากับ 8 ลิตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว x 5 ฟุต เท่ากับ 12 ลิตร
7. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกรวดและเศษหินใหญ่ที่สุดที่เก็บได้เท่ากับ 2.5 นิ้ว

8. ตัวอย่างมักแตกหักเสียหายมาก และได้ไม่ครบทุกขนาด
9. การเจาะเป็นแบบกระแทก (Percussion) และหมุน (Rotary) รอบตัว
10. พื้นที่เป็นหินแข็งเจาะได้ช้าและลำบาก บางพื้นที่เจาะไม่ได้

การเจาะสำรวจด้วยเครื่องเจาะสำรวจแบบ "เข็มเจาะ (Bore-Pile drilling)"

(คัดลอกจากบางส่วนของบทความเรื่อง "เข็มเจาะ (Bore-Pile Drilling) กับเครื่องผสมคอนกรีต (Concrete Mixer) ทางเลือกใหม่ในการสำรวจแหล่งลานแร่พลอย" โดย รวย ลิ้มสุวรรณ, 2544 *ใน* เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง พลอยมาดากัสการ์ : นิมิตรใหม่ของผู้ประกอบการไทย, กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี)

ปี พ.ศ.2533 ผู้เขียนได้นำเอาเครื่องเจาะแบบ "เข็มเจาะ (Bore-Pile drilling)" มาดัดแปลงและปรับปรุงประสิทธิภาพ แล้วใช้เจาะสำรวจเก็บตัวอย่างในชั้น กะสะแร่พลอยของแหล่งลานแร่พลอย อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี เพื่อใช้แก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เป็นข้อจำกัดและข้อบกพร่องของการเจาะสำรวจด้วยชุดเจาะ บังก้า นอกจากนี้ยังใช้เครื่องเจาะแบบเข็มเจาะ (Bore-Pile drilling) ทำการเจาะในลักษณะเจาะสำรวจ-กึ่งผลิตแทนการใช้รถขุดตัก (Backhoe) ขุดร่องสำรวจ หรือขุดทดลองทำเหมืองในพื้นที่จำกัด ซึ่งทำได้ลำบากยุ่งยากที่ระดับลึก สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงและมีความเสี่ยงเกินไป

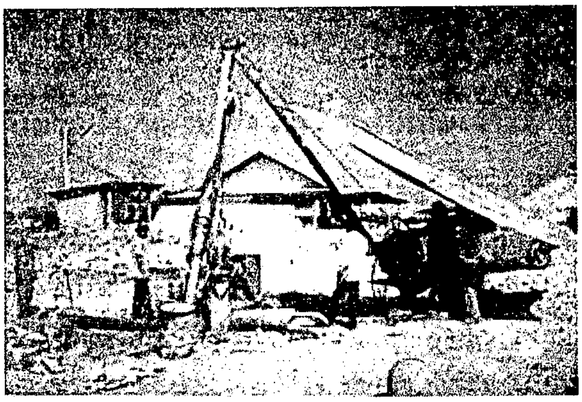
ลักษณะของเครื่องเจาะแบบเข็มเจาะ

เครื่องเจาะแบบเข็มเจาะ เป็นเครื่องเจาะแบบสายเคเบิล (Cable-tool drilling) มีลักษณะในการทำงานเป็นแบบกระแทก (Percussion) ที่พัฒนามาจากเครื่องเจาะแบบปั่น (Churn drill) ซึ่งใช้เจาะสำรวจหาแหล่งน้ำมันในยุคบุกเบิกราวปี ค.ศ. 1860 ปัจจุบันเครื่องเจาะแบบเข็มเจาะถูกนำมาใช้กันมากในงานก่อสร้างฐานรากของวงการก่อสร้างอาคารชั้นสูง และงานฐานรากของโครงสร้างสาธารณูปโภคขนาดใหญ่ทั่วไป โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ไม่สามารถใช้เสาเข็มแบบตอก (Pile driver) ได้ วิธีการเจาะมีหลักการคล้ายคลึงกับชุดเจาะแบบบังก้า แต่เครื่องเจาะสำรวจแบบเข็มเจาะใช้พลังงานที่ได้จากของเครื่องยนต์เป็นชุดส่งกำลังขับเคลื่อนในการเจาะ ทำให้สามารถทำการเจาะได้ต่อเนื่อง และขนาดของท่อกรุมีเส้นผ่าศูนย์กลางหลายขนาด ขนาดเล็กที่สุด 35 ซม. ขนาดกลาง 50 ซม. และขนาดใหญ่ 70 ซม.

เครื่องเจาะแบบเข็มเจาะสามารถใช้เจาะเก็บตัวอย่างในพื้นที่แทบทุกแบบ ไม่ว่าจะเป็นบริเวณที่ชั้นดินยังไม่แข็งตัว มีชั้นหินแตกต่างกันหลาย ๆ ชนิด หินแข็งมากหรือมีการแตกหักเพียงใดก็ตาม มีความคล่องตัวสูง ใช้พื้นที่น้อย เจาะได้ลึกและเร็ว ตัวอย่างที่เก็บได้มีขนาดใหญ่และปริมาณมาก สภาพของตัวอย่างคงเดิมถูกทำลายแตกหักน้อย พื้นที่ไม่เสียหาย กลบปรับให้เหมือนเดิมได้ง่าย ไม่สิ้นเปลือง และประหยัดค่าใช้จ่าย

เครื่องมือและอุปกรณ์ส่วนประกอบของเครื่องเจาะเข็มเจาะ (รูปที่ 7)

1. คนงานจำนวน 4-5 คน ต่อ 1 คณะ
2. เครื่องอัดลม (Air-compressor) ขนาดปริมาณลมส่ง 7.5 ลบ.ฟุต/นาที แรงดันขณะทำงาน 7 กก./ตร.ซม. จำนวน 1 เครื่อง
3. กว้านลม (Air winch) ขนาด 5 สูบ จำนวน 2 เครื่อง
4. ท่อสายลม (Host duct) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง □ นิ้ว จำนวน 1 ม้วน ยาว 200 เมตร
5. ชุดสามขา (Tripod legs) จำนวน 1 ชุดพร้อมแท่นหน้าและแท่นหลัง
6. ท่อกรุ (Casing) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 ซ.ม. ยาว 1.35 เมตร จำนวน 20 ท่อ



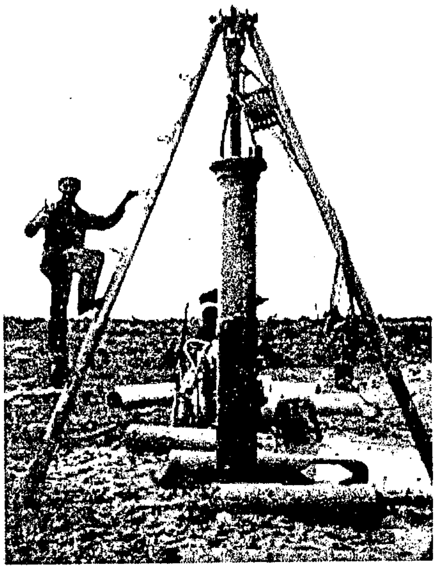
รูปที่ 7 เครื่องมืออุปกรณ์ของเครื่องเจาะแบบเข็มเจาะ

7. ตัวนำ (Casing cutting shoe) เป็นท่อกรุที่ปลายด้านล่างจะมีหัวท่อกรุ (Casing-cutting shoe) ทำด้วยเหล็กแข็งพิเศษลบเหลี่ยมขอบในเป็นสันคม ปลายบนมีเกลียวไว้ต่อกับท่อกรุอื่น ตัวนำมีขนาดเท่ากับท่อกรุอื่น ๆ จำนวน 2 ท่อน
8. ท่อเก็บตัวอย่างดินเหนียว (Clay bailer) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. (12 นิ้ว) ยาว 1.20 เมตร จำนวน 1 อัน
9. ท่อเก็บตัวอย่างทราย (Sand bailer) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. (12 นิ้ว) ยาว 1.20 เมตร จำนวน 1 อัน
10. ฝาตีปิดหัวท่อกรุ (Casing head) จำนวน 1 อัน
11. ตุ้มน้ำหนัก (Hammer) น้ำหนัก 300 กก. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. ยาว 1.50 เมตร จำนวน 1 อัน
12. ลวดสลิง (Sling) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 หุน ไส้เชือกยาว 120 เมตร
13. เหล็กรางรถไฟ ขนาดขอบบน 2 นิ้ว ยาว 55 ซม. จำนวน 2-4 ท่อน
14. รอกพวง 5 ร่อง 2 ชุด รอกเดี่ยว 2 อัน
15. เบ็ดเตล็ดเช่น ตัว C สเก็นท์ตัว U ค้อนปอนด์ ถังตวง 15 ลิตร ภาชนะรับกะสะประแจคอม้า กระสอบป่านบังแสงแดด ฯลฯ

วิธีการเจาะเก็บตัวอย่างของเครื่องเจาะแบบเข็มเจาะ

ตั้งสามขาบนตำแหน่งที่ต้องการเจาะ ติดตั้งกว้านลมทั้งสองตัวที่ปลายล่างด้านหางปลาของชุดสามขา เปิดลมจากเครื่องอัดลมเข้าสู่กว้านลมตัวบน เพื่อขับสายลวดสลิงไปดึงลูกตุ้มน้ำหนักขึ้น แล้วปล่อยลูกตุ้มลงกระแทกพื้นดินให้เกิดเป็นหลุม กระทำต่อเนื่องไปจนได้หลุมลึกประมาณ 1.0-1.5 เมตร จากนั้นเปลี่ยนเป็นเอา "ตัวนำ" หย่อนลงในหลุมที่เตรียมไว้ (ตัวนำจะเป็นท่อกรุสองท่อขันต่อกันด้วยเกลียว ปลายล่างจะมี "หัวท่อกรุ (Casing-cutting shoe)" ที่ทำด้วยเหล็กแข็งพิเศษลบเหลี่ยมขอบในเป็นสันคม ปลายบนขันต่อด้วยฝาตี) ตั้งตัวนำที่หย่อนลงไปให้ตรง (รูปที่ 8)

เมื่อตัวนำฝังตัวได้ที่ดีแล้ว ใช้กว้านลมดึงลูกตุ้มหย่อนลงในท่อกรุ ใช้เหล็กรางรถไฟขัดเข้าไปในช่องว่างของลูกตุ้มตอนบน ดึงลูกตุ้มขึ้นแล้วปล่อยลง ลูกตุ้มจะไปตีเหล็กรางรถไฟที่วางขัดอยู่บนฝาตีตีท่อกรุให้ทรุดฝังตัวลงเรื่อย ๆ เมื่อได้ที่ก็เปลี่ยนเอาท่อเก็บตัวอย่างลงเก็บตัวอย่าง หากเป็นชั้นดินจะใช้ท่อเก็บ

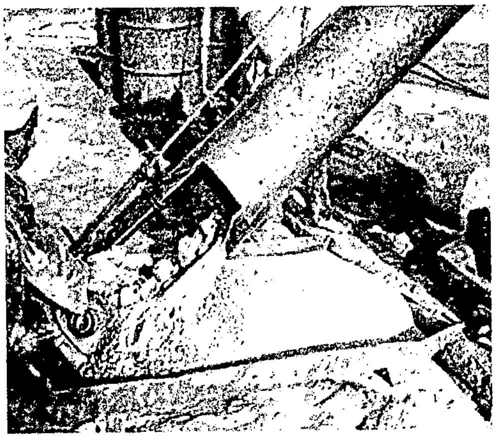


รูปที่ 8 การหย่อนตัวนำลงในหลุมเจาะสำรวจ

ตัวอย่างดิน (Clay bailer) เมื่อได้ตัวอย่างดินขึ้นมาก็สะบัดตีออกได้เลยเพราะไม่มีลิ้น ส่วนชั้นกรวดทรายก็จะใช้ท่อเก็บตัวอย่างทราย (Sand bailer) ซึ่งมีลิ้นป้องกันการไหลย้อนกลับของตัวอย่าง เมื่อได้ตัวอย่างจะใช้ตัว C เกี่ยวลวดสลิงกับขอบล่างของท่อเก็บตัวอย่างแล้วยกขึ้นเทตัวอย่างออกที่ปลายเปิดอีกด้าน (รูปที่ 9) ระยะการเก็บตัวอย่างวัดความลึกได้สะดวกตามสายลวดสลิงที่หย่อนท่อเก็บตัวอย่างลงไป

