



การศึกษาสมบัติแม่เหล็กของหิน และการทำกรรมวิธีข้อมูลความเข้ม
สนามแม่เหล็กทางอากาศ บริเวณเขาพระงาม จังหวัดลพบุรี

**Study of Magnetic Properties of Rocks and Data Processing of Aeromagnetic
Field Intensity in Area of Khao Phra Ngam, Lop Buri Province**

ภาณุพงษ์ ลิ้มอุสันโน

Panupong Lim-u-sanno

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาธรณีฟิสิกส์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Geophysics**

Prince of Songkla University

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาสมบัติแม่เหล็กของหิน และ การทำกรรมวิธีข้อมูลความเข้ม
สนามแม่เหล็กทางอากาศ บริเวณเขาพระงาม จังหวัดลพบุรี
ผู้เขียน นายภาณุพงษ์ ลิ้มอุสันโน
สาขาวิชา ธรณีฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไตรภพ ผ่องสุวรรณ)

.....ประธานกรรมการ
(ดร.สวัสดี ยอดขยัน)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไตรภพ ผ่องสุวรรณ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ชงชัย พึ่งรัมย์)

.....กรรมการ
(ดร.กำแหง วัฒนเสน)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาธรณีฟิสิกส์

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์คารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมบัติแม่เหล็กของหิน และการทำกรรมวิธีข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ บริเวณเขาพระงาม จังหวัดลพบุรี
ผู้เขียน	นายกาญจน์ ลิมอัสโน
สาขาวิชา	ธรณีฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2553

บทคัดย่อ

จังหวัดลพบุรีเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพทางแหล่งแร่เหล็กและทองแดง และแสดงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศที่มีค่าสูงในบริเวณทางตอนเหนือ และทางตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ ซึ่งทั้งสองบริเวณนี้ไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลลำดับชั้นหินที่แสดงในแผนที่ธรณีวิทยา ค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดจากหินอัคนีแทรกซอนที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูง ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการประยุกต์ใช้ เทคนิคการแปลความแบบอัตโนมัติในการทำกรรมวิธีข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ สำหรับการกำหนดตำแหน่งและความลึกของรอยต่อทางแม่เหล็ก ได้แก่ วิธี Horizontal gradient magnitude วิธี Analytic signal วิธี Local wave-number และวิธี Euler deconvolution ซึ่งผลที่ได้จากแต่ละวิธีจะนำมาเปรียบเทียบกันและแสดงร่วมกับแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ จากการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของหิน พบว่าหิน แกบโบร แสดงค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (k) ที่มีค่าสูงเท่ากับ $179,333 \pm 11,104 \times 10^{-6}$ [SI] และแสดงค่าความเข้มของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ (NRM) ที่มีค่าสูงเท่ากับ $2,262 \pm 1,273$ mA/m ซึ่งปริมาณของค่า k สามารถที่จะใช้สนับสนุน ในการสร้างแบบจำลอง สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก แบบสามมิติ ผลของทิศทาง NRM แสดงทิศทางที่ตรงกันข้ามและขนานไปกับทิศทางของสนามแม่เหล็กโลก ปัจจุบัน ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อรูปร่างของค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก ผลจากการแปลควม ข้อมูล แสดงให้เห็นขอบเขตของหินแกบโบร ในพื้นที่ศึกษา ซึ่งนำไปสู่การสร้างแผนที่ธรณีวิทยาสำหรับการแปลความทางด้านแม่เหล็กของจังหวัดลพบุรี

Thesis Title Study of Magnetic Properties of Rocks and Data Processing of Aeromagnetic Field Intensity in Area of Khao Phra Ngam, Lop Buri Province

Author Mr. Panupong Lim-u-sanno

Major Program Geophysics

Academic year 2010

Abstract

Lop Buri province has been interesting to its significant mineral resources (iron and copper) and there are high aeromagnetic intensity in the northern and southeastern part of the area. The magnetic anomalies are not corresponding to geological elements shown in the map. Therefore, magnetic anomalies are probably resulted from a high susceptibility intrusive rock. In this study, we have used automatic techniques in processing of aeromagnetic data for determination of locations and depths of magnetic contacts, including, the horizontal gradient magnitude, the analytic signal, the local wave-number, and the Euler deconvolution methods. The results obtained from each method and 3D magnetic model are compared. Measurements of magnetic susceptibility (k) and natural remanent magnetization (NRM) of gabbroic rock samples showed both high magnetic susceptibility ($179,333 \pm 11,104 \times 10^{-6}$ SI) and NRM ($2,262 \pm 1,273$ mA/m). The value of magnetic susceptibility can support the 3D magnetic model. The NRM shows its direction nearly anti-parallel to the present Earth's field which is insignificantly influenced on the shape of magnetic anomalies. The interpretation result shows the boundary of the gabbroic body in the study area. The results led to an establishment of new geological interpretation from aeromagnetic map of Lop Buri province.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(7)
รายการภาพประกอบ	(8)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 ที่ตั้ง ขอบเขต และการคมนาคมของพื้นที่ศึกษา	2
1.3 สภาพภูมิศาสตร์และสภาพแวดล้อม	2
1.4 ธรณีวิทยาทั่วไป	4
1.5 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	6
1.6 หน่วยหินและลำดับชั้นหิน	6
1.7 ธรณีวิทยาแหล่งแร่	8
1.8 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในประเทศไทย	13
1.9 ทฤษฎีพื้นฐาน	18
1.10 การตรวจเอกสาร	28
1.11 วัตถุประสงค์	37
2. วิธีการวิจัย	38
2.1 วัสดุและอุปกรณ์	39
2.2 วิธีดำเนินการวิจัย	40
3. ผลและการอภิปรายผล	74
3.1 ผลการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็ก	74
3.2 ผลการทำกรรมวิธีข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ	82
4. สรุปและวิจารณ์	105
บรรณานุกรม	107
ภาคผนวก	113
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์	121
ประวัติผู้เขียน	138
	(6)

รายการตาราง

ตาราง	หน้า	
1.1	สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินและแร่ชนิดต่างๆ	20
1.2	ดัชนีโครงสร้างของข้อมูลทางแม่เหล็กและข้อมูลโน้มถ่วงของรูปแบบทางธรณีวิทยาแบบต่างๆ	28
3.1	ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (k), ค่าแมกนีไทเซชันคงค้างธรรมชาติ (NRM), ค่า Königsberger ratio (Q-value) และค่าพารามิเตอร์แอนไอโซทรอปี	75
3.2	ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหิน โผล่หรือหินหลุดลอยในพื้นที่ศึกษา	76
3.3	ค่าความลึก, ค่าแอมพลิจูด และค่าความยาวคลื่นที่ประมาณได้จากการทำกรรมวิธี matched band-pass filtering	88

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 แผนที่ประเทศไทยแสดงตำแหน่งและขอบเขตของพื้นที่ศึกษา	3
1.2 แผนที่แสดงขอบเขต เส้นทางคมนาคม และเส้นทางน้ำของพื้นที่ลพบุรี มาตรฐาน 1:250,000	4
1.3 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ลพบุรี มาตรฐาน 1:250,000	5
1.4 แผนที่ธรณีวิทยาแหล่งแร่และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณเขาทับควายในการศึกษาครั้งนี้	9
1.5 แผนที่ธรณีวิทยาแหล่งแร่และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณเขาพุกาในการศึกษาครั้งนี้	10
1.6 แผนที่ธรณีวิทยาแหล่งแร่และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณเขาพระงามในการศึกษาครั้งนี้	11
1.7 แผนที่ธรณีวิทยาแหล่งแร่และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณเขาสะพานนาครในการศึกษาครั้งนี้	12
1.8 แผนที่แสดงพื้นที่สำรวจ Survey A ที่ระดับความสูงของการบินต่างๆ	15
1.9 แผนที่แสดงพื้นที่สำรวจ Survey B และ C ซึ่งมีระยะห่างระหว่างเส้นบินสำรวจต่างๆ กัน	16
1.10 แผนที่แสดงพื้นที่เลือกสรรในการสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมทั้งทิศทางของเส้นสำรวจ	17
1.11 แบบจำลองรูปทรงรีซึ่งประกอบด้วยแกน 3 แกน	21
1.12 ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวม (ΔT) องค์ประกอบของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กในแนวตั้ง (ΔZ) และในแนวราบ (ΔH) ที่เกิดจากวัตถุทรงกลมที่แปรผันไปตามมุมเอียงของสนามแม่เหล็กโลก โดยกำหนดให้ค่ามุมบ่าเบนเท่ากับศูนย์	24
2.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัยโดยสรุป	38
2.2 แผนที่ธรณีวิทยาและตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ลพบุรีในการศึกษาครั้งนี้	42
2.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างหินชนิดควัดการวางตัว	43
2.4 เครื่องตัดหินทรงกระบอก ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	44

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
2.5 แท่งตัวอย่างหินชนิดวิศวกรวางตัว ตัวอย่างมาตรฐาน และชิ้นตัวอย่างขนาดมาตรฐานที่ได้จากการตัดแต่ง	44
2.6 ตัวอย่างหินโผล่หรือหินหลุดลอย และตัวอย่างหินที่ได้จากการย่อย	45
2.7 เครื่องวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก ยี่ห้อ AGICO รุ่น KLY-3S Kappabridge	47
2.8 เครื่องแมกนีโทมิเตอร์แบบหมุนยี่ห้อ AGICO รุ่น JR-6	48
2.9 เครื่องลบล้างอำนาจแม่เหล็กแบบสนามสลับ ยี่ห้อ Molspin	49
2.10 การกำหนดระบบพิกัดและการกำหนดจุดพิกัดอ้างอิงสำหรับการดิจิทัลไอซ์ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ	51
2.11 การดิจิทัลไอซ์ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ	52
2.12 ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กในพิกัดของตำแหน่งที่เป็นลองจิจูดและละติจูด	53
2.13 ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กในพิกัดของตำแหน่งที่เป็นพิกัดแบบ UTM	53
2.14 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Grid Data สำหรับการสร้างกริดข้อมูล	54
2.15 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Grid Mosaic สำหรับการต่อกริดข้อมูล	55
2.16 แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ	56
2.17 โปรแกรมคำนวณค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากล	57
2.18 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Fill dummy values in a grid สำหรับการ plug holes	59
2.19 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Grid Decorrugation สำหรับการทำการวิธี decorrugation	59
2.20 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Initialize matched filtering process ของขั้นตอนการ Initialization สำหรับการทำการวิธี matched band-pass filtering	60
2.21 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Design matched filters ของขั้นตอนการ Design filters และการ fit กราฟของสเปกตรัมกำลังลอการิทึมสำหรับการทำการวิธี matched band-pass filtering	61
2.22 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Apply matched bandpass filters ของขั้นตอนการ Apply Filters สำหรับการทำการวิธี matched band-pass filtering	62
2.23 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Reduction to the pole สำหรับการทำการวิธีลดทอนสู่ขั้ว	63
2.24 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Horizontal gradient grids สำหรับการทำการวิธี Horizontal gradient magnitude	64

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า	
2.25	ไออะลือกบ็อกซ์ Locate Potential Field Sources from Special Function Grids สำหรับการประมาณตำแหน่งและความลึกจากวิธี Horizontal gradient magnitude	65
2.26	ไออะลือกบ็อกซ์ Total gradient สำหรับการทำการรวมวิธี Analytic signal	66
2.27	ไออะลือกบ็อกซ์ Locate Potential Field Sources from Special Function Grids สำหรับการประมาณตำแหน่งและความลึกจากวิธี Analytic signal	66
2.28	ไออะลือกบ็อกซ์ Local wavenumber สำหรับการทำการรวมวิธี Local wave-number	67
2.29	ไออะลือกบ็อกซ์ Locate Potential Field Sources from Special Function Grids สำหรับการประมาณตำแหน่งและความลึกจากวิธี Local wave-number	68
2.30	ไออะลือกบ็อกซ์ Euler Setup สำหรับการคำนวณข้อมูลกริดอนุพันธ์เพื่อใช้ในการ วิเคราะห์ขอบเขตและความลึกโดยวิธี Euler deconvolution	69
2.31	ไออะลือกบ็อกซ์ Two-step Extended Euler Depth Analysis สำหรับการวิเคราะห์ ขอบเขตและความลึกโดยวิธี Euler deconvolution	70
2.32	โปรแกรม MAG3D User Interface สำหรับการสร้างแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ	72
2.33	โปรแกรม MeshTools3D สำหรับแสดงผลแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก แบบสามมิติ	73
3.1	กราฟแสดงค่า k , NRM และ Q-value ของตัวอย่างหินแกบโบร	77
3.2	ทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติของตัวอย่างหินแกบโบร	78
3.3	การกระจายทิศทางทรงรีของแอนไอโซทรอปีของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของ ตัวอย่างหินแกบโบร	79
3.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ P_j กับ T ของตัวอย่างหินแกบโบร	79
3.5	กราฟแสดงการลบล้างแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติด้วยสนามแม่เหล็กสลับของ ตัวอย่างหินแกบโบร	81
3.6	ภาพการกระเจิงอิเล็กตรอนและภาพรังสีเอกซ์เรอิ่งที่ปล่อยออกมาจากธาตุประกอบ ในตัวอย่างหินแกบโบร	82
3.7	แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศของพื้นที่ลพบุรี	83
3.8	แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกของพื้นที่ลพบุรี	84

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.9 แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กซ้อนทับกับแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ลพบุรี	84
3.10 แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กของการทำกรรมวิธี decorrugation, (a) สัญญาณรบกวนในแนวเหนือ-ใต้, (b) ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กภายหลังการกรองสัญญาณรบกวน	85
3.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมกำลังลอการิทึมกับส่วนประกอบเลขคลื่น	88
3.12 แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กของการทำกรรมวิธี matched band-pass filtering, (a) ค่าผิดปกติที่มีความยาวคลื่นยาว, (b) ค่าผิดปกติที่มีความยาวคลื่นปานกลาง, (c) ค่าผิดปกติที่มีความยาวคลื่นสั้น, (d) ค่าผิดปกติที่ผ่านการกรองความถี่ต่ำผ่าน	89
3.13 แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กของการทำกรรมวิธีการลดทอนสู่ขั้ว	90
3.14 แผนภาพคอนทัวร์ของ Horizontal gradient magnitude ซ้อนทับกับตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็ก	92
3.15 แผนภาพแสงเงาของ Horizontal gradient magnitude ซ้อนทับกับค่าความลึกของรอยต่อทางแม่เหล็ก	92
3.16 แผนภาพคอนทัวร์ของ Analytic signal ซ้อนทับกับตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็ก	93
3.17 แผนภาพแสงเงาของ Analytic signal ซ้อนทับกับค่าความลึกของรอยต่อทางแม่เหล็ก	94
3.18 แผนภาพคอนทัวร์ของ Local wave-number ซ้อนทับกับตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็ก	96
3.19 แผนภาพคอนทัวร์ของ Local wave-number จากการทำปริพันธ์ในแนวตั้งอันดับหนึ่ง ซ้อนทับกับตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็ก	96
3.20 แผนภาพแสงเงาของ Local wave-number จากการทำปริพันธ์ในแนวตั้งอันดับหนึ่ง ซ้อนทับกับค่าความลึกของรอยต่อทางแม่เหล็ก	97
3.21 แผนภาพแสงเงาของ Local wave-number จากการทำปริพันธ์ในแนวตั้งอันดับหนึ่ง ซ้อนทับกับค่าดัชนีโครงสร้าง	97

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.22 ตำแหน่งและความลึกของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กจากการทำกรรมวิธี Euler deconvolution ซ้อนทับกับแผนภาพคอนทัวร์ของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก	99
3.23 แบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ	102
3.24 ตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็กของวิธี HGM AS และ LW-FVI ซ้อนทับกันแสดงร่วมกับแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ	102
3.25 แผนที่ธรณีวิทยาและพื้นที่ศักยภาพทางแร่จากการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศในพื้นที่ลพบุรี	104

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

จังหวัดลพบุรีเป็นพื้นที่ที่มีรายงานจากกองโบราณคดี กรมศิลปากรว่าเคย มีการทำเหมืองแร่ในสมัยก่อนประวัติศาสตร์ มีหลักฐานการถลุงแร่ทองแดงและหลักฐานการใช้โลหะเหล็กทองแดง และสำริด หลักฐานดังกล่าวบ่งบอกได้ว่าในพื้นที่จังหวัดลพบุรี น่าจะมีแหล่งแร่เหล็กและแร่ทองแดงที่มีความสมบูรณ์สูง นอกจากนั้นยังมีรายงานจากกรมทรัพยากรธรณี ว่าจังหวัดลพบุรีเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพทางด้านแร่เหล็กและทองแดงสูง เช่น บริเวณเขาทับควาย เขาพุคา เขาพระงาม และเขาสะพานนาคร เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบัน พื้นที่จังหวัดลพบุรี ยังคงมีการสำรวจและศึกษาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการประเมินโครงสร้างทางธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นการสำรวจธรณีฟิสิกส์ภาคพื้นดิน ยังไม่เคยมีการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลความข้อมูลจากการสำรวจวัดค่าความเข้ม สนามแม่เหล็กทางอากาศ และยังไม่เคยมีการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางแม่เหล็กของหินในพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหิน (magnetic susceptibility, k) และแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติในหิน (natural remanent magnetization, NRM) ซึ่งมีอิทธิพลต่อขนาดและรูปร่างของค่าผิดปกติ ทางแม่เหล็ก และส่งผลกระทบต่อ การแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กที่ได้จากการสำรวจทั้งภาคพื้นดินและทางอากาศ เนื่องด้วยข้อมูลจากการสำรวจวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศเหนือพื้นที่จังหวัดลพบุรีแสดงให้เห็นถึงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศที่มีค่าสูงและไม่สอดคล้องกับข้อมูลทางธรณีวิทยา ในบางบริเวณ ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอ เทคนิคในการแปลความเชิงคุณภาพของข้อมูล ความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศในพื้นที่ จังหวัดลพบุรี เพื่อหาบริเวณและกำหนดขอบเขตของหินที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูง และประเมินโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินที่คาดว่ามีความสัมพันธ์กับการเกิดแร่ในพื้นที่ จังหวัดลพบุรี นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางแม่เหล็กของหินในพื้นที่ เพื่อใช้อ้างอิงในการแปลความและ เป็นฐานข้อมูลในการใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