ตัวอย่างที่เก็บได้จะมีขนาดตั้งแต่ตะกอนดินเหนียวไปจนถึงกรวดหรือเศษหินใหญ่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว (รูปที่ 10) ท่อกรุแต่ละท่อจะต่อเข้ากันด้วยเกลียว โดยใช้สายลวดสลิงจากกว้านลมตัวล่างพันทวนเข็มนาฬิกาถ้าต้องการหมุนเข้าและพันตามเข็มนาฬิกาถ้าหมุนออกไปรอบ ๆ ท่อกรุ แล้วกระตุกเข้าจนท่อต่อกันแน่นหรือแยกออกจากกัน

การเจาะจะสิ้นสุดเมื่อเจาะเก็บตัวอย่างจนหมดชั้นกะสะแร่หรือถึงชั้นดานที่ต้องการ การถอนท่อกรุจะใช้ชุดรอกพวง 5 ร่องทั้งสองชุด โดยชุดหนึ่งอยู่ข้างบน ชุดหนึ่งอยู่ข้างล่างเพื่อช่วยทดแรงดึงให้กับกว้านลมดึงท่อขึ้นมาทีละท่อน ท่อนสุดท้ายที่เป็น “ตัวนำ” จะเป็นสองท่อนติดกัน เมื่อถอนเสร็จก็หาดินถมกลบปรับที่ให้เหมือนเดิม



รูปที่ 9 การเทตัวอย่างออกที่ปลายเปิดด้านบนของท่อเก็บตัวอย่างทราย (Sand bailer)

รูปที่ 10 ลักษณะและขนาดตัวอย่างกรวดทรายที่เก็บได้ ตั้งแต่ขนาดตะกอนดิน จนถึงกรวด และเศษหินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม.

ประสิทธิภาพและความสามารถในการทำงาน (Capability) ของเครื่องเจาะสำรวจแบบเข็มเจาะ

ข้อมูลจากการใช้เครื่องเจาะแบบเข็มเจาะ ท่อกรุขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 ซม. (15 นิ้ว) ยาว 1.35 เมตร และท่อเก็บตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. (12 นิ้ว) มีประสิทธิภาพและความสามารถในการทำงานดังนี้คือ

1. ใช้เจาะเก็บตัวอย่างได้ในพื้นที่ทุกแบบ ไม่ว่าจะเป็นบริเวณที่ชั้นดินยังไม่แข็งตัว มีหินแตกต่างกันหลายชนิด หินแข็งมาก หรือมีการแตกหักเพียงใดก็ตาม
2. ใช้พื้นที่ทำงานน้อย การปรับที่ดินให้เหมือนเดิมทำได้ง่าย
3. ความลึกที่เหมาะสมไม่ควรเจาะเกินระยะ 30 เมตร (เพราะจะมีปัญหาตอนถอนท่อกรุ)
4. อัตราเร็วในการเจาะเฉลี่ย 1 เมตร/ชั่วโมง (สามารถเจาะได้ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง)
5. ปริมาตรท่อกรุขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 ซม. x1.35 เมตร เท่ากับ 130 ลิตร
6. ปริมาตรกะสะแร่ที่ท่อเก็บตัวอย่างเก็บขึ้นมาได้ต่อครั้ง 10-80 ลิตร (เฉลี่ย 30 ลิตร)
7. เก็บตัวอย่างในท่อกรุได้ปริมาตรมากกว่า 100 % (เพราะท่อเก็บตัวอย่างมีขนาดใหญ่กว่าตัวอย่าง) จึงสามารถใช้เจาะสำรวจ-กึ่งผลิตได้
8. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ที่สุดของกรวดและเศษหินที่สามารถเก็บได้ประมาณ 30 ซม.
9. ตัวอย่างมีสภาพคงเดิม แตกหักเสียหายน้อย
10. "ตัวกลาง" ที่เป็นสื่อช่วยเจาะ จะใช้อากาศถ้าเจาะในชั้นดิน และใช้น้ำหากเจาะในชั้นกรวดทราย
11. การเจาะเป็นแบบกระแทก (Percussion) เพียงอย่างเดียว
12. อัตราเวลาที่ใช้ในการติดตั้งเครื่องมือและการถอนท่อกรุ (ความลึก 30 เมตร) เฉลี่ยประมาณ 2 ชั่วโมง เท่ากัน
13. การเคลื่อนย้ายหากไม่ห่างไกลและพื้นที่ราบดินแห้งแข็ง สามารถดึงโยกตัวเองให้เคลื่อนที่ไปได้ หากมีปัญหาก็สามารถถอดแยกชิ้นส่วนแบกหามไปประกอบขึ้นยังตำแหน่งใหม่ได้ ซึ่งควรใช้คนงานที่แข็งแรงเพราะกว้านลมค่อนข้างหนัก หากเป็นการย้ายข้ามพื้นที่เป็นระยะทางไกล ๆ ควรใช้รถตักล้อยาง (Loader) ช่วย เพื่อความสะดวก

เอกสารประกอบการฝึกอบรม

"เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่"

เรื่อง

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่

โดย

พัชระ จริยาวัฒน์

ฝ่ายแร่โลหะ

กองเศรษฐธรณีวิทยา

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่

(คัดลอกจากเรื่อง "การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่" ใน *คู่มือการจัดทำแผนที่ทรัพยากรแร่ มาตราส่วน 1:250,000*; คณะทำงานจัดทำแผนที่ทรัพยากรแร่ , กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, 2542)

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ในพื้นที่แหล่งแร่

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ ได้มีการปฏิบัติหรือทำมาเป็นเวลานานแล้ว นับวันจะมีความสำคัญมากยิ่งขึ้นตามลำดับ เนื่องจากแต่ละหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนของแต่ละประเทศ ต่างก็ต้องการที่จะทราบปริมาณสำรองและทรัพยากรสำรองของแร่ในเชิงคุณภาพ เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนทางด้านทรัพยากรแร่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การที่จะทราบปริมาณทรัพยากรแร่ หรือปริมาณแร่สำรองที่แท้จริงได้ ก็ต่อเมื่อได้มีการเปิดการทำเหมืองเสร็จสิ้นเรียบร้อยไปแล้ว ดังนั้น ปริมาณแร่สำรองที่กล่าวกันโดยทั่วไป เป็นเพียงตัวเลขที่ได้จากการคาดคะเน จากผลสำรวจหรือตามข้อมูลที่มีอยู่เท่านั้น ตัวเลขที่ปรากฏจะถูกต้องมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณและความถูกต้องของข้อมูลที่นำมาประเมินด้วย เทคนิควิธีการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ จึงได้รับการพัฒนาและพยายามปรับปรุงให้สามารถตอบสนองความต้องการเพื่อที่จะได้ข้อมูลดังกล่าวอย่างถูกต้องแม่นยำอยู่ตลอดเวลา รายละเอียดบางส่วนเกี่ยวกับเทคนิคการประเมินอาจติดตามอ่านได้จากเอกสารของ David (1977) สุรพล อารีย์กุล (2524) และ IAEA (1985)

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ เป็นการคำนวณหาปริมาณของแร่ชนิดต่าง ๆ โดยใช้หลักการทางเรขาคณิตซึ่งก็คือ การหาพื้นที่ของแหล่งแร่ที่มีรูปร่างแบบต่าง ๆ เช่น พื้นที่รูปสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม หลายเหลี่ยม และวงกลม แล้วนำมาคำนวณหาปริมาตร(คูณกับความหนาหรือความลึกของสายแร่) และปริมาณทรัพยากรแร่ โดยคำนวณรวมกับค่าความถ่วงจำเพาะของหิน และค่าความสมบูรณ์ของสินแร่หรือเกรดแร่ การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยและสภาพแวดล้อมทางด้านธรณีวิทยาต่าง ๆ หลายประการ ได้แก่ลักษณะการกำเนิดของแหล่งแร่ในแต่ละบริเวณ เช่น ลักษณะแบบสายแร่ หรือชั้นกะสะตามร่องน้ำ รวมทั้งวิธีการสำรวจ เช่น การเจาะสำรวจ ขุดร่องสำรวจ หลุมสำรวจ และการเก็บตัวอย่างเป็นระบบกริดหรือสุ่มสำรวจ วิธีการประเมินดังกล่าวมีหลายแบบดังแสดงในรูปที่ 34 ซึ่งพอจะกล่าวแยกได้ดังนี้

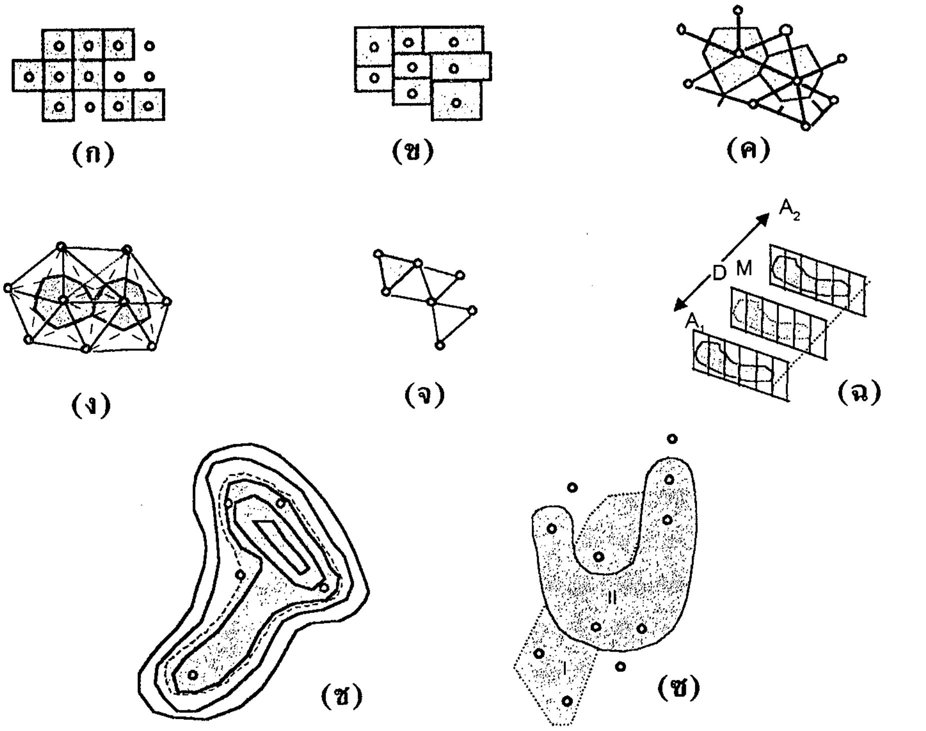
วิธีคำนวณแบบพื้นที่คงที่

การคำนวณแบบพื้นที่คงที่ (uniform area) เป็นวิธีการประเมินที่ใช้พื้นที่รอบหลุมเจาะสำรวจ (area of influence) ที่มีขนาดเท่ากันตลอดพื้นที่แหล่งแร่ อาจจะเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมด้านเท่า หรือพื้นที่วงกลม แต่ขนาดของพื้นที่จะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่าง ตลอดจนความต่อเนื่องของแหล่งแร่ ในกรณีที่มีความลึกเข้ามาเกี่ยวข้อง หลุมหนึ่งจะแทนปริมาตรดินและหินจำนวนหนึ่ง (volume of influence) วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กับการประเมินแหล่งแร่ที่มีการเจาะสำรวจระบบกริดหรือเป็นตาราง โดยมีระยะห่างระหว่างหลุมเจาะเท่ากัน ปริมาณทรัพยากรแร่ที่คำนวณได้จะเป็นทรัพยากรประเภทบ่งชี้ (indicated resources*) ส่วนทรัพยากรแร่ที่ได้จากการคำนวณนอกพื้นที่แต่อยู่ในพื้นที่แหล่งแร่จะเป็นทรัพยากรประเภทคาดคะเน (inferred resources**) วิธีนี้นับว่าเป็นการประเมินที่ค่อนข้างง่ายและรวดเร็ว