1.2 ที่ตั้ง ขอบเขต และการคมนาคมของพื้นที่ศึกษา

จังหวัดลพบุรีตั้งอยู่ ทางภาคกลางของประเทศไทย (ภาพประกอบที่ 1.1) มีเนื้อที่ 6,199.753 ตารางกิโลเมตร มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง ดังนี้ ทิศเหนือติดต่อกับ จังหวัดนครสวรรค์ และจังหวัดเพชรบูรณ์ ทิศใต้ ติดต่อกับ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และจังหวัดสระบุรี ทิศตะวันออก ติดต่อกับจังหวัดชัยภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดสระบุรี ทิศตะวันตก ติดต่อกับจังหวัดสิงห์บุรี และจังหวัดนครสวรรค์ ขอบเขตของพื้นที่ ศึกษาส่วนใหญ่ตั้ง อยู่ในเขตการปกครองท้องที่ของจังหวัดลพบุรี เป็นพื้นที่ที่ปรากฏในแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:250,000 ระวังจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ND47-8) ระวังอำเภอบ้านหมี่ (ND47-4) ระวังจังหวัดนครสวรรค์ (ND47-3) และ ระวัง จังหวัด สุพรรณบุรี (ND47-7) มีขอบเขตตั้งแต่ 634,500 ถึง 715,000E และ 1,603,500 ถึง 1,686,000N ในระบบพิกัด UTM ครอบคลุมพื้นที่ 5,156 ตารางกิโลเมตร

การคมนาคมสามารถเดินทาง เข้าสู่พื้นที่ลพบุรีได้สะดวกตลอดปี ทั้งทางรถยนต์ และทางรถไฟ ทางรถยนต์สามารถเดินทาง จากกรุงเทพฯ ไปทางทิศเหนือตามเส้นทางถนนพหลโยธิน (ทางหลวงหมายเลข 1) ถึงอำเภอเมือง จังหวัดลพบุรีเป็นระยะทาง 153 กิโลเมตร สำหรับทางรถไฟสามารถเดินทางโดยขบวนรถไฟสายเหนือ ออกจากกรุงเทพฯ (สถานีหัวลำโพง) ไปถึงอำเภอเมือง จังหวัดลพบุรีเป็นระยะทาง 133 กิโลเมตร หรือไปถึงอำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี เป็นระยะทาง 165 กิโลเมตร (ภาพประกอบที่ 1.2)

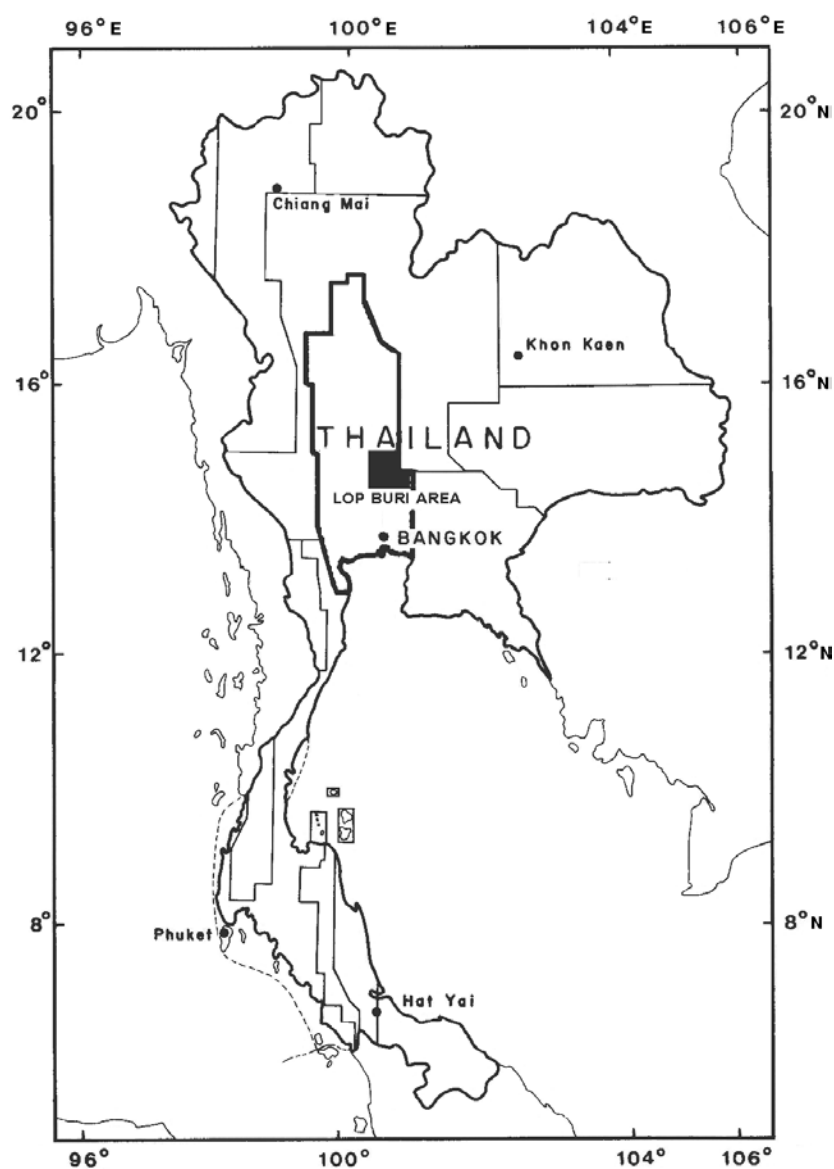
1.3 สภาพภูมิศาสตร์และสภาพแวดล้อม

ลักษณะภูมิประเทศในพื้นที่ลพบุรีส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 70 ของพื้นที่ทั้งหมด เป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำ ที่ราบหุบเขา และที่ราบเชิงเขา โดยบริเวณที่ราบเชิงเขามีเนินเขาเล็กๆ สูงกว่าที่ราบปกติไม่เกิน 20 เมตร อยู่เป็นจำนวนมาก ส่วนพื้นที่อีกประมาณร้อยละ 30 ของพื้นที่ทั้งหมดจะเป็นภูเขา และกลุ่มของภูเขาที่สูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ตั้งแต่ 100-200 เมตร ไปจนถึงมากกว่า 600 เมตร โดยกลุ่มเขาดังกล่าววางตัวไม่ต่อเนื่องกัน เขาที่สูงที่สุดได้แก่เขาวงพระจันทร์ ซึ่งสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 644 เมตร นอกจากนั้น ยังมีเขาที่สำคัญเช่น เขาดอก เขาลำแพน เขาพุดา เขาพระงาม และเขาจันทแล เป็นต้น ภูเขาดังกล่าวส่วนใหญ่จะเป็นภูเขาที่มีความชันมาก เนื่องจากเป็นภูเขาที่ประกอบด้วยหินปูน หินอ่อน และหินภูเขาไฟ เป็นส่วนใหญ่

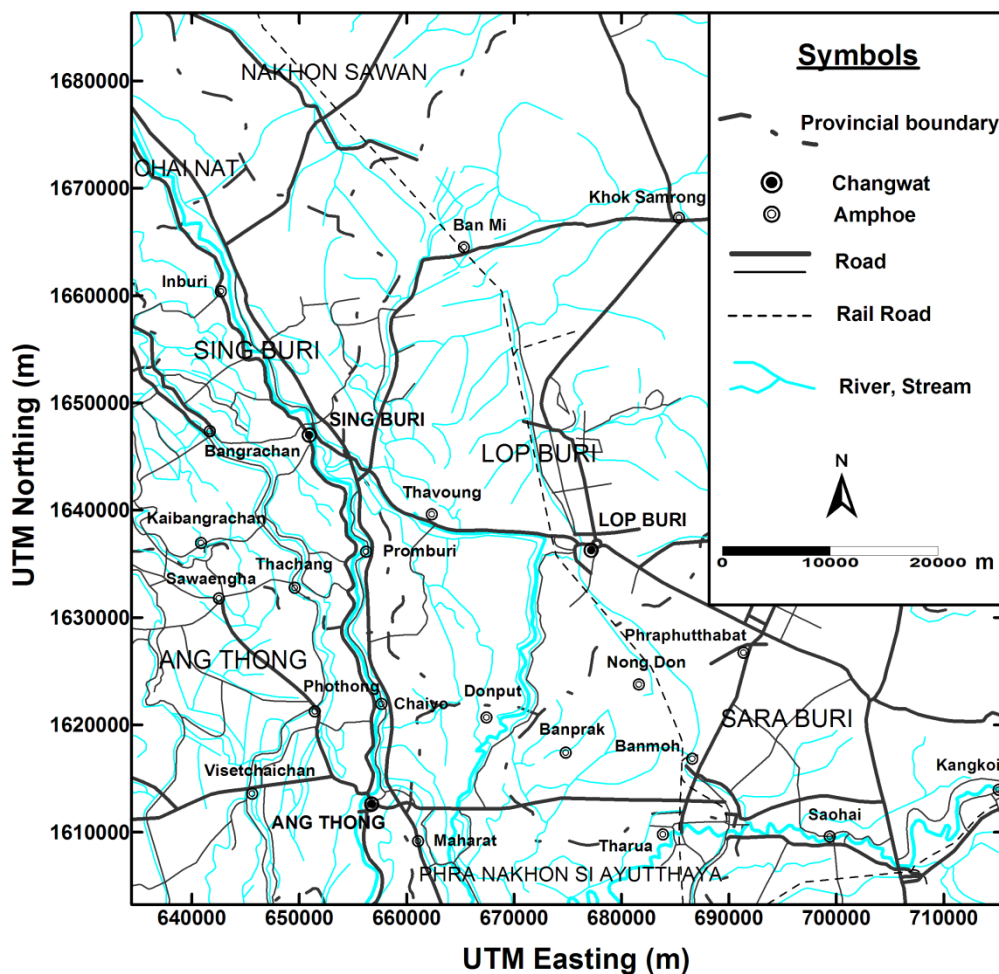
พื้นที่ลพบุรีมีแม่น้ำสายสำคัญได้แก่ แม่น้ำลพบุรีไหลผ่านทางด้านตะวันตก และแม่น้ำป่าสักไหลผ่านทางด้านใต้ของพื้นที่ ทางน้ำที่ไหลผ่านในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นทางน้ำขนาดเล็ก มีน้ำไหลไม่ตลอดปี และมักเป็นทางน้ำที่มีสภาพตื้นเขิน ทางน้ำที่สำคัญได้แก่ คลองสนามแจง ซึ่ง

ไหลจากทางด้านตะวันออกของพื้นที่ผ่าน อำเภอโคกสำโรง และไหลลงคลองชลประทานที่ อำเภอ บ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี นอกจากนั้นเป็นทางน้ำสายเล็กๆ ไหลลงคลองสนามแจง และคลองชลประทาน

ลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดลพบุรี มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีอยู่ในช่วง 25.0-30.6 องศาเซลเซียส ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ส่งผลให้เกิดฝนตกในช่วงเดือน พฤษภาคมถึงตุลาคมของทุกปี ส่วนระยะเวลาที่เหลือเป็นช่วงของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นลมหนาว นอกจากนี้ยังมีพายุไซโคลนจากทะเลจีนใต้ที่จะทำให้เกิดฝนตกหนักในช่วงเดือน สิงหาคมถึงเดือนกันยายน



ภาพประกอบที่ 1.1 แผนที่ประเทศไทยแสดงตำแหน่งและขอบเขตของพื้นที่ศึกษา

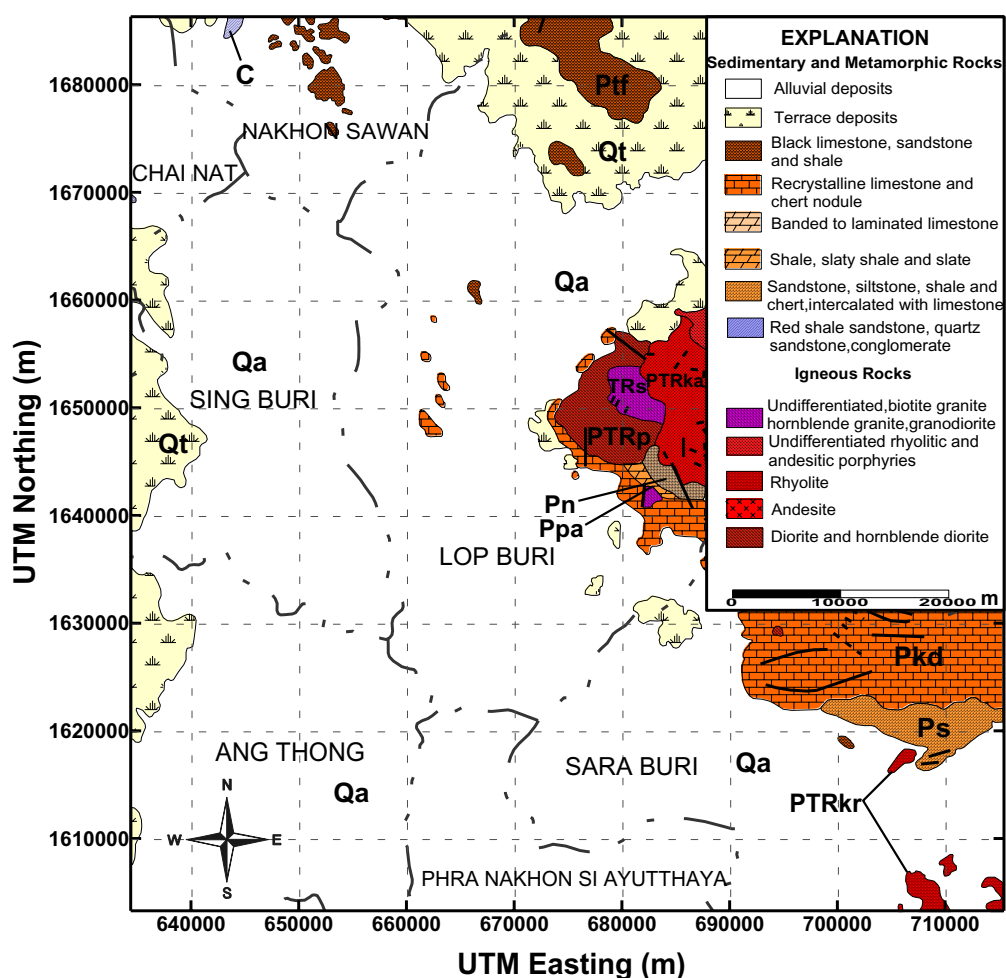


ภาพประกอบที่ 1.2 แผนที่แสดงขอบเขต เส้นทางคมนาคม และเส้นทางน้ำของพื้นที่ลพบุรี มาตรฐานส่วน 1:250,000 (ดัดแปลงจาก พงศ์ศักดิ์ วิจิต และคณะ, 2544)

1.4 ธรณีวิทยาทั่วไป

พื้นที่ลพบุรีได้เคยมีการสำรวจทำแผนที่ธรณีวิทยา มาตรฐานส่วน 1:250,000 โดยกองธรณี กรมทรัพยากรธรณี ในระหว่างปี พ.ศ. 2515 ถึง พ.ศ.2517 นิกร นครศรี และคณะ ได้สำรวจและทำแผนที่ธรณีวิทยาในบริเวณที่ปรากฏในแผนที่ระวาง อำเภอบ้านหมี่ (ND47-4) และในระหว่างปี พ.ศ. 2516 ถึง พ.ศ.2518 ชัยยันต์ หินทอง และคณะ ได้สำรวจและทำแผนที่ธรณีวิทยาในบริเวณที่ปรากฏในแผนที่ระวาง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ND47-8) ซึ่งพื้นที่ลพบุรีโดยส่วนใหญ่เป็นส่วนหนึ่งของบริเวณที่ปรากฏในแผนที่ทั้งสองระวางดังกล่าว ลักษณะธรณีวิทยา ของพื้นที่ลพบุรี แสดงดังภาพประกอบที่ 1.3 ประกอบไปด้วยพื้นที่ราบลุ่มของตะกอน ดิน ทราย กรวดใน ยุคควอเทอร์นารี ประมาณร้อยละ 70 ของพื้นที่ และมีการแผ่กระจายของหินชั้นและหินแปร ซึ่งเป็น

หินที่มีอายุแก่ที่สุดในบริเวณนี้ คือ หินปูน และ หินอ่อนยุคเพอร์เมียน ถูกปิดทับโดยหินอัคนีพวก หินแอนดีไซต์ และหินไรโอไลต์ ยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิก และมีหินอัคนีแทรกซ อน ยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิก พวกหินไดออไรต์ และยุคไทรแอสซิกพวกหินแกรโนไดออไรต์ สอร์รันเบลนด์แกรนิต และสอร์รันเบลนด์ไดออไรต์ หนูนอยู่ด้านล่าง ซึ่งสามารถพบได้ทั้งที่เป็นบริเวณกว้าง เป็นหย่อม เล็กๆ และเป็นผนังแทรกชั้นในหินปูน หินอ่อน และหินแอนดีไซต์



ภาพประกอบที่ 1.3 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ลพบุรี มาตรฐาน 1:250,000 (ดัดแปลงจาก ชัยยันต์ หินทอง และคณะ, 2528; นิกร นครศรี และคณะ, 2519)

1.5 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

โครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญในพื้นที่ลพบุรี มีการวางชั้นของหินปูน และหินอ่อน โดยทั่วไปจะวางตัวเกือบขนานกันในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นรูปประทุนหงาย (syncline) โดยหินที่พบทางตอนกลางของพื้นที่ส่วนใหญ่จะเอียงเทไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ประมาณ 25-45 องศา ในส่วนของรอยเลื่อน และรอยแตกแยก พบตัดผ่านหินเกือบทุกชนิดที่พบในพื้นที่ลพบุรี และมีแนวการวางตัวเกือบทุกทิศทาง แต่ทิศทางที่เห็นได้ค่อนข้างชัดเจนคือแนวตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ และแนวเหนือ - ใต้

1.6 หน่วยหิน และลำดับชั้นหิน

หินที่กระจายอยู่ในพื้นที่ลพบุรีประกอบด้วย หินตะกอน หินแปร หินอัคนีพุ และหินอัคนีแทรกซอนเป็นหินที่มีอายุตั้งแต่ช่วงยุคเพอร์เมียนไปจนถึงช่วงยุค ไทรแอสซิก และชั้นตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวยุคควอเทอร์นารี หินในพื้นที่ลพบุรีสามารถแบ่งเป็นหน่วย หินย่อย รวมถึงอายุของหิน โดยอาศัย การศึกษา ลักษณะของหิน (lithology) บรรพชีวินวิทยา (paleontology) และการ ลำดับ ชั้นหิน (stratigraphy) เป็นตัวกำหนด จากรายงานการสำรวจและ ข้อมูลตามแผนที่ธรณีวิทยา ระวังจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ชัยยัน หินทอง และคณะ, 2524) และระวังอำเภอบ้านหมี่ (นิกร นครศรี และคณะ, 2524) มาตราส่วน 1:250,000 สามารถที่จะแบ่งหินที่พบในพื้นที่ลพบุรี ออกได้เป็น 10 หน่วยหิน (ภาพประกอบที่ 1.3) โดยเรียงลำดับจากอายุเก่าไปอ่อน ได้ดังนี้

1.6.1 หน่วยหินเขาขาด (P_{hd}) ประกอบด้วยหินปูน หินปูนเนื้อโคลโลไมต์ และหินโคลโลไมต์ แทรกด้วยหินดินดาน หินทราย และหินทรายแป้ง หินปูน หินปูนเนื้อโคลโลไมต์ และหินโคลโลไมต์ มีสี เทา แสดงลักษณะเป็นชั้นดี เป็นชั้นบางถึงหนามาก มักมีหินเชิร์ตแทรกอยู่เป็นกระจุก และเป็นชั้น ซากดึกดำบรรพ์ที่พบจำพวก ฟิวซิลินิด แบรคิโอพอด ปะการัง ฟองน้ำ และสาหร่าย ในบางบริเวณมีการแปรสภาพไปเป็นหินอ่อนและหินแคลก์ ซิลิเกต หน่วยหินนี้มีอายุอยู่ในช่วงเพอร์เมียนตอนต้นถึงเพอร์เมียนตอนกลาง (Middle-Lower Permian)

1.6.2 หน่วยหินหนองโป่ง (P_n) ประกอบด้วยหินปูน สีดำถึงเทาดำ ลักษณะมีลายเป็นแถบหยาบและถี่กับหินเชิร์ตเป็นชั้นดี หินดินดาน หินทรายปนทัฟฟ์สีซีมัว เทาแกมน้ำตาล บางแห่งมีหินภูเขาไฟแทรกด้วย บางแห่งเป็นหินฮอร์นเฟลส์ หินชนวนและหินควอร์ตไซต์ ซากดึกดำบรรพ์ที่พบจำพวก ฟิวซิลินิด แบรคิโอพอด ปะการัง ฟองน้ำ และสาหร่าย หน่วยหินนี้มีอายุอยู่ในช่วงเพอร์เมียนตอนต้นถึงเพอร์เมียนตอนกลาง (Middle-Lower Permian)

1.6.3 หน่วยหินปางอโศก (P_{pa}) ประกอบด้วย หินดินดาน หินดินดานกึ่งหินชนวน และหินชนวนชั้นบาง สีเทา สีซีมัว และสีน้ำตาล มีชั้น หินทรายและ หินปูนแทรกเป็นกระเปาะบ้าง บางแห่งเป็นหินสอร์นเฟลส์ หน่วยหินนี้มีอายุอยู่ในช่วงเพอร์เมียนตอนต้นถึงเพอร์เมียนตอนกลาง (Middle-Lower Permian)

1.6.4 หน่วยหินตากฟ้า (P_{t}) ประกอบด้วยหินปูน สีเทาอ่อน แสดงลักษณะเป็นชั้นหนา และหินโคลโลไมต์เป็นชั้นบางวางตัวอยู่ตอนล่าง มี หินเชิร์ตแทรกอยู่เป็นกระเปาะเป็นชั้นบางปนในเนื้อหิน บางแห่งพบหินทรายและหินดินดาน สีแดง เป็นชั้นบางๆ แทรกอยู่ ซากดึกดำบรรพ์ที่พบจำพวก ฟิวซิลินิด แบรคิโอพอด และปะการัง หน่วยหินนี้มีอายุอยู่ในยุคเพอร์เมียน (Permian)

1.6.5 หน่วยหินซับบอน (P_s) ประกอบด้วยหินทราย หินทรายแป้ง หินดินดาน หินดินดานเนื้อเชิร์ต และหินเชิร์ต แทรกสลับด้วยหินปูนสีเทา บางแห่งเป็น ฟิลไลต์และหินชีสต์ หน่วยหินนี้มีอายุอยู่ในช่วงเพอร์เมียนตอนกลางถึงเพอร์เมียนตอนปลาย (Upper-Middle Permian)

1.6.6 หน่วยหินไดออไรต์เขาพระงาม (PTR_p) เป็นหินที่พบมีการกระจายตัวเป็นบริเวณพื้นที่แคบๆ บริเวณเขาพระงาม เขา สะพานนาค และ เขาทับควาย เป็นหินอัคนีแทรกซอน ชนิดหินไดออไรต์ เนื้อปานกลางถึงเนื้อหยาบ โดยทั่วไปจะพบหินควอตซ์ไดออไรต์และสอร์นเบลนด์แกรนิตตัดผ่าน มีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิก (Permo-Triassic)

1.6.7 หน่วยหินอัคนีเขาสอยวอย (TR_s) เป็นหินที่พบมีการกระจายตัวทางด้านเหนือของอำเภอเมือง บริเวณเขาพุกาและเขาพูลอน เป็นหินอัคนีแทรกซอน ที่แยกประเภท ออกจากกันไม่ได้ (undifferentiated) ประกอบด้วยหินแกรโนไดออไรต์ หินสอร์นเบลนด์แกรนิต หินไปโอไทต์แกรนิต หินควอตซ์มอนโซไนต์ หินควอตซ์ไดออไรต์ และหินไซโนไดออไรต์ บางแห่งเป็นหินแกรนิตที่ถูกบีบ นอกจากนี้ยังพบเป็นหย่อมเล็กๆ ในบริเวณต่างๆ ไป เช่น เขาพระงาม เขาทับควาย เขาสะพานนาค และเขาพุกา โดยทั่วไปหินที่พบเป็นหย่อมนี้จะประกอบด้วยหินสอร์นเบลนด์แกรนิต และหินควอตซ์ไดออไรต์ เนื้อปานกลางถึงเนื้อหยาบ มีอายุอยู่ในช่วง ปลายของยุคไทรแอสซิก (Upper-Triassic)

1.6.8 หน่วยหินภูเขาไฟเขาใหญ่ (PTR_{ka} และ PTR_{kr}) เป็นหินที่พบมีการกระจายตัวทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ลพบุรีและทางด้านเหนือของอำเภอเมือง บริเวณเขาวงพระจันทร์ และเขาวง เป็นหินอัคนีพุกชนิดไรโอไลต์และหินแอนดีไซต์ มีอายุอยู่ในช่วง ยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิก (Permo-Triassic)

1.6.9 หน่วยหินภูเขาไฟห้วยส้ม (PTR_{hs}) เป็นหินที่พบมีการกระจายตัวบริเวณด้าน ตะวันออกเฉียงเหนือของเขาวงพระจันทร์ยาวไปจนถึงอำเภอพัฒนานิคม เป็นหินอัคนีพุที่ แยก ประเภทออกจากกันไม่ได้ (undifferentiated) ประกอบด้วยหินไรโอไลต์ และแอนดีไซต์เนื้อคอกกับ หินทัฟไฟชนิดต่างๆ ที่มีส่วนประกอบทางไรโอไลต์ แอนดีไซต์ และบะซอลต์ มีอายุอยู่ในช่วงยุค เพอร์โม-ไทรแอสซิก (Permo-Triassic)

1.6.10 ชั้นตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวยุคควอเทอร์นารี (Q) เป็นหน่วยหินที่พบใน บริเวณที่ราบเชิงเขาและที่ราบน้ำท่วมถึง ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประมาณร้อยละ 70 ของพื้นที่ลพบุรี ได้แก่

ตะกอนน้ำพา (Q_n) ประกอบด้วย กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว เกิดจากน้ำ พัดพา กรวด หิน ดิน ทราย ไปสะสมตัวอย่างไม่เป็นระบบ มีอิทธิพลของความลาดชันและน้ำผิวดิน ปะปนบ้างจึงได้ตะกอนหลากหลายชนิดปนกัน ลักษณะเป็นภูมิประเทศที่ราบริมน้ำ น้ำ พื้นที่ราบนี้ มักเป็นแหล่งสะสมตัวของชั้นทรายแม่น้ำ

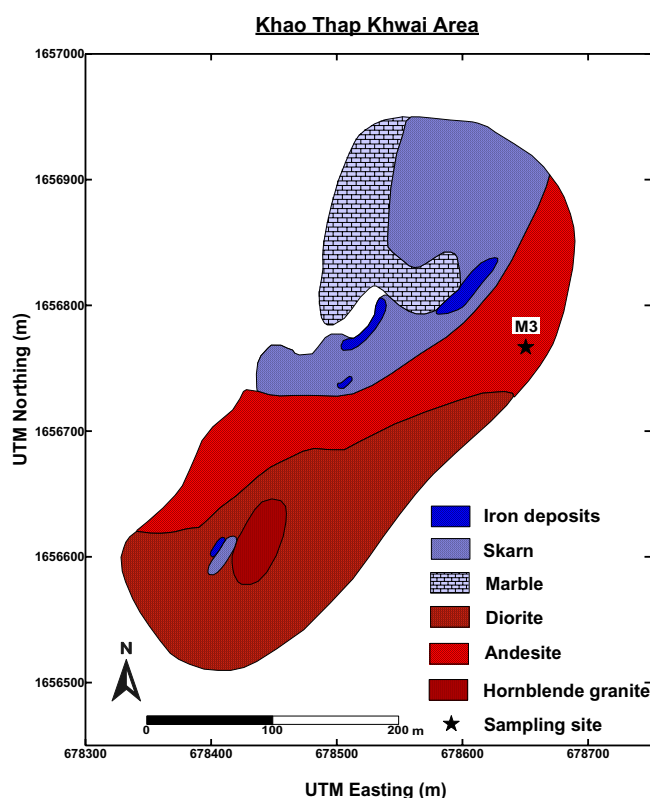
ตะกอนตะพัก (Q_p) ประกอบด้วยกรวด และทราย ตามที่ราบเป็นหลั่น บางแห่งเป็น ศิลาแลง ดินแลง และคราบปูน เกิดจากแม่น้ำ กัดเซาะทางคิ่งมาก ขึ้นปรากฏเป็น ภูมิประเทศแบบ ขึ้นบันได

1.7 ธรณีวิทยาแหล่งแร่

พื้นที่ลพบุรีเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพของแหล่งแร่ เหล็กและทองแดงอยู่หลายบริเวณ ทั้งบริเวณที่เป็นแหล่งที่สามารถผลิตในเชิงเศรษฐกิจ ได้ และที่เป็นแหล่งขนาดเล็กๆ แหล่งแร่ที่มี ปริมาณและคุณภาพสูงพอที่จะผลิตได้ ได้แก่ บริเวณเขาท้อ บควาย เขาพุคา เขาพระงาม และเขา สะพานนาค เป็นต้น ซึ่งลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ของแต่ละบริเวณ จากรายงานการสำรวจ ธรณีวิทยาแหล่งแร่ชั้นเบื้องต้นของ พงศ์สันต์ ยาวิชัย (2536) พออธิบายได้ดังนี้

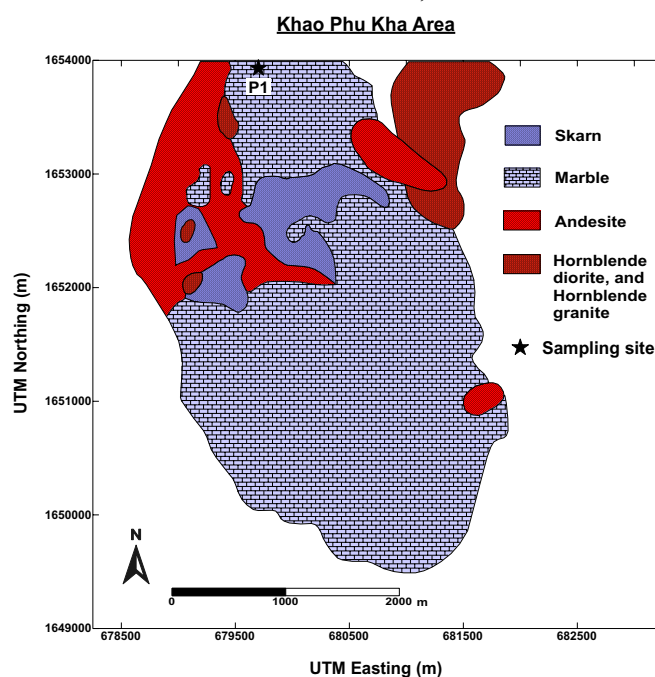
1.7.1 บริเวณเขาท้อบควาย (ภาพประกอบที่ 1.4) เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพของแหล่งแร่ เหล็ก และแร่ทองแดง ลักษณะธรณีวิทยาของเขาท้อบควายประกอบด้วยหินอ่อน และหินแอนดีไซต์ ที่ถูกหนุญอยู่ด้านล่างด้วยหินไดออไรต์ และ ถูกหนุญซ้ำอีกที ด้วยหินฮอร์นเบลนด์แกรนิต มีรอย เลื่อนวางตัวในแนวประมาณเหนือ - ใต้ และ ตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ แร่เหล็กที่พบ เป็นชนิดฮีมาไทต์ และแมกนีไทต์ เกิดเป็นกระเปาะแร่ อยู่ในบริเวณ ที่เป็นแนวสัมผัสระหว่างหิน อ่อนยุคเพอร์เมียน กับหินไดออไรต์ยุคเพอร์โม - ไทรแอสซิก (skarn zone) โดยทั่วไปมักพบแร่ เหล็กประมาณร้อยละ 10 ถึง 15 เกิดฝังประ และเป็นเลนส์ขนาดเล็ก อยู่ในหินสการ์น นอกจากนั้น