---

* ทรัพยากรประเภทบ่งชี้ (indicated resources) หมายถึง ทรัพยากรแร่ที่ได้มีการตรวจสอบคุณภาพและปริมาณจากผลวิเคราะห์ของตัวอย่างที่เก็บในหลุมเจาะสำรวจที่อยู่ในรัศมี หรือระยะห่างจากหลุมเจาะพอสมควร (IAEA, 1985; Hansen, 1991; UN, 1999)

** ทรัพยากรประเภทคาดคะเน (inferred resources)หมายถึง ทรัพยากรแร่ที่ได้จากการประมาณการเพิ่มเติมที่ไม่อยู่ในรัศมีหรือระยะห่างจากหลุมเจาะที่ได้กล่าวถึงมาแล้ว ในเรื่องทรัพยากรประเภทบ่งชี้ (IAEA, 1985; Hansen, 1991; UN, 1999)



(ก) พื้นที่สี่เหลี่ยมด้านเท่า

(ข) พื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า

(ค) พื้นที่หลายเหลี่ยมแบบที่หนึ่ง

(ง) พื้นที่หลายเหลี่ยมแบบที่สอง

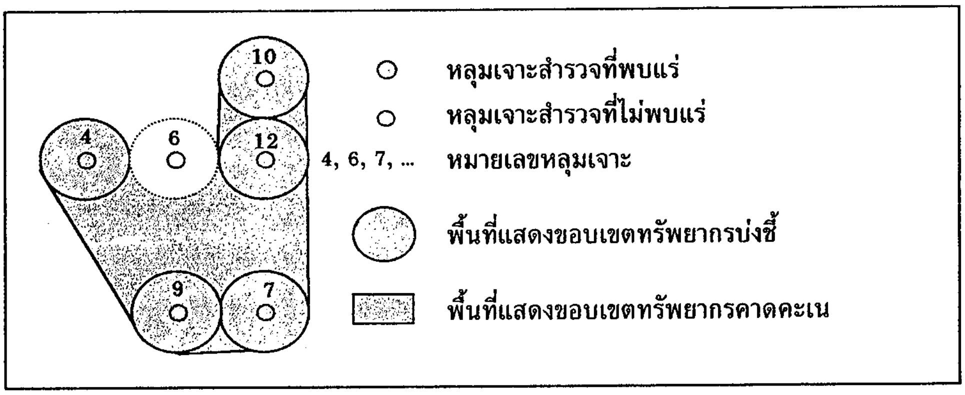
(จ) พื้นที่สามเหลี่ยม

(ฉ) พื้นที่หน้าตัด

(ช) พื้นที่เส้นชั้น

(ซ) พื้นที่วงรอบ

รูปที่ 34 การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่โดยวิธีทางเรขาคณิต



รูปที่ 35 การคำนวณแบบพื้นที่คงที่ (คัดลอกและแก้ไขเพิ่มเติมจาก IAEA, 1985)

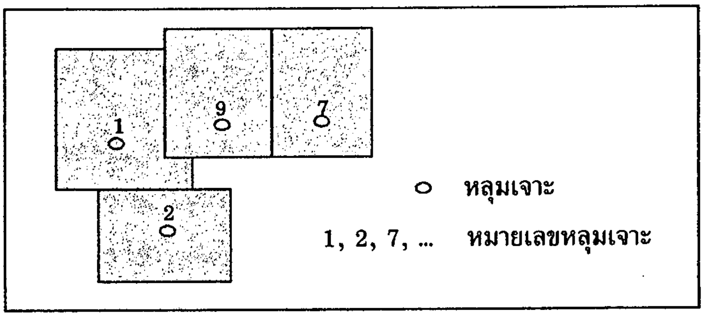
ตัวอย่างการคำนวณดูรูปที่ 35 และตารางที่ 17 ในการคำนวณปริมาณจะใช้เส้นรอบวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่หลุมเจาะสำรวจแต่ละหลุม พื้นที่ของวงกลมหรือพื้นที่ที่จะใช้ในการคำนวณ ขึ้นอยู่กับรัศมีของวงกลมที่ผู้ประเมินกำหนด ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดแร่ ขนาดและลักษณะทางธรณีวิทยาแหล่งแร่ด้วย (เช่น ความต่อเนื่องของชั้นที่มีแร่หรือสายแร่) และระยะห่างระหว่างหลุมเจาะอีกด้วย ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีตัวเลขที่กำหนดแน่นอน (David, 1977; สุรพล อารีย์กุล, 2524; นาวี พิชยกุล, 2531) ผู้ประเมินอาจจำเป็นต้องพิจารณาและค้นคว้าเปรียบเทียบจากรายงานต่าง ๆ ประกอบเพิ่มเติม

ตารางที่ 17 วิธีการคำนวณทรัพยากรแร่แบบพื้นที่คงที่

หมายเลขหลุมเจาะ	ความหนา T (เมตร)	เกรดแร่ G (%)	ผลคูณ GT	พื้นที่ (ตร.ม.)	ถ.พ. หิน	สินแร่ (ตัน)	แร่ (ตัน)
4	3.50	0.127	0.445	707	2.5	6186	7.86
7	4.40	0.087	0.383	707	2.5	7777	6.77
9	3.20	0.066	0.211	707	2.5	5656	3.73
10	5.20	0.099	0.515	707	2.5	9191	9.10
12	6.70	0.168	1.126	707	2.5	11842	19.89
ทรัพยากรบ่งชี้	23.00		2.680	3,535		40,652	47.35
	ค่าเฉลี่ยความหนา	T = 23.00/5 = 4.60 เมตร					
	ค่าเฉลี่ยเกรดแร่	G = 2.680/23.00 = 0.116%					
ทรัพยากรคาดคะเน	4.60	0.116		1,965		22,598	26.21
ทรัพยากรแร่						**63,250**	**73.56**

วิธีคำนวณแบบพื้นที่แปรผัน

การคำนวณแบบพื้นที่แปรผัน (variable area) เป็นวิธีการประเมินแหล่งแร่ที่ใช้พื้นที่ไม่เท่ากันแทนพื้นที่รอบหลุมเจาะสำรวจ อาจจะเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าติดต่อกันตลอดพื้นที่แหล่งแร่ หรือเป็นพื้นที่วงรีรอบหลุมเจาะที่มีแร่ คลุมพื้นที่ที่เหมาะสม การประเมินทรัพยากรแร่แบบนี้ เป็นวิธีที่ใช้กับการประเมินแหล่งแร่ที่มีการเจาะสำรวจแบบสุ่มสำรวจ ระยะห่างระหว่างหลุมเจาะไม่เท่ากัน จึงมักจะประยุกต์ใช้กับแหล่งแร่ที่เกิดแบบสะสมตัวในร่องน้ำ และสายแร่เป็นต้น ลักษณะรูปแบบของพื้นที่แปรผันดังกล่าวนี้ ดูรูปที่ 36 จากพื้นที่ที่คำนวณได้นำมาคำนวณรวมกับความลึกหรือความหนา ค่าความถ่วงจำเพาะของหิน และเกรดของแหล่งแร่หรือสายแร่ จะได้ปริมาณของสินแร่ในแหล่งนั้นตามตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 18



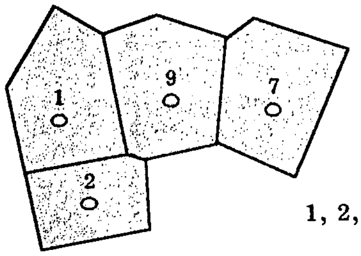
รูปที่ 36 การคำนวณแบบพื้นที่แปรผัน (คัดลอกและแก้ไขเพิ่มเติมจาก IAEA, 1985)

ตารางที่ 18 วิธีการคำนวณทรัพยากรแร่แบบพื้นที่แปรผัน

หมายเลขหลุมเจาะ	พื้นที่ (ตร.ม.)	ความหนาT (เมตร)	เกรดแร่G (%)	ถ.พ.หิน	สินแร่ (ตัน)	แร่ (ตัน)
1	1,410	2.30	0.072	2.5	8,107	5.84
2	860	1.80	0.094	2.5	3,870	3.64
7	950	4.40	0.087	2.5	10,450	9.09
9	1,102	3.20	0.066	2.5	8,816	5.82
รวม			0.078		31,243	24.39

วิธีคำนวณแบบพื้นที่หลายเหลี่ยม

การคำนวณแบบพื้นที่หลายเหลี่ยม (polygonal method) เป็นวิธีการประเมินที่ใช้พื้นที่ไม่เท่ากันแทนพื้นที่รอบหลุมเจาะสำรวจ ขอบเขตของพื้นที่รอบหลุมเจาะได้จากการแบ่งเส้นตรงระยะกึ่งกลางระหว่างหลุม โดยการลากเส้นตรงตั้งฉากกับเส้นที่ลากระหว่างหลุมเจาะหรือเกิดจากการลากเส้นตรงจุดกึ่งกลางระหว่างหลุมเจาะไปยังหลุมเจาะที่อยู่ตรงกันข้ามทำให้เกิดรูปหลายเหลี่ยมรอบหลุมเจาะ (รูปที่ 34) การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ด้วยวิธีนี้ อาจจะได้ปริมาณทรัพยากรแร่มากหรือน้อยเกินความเป็นจริง หากพื้นที่หลายเหลี่ยมมีขนาดใหญ่มากหรือเป็นรูปยาวรีในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง จากนั้นนำพื้นที่ที่คำนวณได้ไปคำนวณหาปริมาณทรัพยากรแร่ต่อไปเช่นเดียวกับวิธีการต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น ดูรูปที่ 37 และตารางที่ 19



รูปที่ 37 การคำนวณแบบพื้นที่หลายเหลี่ยม (คัดลอกและแก้ไขเพิ่มเติมจาก IAEA, 1985)

ตารางที่ 19 วิธีคำนวณทรัพยากรแร่แบบพื้นที่หลายเหลี่ยม

หมายเลขหลุมเจาะ	พื้นที่ (ตร.ม.)	ความหนาT (เมตร)	เกรดแร่G (%)	ถ.พ.หิน	สินแร่ (ตัน)	แร่ (ตัน)
1	1200	2.30	0.072	2.5	6,900	4.97
2	930	1.80	0.094	2.5	4,185	3.93
7	1030	4.40	0.087	2.5	11,330	9.86

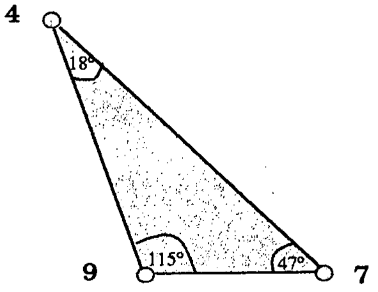
9	1230	3.20	0.066	2.5	9,840	6.49
รวม			0.078		32,255	25.25

วิธีคำนวณแบบพื้นที่สามเหลี่ยม

การคำนวณแบบพื้นที่สามเหลี่ยม (triangular method) เป็นวิธีการประเมินที่ใช้พื้นที่จากรูปสามเหลี่ยมที่เกิดจากการลากเส้นระหว่างหลุมเจาะ ดังนั้น พื้นที่สามเหลี่ยมจึงแทนพื้นที่ที่มีเกรดแร่และความหนาของชั้นแร่ของหลุมเจาะทั้ง 3 หลุม ไม่ใช่หลุมใดหลุมหนึ่ง หากพื้นที่สามเหลี่ยมเกิดจากรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า ปริมาณทรัพยากรแร่จะได้จากการเฉลี่ย เกรดแร่และความหนาของชั้นแร่เท่ากัน แต่ในกรณีพื้นที่แหล่งแร่เป็นรูปสามเหลี่ยมเกิดจากรูปสามเหลี่ยมด้านไม่เท่าจะต้องทำการปรับแก้ให้เกรดแร่และความหนาของชั้นแร่เป็นสัดส่วนกับขนาดของมุมรูปสามเหลี่ยม โดยกำหนดให้ค่าที่ใช้ปรับแก้

$$\text{ค่าที่ใช้ปรับแก้ (correction factor)} = \frac{\text{มุมของสามเหลี่ยม}}{60}$$

สำหรับตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ดูรูปที่ 38 และตารางที่ 20



รูปที่ 38 การคำนวณแบบพื้นที่สามเหลี่ยม (คัดลอกและแก้ไขเพิ่มเติมจาก IAEA, 1985)

ตารางที่ 20 วิธีคำนวณทรัพยากรแร่แบบพื้นที่สามเหลี่ยม

รูปสามเหลี่ยม	พื้นที่ (ตร.ม.)	หมายเลขหลุม	ความหนา T (เมตร)	เกรดแร่ G (%)	ผลคูณ GT	สินแร่ (ตัน)	แร่ (ตัน)	ค่าปรับแก้	ความหนา Tc (เมตร)	ผลคูณ GTc
4-7-9	650	4	3.50	0.127	0.445			18/60	1.10	0.140
		7	4.40	0.087	0.383			47/60	3.50	0.304
		9	3.20	0.066	0.211			115/60	6.10	0.403
			11.10		1.039				10.70	0.847
ค่าเฉลี่ยความหนา	T = 11.10/3 = 3.70 ม.					ค่าเฉลี่ยความหนา Tc = 10.70/3 = 3.60 ม.				
ค่าเฉลี่ยเกรดแร่	G = 1.039/11.10 = 0.094%					ค่าเฉลี่ยเกรดแร่ G = 0.847/10.70 = 0.079%				
	650		3.70	0.094		6013	5.65		3.60	

ปริมาณสินแร่หลังจากปรับแก้แล้ว = พื้นที่ x ความหนา x ถ.พ.หิน

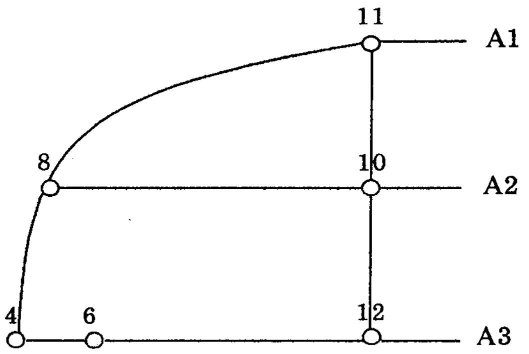
= 650x3.60x2.5 = 5,850 ตัน

ปริมาณแร่ " = 5,850x0.079 = 4.62 ตัน

วิธีคำนวณแบบพื้นที่หน้าตัด

การคำนวณแบบพื้นที่หน้าตัด (cross-section method) เป็นวิธีการคำนวณหาปริมาณของสินแร่จากการหาพื้นที่หน้าตัด แล้วนำมาประเมินหาปริมาณทรัพยากรแร่ ซึ่งประยุกต์ใช้กับแหล่งแร่ที่มีรูปร่างยาวรี หรือมีรูปร่างไม่แน่นอน เช่น สายแร่ แร่ที่สะสมในชั้นกะสะ เป็นต้น ซึ่งมักจะมีการเจาะสำรวจตัดขวางสายแร่ โดยมีระยะระหว่างหลุมเจาะ ค่อนข้างชิดกันแต่ระยะระหว่างแถวของหลุมเจาะห่างกัน

การคำนวณหาปริมาตรของสินแร่ อาจจะได้จากพื้นที่หน้าตัดเล็ก ๆ หลายพื้นที่ โดยคิดรวมพื้นที่หน้าตัดเล็ก ๆ กับระยะระหว่างพื้นที่หน้าตัดดังกล่าว เมื่อคิดคำนวณกับค่าความถ่วงจำเพาะของหินและเกรดแร่ จะได้ปริมาณทรัพยากรแร่ สำหรับตัวอย่างวิธีคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ ดูรูปที่ 39 และตารางที่ 21



รูปที่ 39 การคำนวณแบบพื้นที่หน้าตัด (คัดลอกและแก้ไขเพิ่มเติมจาก IAEA, 1985)

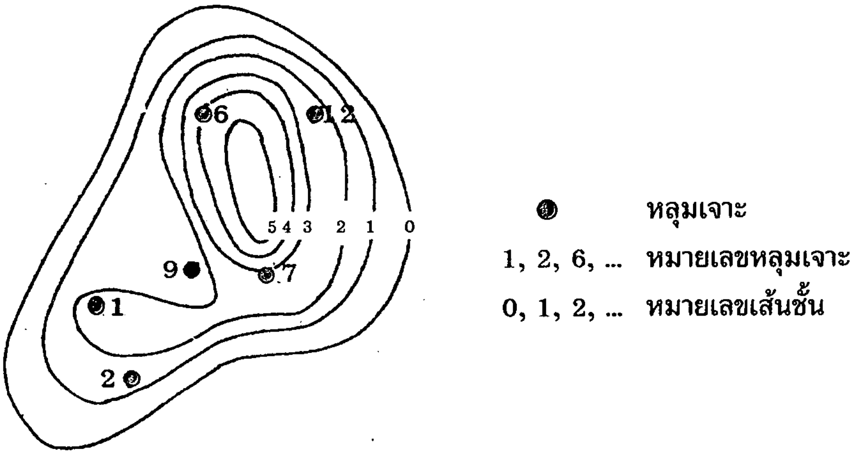
ตารางที่ 21 วิธีคำนวณทรัพยากรแร่แบบพื้นที่หน้าตัด

หน้าตัด	พื้นที่หน้าตัดA (ตร.ม.)	หมายเลขหลุมเจาะ	เกรดแร่G (%)	ระยะทางD (เมตร)	พื้นที่เฉลี่ยA (ตร.ม.)	ผลคูณ GA	ถ.พ.หิน	สินแร่ (ตัน)	แร่ (ตัน)
A1	0	11	-		0				
A2	156	10	0.099			15.444			
A1-A2	156		0.099	26	78	15.444	2.5	5,070	5.02
A3	105	4	0.127			13.335			
	104	6	0.186			19.344			
	221	12	0.168			37.128			
	76	12	0.064			4.864			
A3	506					74.671			
			ค่าเฉลี่ยเกรดแร่ G =74.671/506=0.148%						
A2	156								
A2-A3	662		0.136	26	331	90.115	2.5	21,515	29.26

หน้าตัด	พื้นที่หน้าตัดA (ตร.ม.)	หมายเลข หลุมเจาะ	เกรดแร่G (%)	ระยะทางD (เมตร)	พื้นที่เฉลี่ยA (ตร.ม.)	ผลคูณ GA	ถ.พ.หิน	สินแร่ (ตัน)	แร่ (ตัน)
รวม			0.129					26,585	34.28

วิธีคำนวณแบบพื้นที่เส้นชั้น

การคำนวณแบบพื้นที่เส้นชั้น (isopach method) เป็นวิธีการประเมินที่ได้จากพื้นที่เส้นชั้นความสูง/ความหนาของชั้นแร่ ที่ครอบคลุมพื้นที่หลุมเจาะ พื้นที่เส้นชั้นในแนวระนาบ แต่ละพื้นที่จะห่างกันด้วยระยะความสูงหรือความหนาเท่าๆ กัน ปริมาตรของสินแร่ จะได้จากการคิดพื้นที่เฉลี่ยระหว่างเส้นชั้นทั้งสอง เมื่อนำปริมาตรของสินแร่มาคำนวณกับค่าความถ่วงจำเพาะของหินและค่าความสมบูรณ์หรือเกรดแร่แล้ว จะได้ปริมาณทรัพยากรแร่ วิธีการประเมินแบบนี้ มักจะประยุกต์ใช้กับการประเมินปริมาณทรัพยากรธรณี ประเภทหินอุตสาหกรรม ที่มีปริมาตรและมวลสารเป็นปริมาณมาก การคำนวณพื้นที่เส้นชั้นความสูงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ อาจจะใช้วิธีการคำนวณพื้นที่หน้าตัดร่วมด้วย รายละเอียดเพิ่มเติมอาจจะดูได้จากคู่มือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Surfer ของ Keckler (1995) สำหรับตัวอย่างวิธีคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ ดูรูปที่ 40 และตารางที่ 22



รูปที่ 40 การคำนวณพื้นที่เส้นชั้น (คัดลอกและแก้ไขเพิ่มเติมจาก IAEA, 1985)

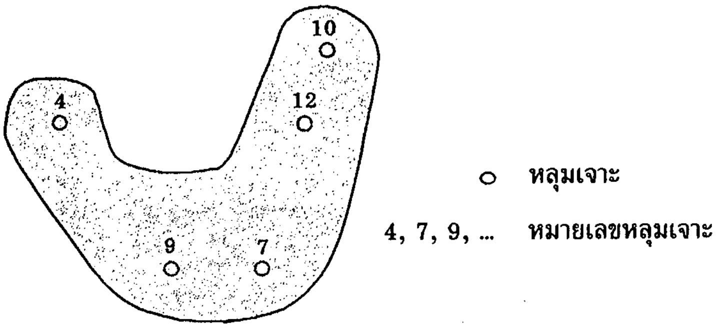
ตารางที่ 22 วิธีคำนวณทรัพยากรแร่แบบเส้นชั้น

เส้นชั้น (เมตร)	พื้นที่ (ตร.ม.)	ความหนา (เมตร)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	ถ.พ.หิน	สินแร่ (ตัน)	เกรดเฉลี่ยG %	แร่ (ตัน)
1.8	5,520	1.8	9,936	2.5	24,840		
2.0	4,700	0.2	940	2.5	2,350		
3.0	2,290	1.0	2,290	2.5	5,725		
4.0	1,430	1.0	1,430	2.5	3,575		
5.0	430	1.0	430	2.5	1,075		
>5.0	200	1.0	200	2.5	500		

เส้นชั้น (เมตร)	พื้นที่ (ตร.ม.)	ความหนา (เมตร)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	ถ.พ.หิน	สินแร่ (ตัน)	เกรดเฉลี่ยG %	แร่ (ตัน)
รวม					38,065	0.113	40.10

วิธีคำนวณแบบพื้นที่วงรอบ

การคำนวณแบบพื้นที่วงรอบ (general outline method) เป็นวิธีการประเมินที่ได้จากพื้นที่วงรอบแหล่งแร่อย่างกว้าง ๆ ซึ่งครอบคลุมหลุมเจาะที่มีแร่ทั้งหมด ปริมาตรของสินแร่จะได้จากพื้นที่วงรอบกับความหนาเฉลี่ยของหลุมเจาะทั้งหมด เมื่อคำนวณกับค่าความสมบูรณ์ หรือเกรดแร่เฉลี่ยของหลุมเจาะทั้งหมด จะได้ปริมาณทรัพยากรแร่ วิธีการประเมินแบบนี้มักจะประยุกต์ใช้กับแหล่งแร่ที่มีการสำรวจค่อนข้างสม่ำเสมอ หลุมเจาะมีระยะห่างไม่แตกต่างกันมากนัก หากเกรดแร่มีค่าสูงต่ำแตกต่างกันมาก ควรจะแยกพื้นที่ออกเป็นพื้นที่ย่อยเสียก่อน เพื่อให้การประเมินใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น วิธีนี้นับเป็นวิธีการประเมินที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และทำได้รวดเร็ว สำหรับตัวอย่างวิธีคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ ดูรูปที่ 41 และตารางที่ 23



รูปที่ 41 การคำนวณแบบพื้นที่วงรอบ (คัดลอกและแก้ไขเพิ่มเติมจาก IAEA, 1985)