บริเวณเชิงเขาจะพบแร่เหล็กซึ่งเป็นแร่พลัดปะปนอยู่ในชั้นดินประมาณไม่ต่ำกว่าร้อยละ 15 ของชั้นดิน ซึ่งแหล่งแร่เหล็กบริเวณเขาทับควายนี้ เป็นแหล่งแร่ที่มีการเกิดแบบกระบวนการแปรสภาพโดยการแทนที่ มีปริมาณแร่สำรองถึง 7 ล้าน 6 แสนตัน และได้ผลิตไปแล้วไม่น้อยกว่า 1 ล้านตัน (อกนิษฐ์ สุวรรณ สิงห์, 2528) ตัวอย่างแร่เหล็ก จากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า มีปริมาณ Fe_2O_3 เท่ากับ 94.42% ในส่วนของแร่ทองแดงที่พบเป็นชนิด คาลโคไพไรต์ มาลาไคต์ และอะซุไรต์ เกิดรวมอยู่ในสายแร่ควอตซ์ซึ่งแทรกอยู่ตามระนาบของรอยเลื่อนที่วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ มีความสมบูรณ์ของสายแร่ทองแดงประมาณร้อยละ 1-10 ของสายแร่ นอกจากนี้แร่ทองแดงที่พบในสายแร่ควอตซ์แล้ว ในแร่เหล็กยังมักพบคราบของแร่มาลาไคต์และอะซุไรต์ เคลือบอยู่ตามผิวและตามรอยแตกแยกของแร่อีกด้วย จากการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างแร่ทองแดงในสายพบปริมาณธาตุทองแดง 10.57% และ 11.37% (อำนาจ ส่งอุไรล้ำ, 2536) แร่ทองแดงที่พบในบริเวณนี้เชื่อว่าเกิดขึ้น ภายหลังจากแร่เหล็ก โดยน่าจะเป็น สายแร่ร้อน ซึ่งเกิดจาก หินฮอร์นเบลนด์แกรนิต และมีแร่ทองแดงเกิดรวมในน้ำแร่ทองแดงดังกล่าว โดยน้ำแร่จะเข้ามาตกผลึกแทรกอยู่ในรอยเลื่อนที่ตัดผ่านแร่เหล็กอีกครั้ง



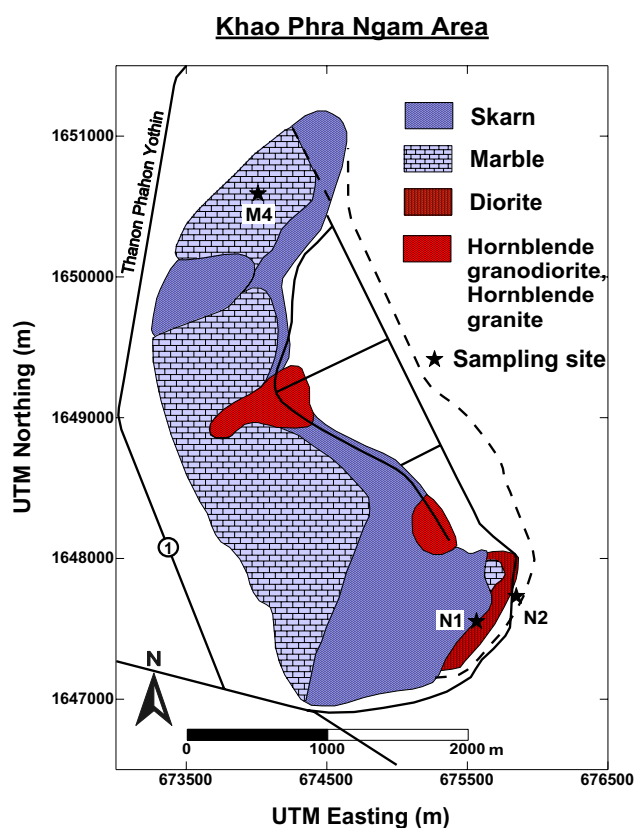
ภาพประกอบที่ 1.4 แผนที่ธรณีวิทยาแหล่งแร่ และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง บริเวณเขาทับควาย ในการศึกษาครั้งนี้ (ดัดแปลงจาก พงศ์สันต์ ยาวิไชย, 2536)

1.7.2 บริเวณเขาพุกา (ภาพประกอบที่ 1.5) เป็นพื้นที่อีกพื้นที่หนึ่งที่มีศักยภาพของแหล่งแร่เหล็ก และแร่ทองแดง ลักษณะธรณีวิทยาของแหล่งแร่เหล็ก ประกอบด้วยหินอ่อนยุคเพอร์เมียนที่ถูกแทรกหนูนอยู่ด้านล่างโดยหินฮอร์นเบลนด์ไดออไรต์ และผนังของหินแอนดีไซต์เนื้อละเอียด แร่เหล็กที่พบเป็นชนิดฮีมาไทต์ มีลักษณะเป็นกระเปาะเกิดอยู่บริเวณรอยสัมผัสระหว่างหินอ่อนกับผนังของแอนดีไซต์ นอกจากกระเปาะของแร่ดังกล่าวแล้ว ตลอดแนวเชิงเขาด้านเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือของเขาคา ยังพบแร่เหล็กที่เป็นแร่หลุดลอยอยู่ประมาณร้อยละ 5-60 ของชั้นดิน โดยบริเวณที่พบแร่เหล็กที่เป็นแร่หลุดลอยนี้ จะพบหินฮอร์นเบลนด์ไดออไรต์ทั้งที่เป็น หินโพล์และเป็นหินหลุดลอย จึงเชื่อว่าเป็นแร่เหล็กที่เกิดเป็นกระเปาะอยู่ระหว่างรอยสัมผัสระหว่างหินอ่อน และหินฮอร์นเบลนด์ไดออไรต์ แร่เหล็กบริเวณนี้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าปริมาณ Fe_2O_3 เท่ากับ 89.77% และ 94.72% ในส่วนของแร่ทองแดงที่พบเป็นชนิดมาลาไคต์ คาลโคไพไรต์ และอะซุไรต์ ลักษณะธรณีวิทยาของแหล่งแร่ทองแดง ประกอบด้วยหินอ่อน และแอนดีไซต์ ที่มีหินฮอร์นเบลนด์แกรนิต และหินควอตซ์ไดออไรต์หนูนอยู่ด้านล่างและหินจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นหินสการ์นชนิด การ์เนต -ควอตซ์-เอพิโดต-แคลไซต์สการ์น บริเวณรอยสัมผัสระหว่างหินฮอร์นเบลนด์แกรนิตและหินควอตซ์ไดออไรต์ กับหินอ่อนและหินแอนดีไซต์ แร่ทองแดงที่พบจะเป็นแร่ที่เกิดร่วมอยู่ในสายแร่ควอตซ์ ซึ่งเกิดแทรกอยู่ตามระนาบของรอยเลื่อน มีลักษณะของสายแร่ไม่ต่อเนื่องกัน จากการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างแร่ทองแดงในสายพบปริมาณธาตุทองแดง 1.03 และ 3.07% (พงศ์สันต์ ยาวีไชย, 2536)



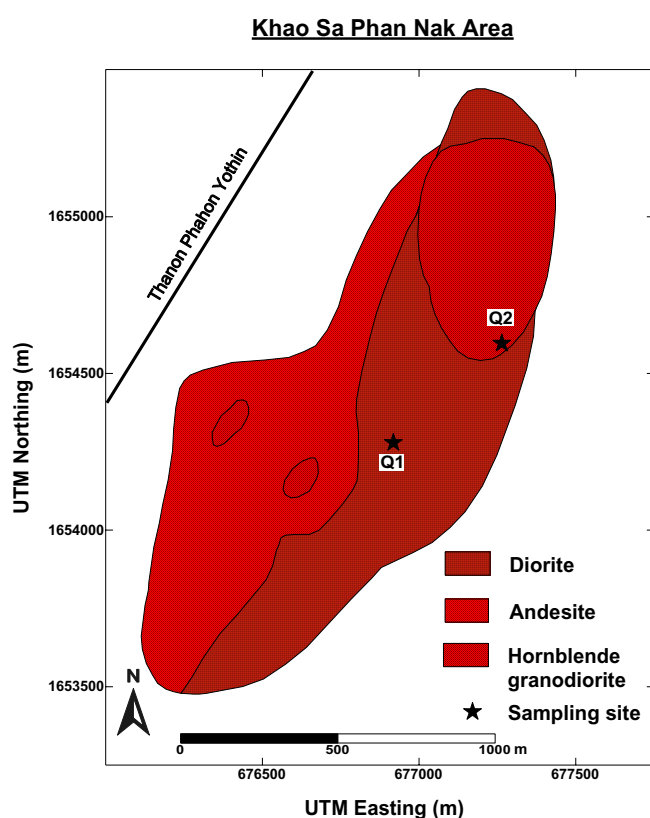
ภาพประกอบที่ 1.5 แผนที่ ธรณีวิทยาแหล่งแร่ และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง บริเวณ เขาคา ใน การศึกษาครั้งนี้ (ดัดแปลงจาก พงศ์สันต์ ยาวีไชย, 2536)

1.7.3 บริเวณเขาพระงาม (ภาพประกอบที่ 1.6) เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพของแหล่งแร่ทองแดง เช่นเดียวกับบริเวณเขาพุกา ธรณีวิทยาของแหล่งแร่ ประกอบด้วยหินอ่อนที่มีหินไดออไรต์ และหินฮอร์นเบลนด์แกรนิตหนูน้อยด้านล่าง มีหินสการ์นชนิด การ์เนต-ควอตซ์-เอพิโดต-แคลไซต์ สการ์น เกิดอยู่บริเวณที่เป็นหินฮอร์นเบลนด์แกรนิตสัมผัสกับหินอ่อน แร่ทองแดง ที่พบเป็น ชนิด คาลโคไพไรต์ มาลาไคต์ และอะซุไรต์ เกิดรวมอยู่ในสายแร่ควอตซ์ ที่แทรกอยู่ตามช่องว่างพวกรอยแตกแยก และรอยเลื่อนที่ตัดในหินสการ์น มีลักษณะเป็นกลุ่มของสายแร่ที่วางตัว ในทิศทางไม่แน่นอน ความสมบูรณ์ของแร่ทองแดงประมาณร้อยละ 1-3 ของหินที่มีกลุ่มของสายแร่แทรกอยู่นอกจากนั้นในบริเวณที่มีหินสการ์นแผ่กระจายอยู่จะพบแร่มาลาไคต์ และแร่ อะซุไรต์ เคลือบอยู่ตามผิวของหิน และตามระนาบของรอยแตกแยกของหินสการ์น จากการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างแร่ทองแดงใน เบื้องต้น 2 ตัวอย่าง พบปริมาณธาตุทองแดง 0.14% และ 1.04% (มนตรี เหลืองอิงคะสุต, 2539)



ภาพประกอบที่ 1.6 แผนที่ธรณีวิทยาแหล่งแร่ และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง บริเวณเขาพระงาม ใน การศึกษาครั้งนี้ (ดัดแปลงจาก พงศ์สันต์ ยาวิไชย, 2536)

1.7.4 บริเวณเขาสะพานนาคร (ภาพประกอบที่ 1.7) เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพของแหล่งแร่ทองแดง แร่ทองแดงที่พบ เป็นชนิด มาลาไคต์ และอะซูไรต์ ธรณีวิทยาของบริเวณที่พบแร่ทองแดง ประกอบด้วยหินแอนดีไซต์เนื้อละเอียด ที่มีหินไดออไรต์หนูน้อยอยู่ด้านล่าง และแทรกเป็นพั้งอยู่ทั่วไป หินแกรโนไดออไรต์พบเป็นสต็อกหนูน้อยอยู่ด้านล่างของหินไดออไรต์และหินแอนดีไซต์ ลักษณะของแร่ทองแดงที่พบจะเป็นคราบของ แร่มาลาไคต์และอะซูไรต์ เคลือบอยู่ตามรอยแตกแยกของสายแร่ควอตซ์ ซึ่งกว้างประมาณ 1-2 เมตร ยาว 5-10 เมตร และหิน silicified andesite และพบเป็นแร่คาลโคไพไรต์ฝังประอยู่ในสายแร่ควอตซ์ ซึ่งเป็น สต็อกอยู่ในหิน silicified andesite โดยมีปริมาณของสายแร่ควอตซ์ประมาณร้อยละ 5-10 ของหิน และมีปริมาณของแร่ทองแดงประมาณร้อยละ 1-3 ของสายแร่ควอตซ์ (พงศสันต์ ยาวีไชย, 2536)



ภาพประกอบที่ 1.7 แผนที่ธรณีวิทยาแหล่งแร่และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างบริเวณเขาสะพานนาคร ในการศึกษาครั้งนี้ (ดัดแปลงจาก พงศสันต์ ยาวีไชย, 2536)

1.8 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในประเทศไทย (Airborne Geophysical Surveys of Thailand)

การสำรวจความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศในประเทศไทย เริ่มสำรวจครั้งแรกในปี พ.ศ. 2497 โดยทำการบินสำรวจเฉพาะตอนกลางของประเทศที่รู้จักกันในนามของ “แอ่งแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง” อีก 5 ปีต่อมา องค์การ U.S. Agency International Development ได้ให้ความช่วยเหลือเพื่อทำการสำรวจวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กและกัมมันตรังสีทางอากาศในบางบริเวณของจังหวัดเลย นครสวรรค์ และฉะเชิงเทรา

นอกจากนี้ยังได้มีการบินสำรวจอีก 2 บริเวณ ในปี พ.ศ. 2513 เป็นการสำรวจวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ โดยบริษัทเอกชน ซึ่งมีจุดประสงค์หลัก เพื่อศึกษาบริเวณที่มีศักยภาพน้ำมันปิโตรเลียมที่บริเวณแอ่งแม่น้ำเจ้าพระยาตอนบน และบริเวณจังหวัดขอนแก่น

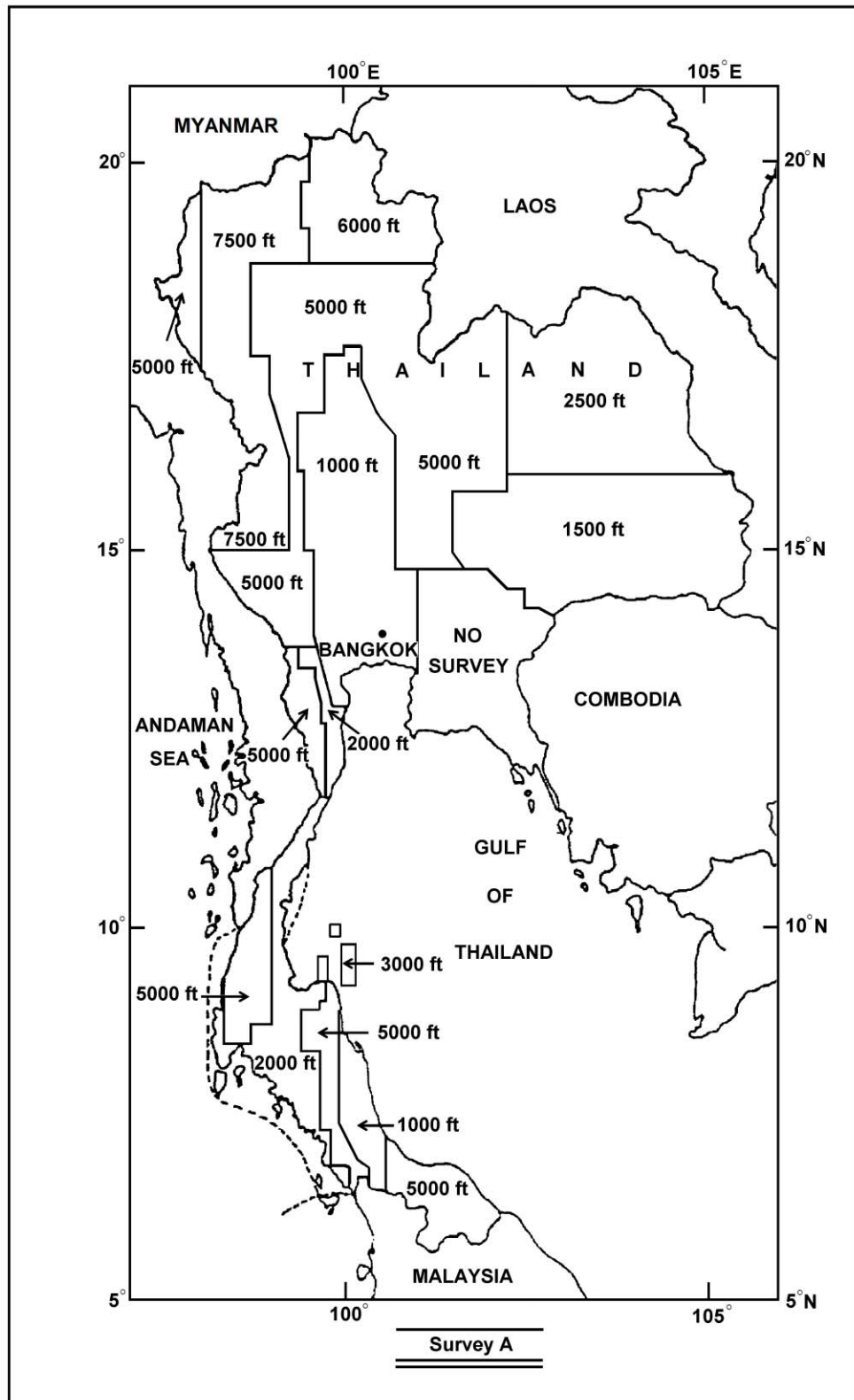
ในปี พ.ศ. 2522 บริษัท Sander Geophysics Ltd. ประเทศแคนาดา ได้ทำการสำรวจวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กและกัมมันตรังสีทางอากาศ บริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทย เช่น จังหวัดชลบุรี ระยอง ปราจีนบุรี จันทบุรี ตราด และนครนายก เป็นต้น และสำรวจวัดค่าความเข้มกัมมันตรังสี บริเวณแอ่งภูเวียงทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ

การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศครั้งล่าสุด ได้เริ่มดำเนินการสำรวจ ระหว่างปี พ.ศ. 2527 ถึง พ.ศ. 2532 โดยบริษัท Kenting Earth Sciences International Ltd. (KESIL) ประเทศแคนาดา เป็นการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศทั่วประเทศไทย (Nationwide Airborne Geophysical Surveys of Thailand) ครอบคลุมพื้นที่เกือบทั่วประเทศ โดยบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ 3 วิธี ซึ่งเรียกตามพื้นที่สำรวจดังนี้

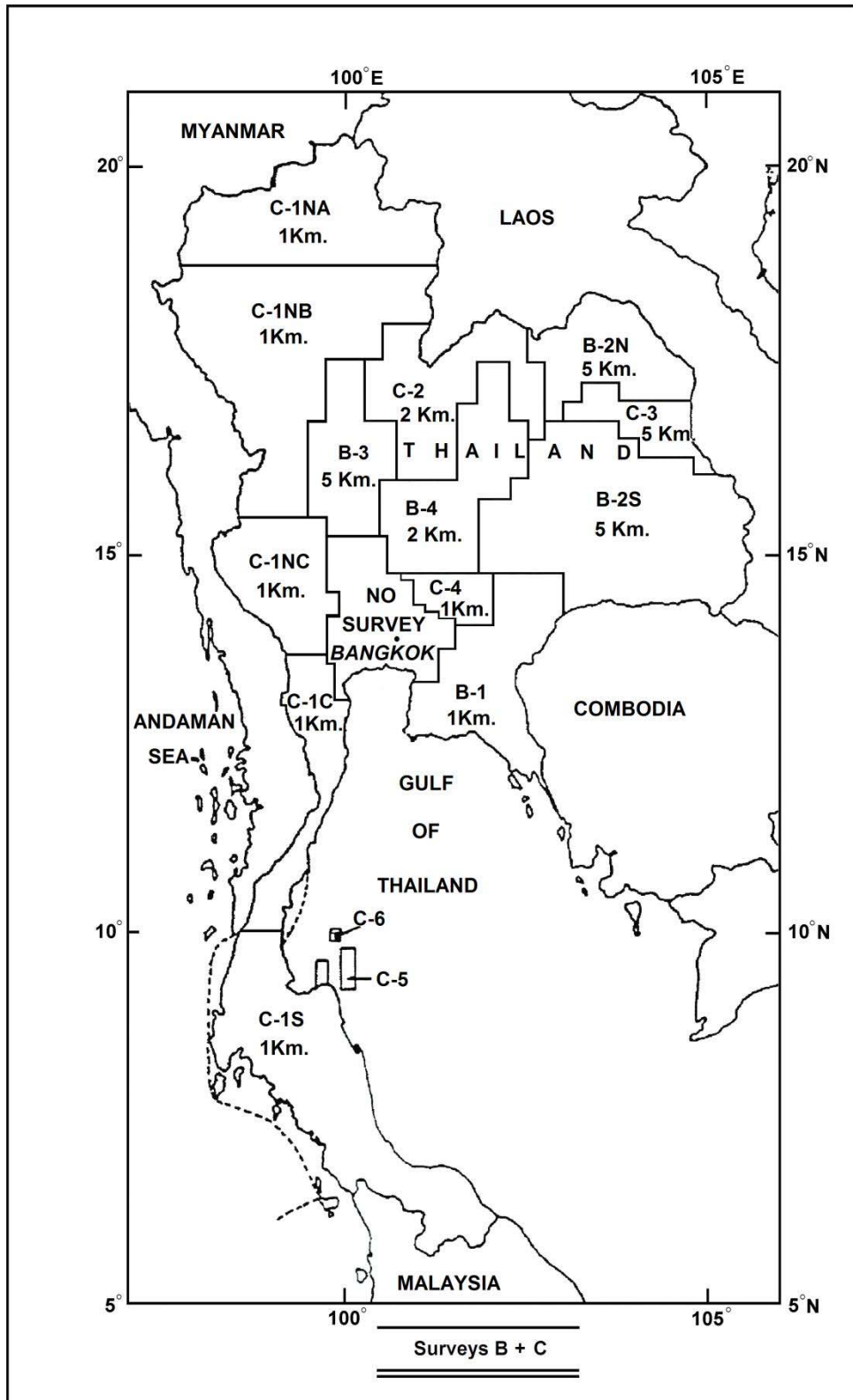
1) Survey A เป็นการสำรวจวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ทางอากาศ (Airborne magnetic survey) ทั่วประเทศ บินสำรวจด้วย เครื่องบิน ปีกแข็ง ชนิด Cessna 4040 Titans ที่ระดับความสูงของการบิน (flight altitude) แตกต่างกันตามลักษณะภูมิประเทศ โดยในพื้นที่ราบบินที่ระดับความสูง 1,000 ฟุต เหนือระดับภูมิประเทศเฉลี่ย (mean terrain clearance, MTC) ส่วนพื้นที่ที่เป็นภูเขาบินที่ระดับความสูง ตั้งแต่ 1,500 ฟุต ถึง 7,500 ฟุต เหนือระดับน้ำทะเลเฉลี่ย (above sea level, ASL) ตามที่แสดงไว้ในแผนที่ (ภาพประกอบที่ 1.8) มีทิศทางของเส้นสำรวจ (line direction) ในแนวเหนือ-ใต้ ระยะห่างระหว่างเส้นบินสำรวจ (line spacing) เท่ากับ 1 กิโลเมตร มีระยะห่างของเส้นโยงยึด (control line spacing) ประมาณ 14 กิโลเมตร บินตั้งฉากกับเส้นบินสำรวจ ในแนวตะวันออก-ตะวันตก โดยที่เครื่องบินจะ ติดตั้งเครื่องมือ Magnetometer ชนิด Varian optically pumped cesium vapour รุ่น V1W2321G4 มีความละเอียด (accuracy) ของการวัด 0.01 นาโเทสลา สำหรับวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กรวม

2) Survey B และ C เป็นการสำรวจวัดค่าความเข้มข้นรังสีทางอากาศ (Airborne radiometric survey) บินสำรวจด้วยเครื่องบินปีกแข็งชนิด Britten Norman Islander และเครื่องบินปีกหมุนชนิด Bell 421 โดยที่ Survey B ใช้เครื่องบินปีกแข็งบินสำรวจในพื้นที่ราบหรือภูมิประเทศไม่สูงชัน ส่วน Survey C ใช้เครื่องบินปีกหมุนบินสำรวจในพื้นที่ที่มีภูมิประเทศสูงชัน การแบ่งพื้นที่สำรวจตามที่แสดงไว้ในแผนที่ (ภาพประกอบที่ 1.9) ระดับความสูงของการบิน (flight altitude) เท่ากับ 400 ฟุต เหนือระดับภูมิประเทศเฉลี่ย (MTC) มีทิศทางของเส้นสำรวจ (line direction) ในแนวตะวันออก-ตะวันตก ระยะห่างระหว่างเส้นบินสำรวจ (line spacing) เท่ากับ 1, 2 หรือ 5 กิโลเมตร ตามที่แสดงไว้ในแผนที่ มีระยะห่างของเส้นโยงยึด (control line spacing) ประมาณ 14 กิโลเมตร บินตั้งฉากกับเส้นบินสำรวจในแนวเหนือ -ใต้ โดยที่เครื่องบินจะติดตั้งเครื่องมือ Gamma-ray spectrometers ชนิด 256 channels สำหรับวัดค่าความเข้มข้นรังสี นอกจากนี้ยังติดตั้งเครื่องมือ Magnetometer ชนิด Geometric proton precession รุ่น G803 กับ Very low frequency electromagnetic (VLF-EM) รุ่น Totem-2A ติดตั้งร่วมด้วย เพื่อวัดค่าความเข้มข้นแม่เหล็กรวม และค่าความเข้มข้นแม่เหล็กฟ้าด้วยความถี่ต่ำ

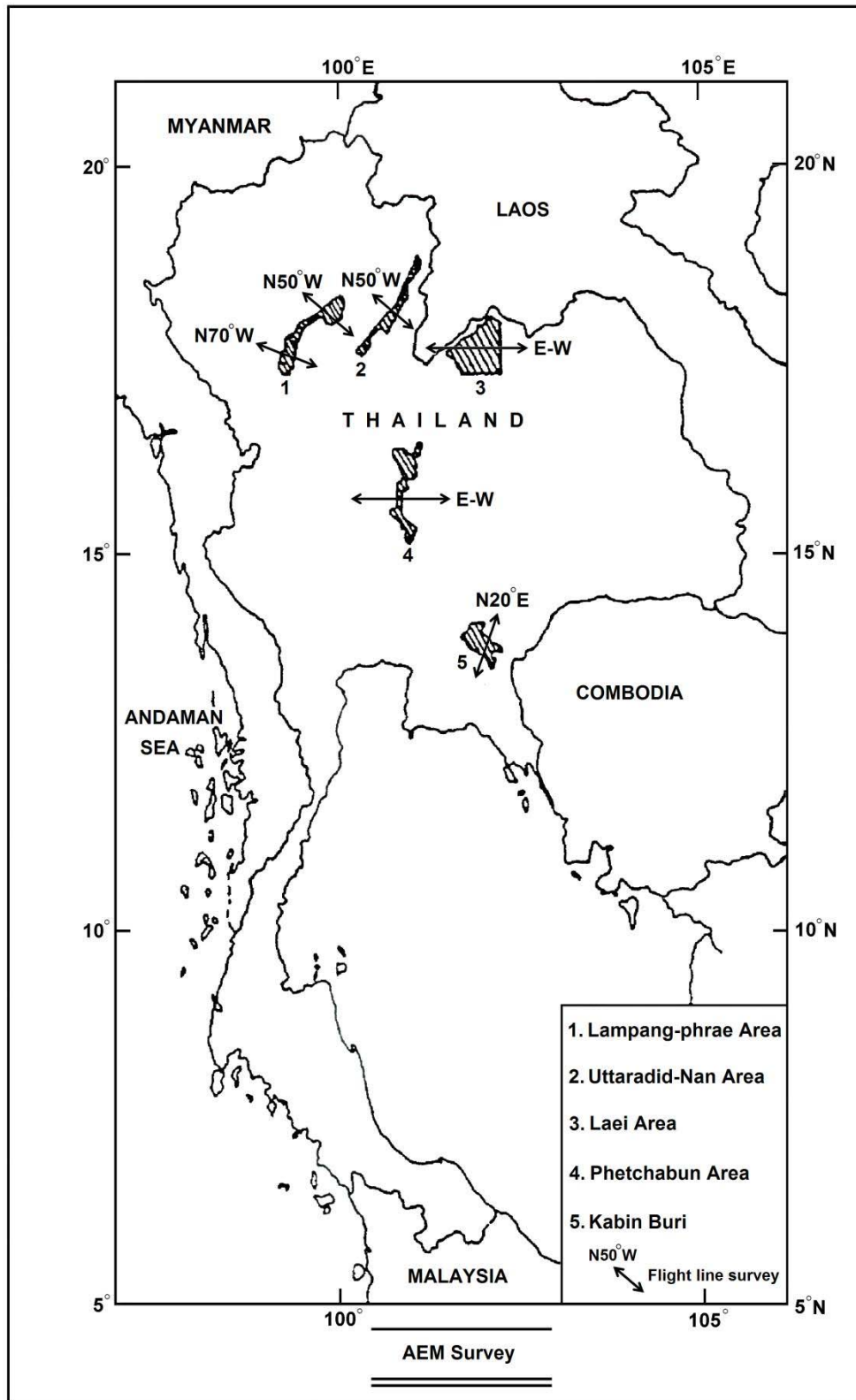
3) Follow-Up AEM Survey เป็นการสำรวจวัดค่าความเข้มข้นแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ (Airborne electromagnetic survey หรือ AEM) บินสำรวจด้วยเครื่องบินปีกหมุนชนิด Bell 421 ที่ระดับความสูงของการบิน (flight altitude) เท่ากับ 30 เมตร เหนือระดับภูมิประเทศเฉลี่ย (MTC) ทิศทางของเส้นสำรวจ (line direction) จะบินตั้งฉากกับแนว strike ของวัตถุที่ให้ค่าผิดปกติของแต่ละพื้นที่ ระยะห่างระหว่างเส้นบินสำรวจ (line spacing) เท่ากับ 400 เมตร มีระยะห่างของเส้นโยงยึด (control line spacing) ประมาณ 5 กิโลเมตร ทำการบินสำรวจในพื้นที่เลือกสรร 5 พื้นที่ (ภาพประกอบที่ 1.10) ซึ่งเป็นการบินสำรวจขึ้นติดตามผลเฉพาะพื้นที่ที่น่าจะมีศักยภาพของแร่โลหะต่างๆ สูง โดยที่เครื่องบินจะติดตั้งเครื่องมือ Frequency domain EM ซึ่งมีการวางขดลวดรับ - ส่งคลื่นแบบ Horizontal loop electromagnetic (HLEM) จำนวนทั้งสิ้น 3 ชุดขดลวด โดยขดลวดชุดที่ 1 วางแบบ vertical coaxial ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ 736 เฮิรต์ และขดลวดอีก 2 ชุด วางแบบ horizontal coplanar ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ 912 และ 4,200 เฮิรต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังติดตั้งเครื่องมือ Magnetometer รุ่น G803 สำหรับวัดค่าความเข้มข้นแม่เหล็ก ไว้ที่เครื่องบินอีกด้วย



ภาพประกอบที่ 1.8 แผนที่แสดงพื้นที่สำรวจ Survey A ที่ระดับความสูงของการบินต่างๆ (ดัดแปลงจาก บุญรวม สงกรานต์, 2539)



ภาพประกอบที่ 1.9 แผนที่แสดงพื้นที่สำรวจ Survey B และ C ซึ่งมีระยะห่างระหว่างเส้นบินสำรวจต่างๆ กัน (ดัดแปลงจาก บุญรวม สงกรานต์, 2539)



ภาพประกอบที่ 1.10 แผนที่แสดงพื้นที่เลือกสรรในการสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า พร้อมทั้งทิศทางของเส้นสำรวจ (ดัดแปลงจาก บุญรวม สงกรานต์, 2539)

1.9 ทฤษฎีพื้นฐาน

1.9.1 สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility)

สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility) เป็นสมบัติทางฟิสิกส์อย่างหนึ่งของวัสดุ (Butler, 1992) ซึ่งสามารถใช้ในการจำแนกชนิดของแร่แม่เหล็ก (magnetic minerals) ที่มีอยู่ในหินหรือดินได้ การวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสนามต่ำ (low field) จะทำการวัดภายใต้สนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไป (applied magnetic field) ที่มีค่าต่ำกว่า 1 มิลลิเทสลา หรือ 800 แอมแปร์ต่อเมตร ทั้งในสนามชนิดสนามแม่เหล็กตรง (direct field) หรือสนามแม่เหล็กสลับ (alternating field) ซึ่งค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในที่นี้ นิยามด้วยสมการ

$$\vec{J} \mid k\vec{H} \quad (1.1)$$

เมื่อ \vec{J} คือ ความเข้มของแมกนีไทเซชัน

\vec{H} คือ สนามแม่เหล็ก

k คือ สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของสสาร

ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสามารถแยกออกได้เป็นสองชนิดคือ

1) Volume susceptibility (k) ในการวัดค่าจะมีการกำหนดให้ปริมาตรของตัวอย่างที่จะวัดมีค่าคงที่ทั้งหมด สามารถนิยามด้วยสมการ

$$\vec{J}_V \mid k\vec{H} \quad (1.2)$$

\vec{J}_V = Volume magnetization (Am^{-1}) คือ ความเข้มของ แมกนีไทเซชันต่อปริมาตรของตัวอย่าง

\vec{H} = Applied field (Am^{-1}) คือ สนามแม่เหล็ก

2) Mass susceptibility (θ) ในการวัดค่าจะมีการกำหนดให้มวลของตัวอย่างที่จะวัดมีค่าคงที่ทั้งหมด สามารถนิยามด้วยสมการ

$$\vec{J}_M \mid \theta\vec{H} \mid \frac{\theta}{\sigma}\vec{B} \quad (1.3)$$

\vec{J}_M = Mass magnetization ($\text{Am}^2\text{kg}^{-1}$) คือ ความเข้มของแมกนีไทเซชันต่อมวลของตัวอย่าง

\vec{B} = Applied field ($\text{Wb}\cdot\text{m}^{-2}$) คือ สนามแม่เหล็ก

σ = magnetic permeability คือ สภาพให้ซึมได้ทางแม่เหล็ก

ค่า k ไม่มีหน่วยในระบบ SI แต่ค่า θ มีหน่วยเป็น m^3kg^{-1}

แร่ประกอบหินส่วนมากมีสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ต่ำมาก ดังนั้นหินจึงมีความเป็นแม่เหล็กได้เนื่องจากแร่แม่เหล็กจำนวนเล็กน้อยที่มีอยู่ในหิน ซึ่งสามารถจัดกลุ่มของแร่แม่เหล็กได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1) กลุ่มเหล็ก-ไทเทเนียม-ออกซิเจน (iron-titanium-oxygen group) ซึ่งประกอบด้วย solid solution series ของแร่แม่เหล็กตั้งแต่ แมกนีไทต์ (Fe_3O_4) จนถึง ulvospinel (Fe_2TiO_4) และโลหะออกไซด์อื่นๆ เช่น ฮีมาไทต์ (Fe_2O_3) ซึ่งเป็นสารแอนติเฟอร์โรแมกเนติก จึงไม่ก่อให้เกิดค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก ยกเว้นถ้าฮีมาไทต์มีการพัฒนาไปเป็นสารพาราแมกเนติกแอนติเฟอร์โรแมกเนติก

2) กลุ่มเหล็ก-ซัลเฟอร์ (iron-sulphur) ได้แก่ พิโรไทต์ (FeS_{1+x} , $0 < x < 0.15$) เมื่อสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่แท้จริง

ดังนั้นแร่แม่เหล็ก โดยส่วนใหญ่ จึงหมายถึง แมกนีไทต์ (Fe_3O_4) ซึ่งมีอุณหภูมิคูรีเท่ากับ 578 องศาเซลเซียส ถึงแม้ว่าขนาดรูปร่างและการกระจายของเกรนของ แมกนีไทต์ จะมีอิทธิพลต่อสมบัติทางแม่เหล็กของหิน แต่เราสามารถจำแนกพฤติกรรมทางแม่เหล็กของหินตามปริมาณของแมกนีไทต์ที่มีอยู่ภายในหินได้

หินอัคนีชนิดเบส (basic igneous rocks) จะมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินที่สูงเนื่องจากมีปริมาณแร่แมกนีไทต์ที่สูง สัดส่วนของแร่แมกนีไทต์ในหินอัคนีจะลดลงเมื่อความเป็นกรดค่อยๆ เพิ่มขึ้น ทำให้สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินอัคนีชนิดกรด (acid igneous rocks) จะน้อยกว่าหินอัคนีชนิดเบส หินแปร (metamorphic rocks) จะมีสมบัติทางแม่เหล็กที่ไม่คงที่ ถ้าออกซิเจนมีความดันต่ำแร่แมกนีไทต์จะถูกดัดแปลงโดยเหล็กและออกซิเจน จะไปรวมกับแร่อื่นเมื่อกระบวนการแปรสภาพมีกรดเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ออกซิเจนมีความดันสูงจะทำให้เกิดแร่แมกนีไทต์ เป็นแร่เสริมในปฏิกิริยาแปรสภาพ โดยทั่วไปปริมาณของแร่ แมกนีไทต์ และสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินจะไม่คงที่ และมีค่าซ้อนทับกันในระหว่างหินต่างชนิด ไม่สามารถที่จะบอกถึงชนิดของหินต้นเหตุของค่าผิดปกติได้ จากข้อรายละเอียดทางแม่เหล็ก โดยลำพัง แต่อย่างไรก็ตามหินตะกอนจะไม่มีสมบัติทางแม่เหล็ก ถ้าปริมาณของ แมกนีไทต์ ในหินตะกอนไม่ได้มีจำนวนมากพอ ซึ่งสาเหตุหลักของค่าผิดปกติที่ตรวจพบในพื้นที่ของหินตะกอนมักจะเกิดจาก พนัง พนังแทรกชั้น รอยเลื่อน รอยคดโค้ง การแทรกซอนของหินอัคนีชนิดเบส หินฐานที่เป็นหินอัคนีหรือหินแปร และแหล่งแร่แมกนีไทต์ ซึ่งค่าผิดปกติทางแม่เหล็กอาจมีค่าแอมพลิจูดตั้งแต่ 10-20 นาโนเทสลา บนหินฐานที่เป็นหินอัคนีหรือหินแปรในระดับลึก และอาจมีค่าหลายพันนาโนเทสลาเหนือแหล่งแร่แมกนีไทต์ (วรวิไล โลหะวิจารณ์, 2546)

ตารางที่ 1.1 สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินและแร่ชนิดต่างๆ (Telford, 1990)

Type	Susceptibility x 10 ³ (SI)	
	Range	Average
Sedimentary		
Dolomite	0-0.9	0.1
Limestones	0-3	0.3
Sandstones	0-20	0.4
Shales	0.01-15	0.6
Av. 48 sedimentary	0-18	0.9
Metamorphic		
Amphibolite		0.7
Schist	0.3-3	1.4
Phyllite		1.5
Gneiss	0.1-25	
Quartzite		4
Serpentine	3-17	
Slate	0-35	6
Av. 61 metamorphic	0-70	4.2
Igneous		
Granite	0-50	2.5
Rhyolite	0.2-35	
Dolorite	1-35	17
Augite-syenite	30-40	
Olivine-diabase		25
Diabase	1-160	55
Porphyry	0.3-200	60
Gabbro	1-90	70
Basalts	0.2-175	70
Diorite	0.6-120	85
Pyroxenite		125
Peridotite	90-200	150
Andesite		160
Av. acidic igneous	0-80	8
Av. basic igneous	0.5-97	25
Minerals		
Graphite		0.1
Quartz		-0.01
Anhydrite, gypsum		-0.01
Calcite	-0.001- -0.01	
Chalcopyrite		0.4
Sphalerite		0.7
Cassiterite		0.9
Pyrite	0.05-5	1.5
Limonite		2.5
Hematite	0.5-35	6.5
Chromite	3-110	7
Pyrrhotite	1-6000	1500
ilmenite	300-3500	1800
Magnetite	1200-19200	6000

1.9.2 สภาพแอนไอโซทรอปีของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Anisotropy of Magnetic Susceptibility, AMS)

ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กจะคงที่โดยขึ้นอยู่กับ แมกนีไทเซชัน เหนี่ยวนำและสนามแม่เหล็กภายนอกที่ให้ไป นอกจากนี้ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กยังมีค่าที่แตกต่างกัน เมื่อทำการให้สนามภายนอกในทิศทางที่ต่างกัน ด้วยเหตุนี้ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กจึงถูกอธิบายในรูปแบบของปริมาณที่เรียกว่า เทนเซอร์ระดับที่ 2 (second-order tensor) (Hroudá et al., 1982) แสดงอยู่ในรูปสมการ

$$\vec{J} = \underline{k} \vec{H} = \begin{pmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{xz} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{yz} \\ k_{zx} & k_{zy} & k_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{pmatrix} \quad (1.4)$$

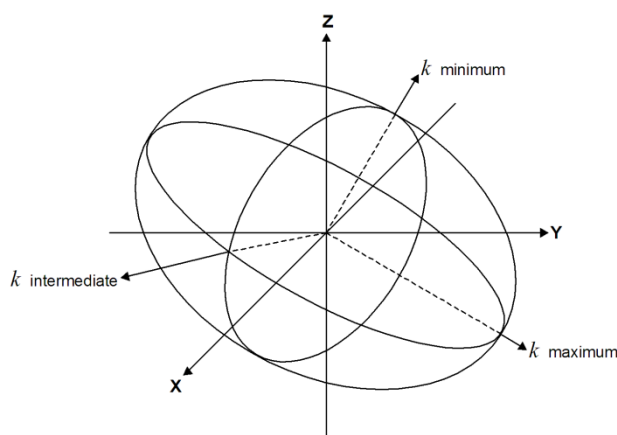
เมื่อ \vec{J} คือ แมกนีไทเซชันเหนี่ยวนำ (induced magnetization)

\vec{H} คือ สนามแม่เหล็กภายนอก (external magnetic field)

\underline{k} คือ เทนเซอร์สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility tensor)

โดยที่ x, y และ z อยู่ตั้งฉากกันในระบบพิกัดฉาก สำหรับการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบภายใต้สนามความเข้มต่ำ (น้อยกว่า 1 มิลลิเทสลา) และที่อุณหภูมิห้อง จะทำให้ค่า k เป็นเทนเซอร์แบบสมมาตร โดยที่ $k_{xy} = k_{yx}, k_{xz} = k_{zx}, k_{yz} = k_{zy}$

ขนาดและทิศทางที่ต่างกันของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก สามารถอธิบายโดยใช้แบบจำลองรูปทรงรี (ellipsoid) (ภาพประกอบที่ 1.11) ซึ่งประกอบด้วยแกน 3 แกน แทนทิศทางที่มีค่า k มากที่สุด (k_{\max}) ทิศทางที่มีค่า k ปานกลาง (k_{int}) และทิศทางที่มีค่า k น้อยที่สุด (k_{\min}) เป็น k_1, k_2 และ k_3 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 1.11 แบบจำลองรูปทรงรีซึ่งประกอบด้วยแกน 3 แกน (Tarling and Hroudá, 1993)

สำหรับค่าพารามิเตอร์ ของ AMS โดยทั่วไปจะมีหลายพารามิเตอร์ที่จะกำหนดรูปทรงรี (susceptibility ellipsoid) แต่พารามิเตอร์ที่นิยมใช้คือ anisotropy degree (P_j) และค่า shape factor (T) (Jelinek, 1981)

anisotropy degree (P_j) คือตัวแปรที่ใช้แสดงความเป็นแอนไอโซทรอปี่ของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_j = \exp \left[\frac{\Psi}{\xi_1} - 4 \xi_m \right] \left[\frac{\Psi}{\xi_2} - 4 \xi_m \right] \left[\frac{\Psi}{\xi_3} - 4 \xi_m \right] \quad (1.5)$$

shape factor (T) คือตัวแปรที่แสดงลักษณะรูปร่างความรีของ ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$T = \frac{\ln \xi_2 - 4 \xi_1 - \xi_3}{\xi_1 - 4 \xi_3} \quad (1.6)$$

เมื่อ $\xi_1 = \ln k_1$; $\xi_2 = \ln k_2$; $\xi_3 = \ln k_3$ และ $\xi_m = \sqrt{\xi_1 \xi_2 \xi_3}$

โดยถ้า $T > 0$ แสดงว่ามีรูปร่างแบนแบนที่ขั้ว (oblate or plate-like ellipsoid)

$T < 0$ แสดงว่ามีรูปร่างแบบยาวรี (prolate or rod-shaped ellipsoid) (Jelinek, 1981)

1.9.3 สนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากล (International Geomagnetic Reference Field, IGRF)

เนื่องจากสนามแม่เหล็กโลกเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งและเปลี่ยนแปลงตามเวลาทั้งขนาดและทิศทาง ดังนั้นจึงได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กทั่วโลกที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน และที่เวลาต่างกัน และพัฒนาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของความเข้ม ทิศทาง การวางตัว และการแปรผันของสนามแม่เหล็กหลักของโลก ประกอบด้วยชุดของฮาร์โมนิกทรงกลม (spherical harmonics) ซึ่งอาศัยจากข้อมูลสนามแม่เหล็กทั่วโลก เพื่อใช้เป็นสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากล (International Geomagnetic Reference Field, IGRF) ซึ่งแบบจำลองนี้ถูกสร้างขึ้นในปี 1968 และมีการปรับปรุงข้อมูลอยู่เป็นระยะๆ สามารถคำนวณค่าสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งและเวลาใดๆบนผิวโลกได้ ซึ่งมีประโยชน์ในการตรวจแก้เนื่องจากการแปรผันระยะยาว (secular variation) กระทำโดยนำค่าผลต่างของ IGRF ปี ค.ศ. 1980 กับ IGRF ที่คำนวณได้ในเวลาที่สำรวจไปหักออกจากค่าที่วัดได้จากการสำรวจทั้งหมด ซึ่งผลที่ได้

เสมือนเป็นการสำรวจเมื่อปี ค.ศ. 1980 (บุญรวม สงกรานต์, 2539) และในการทำกรรมวิธีข้อมูล สำหรับการสำรวจด้านแม่เหล็ก คือการห้กลับ IGRF ออกจากค่าความเข้มสนามแม่เหล็กรวมที่สำรวจมาได้ ข้อมูลหลังการห้กลับจะแสดงให้เห็นถึงค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กในบริเวณที่ทำการสำรวจ (พิชญ วงศ์พรชัย, 2548)

ฟังก์ชันศักย์แม่เหล็ก (V) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากล (IGRF) แสดงด้วยอนุกรมของฮาร์มอนิกทรงกลมดังสมการ

$$V_m | \frac{a}{\sigma_0} \left[\frac{r}{a} \right]^{21} \left[\frac{g_n^m \cos m\lambda}{h_n^m \sin m\lambda} \right] p_n^m / \cos\chi_0 \quad (1.7)$$

เมื่อ a คือ รัศมีเฉลี่ยของโลก (6371.2 กิโลเมตร)

r คือ ระยะทางในแนวรัศมีจากจุดศูนย์กลางของโลก

λ คือ ลองจิจูด (longitude)

χ คือ ละติจูดร่วมเกี่ยว (colatitude)

$p_n^m / \cos\theta$ คือ ฟังก์ชันเลอจองด์ร์สมทบ ระดับชั้น n อันดับ m (associated Legendre function of degree n and order m)

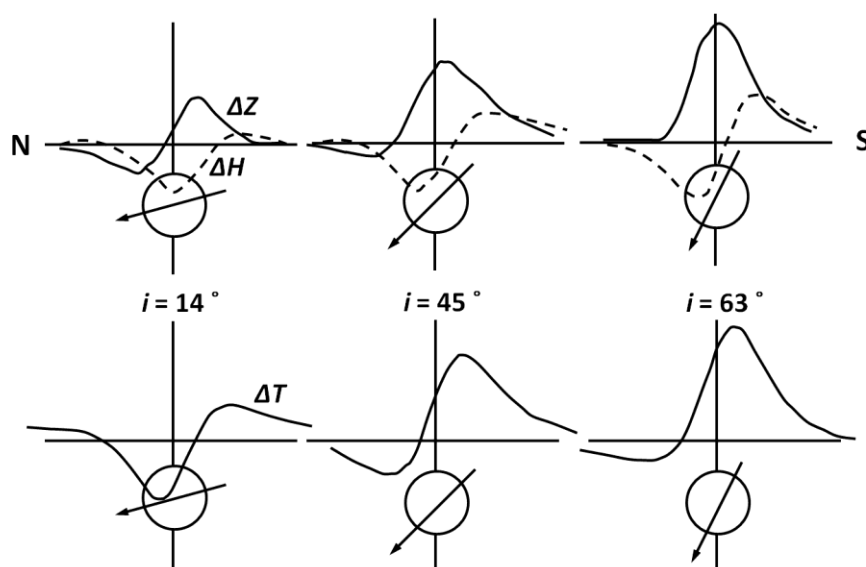
n คือ ระดับชั้นฮาร์มอนิกทรงกลมของการกระจายที่มากที่สุด (maximum spherical harmonic degree of the expansion)

องค์ประกอบของสนามแม่เหล็กโลกในแนวต่างๆ จะหาได้จากอนุพันธ์ศักย์แม่เหล็ก (V) เทียบกับ χ , λ และ r ตามลำดับ ซึ่งสัมพันธ์กับ g_n^m และ h_n^m มีค่าเปลี่ยนแปลงตามลำดับชั้น n และอันดับ m

1.9.4 การแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศ

การแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศในปัจจุบันได้มีการนำเสนอการใช้เทคนิคการแปลความแบบอัตโนมัติ (automated techniques) เป็นการเพิ่มความหลากหลายในการแปลความข้อมูล (enhancement) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแปลความสำหรับการหาขอบเขตและความลึกของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็ก การประเมินลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา การกำหนดตำแหน่งของรอยเลื่อน และรอยต่อของหินที่มีความผิดปกติทางแม่เหล็ก ซึ่งมีด้วยกันหลากหลายวิธี เช่น วิธีลดทอนสู่ขั้ว (Reduction to the pole, RTP) วิธี Horizontal gradient magnitude (HGM) วิธี Analytic signal (AS) วิธี Local wave-number (LW) และ วิธี Euler

deconvolution เป็นต้น การแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กโดยทั่วไปมักกำหนดให้แมกเนไทเซชันของวัตถุที่อยู่ใต้ผิวดินเกิดจากแมกเนไทเซชันเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว (induced magnetization, \bar{J}_i) เนื่องจากเป็นสิ่งที่ยากที่จะบอกถึงการมีอยู่ของแมกเนไทเซชันตกค้าง (remanent magnetization, \bar{J}_r) ในค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นในการแปลความข้อมูลจึงต้องมีการเพิ่มระดับความไม่แน่นอนเข้าไปด้วย ในกรณีที่วัตถุเกิดจากแมกเนไทเซชันเหนี่ยวนำ เพียงอย่างเดียวรูปร่างของค่าผิดปกติ สนามแม่เหล็กจะแปรผันไปตามมุมเท ของสนามแม่เหล็กโลก (ภาพประกอบที่ 1.12) นอกจากนี้แล้วยังขึ้นอยู่กับรูปร่าง ขนาด และความลึกของวัตถุทางแม่เหล็ก และการวางตัวของวัตถุเทียบกับทิศเหนือของสนามแม่เหล็กโลก



ภาพประกอบ ที่ 1.12 ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวม (ΔT) องค์ประกอบของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กในแนวตั้ง (ΔZ) และในแนวราบ (ΔH) ที่เกิดจากวัตถุทรงกลม ที่แปรผันไปตามมุมเอียงของสนามแม่เหล็กโลก โดยกำหนดให้ค่ามุมบ่ายเบนเท่ากับศูนย์ (Haalck, 1953)

1.9.4.1 การลดทอนสู่ขั้ว (Reduction to the pole, RTP)