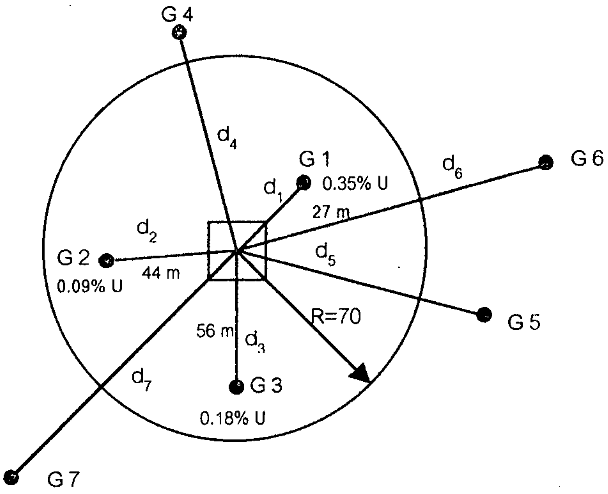
ตารางที่ 23 วิธีคำนวณทรัพยากรแร่แบบพื้นที่วงรอบ

พื้นที่ (ตร.ม.)	ความหนาเฉลี่ย (เมตร)	เกรดเฉลี่ย (%)	สินแร่ (ตัน)	แร่ (ตัน)
5,500	4.60	0.116	63,250	73.37

วิธีคำนวณแบบระยะทางผกผัน

การคำนวณแบบระยะทางผกผัน (inverse distance method) เป็นการประเมินที่ให้ความสำคัญกับระยะทางที่สายแร่แผ่ขยายออกไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีแร่หรือแหล่งแร่มีค่าความสมบูรณ์ของแร่นั้นเปลี่ยนแปลงได้มาก เมื่อระยะทางเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย การประมาณการเกรดแร่หรือความหนาของชั้นแร่ ในพื้นที่รูปทรงเรขาคณิตรอบหลุมเจาะ หรือบริเวณใด ๆ ในแหล่งแร่ ได้จากการเฉลี่ยจากหลุมเจาะข้างเคียงกับระยะทางผกผันเป็นกำลังหนึ่ง สอง และสามตามลำดับ ค่าประมาณการของเกรดแร่

หรือความหนาของชั้นแร่จะใกล้เคียงความจริงมากขึ้นเมื่อเลขกำลังสูงขึ้น (IAEA, 1985) วิธีการประมาณการดังแสดงไว้ดังสมการด้านล่างนี้ และรูปที่ 42



รูปที่ 42 การคำนวณแบบระยะทางผกผัน (คัดลอกและแก้ไขเพิ่มเติมจาก IAEA, 1985)

$$G = \frac{G_1/d_1^x + G_2/d_2^x + \dots\dots G_n/d_n^x}{1/d_1^x + 1/d_2^x + \dots\dots 1/d_n^x}$$

เมื่อ G คือเกรดแร่ของพื้นที่เล็ก ๆ

G_n คือเกรดแร่หลุมเจาะที่ n

d_n คือระยะทางจากหลุมเจาะที่ n

x คือกำลังหนึ่ง สอง หรือสาม

ตัวอย่างเกรดแร่เมื่อคำนวณจากระยะทางผกผันกำลังหนึ่ง สอง และสาม

$$G_{X=1} = \frac{0.35/27 + 0.09/44 + 0.18/56}{1/27 + 1/44 + 1/56} = 0.23\%$$

$$G_{X=2} = \frac{0.35/27^2 + 0.09/44^2 + 0.18/56^2}{1/27^2 + 1/44^2 + 1/56^2} = 0.26\%$$

$$G_{X=3} = \frac{0.35/27^3 + 0.09/44^3 + 0.18/56^3}{1/27^3 + 1/44^3 + 1/56^3} = 0.29\%$$

IAEA (1985) ได้สรุปผลจากการเปรียบเทียบ การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่จากแหล่งแร่บริเวณเดียวกัน ด้วยวิธีการต่าง ๆ ปรากฏว่า เกรดแร่เฉลี่ยของแหล่งแร่ที่ได้จากการคำนวณ จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ปริมาณสินแร่ หรือปริมาณทรัพยากรแร่ จะแตกต่างกัน ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

ปริมาณทรัพยากรแร่ที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีการคำนวณแบบพื้นที่คงที่ พื้นที่แปรผัน พื้นที่หลายเหลี่ยมและพื้นที่วงกลม จะแตกต่างกันเล็กน้อย และใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย จึงเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ ปริมาณทรัพยากรแร่ที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีการคำนวณแบบพื้นที่เส้นชั้น จะมากกว่าค่าเฉลี่ยร้อยละ 25 ปริมาณทรัพยากรแร่ที่ได้จากการประเมินด้วย วิธีการคำนวณแบบพื้นที่สามเหลี่ยม จะน้อยกว่าค่าเฉลี่ยร้อยละ 50 วิธีการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ โดยวิธีการคำนวณพื้นที่สามเหลี่ยม ดังกล่าวจึงไม่เป็นที่นิยมใช้ในการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ ส่วนการประเมินทรัพยากรแร่ด้วย วิธีการคำนวณแบบพื้นที่หน้าตัด จะมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยเล็กน้อย แต่ก็มักจะใช้กันแพร่หลายสำหรับแหล่งแร่ที่เกิดเป็นสายแร่

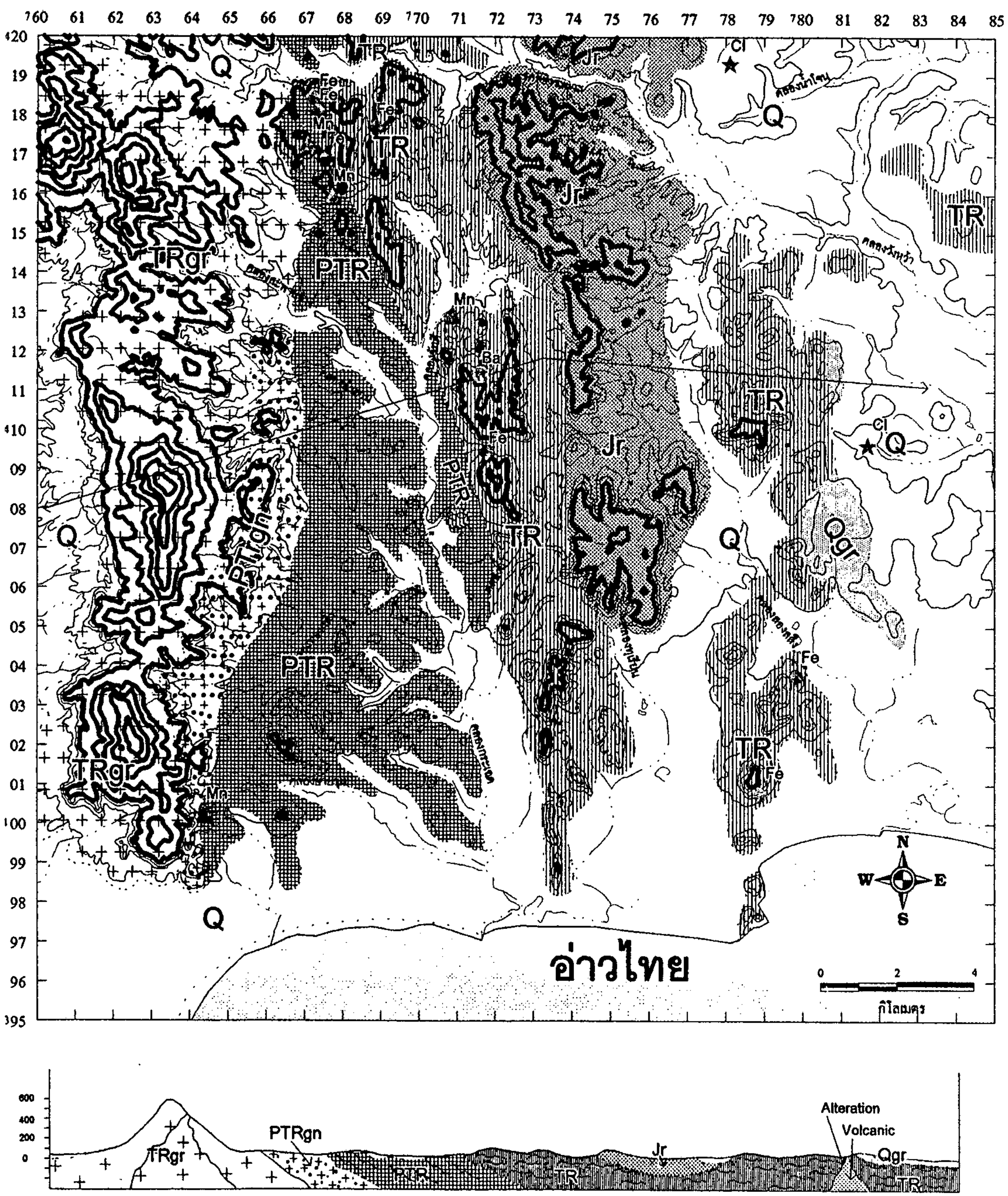
สำหรับการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ด้วยวิธีคำนวณแบบระยะทางผกผัน จะเป็นวิธีการยุ่งยากกว่าวิธีการต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว แต่ก็เป็นวิธีการที่จะทำให้ปริมาณทรัพยากรแร่ที่คำนวณได้ใกล้เคียงความจริงมากขึ้น เนื่องจากได้นำเกรดแร่และความหนาของชั้นแร่ในพื้นที่ข้างเคียงมาใช้ในการคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ด้วย

ท้ายสุดในการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ ในแต่ละพื้นที่ผู้ประเมินต้องใช้ดุลยพินิจในการเลือกวิธีการคำนวณให้เหมาะสมกับพื้นที่ โดยพิจารณาจากลักษณะการกำเนิดของแหล่งแร่ (เช่นเป็นสายแร่ ลานแร่) และวิธีการเจาะสำรวจ (โดยวิธีเจาะสำรวจเป็นระบบกริด หรือเจาะสำรวจแบบสุ่มสำรวจ ที่ระยะความถี่ที่แตกต่างกัน) สำหรับการคำนวณปริมาณทรัพยากรธรณี เช่น หินคาร์บอเนต หินอ่อนและหินแกรนิต ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ติดต่อกันเป็นบริเวณกว้าง ผู้ทำการประเมินอาจจะประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ surfer ทำการคำนวณ โดยกำหนดให้มีปริมาณหินคาร์บอเนตเพียงร้อยละ 60 ของปริมาณที่คำนวณได้ทั้งหมด และให้มีปริมาณหินอ่อนร้อยละ 20 ของปริมาณหินคาร์บอเนต สำหรับการคำนวณปริมาณหินแกรนิต จะทำการคำนวณโดยวิธีเดียวกันกับหินคาร์บอเนต โดยกำหนดให้มีปริมาณหินแกรนิตเพียงร้อยละ 60 ของปริมาณที่คำนวณได้ ในบางบริเวณ เช่น พื้นที่ที่มีการสำรวจรายละเอียด อาจจะกำหนดให้มีปริมาณหินแกรนิตมากกว่าหรือน้อยกว่าร้อยละ 60 ของปริมาณที่คำนวณได้ทั้งหมด แต่การคำนวณปริมาณหินแกรนิตเพื่อเป็นหินประดับ จะคิดจากหินก้อนเพียงร้อยละ 30 เท่านั้น เพื่อให้การคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ ทำได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