Reduction to the pole (RTP) เป็นการแปลงค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กที่วัดได้ที่ตำแหน่งใดๆ ให้เป็นค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กที่วัดได้เสมือนอยู่ที่ตำแหน่งขั้วโลกเหนือ เป็นการขจัดความไม่สมมาตรที่เกิดจากการเป็นแม่เหล็กและทิศทางของสนามแม่เหล็กภูมิภาคที่ไม่อยู่ในแนวตั้ง แสดงด้วยสมการ (MacLeod et al., 1993)

$$|H/x, y| = \frac{\sin^2/Ia \cos^2/Ia \cos^2/D 4 \chi}{\sin^2/Ia \cos^2/Ia \cos^2/D 4 \chi} \quad (1.8)$$

เมื่อ เทอมของ $\sin(I)$ คือ องค์ประกอบของแมกนิจูด และ $i \cos(I) \cos(D 4 \chi)$ คือ องค์ประกอบของเฟส

I คือ มุมเท (inclination) ของสนามแม่เหล็กโลก

Ia คือ มุมเท (inclination) สำหรับการปรับแก้แมกนิจูด (ไม่น้อยกว่า I)

D คือ มุมบ่ายเบน (declination) ของสนามแม่เหล็กโลก

χ คือ ทิศทางเลขคลื่น (wavenumber direction)

1.9.4.2 Horizontal Gradient Magnitude (HGM)

Horizontal gradient magnitude (HGM) เป็นการประมาณตำแหน่งของรอยต่อและความลึก ซึ่งอธิบายด้วยแมกนิจูด (magnitude) ของค่าเกรเดียนต์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามแนวราบ (horizontal gradient) ซึ่งวิธีนี้มีความไวต่อสัญญาณรบกวน (sensitivity to noise) น้อยมาก เนื่องจากการคำนวณต้องการอนุพันธ์อันดับหนึ่งของสนามแม่เหล็กในแนวราบ (first-order horizontal derivative) เพียงอย่างเดียว ถ้า $M(x, y)$ เป็นค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก Horizontal gradient magnitude $HGM(x, y)$ อธิบายด้วยสมการ (Blakely and Simpson, 1986)

$$|H/x, y| = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + 2 \left(\frac{\partial M}{\partial x} \frac{\partial M}{\partial y}\right) + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2} \quad (1.9)$$

โดยเงื่อนไขที่จะทำให้สมการนี้มีความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งของยอด (peaks) ได้ตรงกับตำแหน่งของรอยต่อ

- 1) ทิศทางสนามแม่เหล็กต้องอยู่ในแนวตั้ง
- 2) ทิศทางแมกนิจูดไทเซชันของแหล่งผิดปกติต้องอยู่ในแนวตั้ง
- 3) รอยต่อของแหล่งผิดปกติต้องอยู่ในแนวตั้ง
- 4) รอยต่อมีการแยกออกจากกันอย่างชัดเจน
- 5) แหล่งที่ทำให้ค่าผิดปกติต้องเป็นชั้นที่หนา

ถ้าไม่ขึ้นไปตามเงื่อนไข 1-4 ตำแหน่งยอดของ Horizontal gradient magnitude จะมีการเลื่อนไปไม่ตรงกับตำแหน่งของรอยต่อ และถ้าไม่ขึ้นไปตามเงื่อนไขข้อ 5 ยอดของ Horizontal gradient magnitude จะแสดงออกเป็น 2 ยอดขนานไปกับรอยต่อ

ดังนั้น โดยทั่วไปแล้วข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก ก่อนที่จะคำนวณ Horizontal gradient magnitude จึงมักจะทำกรลดทอนสู่ขั้ว (reduction to the pole, RTP) หรือ แปลงสนามศักย์แม่เหล็กไปเป็นสนามศักย์โน้มถ่วงเทียม (pseudogravity transformation, PG) ก่อนเพื่อให้มีความสอดคล้องตามเงื่อนไขข้อ 1 (Phillips, 2002)

1.9.4.3 Analytic Signal (AS)

Analytic signal (AS) หรือ Total gradient (TG) เป็นการวิเคราะห์แอมพลิจูด (amplitude) ของค่าสนามแม่เหล็ก ถ้า $M(x, y, z)$ เป็นค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก Analytic signal $AS(x, y)$ อธิบายด้วยสมการ (Roest et al., 1992)

$$|A/x, y| = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + 2\left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \quad (1.10)$$

ซึ่ง Analytic signal จะแสดงยอดของแอมพลิจูดเหนือตำแหน่งรอยต่อที่มีการแยกออกจากกัน โดยไม่คำนึงถึงทิศทางของแมกนีไทเซชัน ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากโดยเฉพาะการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งละติจูดต่ำหรือในบริเวณที่มีแมกนีไทเซชันตกค้างในหินอยู่มาก (Roest et al., 1992) ความกว้างของสัญญาณจะเป็นสัดส่วนกับความลึกของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็ก (MacLeod et al., 1993) วิธีนี้มีความไวต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าวิธี Horizontal gradient magnitude เนื่องจากต้องคำนวณค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งของสนามแม่เหล็กในแนวราบและสนามแม่เหล็กในแนวตั้ง (first-order horizontal and vertical derivative) อย่างไรก็ตามข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กไม่จำเป็นต้องทำ Reduction to the pole

1.9.4.4 Local Wave-number (LW)

Thurston and Smith (1997) ได้อธิบาย Local wave-number (LW) หรือ Source parameter imaging (SPITM) ซึ่งได้มาจากการรวมกันของแอมพลิจูด (amplitude) และเฟส (local phase) ของ Analytic signal ถ้า $M(x, y, z)$ เป็นค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก Local wave-number $\rho(x, y)$ อธิบายด้วยสมการ

$$\rho(x, y) = \frac{\frac{\epsilon^2 M}{\epsilon x \epsilon z} \frac{\epsilon M}{\epsilon x} \frac{\epsilon^2 M}{\epsilon y \epsilon z} \frac{\epsilon M}{\epsilon y} \frac{\epsilon^2 M}{\epsilon z^2} \frac{\epsilon M}{\epsilon z}}{\left| \frac{\text{REM}}{\text{TM} \epsilon x} \right|^2 \left| \frac{\text{REM}}{\text{TM} \epsilon y} \right|^2 \left| \frac{\text{REM}}{\text{TM} \epsilon z} \right|^2} \quad (1.11)$$

Local wave-number $\rho(x, y)$ เป็นยอดเหนือตำแหน่งรอยต่อที่แยกออกจากกัน ความลึกที่ประมาณได้จะอยู่ภายใต้ข้อสันนิษฐานเกี่ยวกับรูปทรง ความหนาของแหล่งที่ให้ค่าผิดปกติ (Smith et al., 1998) ด้วยเหตุนี้ทำให้ค่าความลึกที่น้อยที่สุด (หรือมากที่สุด) ที่ประมาณได้ อาจมีความถูกต้อง มากกว่าความลึกที่คำนวณได้จาก วิธี Horizontal gradient magnitude และ Analytic signal ซึ่งพารามิเตอร์ที่มีผลเกี่ยวกับความลึก เรียกว่า ดัชนีโครงสร้าง (structural index, SI) อธิบายเกี่ยวกับรูปร่างลักษณะของแหล่งที่ให้ค่าผิดปกติ เนื่องจาก Local wave-number ต้องคำนวณ ค่าอนุพันธ์อันดับสอง (second derivatives) ของค่าสนามแม่เหล็ก จึงมีความไวต่อสัญญาณรบกวนสูง และบ่อยครั้งที่มีจะต้องทำการปรับปรุงข้อมูลก่อนการคำนวณ Local wave-number เพื่อลดสัญญาณรบกวนโดยการทำให้สถานะต่อเนื่องแบบเคลื่อนที่ขึ้น (upward continuation) หรือทำปริพันธ์ในแนวตั้ง (vertical integral) ของข้อมูลสนามแม่เหล็ก

1.9.4.5 Euler deconvolution

สนามแม่เหล็กรวมของโลก เป็นฟังก์ชันเอกพันธ์ที่มีอันดับ n ดังนั้น สนามแม่เหล็กรวมของโลกจึงเป็นไปตามสมการของออยเลอร์ (Euler's equation) ดังนี้ (Bournas et al., 2003)

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 4N(T - B) \quad (1.12)$$

เมื่อ (x_0, y_0, z_0) คือตำแหน่งของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็ก T คือสนามแม่เหล็กรวมของโลกที่ทำการวัดที่ตำแหน่ง (x, y, z) B คือสนามแม่เหล็กเชิงภูมิภาค และ N คือดัชนีโครงสร้าง (structural index, SI) ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบจำลองทางธรณีวิทยา ของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กดังนี้

ตาราง 1.2 คณิตศาสตร์โครงสร้างของ ข้อมูลทางแม่เหล็กและข้อมูลโน้มถ่วงของรูปแบบทางธรณีวิทยา แบบต่างๆ (Thompson, 1982; Reid et al., 1990)

Geologic model	Magnetic Structural Index	Gravity Structural Index
Contact	0	
Sill	1	0
Dyke	1	0
Horizontal cylinder	2	1
Pipe	2	1
Sphere	3	2

ดังนั้นตำแหน่งของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีคณิตศาสตร์โครงสร้าง N ในใดๆ (x_0, y_0, z_0) จะสามารถประเมินได้ถ้าทราบค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กรวมและเกรเดียนท์ของสนามแม่เหล็กรวมทั้งทางแนวราบและทางแนวตั้งที่ตำแหน่งต่างๆ อย่างน้อย 4 ตำแหน่งในพื้นที่ศึกษา

1.10 การตรวจเอกสาร

การเกิดแร่เหล็กและแร่ทองแดงในพื้นที่จังหวัดลพบุรี โดยทั่วไปจะพบเกิดรวมอยู่ในสายแร่ควอตซ์และมักมีความสัมพันธ์กับหินสการ์น ในลักษณะที่เป็นสายแร่ที่ตัดผ่านหินสการ์น โดยหินสการ์นดังกล่าวเกิดจากหินอัคนีแทรกซอนพวกฮอร์นเบลนด์แกรนิต ฮอร์นเบลนด์ไดออไรต์ แกรโนไดออไรต์ และควอตซ์ไดออไรต์ สัมผัสกับหินปูน หินอ่อน และหินแอนดีไซต์ซึ่งเป็นหินท้องที่ (พงศสันต์ ยาวีไชย, 2536)

งานวิจัยของ Intayot (2006) ได้ทำการสำรวจเก็บตัวอย่างหินและทำการศึกษาการกำเนิดของหินสการ์นในพื้นที่เขาพระงาม จังหวัดลพบุรี พบว่าวิวัฒนาการของการเกิดหินสการ์นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงคือ 1) ช่วงเมตามอฟิกหรือช่วงไอโซเคมีคอล เกิดขึ้นในช่วงแรกของการแทรกดันขึ้นมาของหินไดออไรต์ มีผลทำให้หินปูนเปลี่ยนไปเป็นหินอ่อน หินไดออพซิติกมาร์เบิลและหินรีแอกชันสการ์น 2) ช่วงเมตาโซมาติก ประกอบไปด้วยการเกิดของหินโวลลาสโทไนต์ สการ์น หินการ์เนต -ไคลโนไพรอกซีนสการ์น หินการ์เนตสการ์น และหินแพลจิโอเคลส -ฮอร์นเบลนด์สการ์น 3) ช่วงแปรสภาพย้อนกลับ เกิดจากการแทรกตัวของหินอัคนีส่งผลให้หินสการ์นที่เกิดขึ้นก่อนหน้าถูกแปรสภาพย้อนกลับ ซึ่งกำหนดได้จากการเกิดของกลุ่มแร่ไฮดรรัส เช่น เอพิโดต คลอไรต์ เทรโมไลต์และควอตซ์กับแคลไซต์ ที่ เกิดแทนที่กลุ่มแร่อุณหภูมิต่ำ ช่วงแปรสภาพย้อนกลับนี้เกิดขึ้นในระหว่างที่อุณหภูมิเริ่มลดลงและส่วนประกอบของของเหลวเปลี่ยนไปเนื่องจากอิทธิพลของน้ำจากผิวดิน

มนตรี เหลืองอิงคะสุต (2539) ได้ทำการสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กรวมและสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภาคพื้นดินในพื้นที่เขาพระงาม อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี บริเวณอุโมงค์บ่อแร่โบราณที่พบหินสการ์นที่มีแร่ทองแดงเกิดรวมอยู่ ผลที่ได้จากการสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กรวมไม่พบค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่เกิดจากสายแร่เหล็กในพื้นที่ พบเพียงค่าผิดปกติที่เกิดจากโครงสร้างที่มีสมบัติทาง แม่เหล็กหนูนอยู่ด้านล่าง ซึ่งจากหลักฐานพบหินแกรโนไดออไรต์หนูนอยู่ด้านล่างและแทรกดันเป็นผนังหินเข้าไปในหินปูน จากการแปลความพบลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยามีการวางตัวส่วนใหญ่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก และเหนือ-ใต้ ผลที่ได้จากการสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพบค่าผิดปกติที่เกิดจากโครงสร้างชั้นหินที่เป็นตัวนำไฟฟ้า มีแนวการวางตัวต่อเนื่องยาวประมาณ 200-400 เมตร ตามรอยแตก หรือ รอยเลื่อน ซึ่งอาจสัมพันธ์กับสายแร่ควอตซ์ที่แทรกดันขึ้นมาโดยมีแร่ทองแดงเกิดรวม

ในปี พ.ศ. 2527- 2532 โครงการพัฒนาทรัพยากรธรณี (MRDP) ได้จ้างเหมาบริษัท Kenting Earth Sciences International Ltd. (KESIL) ประเทศแคนาดา สำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศทั่วประเทศไทย ซึ่งนำไปสู่การแปลความข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในพื้นที่ลพบุรีในเวลาต่อมา Wisedsin (1994) ได้ทำการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศในพื้นที่เขาพระงามและพื้นที่ข้างเคียง พบว่าค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กจะแสดงไปตามแนวขอบของหินอัคนีแทรกซอนซึ่งลงรอยกันกับขอบเขตของการเกิดหินสการ์นในแผนที่ธรณีวิทยา และจากข้อมูลกัมมันตรังสีทางอากาศจะแสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มียูเรเนียม (Uranium, U) ปานกลางถึงสูง แต่มีค่าทอเรียม (Thorium, Th) และโพแทสเซียม (Potassium, K) ที่ต่ำซึ่งลงรอยกันกับตำแหน่งของหินปูน

มนตรี เหลืองอิงคะสุต และสมหมาย เตชวาล (2539) ได้ทำการสำรวจธรณีฟิสิกส์ภาคพื้นดินและแปลความข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในพื้นที่เขาทับควายถึงเขาสะพานนาคร อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี เพื่อหาความสัมพันธ์ของลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาและคุณสมบัติทางกายภาพของหินในพื้นที่ว่ามีความสัมพันธ์กับลักษณะทางธรณีวิทยาแหล่งแร่ที่พบหรือไม่ เพื่อศึกษาถึงลักษณะการเกิดแหล่งแร่ ขอบเขต ขนาด ปริมาณ ของแหล่งแร่ที่พบ ผลที่ได้จากข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศพบค่าผิดปกติที่บ่งบอกถึงโครงสร้างที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเป็นหินอัคนีแทรกซอนหนูนอยู่ด้านล่างในระดับลึกมีความต่อเนื่อง ตั้งแต่เขาทับควายลงมาถึงเขา สะพานนาคร และจากผลการสำรวจสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศพบค่าผิดปกติที่เกิดจากโครงสร้างชั้นหินที่เป็นตัวนำไฟฟ้าอยู่ในระดับลึกสัมพันธ์กับค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กทางอากาศ ซึ่งคาดว่าน่าจะมี ความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางธรณีวิทยาแหล่งแร่ และอาจมีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่เหล็กที่พบบริเวณเขาทับควาย

ในอดีตการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศในประเทศไทยยังเป็นการแปลความข้อมูลอย่างหยาบๆ โดยอาศัยการวิเคราะห์ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กรวม แสดงร่วมกับแผนที่ธรณีวิทยาหรือแผนที่ธรณีวิทยาแหล่งแร่ ซึ่งสามารถบอกได้ถึงความสัมพันธ์กันระหว่างค่าความเข้มสนามแม่เหล็กกับข้อมูลทางธรณีวิทยา แต่ไม่สามารถที่จะประมาณตำแหน่ง ขอบเขตและความลึกของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่ถูกต้องได้ ปัจจุบันได้มีการนำเสนอเทคนิคต่างๆ ที่สามารถช่วยเหลือและเพิ่มความหลากหลายในการแปลความข้อมูล (enhancement) ทางด้านโครงสร้างทางธรณีวิทยา และธรณีวิทยาแหล่งแร่ ซึ่งสามารถที่จะกำหนดตำแหน่ง ขอบเขต ความลึก การเอียงเท และรูปร่างของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กได้

Blakely and Simpson (1986) ได้เริ่มใช้วิธีอัตโนมัติสำหรับกำหนดตำแหน่งของรอยต่อในแนวราบจากการทำกริดข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กหรือสนามโน้มถ่วง ในการประมาณตำแหน่งและขอบเขตของแหล่งผิดปกติ ทางแม่เหล็กเหนือเมือง Stillwater รัฐ Montana และแหล่งผิดปกติสนามโน้มถ่วงในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยอาศัยพื้นฐานของ Cordell and Grauch (1985) ที่ได้อธิบายถึงเทคนิคการประมาณตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของค่าแมกนีไทเซชันหรือค่าความหนาแน่นมวลของหินในชั้นครัสต์ส่วนบน จากการศึกษาแมกนีจูดของ Horizontal gradient magnitude (HGM) ของสนามศักย์แม่เหล็กที่มีการแปลงไปเป็นสนามศักย์โน้มถ่วงเทียม (pseudogravity transformation, PG) ซึ่งยอดของสนามจะแสดงเหนือตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็กที่วางตัวในแนวตั้ง นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่นๆ ที่สามารถแสดงยอดของสนามเหนือตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็กและสามารถใช้ประโยชน์ในการประมาณความลึก