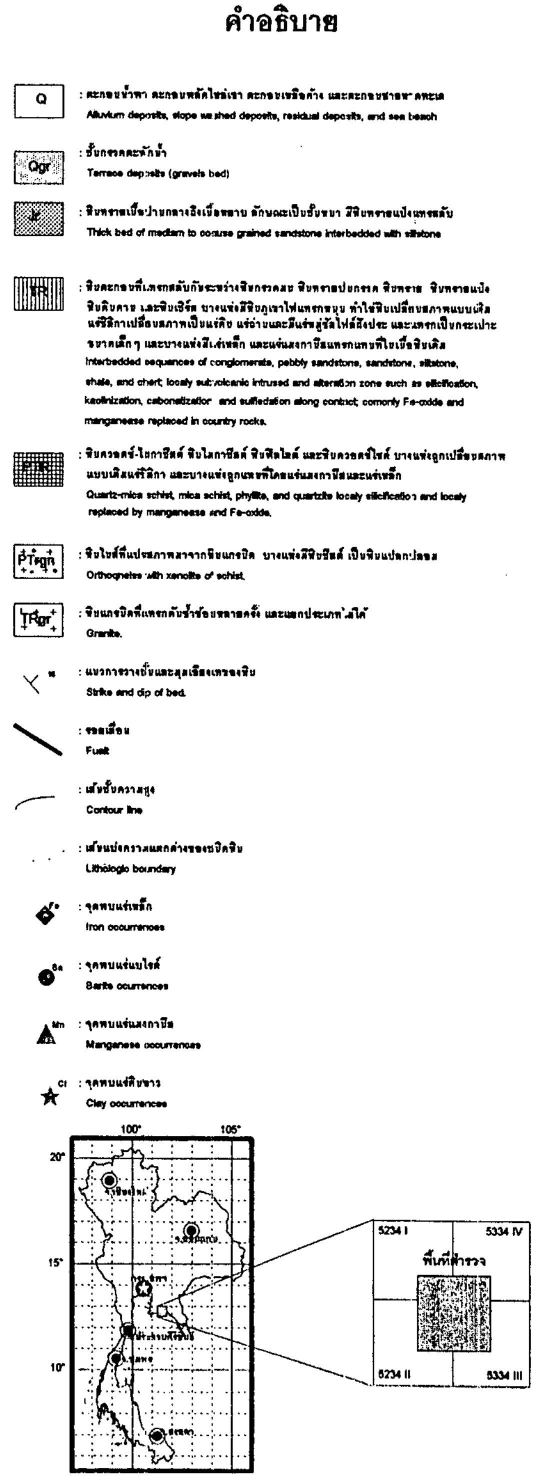
เอกสารประกอบการฝึกอบรม

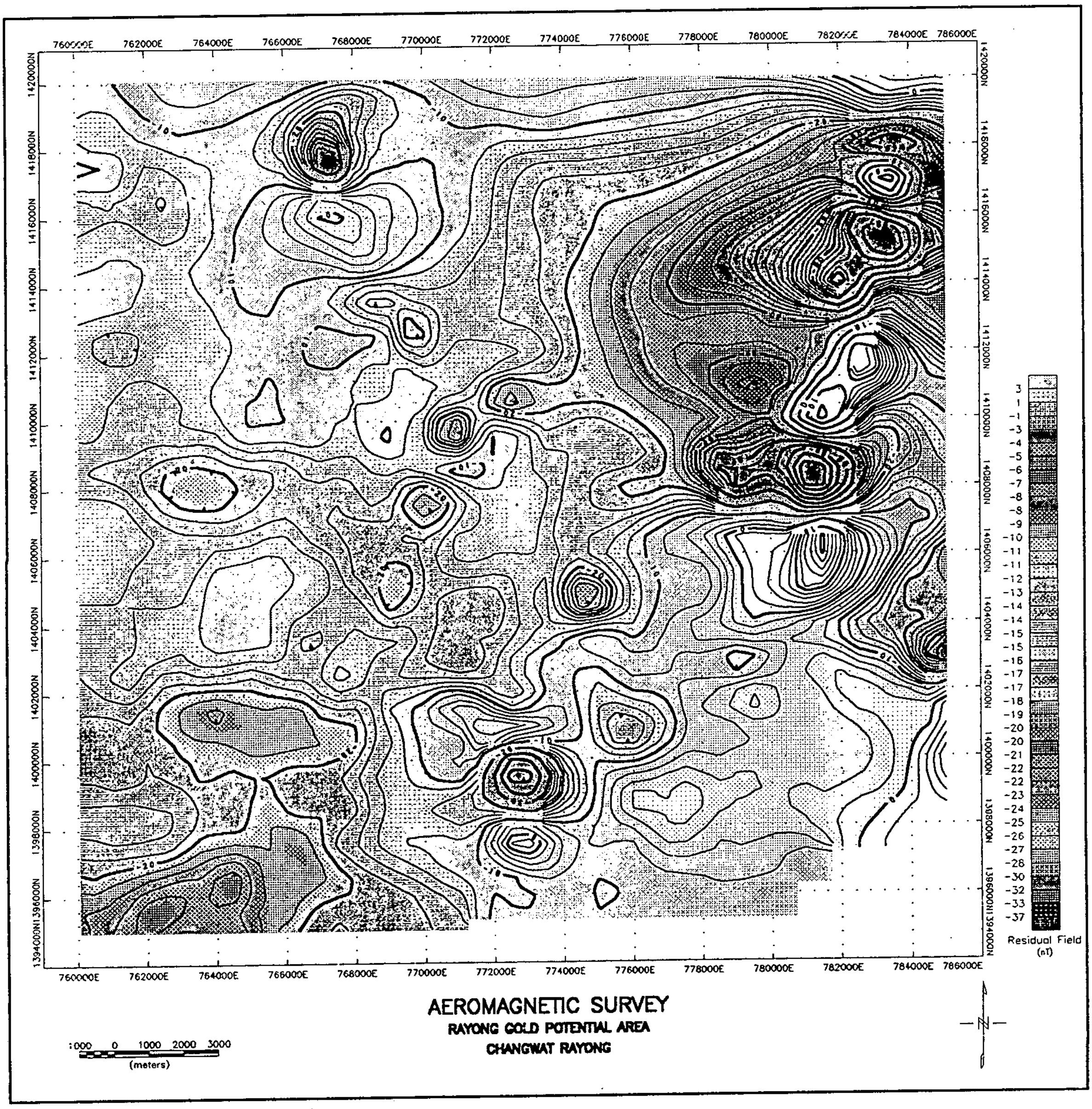
"เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่"

เอกสารประกอบการสาธิตและฝึกอบรมภาคสนาม

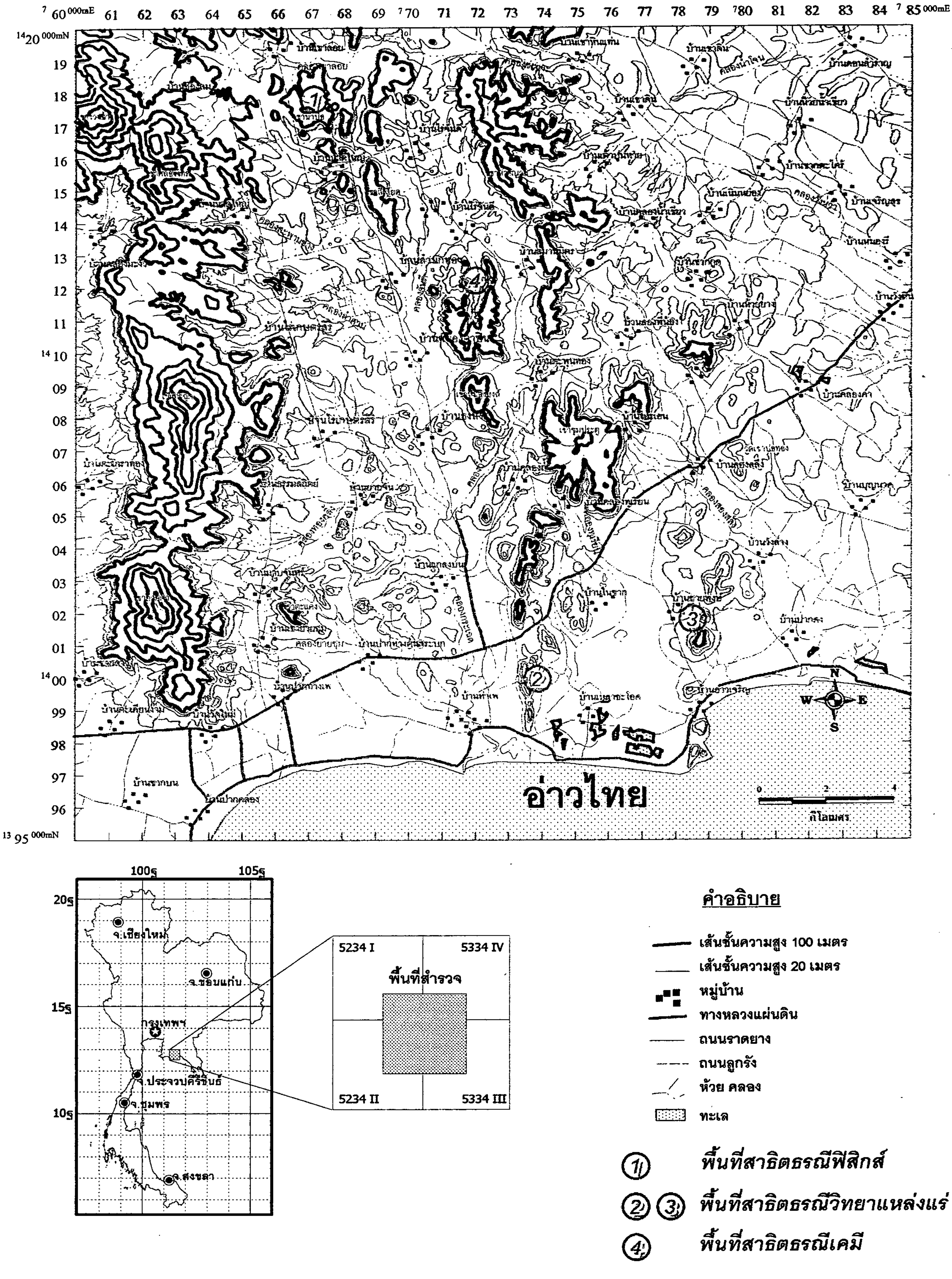


รูปที่ 1. แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่สาธิต

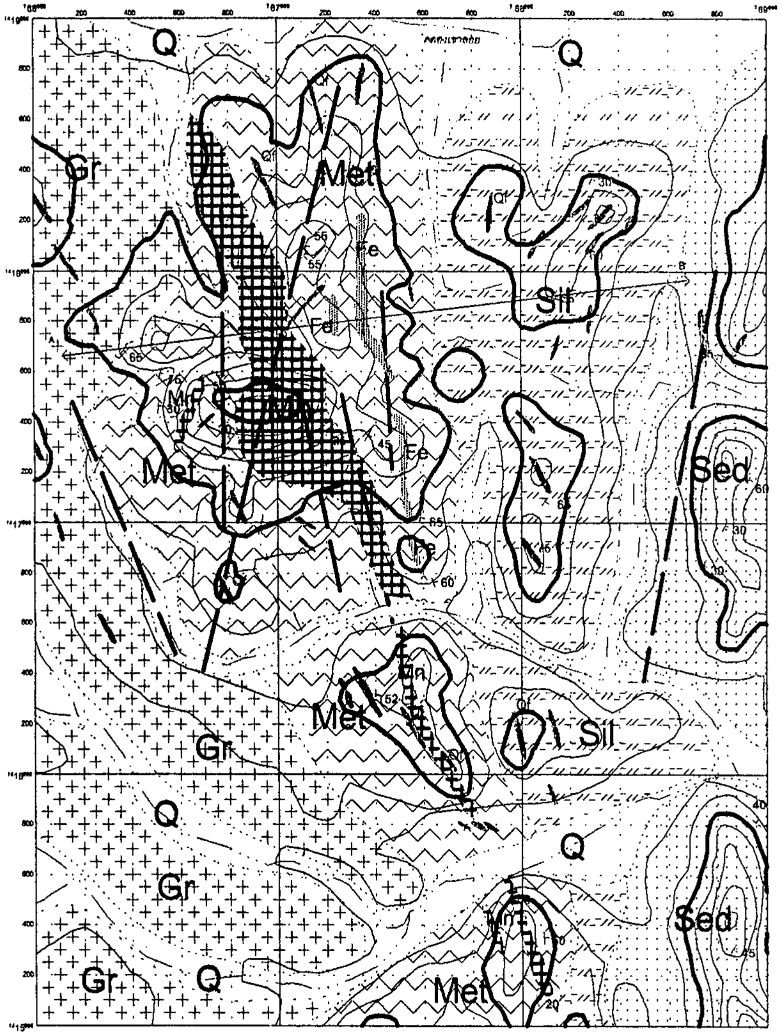


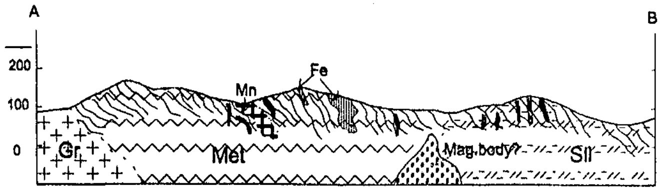


รูปที่ 2. แผนที่ธรณีฟิสิกส์แสดงข้อมูล Aeromagnetic ของบริเวณพื้นที่สาธิต



รูปที่ 3. แผนที่ภูมิประเทศแสดงที่ตั้งของพื้นที่สาธิต 4 บริเวณ

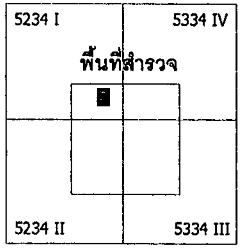




คำอธิบาย

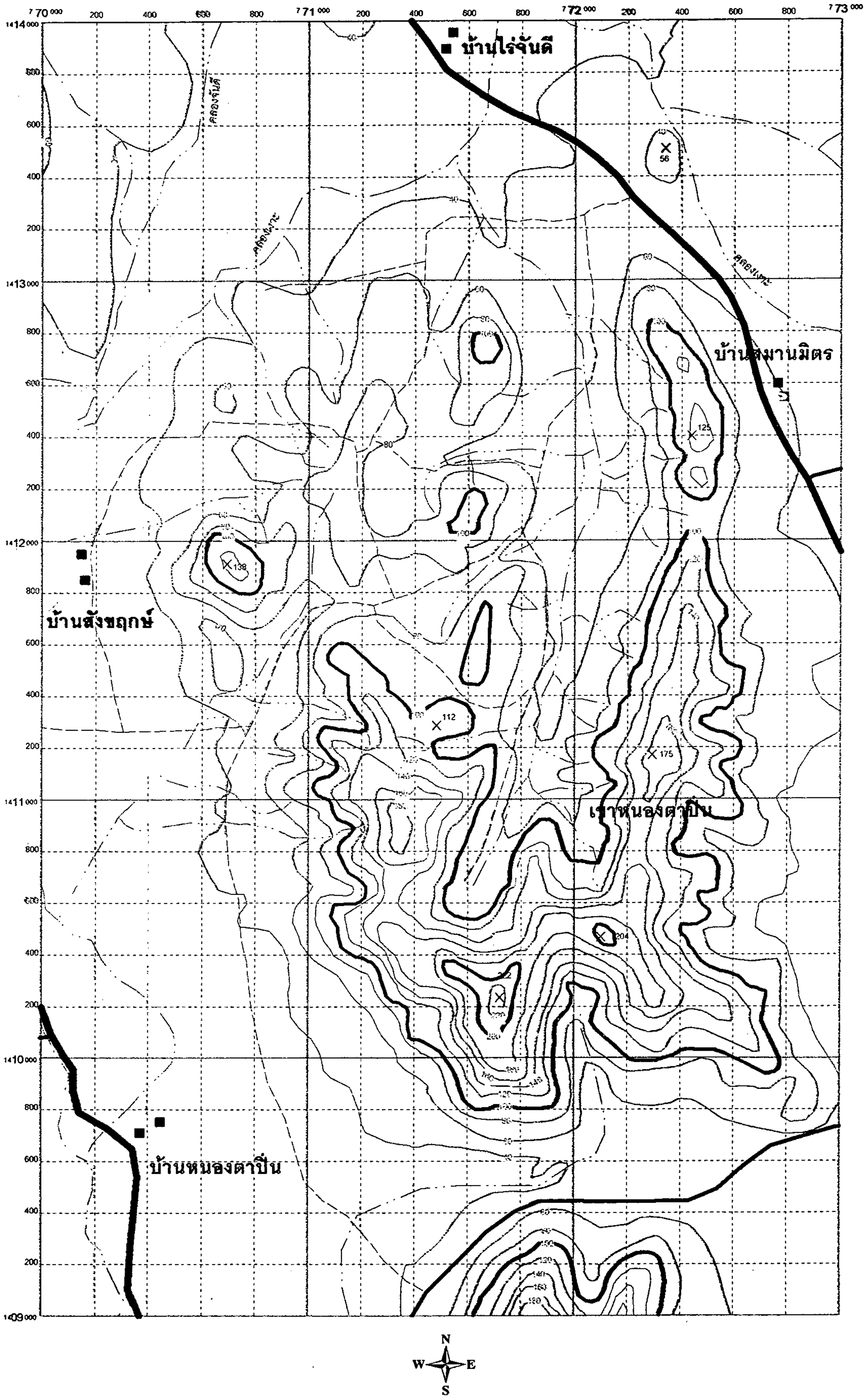
- Q : ชั้นตะกอน ตะกอนเหลือค้าง และศิลาแลง
- Sed : หินทราย หินทรายปนกรวด หินกรวดมน หินทรายแป้ง และหินดินดาน เป็นชั้นหินที่เกิดแทรกสลับกันมีสายควอตซ์แทรกตามรอยแตก รอยแยก และตามแนวการวางชั้นในบางบริเวณ
- Sil : หินทราย หินดินดาน และหินทรายแป้ง มีสายแร่ควอตซ์แทรกตัด เป็นจำนวนมาก และมีการเปลี่ยนสภาพแบบเติมแร่ซิลิกา ในบริเวณที่พบสายแร่ควอตซ์
- Met : หินแปรที่ถูกเปลี่ยนสภาพแบบเติมแร่ซิลิกา หินเดิมประกอบด้วย หินไมกา-ชีสต์ หินควอตซ์ หินควอตซ์เนื้อกรวด หินฟิลไลต์มีสายแร่ควอตซ์แทรกอย่างน้อย 2 ครั้ง โดยทั่วไปมีแร่เหล็กและแร่แมงกานีสเกิดแทนที่ในหิน
- Gr : หินแกรนิตเนื้อหยาบ มีการเรียงตัวของแร่ไมกา และแร่กลุ่มเมฟิก บางแห่งแร่เฟลด์สปาร์ มีการเปลี่ยนสภาพเป็นดิน
- Mn : แร่แมงกานีส เกิดแทนที่ในบางส่วนของหินแปร ชนิดไพโรลูไซต์ มีปริมาณแร่เหล็กเกิดร่วมด้วยค่อนข้างสูง
- Fe : แร่เหล็กชนิดฮีมาไทต์ และแมกนีไทต์
- : แนวสายแร่ควอตซ์ (ความกว้างไม่ตรงตามมาตราส่วน)
- Qf : แนวสายแร่ควอตซ์ที่เป็นแนวแร่ลอย
- : แนวสัมผัสของหินที่ต่างชนิดและลักษณะ
- 45 : แนวการวางชั้นและมุมเอียงเทของหิน
- : รอยเลื่อน
- A B : แนวของรูปตัดขวาง
- : เส้นชั้นความสูง 20 เมตร
- : เส้นชั้นความสูง 100 เมตร
- : ห้วย

N
W E
S
0 400 800



รูปที่ 4. พื้นที่ (1) เขาน้ำบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดระยอง

พื้นที่ (4) บ้านสมานมิตร อำเภอเมือง จังหวัดระยอง



MINFILE QUICK CODING CARD

☐ NEW ☐ REVISE ☐ DELETE

IDENTIFICATION

MINFILE NO.*: ____________ NAME*: ____________

STATUS* *(Choose One)*: *(Up to 16)*

☐ Anomaly *(Use as a temporary occurrence)*
☐ Showing
☐ Prospect ☐ Producer
☐ Developed Prospect ☐ Past Producer

MINING METHOD *(Choose One)*: ☐ Open Pit ☐ Underground

LOCATION*

NTS MAP* *(Up to 4)*: ____ ____ ____ ____

MINING DIVISION* *(Up to 2)*: ____ ____

REGION* *(Up to 10)*: ____

UTM ZONE*: ____ NAD

LATITUDE*: ____ ° ____ ' ____ " N *or* NORTHING*: ____ ☐ 27

LONGITUDE*: ____ ° ____ ' ____ " W EASTING*: ____ ☐ 83

ELEVATION*: ____ *(metres)* LOCATION CERTAINTY*: ☐ Within 500 m ☐ Within 1 km ☐ Within 5 km

IDENTIFICATION COMMENTS *(Unlimited space[1])*: ____

DATE CODED*: ____DD____MM____YY CODED BY*: ____ FIELD CHECKED*: ☐ Yes ☐ No

DATE REVISED*: ____DD____MM____YY REVISED BY*: ____ FIELD CHECKED*: ☐ Yes ☐ No

MINERAL OCCURRENCE

COMMODITIES* *(Up to 15)*: ____

MINERALS

SIGNIFICANT* *(Up to 16)*: ____

ASSOCIATED *(Up to 8)*: ____

ALTERATION *(Up to 8)*: ____

DEPOSIT

CHARACTER* *(Up to 4, rank with numbers)*:

☐ Vein	☐ Stockwork	☐ Breccia	☐ Pipe	☐ Unconsolidated
☐ Podiform	☐ Layered	☐ Stratabound	☐ Stratiform	☐ Concordant
☐ Discordant	☐ Massive	☐ Disseminated	☐ Shear	☐ Unknown

CLASSIFICATION* *(Up to 4, rank with numbers)*:

☐ Replacement	☐ Magmatic	☐ Volcanogenic	☐ Sedimentary	☐ Syngenetic
☐ Epigenetic	☐ Residual	☐ Porphyry	☐ Igneous-contact	☐ Skarn
☐ Pegmatite	☐ Placer	☐ Evaporite	☐ Exhalative	☐ Diatreme
☐ Hydrothermal	☐ Epithermal	☐ Mesothermal	☐ Fossil fuel	☐ Metamorphic
☐ Industrial Mineral	☐ Unknown	TYPE *(Up to 4)*: ____		

HOST ROCK

DOMINANT HOST* *(Choose 1)*:

☐ Sedimentary	☐ Volcanic	☐ Metaplutonic	☐ Metamorphic	☐ Plutonic
☐ Metasedimentary	☐ Metavolcanic			

LITHOLOGIES* *(Up to 10; up to 3 modifiers for each rock type)*:

____ ____
____ ____
____ ____

**mandatory field: all multiple fields are ranked: [1]all comment lines are 70 characters each.*

Rev. 14/09/98

FORMAL HOST

*(*List at least 1 Formal or Informal host)*

1. GROUP: ____________ FORMATION: ____________

STRATIGRAPHIC AGE*: ____________ ISOTOPIC AGE: ____________

DATING METHOD: ____________ MATERIAL DATED: ____________

INFORMAL HOST

1. IGNEOUS/METAMORPHIC/OTHER: ____________

STRATIGRAPHIC AGE*: ____________ ISOTOPIC AGE: ____________

DATING METHOD: ____________ MATERIAL DATED: ____________

GEOLOGICAL SETTING

TECTONIC BELT* *(Choose 1)*:

☐ Insular ☐ Coast ☐ Intermontane ☐ Omineca ☐ Foreland

TERRANE* *(Up to 2)*: ____________ ____________

PHYSIOGRAPHIC AREA: ____________

INVENTORY

ZONE *(Use generic name for an assay)*: ____________

YEAR: ____________ REPORT ON: ☐ Yes ☐ No

CATEGORY ☐ Assay/Analysis ☐ Reserve/Resource ***(Use main Coding Card or Inventory Sheet)***

SAMPLE TYPE *(Assay only)*:

☐ Chip ☐ Grab ☐ Channel ☐ Bulk ☐ Drill Core ☐ Rock

COMMODITIES/GRADES *(Precious metals in grams, others in per cent)*:

____/____ ____/____ ____/____

____/____ ____/____ ____/____

REFERENCE* *(1 line)*: ____________

CAPSULE GEOLOGY*

(Include comments on location and history; regional and local geology; deposit description and mineralogy; inventory and production)

BIBLIOGRAPHY*

(Quote all references for the occurrence in summary format; *asterisk important references)

MINFILE INVENTORY SHEET

MINFILE NO.:__________ NAME: __________

INVENTORY

ZONE *(Only use name if not an assay; if an assay use generic name)*: __________

YEAR: __________ REPORT ON: ☐ Yes ☐ No

CATEGORY *(Choose 1)*

RESERVE: ☐ Proven ☐ Probable ☐ Possible

RESOURCE: ☐ Measured ☐ Indicated ☐ Inferred

OTHER: ☐ Combined ☐ Unclassified ☐ Assay/Analysis

SAMPLE TYPE *(Assay only)*: ☐ Chip ☐ Grab ☐ Channel ☐ Bulk ☐ Drill Core ☐ Rock

QUANTITY *(Reserves or Resources only)*: __________ *(tonnes)*

COMMODITIES/GRADES *(Precious metals in grams, others in per cent)*:

______/____ ______/____ ______/____

______/____ ______/____ ______/____

REFERENCE* *(1 line)*: __________

INVENTORY/ASSAY COMMENTS *(Unlimited¹)*: __________

INVENTORY

ZONE *(Only use name if not an assay; if an assay use generic name)*: __________

YEAR: __________ REPORT ON: ☐ Yes ☐ No

CATEGORY *(Choose 1)*

RESERVE: ☐ Proven ☐ Probable ☐ Possible

RESOURCE: ☐ Measured ☐ Indicated ☐ Inferred

OTHER: ☐ Combined ☐ Unclassified ☐ Assay/Analysis

SAMPLE TYPE *(Assay only)*: ☐ Chip ☐ Grab ☐ Channel ☐ Bulk ☐ Drill Core ☐ Rock

QUANTITY *(Reserves or Resources only)*: __________ *(tonnes)*

COMMODITIES/GRADES *(Precious metals in grams, others in per cent)*:

______/____ ______/____ ______/____

______/____ ______/____ ______/____

REFERENCE* *(1 line)*: __________

INVENTORY/ASSAY COMMENTS *(Unlimited)*: __________

DATE REVISED: ____DD____MM____YY REVISED BY: __________

*mandatory field; ¹all comment lines are 70 characters each.

Rev. 30/09/98

MINFILE PRODUCTION SHEET

MINFILE NO.: ______________ NAME: ______________

PRODUCTION

YEAR: ________

ORE MINED: ________ *(tonnes)* ORE MILLED: ________ *(tonnes)*

COMMODITIES/QUANTITIES *(Precious metals in grams, others in kilograms)*:

____/____ ____/____ ____/____

____/____ ____/____ ____/____

PRODUCTION COMMENT *(1 line')*: ________

PRODUCTION

YEAR: ________

ORE MINED: ________ *(tonnes)* ORE MILLED: ________ *(tonnes)*

COMMODITIES/QUANTITIES *(Precious metals in grams, others in kilograms)*:

____/____ ____/____ ____/____

____/____ ____/____ ____/____

PRODUCTION COMMENT *(1 line)*: ________

PRODUCTION

YEAR: ________

ORE MINED: ________ *(tonnes)* ORE MILLED: ________ *(tonnes)*

COMMODITIES/QUANTITIES *(Precious metals in grams, others in kilograms)*:

____/____ ____/____ ____/____

____/____ ____/____ ____/____

PRODUCTION COMMENT *(1 line)*: ________

PRODUCTION

YEAR: ________

ORE MINED: ________ *(tonnes)* ORE MILLED: ________ *(tonnes)*

COMMODITIES/QUANTITIES *(Precious metals in grams, others in kilograms)*:

____/____ ____/____ ____/____

____/____ ____/____ ____/____

PRODUCTION COMMENT *(1 line)*: ________

PRODUCTION

YEAR: ________

ORE MINED: ________ *(tonnes)* ORE MILLED: ________ *(tonnes)*

COMMODITIES/QUANTITIES *(Precious metals in grams, others in kilograms)*:

____/____ ____/____ ____/____

____/____ ____/____ ____/____

PRODUCTION COMMENT *(1 line)*: ________

DATE REVISED: ____DD____MM____YY REVISED BY: ________

'*production comment line is 66 characters.*

Rev. 30/09/98

แบบบันทึกข้อมูลตัวอย่างแร่/หิน (กศ-P1-W2-F1)

พื้นที่สำรวจ/โครงการ ....

สถานที่เก็บตัวอย่าง ....

ผู้ทำการเก็บตัวอย่าง/บันทึกข้อมูล ....

วันที่เก็บตัวอย่าง ....ถึงวันที่ ....

หมายเลขตัวอย่าง	ระวางแผนที่	พิกัดตะวันออก (เมตร)	พิกัดเหนือ (เมตร)	ชื่อแร่/หิน	คำอธิบาย

ฟอร์มบันทึกข้อมูลตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ (F-EGD-S-004)

หน้าที่....................

แผนงาน/โครงการ.. ระหัส ....

อำเภอ.................................... จังหวัด .... ระวางแผนที่.................................... โซน ....

บันทึกโดย.. วันที่ ....

หมายเลขตัวอย่าง	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	ชื่อหิน	การปนเปื้อน	การใช้พื้นที่	สีของตัวอย่าง	ปริมาณน้ำในห้วย	หมายเหตุ

การปนเปื้อน ; 1= ไม่มีการปนเปื้อน, 2 = อาจมีการปนเปื้อน, 3 = มีการปนเปื้อนแน่นอน

การใช้ที่ดิน ; 1 = ป่าทึบ, 2 = ป่าโปร่ง, 3 = ไร่ และ/หรือสวน, 4 = ทุ่งนา, 5 = ที่อยู่อาศัยและสิ่งปลูกสร้าง

ฟอร์มบันทึกข้อมูลตัวอย่างแร่หนักจากการเลียง (F-EGD-S-005)

หน้าที่.................

แผนงาน/โครงการ.. ระหัส ....

อำเภอ... จังหวัด.. ระวางแผนที่ .... โซน..............................

บันทึกโดย .... วันที่ ....

หมายเลขตัวอย่าง	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	ความกว้างของทางน้ำ(เมตร)	ชั้นกะสะ	ชนิดกรวด	ชื่อสถานที่	หมายเหตุ

ชั้นกะสะ ; ดี = มีกรวดมากและแน่น, ปานกลาง = กรวดน้อย, ไม่ดี = ทรายมากและจับตัวกันแบบหลวม ๆ

ชนิดกรวด ; กรวดที่มีเป็นจำนวนมากเรียงตามลำดับ เช่น แกรนิต, ควอตซ์ เป็นต้น

แบบบันทึกข้อมูลผลการเลียงสำรวจแร่

วันที่............**เดือน**................................**ปี พ.ศ**......................

หมายเลขตัวอย่าง...................................

พื้นที่................................ **ห้วย**.................................... **บ้าน**.................................

ตำบล.............................. **อำเภอ**................................ **จังหวัด**................................

ตำแหน่งพิกัดอ้างอิง........................mE/ ....mN

ระวางแผนที่.. UTM **โซน**...................

ลักษณะภูมิประเทศ..

....

....

ลักษณะธรณีวิทยา..

....

....

การดำเนินการ

◯ เลียงสำรวจ : ◯ เก็บตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ (หมายเลข.....................) ◯ เก็บตัวอย่างหิน (หมายเลข.....................)

ผลการเลียงสำรวจ ◯ พบแร่ทองคำ..............เกร็ด ....ไร

◯ ไม่พบแร่ทอคำ

ตัวอย่างแร่หนัก **ตัวอย่างแร่ทองคำ**

ปริมาณแร่หนัก(มากไปน้อย)

....

หมายเหตุ...

....

....

ผู้เลียงสำรวจ..

ผู้บันทึก..

คำสั่งกองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี

ที่ ๖ /๒๕๔๔

เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานจัดการฝึกอบรม "เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่"

ตามที่ กศ. ได้รับอนุมัติให้จัดโครงการฝึกอบรม "เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่" เพื่อให้นักธรณีวิทยาที่ปฏิบัติงานในโครงการเร่งรัดสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ ทราบถึงเป้าหมาย ระเบียบ และเทคนิคต่าง ๆ ในการปฏิบัติงาน ระหว่างวันที่ ๑๕-๑๙ มีนาคม ๒๕๔๔ นั้น

เพื่อให้การจัดการฝึกอบรมดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพ จึงแต่งตั้งคณะทำงานจัดการฝึกอบรม "เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่" ดังมีรายนามต่อไปนี้

<u>ที่ปรึกษา</u>

๑.	นายสมบูรณ์	เสกธีระ	ผอ.กศ.
๒.	นายสมัย	เจียมจินดารัตน์	หฝ.แร่และหินอุตสาหกรรม
๓.	นายเสถียร	สุคนธ์พงเผ่า	หฝ.แร่โลหะ
๔.	นายมานิตย์	จำนงค์ไทย	หฝ.ธรณีเคมี
๕.	นายวีระ	กาหลง	หฝ.ธรณีฟิสิกส์
๖.	นายปรีชา	เล่าซู	รักษาการ หฝ.ทรัพยากรธรณีในทะเล
๗.	นายทศพร	นุชอนงค์	หฝ.ประเมินผลและจัดการทรัพยากรแร่
๘.	นายสุภัทรพงษ์	กรรณเลขา	หฝ.ตรวจสอบแหล่งแร่

<u>คณะทำงาน</u>

๑.	นายเชิดศักดิ์	อรรถอารุณ	หฝ.เศรษฐธรณีวิทยาบริการ	ประธานคณะทำงาน
๒.	นายอดิชาติ	สุรินทร์คำ	รักษาการ หฝ.กัมมันตรังสี	คณะทำงาน
๓.	นายวิสุทธิ์	โชติกเสถียร	นักธรณีวิทยา ๗	คณะทำงาน
๔.	นายประชา	คุตติกุล	นักธรณีวิทยา ๗	คณะทำงาน
๕.	น.ส.วรลักษณ์	แสงมณี	นักธรณีวิทยา ๖	คณะทำงาน
๖.	นายฤทธิไกร	ภวภูตานนท์ฯ	นักธรณีวิทยา ๖	คณะทำงาน
๗.	นายเกริกสิน	อิธถาฤทธิ์	นักธรณีวิทยา ๕	คณะทำงาน
๘.	น.ส.สุภาภรณ์	รุ่งสุวรรณ์สกุล	นักธรณีวิทยา ๔	คณะทำงาน

/๙. น.ส.อภิรดี...

๙.	น.ส.อภิรดี	สุวรรณทอง	นักธรณีวิทยา ๓	คณะทำงาน
๑๐.	นางศิรประภา	แม้นมาลัย	เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป ๖	คณะทำงาน
๑๑.	นายกมล	บุญนำ	เจ้าหน้าที่บริหารงานธุรการ ๕	คณะทำงาน
๑๒.	นายมนตรี	เหลืองอิงคะสุต	นักธรณีวิทยา ๗	คณะทำงานและเลขานุการ
๑๓.	นายวิเชียร	อินต๊ะเสน	นักธรณีวิทยา ๖	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ
๑๔.	นายธงชัย	รถมณี	นักธรณีวิทยา ๖	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

ให้คณะทำงานมีหน้าที่และความรับผิดชอบในการเตรียมการ ประสานงาน จัดทำเอกสารประกอบ และจัดการฝึกอบรมให้บรรลุตามวัตถุประสงค์

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๒๙ กุมภาพันธ์ ๒๕๔๔

(นายสมบูรณ์ เสกธีระ)
ผู้อำนวยการกองเศรษฐธรณีวิทยา