Roest et al. (1992) ได้นำเสนอวิธี Analytic signal (AS) ซึ่งเป็นวิธีใหม่สำหรับการแปลความทางแม่เหล็กที่ถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานทั่วไปของการวิเคราะห์สัญญาณในรูปแบบสามมิติ โดยค่าที่มากที่สุดของสัญญาณนี้จะแสดงเหนือบริเวณที่มีความผิดเพี้ยนกันของค่าแมกนีไทเซชันอย่างชัดเจน โดยไม่ขึ้นอยู่กับทิศทางของแมกนีไทเซชัน และทิศทางของสนามแม่เหล็กภายนอก ซึ่งตำแหน่งของค่าที่มากที่สุดหรือยอดนี้สามารถกำหนดขอบเขตของแหล่งที่ให้ค่าผิดปกติทางแม่เหล็กได้ จากการสมมุติให้ค่าผิดปกติตรงส่วนนี้มีสาเหตุมาจากรอยต่อในแนวตั้ง และสามารถที่จะประมาณความลึกได้ โดยใช้หลักวิธีครึ่งความกว้างของแอมพลิจูด ซึ่งในที่นี้ได้ทดลองประยุกต์ใช้วิธี AS ในสองพื้นที่ พื้นที่แรกบริเวณ Lake Huron ซึ่งตั้งอยู่ระหว่างชายแดนประเทศแคนาดากับสหรัฐอเมริกาพบว่าค่าผิดปกติที่ประเมินได้ด้วยวิธี AS จะแสดงลักษณะที่เด่นชัดเป็นรูปวงกลม บ่งบอกถึงความเป็นไปได้ของขอบเขตปล่องภูเขาไฟที่อยู่ข้างใต้บริเวณ Lake Huron ส่วนพื้นที่ที่สองค่าผิดปกติที่ประเมินได้แสดงให้เห็นถึงทิศทางความต่อเนื่องของการเกิดหินจาก Cape Breton Island ถึง Newfoundland ในทางทิศตะวันออกของประเทศแคนาดา

โดยทั่วไปแล้วในการกำหนดตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็กด้วยวิธี Horizontal gradient magnitude (HGM) ของข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก จำเป็นที่จะต้องทำการลดทอนสู่ขั้ว (reduction to the pole, RTP) หรือแปลงสนามศักย์แม่เหล็กไปเป็นสนามศักย์โน้มถ่วงเทียม (pseudogravity transformation, PG) เพื่อขจัดความไม่สมมาตรที่เกิดจากทิศทางของแมกนีไทเซชัน และทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ไม่อยู่ในแนวตั้ง MacLeod et al. (1993) ได้ประยุกต์ใช้การทำ RTP ทดสอบกับข้อมูลสนามแม่เหล็กที่สังเคราะห์ขึ้นทำให้พบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำ RTP ในพื้นที่ละติจูดต่ำๆ หรือในบริเวณที่หินมีค่าแมกนีไทเซชันตกค้างที่สูงและมีทิศทาง ไม่อยู่ในแนวเดียวกันกับทิศทางของสนามแม่เหล็กโลก ซึ่งแสดงรูปร่างและลักษณะของค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่ผิดเพี้ยนไปอย่างมาก นอกจากนี้ยังได้เสนอวิธีในการแก้ปัญหาการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กในพื้นที่ละติจูดต่ำๆ โดยการใช้วิธี Analytic signal (AS) ซึ่งสามารถกำหนดตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็กได้อย่างแม่นยำ แม้ว่าทิศทางของแมกนีไทเซชันจะไม่อยู่ในแนวเดียวกันกับทิศทางของสนามแม่เหล็กโลก เนื่องจากวิธี AS จะไม่คำนึงถึงทิศทางของแมกนีไทเซชันและทิศทางของสนามแม่เหล็กภายนอก ในทำนองเดียวกัน Roest and Pilkington (1993) ได้แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของแมกนีไทเซชันตกค้างที่ส่งผลต่อรูปร่างและลักษณะของค่าผิดปกติทางแม่เหล็กซึ่งสร้างปัญหาในการแปลความเกี่ยวกับการประมาณตำแหน่งและขอบเขต รวมถึงความลึกของแหล่งผิดปกติทางด้านแม่เหล็ก และได้เสนอวิธีในการแก้ปัญหาโดยการใช้วิธี AS และ HGM ของข้อมูลสนามศักย์โน้มถ่วงเทียม ซึ่งทั้งสองวิธีให้ผลที่เหมือนกันในการประมาณตำแหน่งและขอบเขตของแหล่งผิดปกติในตอนกลางของ Manicouagan ประเทศแคนาดา

Thurston and Smith (1997) ได้นำเสนอวิธี Source parameter imaging (SPI™) หรือ Local wave-number (LW) ซึ่งได้มาจากการรวมกันของแอมพลิจูดและเฟสของ Analytic signal สามารถแสดงตำแหน่งของรอยต่อ ความลึก มุมเอียง และบริเวณที่มีความผิดเพี้ยนกันของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก นอกจากนี้ยังสามารถบอกได้ถึงลักษณะของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กจากการประมาณค่าดัชนีโครงสร้าง (structural index, SI) ซึ่งเป็นการวัดอัตราการลดลงของสนามศักย์กับระยะทางจากแหล่งผิดปกติ (Smith et al., 1998) การประมาณความลึกด้วยวิธีนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับทิศทางของมุมเท (inclination) มุมบ่ายเบน (declination) มุมเอียง (dip) มุมที่เทียบกับทิศเหนือ (strike) และทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้าง อย่างไรก็ตามในการประมาณมุมเอียงและค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กด้วยวิธีนี้จะต้องอยู่ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าไม่มีค่าแมกนีไทเซชันตกค้าง จากการทดสอบวิธี LW กับแบบจำลองที่สังเคราะห์ขึ้นพบว่าวิธีนี้ให้ผลลัพธ์ที่สมบูรณ์ทั้งในรูป แบบข้อมูลที่เป็นโพรไฟล์และกริด นอกจากนี้ยังได้ประยุกต์ใช้วิธี LW กับข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กของแอ่งตะกอนทางทิศตะวันตกของประเทศแคนาดา พบว่าวิธี LW จะให้ลักษณะที่คล้ายคลึงกับ

ลักษณะทางธรณีวิทยามากกว่าข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมและข้อมูลที่มีการทำอนุพันธ์ โดยค่าดัชนีโครงสร้าง (SI) ที่ประมาณได้จากวิธีนี้มีความสอดคล้องกันกับข้อมูลทางธรณีวิทยา

Phillips (1997) ได้นำเสนอซอฟต์แวร์ทางด้านธรณีฟิสิกส์เวอร์ชัน 2.2 พัฒนาโดย U.S. Geological Survey (USGS) ใช้คอมพิวเตอร์ PC กระทำบนระบบปฏิบัติการ DOS สำหรับการทำการวิธีข้อมูลสนามแม่เหล็กและสนามโน้มถ่วง หลังจากนั้นได้มีการปรับปรุงและพัฒนามาเป็นซอฟต์แวร์ Geosoft executables (Gx's) เวอร์ชัน 1.0 กระทำบนระบบปฏิบัติการ Microsoft Window โดยใช้ร่วมกับโปรแกรม Geosoft Oasis montaj อธิบายโดย Phillips et al. (2003) ในปัจจุบัน Geosoft executables (Gx's) ได้ถูกพัฒนามาถึงเวอร์ชัน 2.0 อธิบายโดย Phillips (2007) สามารถกระทำบนระบบปฏิบัติการ Microsoft Window 2000 หรือ XP ทำให้มีความสะดวกและรวดเร็วในการทำการวิธีข้อมูล

Phillips (2000) ได้ทำการทดสอบเทคนิคทั้ง 3 วิธี ประกอบด้วย วิธี Horizontal gradient Magnitude (HGM) วิธี Analytic signal (AS) และวิธี Local wave-number (LW) เปรียบเทียบกันเกี่ยวกับความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งของแหล่งที่ให้ค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่วางตัวทั้งในแนวนอนและในแนวตั้ง ความไวต่อสัญญาณรบกวน และอิทธิพลต่างๆ ที่เป็นสิ่งรบกวน ซึ่งผลที่ได้พบว่าวิธี HGM เป็นวิธีที่มีความไวต่อสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด สามารถที่จะกำหนดตำแหน่งส่วนบนของรอยต่อที่แยกออกจากกัน ในแนวตั้งจากข้อมูลสนามแม่เหล็กที่ทำการลดทอนสู่ผิว (HGM-RTP) หรือตำแหน่งขอบของวัตถุทางแม่เหล็กที่เป็นแผ่นบางวางตัวในแนวนอนจากข้อมูลสนามโน้มถ่วงเทียม (HGM-PG) ได้อย่างแม่นยำ แต่เมื่อประยุกต์ใช้วิธี HGM-RTP กับวัตถุทางแม่เหล็กที่เป็นแผ่นบางความลึกที่ประมาณได้จะอยู่ตื้นกว่าความเป็นจริงและจะเกิดอิทธิพลที่เป็นไดโพล และเมื่อใช้วิธี HGM-PG ในการกำหนดตำแหน่งของขอบรอยต่อในแนวตั้งความลึกที่ประมาณได้จะลึกมากกว่าความเป็นจริง ส่วนรอยต่อ ที่แยกออกจากกัน ไม่ได้ตั้งฉากมีการเอียงเทผลของตำแหน่งของรอยต่อที่ประเมินได้จากวิธี HGM จะเอียงลงจากตำแหน่งจริง วิธี AS จะให้ผลลัพธ์ที่ดีในการกำหนดตำแหน่งของรอยต่อและวัตถุทางแม่เหล็กที่เป็นแผ่นบาง โดยไม่สนใจถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีการเอียงเท วิธี AS สามารถที่จะประยุกต์ใช้ร่วมกับการทำปริพันธ์อันดับหนึ่งในแนวตั้งของข้อมูลสนามแม่เหล็ก (AS-FVI) สำหรับเพิ่ม ความถูกต้องในการประมาณความลึกของวัตถุทางแม่เหล็กที่เป็นแผ่นบาง ทั้งวิธี HGM และ AS สามารถที่จะใช้ประโยชน์ในการประมาณถึงขอบเขตของความลึกที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุด วิธี LW เป็นวิธีที่มีความไวต่อสัญญาณรบกวนและอิทธิพลต่างๆ ที่เป็นสิ่งรบกวนมากที่สุด สามารถที่จะกำหนดตำแหน่งของแหล่งที่ให้ค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่วางตัวทั้งในแนวนอนและในแนวตั้งได้อย่างแม่นยำซึ่งเป็นไปตามค่าดัชนีโครงสร้าง (SI) และให้ค่าความลึกที่นำเชื่อถือ เมื่อใช้ทั้งสามวิธี

ซ้อนทับกันเกี่ยวกับการประมาณตำแหน่งของรอยต่อ วิธี HGM สามารถบ่งบอกได้ถึงโครงสร้างที่มีการเอียงเทหรือมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ถ้าตำแหน่งของรอยต่อจากวิธี HGM ไม่ลงรอยกันกับวิธี AS หรือ LW

Phillips (2001) ได้นำเสนอเทคนิคการใช้ตัวกรอง matched band-pass และ azimuthal สำหรับแยกสนามศักย์แม่เหล็กผิดปกติตามบริเวณและตามรูปแบบของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็ก โดยใช้คำสั่งภายในซอฟต์แวร์ USGS (Phillips, 1997) การกรองด้วยวิธี matched band-pass ของข้อมูลสนามศักย์แม่เหล็ก สามารถแยกออกได้เป็นหลายๆชั้น และสามารถแยกค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีความยาวคลื่นสั้นที่ระดับความลึกตื้นๆ ออกจากค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีความยาวคลื่นยาวที่ระดับความลึกมากๆ การกรองด้วยวิธี azimuthal เป็นแนวความคิดใหม่ที่สามารถใช้ร่วมกับการกรองแบบ band-pass ในการขจัดสัญญาณรบกวน หรือช่วยเพิ่มสัญญาณตามทิศทางที่ต้องการ ซึ่งการกรองทั้งสองวิธีได้นำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศเหนือแอ่ง Albuquerque เมือง New Mexico ประเทศสหรัฐอเมริกา การกรองด้วยวิธี matched band-pass สามารถแยกค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สัมพันธ์กับโครงสร้างในระดับตื้นออกจากค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีความยาวคลื่นยาวสัมพันธ์กับโครงสร้างในระดับลึกทำให้เห็นถึงค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่เกิดจากชั้นหินฐานที่ถูกปิดทับมีการยกตัวสูงขึ้นอยู่ที่ความลึกประมาณ 2 กิโลเมตร และตรวจพบค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากรอยเลื่อนมีแนวการวางตัวไปทางทิศเหนือในชั้นหินตะกอนใกล้ผิวดิน นอกจากนี้ยังตรวจพบค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่เกิดจากแนวท่อนำสายไฟอยู่ที่ความลึกประมาณ 123 เมตร การกรองด้วยวิธี azimuthal สามารถที่จะช่วยลบสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นใกล้ผิวดินและสัญญาณรบกวนในแนวตะวันออกถึงตะวันตกตามทิศทางของแนวการบินสำรวจทำให้ข้อมูลที่สัมพันธ์กับโครงสร้างในระดับตื้นมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

Phillips (2002) ได้นำเสนอการทำกรรมวิธีและการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศของแอ่ง Santa Cruz และบริเวณภูเขา Patagonia ทางตอนใต้ถึงตอนกลางของรัฐแอริโซนา ในการทำกรรมวิธีข้อมูลจะกระทำโดยใช้ซอฟต์แวร์ USGS (Phillips, 1997) ประกอบไปด้วยการลบสัญญาณรบกวนตามแนวการบินสำรวจเรียกว่า decorrugation การประมาณความลึกของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็ก และการประมาณตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็ก โดยใช้ 3 วิธีสำหรับการประมาณความลึกและตำแหน่งของรอยต่อ ได้แก่ วิธี Horizontal gradient magnitude (HGM) วิธี Analytic signal (AS) และวิธี Local wave-number (LW) ซึ่งผลของความลึกจากแต่ละวิธีจะถูกนำมาเปรียบเทียบกัน และผลของตำแหน่งของรอยต่อ จะนำมาแปลความร่วมกันเพื่อแสดงถึงทิศทางการเอียงเทของรอยต่อในบางตำแหน่ง ซึ่งได้อธิบายหลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์รอยต่อทางแม่เหล็กไว้ดังนี้ 1) เมื่อตำแหน่งของรอยต่อที่ประมาณได้จากวิธี HGM มีการแยกออกจากวิธีอื่น

อย่างชัดเจนแสดงว่าตำแหน่งของรอยต่อที่ประมาณได้มีความเหมาะสมมากที่สุด 2) เมื่อตำแหน่งของรอยต่อที่ประมาณได้จากวิธี HGM มีแนวที่ขนานและเลื่อนไปจากแนวของรอยต่อที่ประมาณได้จากวิธี AS เพียงเล็กน้อย รอยต่อจากวิธี AS จะแสดงตำแหน่งของรอยต่อที่ถูกต้องและรอยต่อจากวิธี HGM จะเป็นตัวชี้บอกถึงทิศทางการเอียงเทลง 3) เมื่อตำแหน่งของรอยต่อที่ประมาณได้จากวิธี AS มีการแยกออกจากวิธีอื่นอย่างชัดเจนและไม่ได้อยู่ในทิศทางเดียวกับเส้นทางการบินสำรวจหรือทิศทางสัญญาณรบกวนอื่นๆที่รู้ แสดงว่าตำแหน่งของรอยต่อที่ประมาณได้มีความน่าเชื่อถือ 4) เมื่อตำแหน่งของรอยต่อที่ประมาณได้จากวิธี AS ขาดความต่อเนื่องเป็นผลมาจากอิทธิพลของสัญญาณรบกวน ในที่นี้อาจจะต้องใช้ตำแหน่งของรอยต่อที่ประมาณได้จากวิธี LW มาช่วยเสริม

Phillips et al. (2007) ได้อธิบายถึงฟังก์ชันพิเศษ (special function) สำหรับการประมาณตำแหน่งและความลึกของแหล่งผิดปกติประเภทต่างๆ จากกา วิเคราะห์ยอดของแอมพลิจูดและส่วนโค้งที่ยอดของแอมพลิจูดที่แสดงเหนือแหล่งผิดปกติ เช่น รอยต่อ และ รอยเลื่อน ซึ่งขนาดของแอมพลิจูดและส่วนโค้งที่ยอดจะมีความสัมพันธ์กับความลึก ฟังก์ชันพิเศษเป็นฟังก์ชันที่คำนวณมาจากอนุพันธ์ของสนาม สามารถแยกออกได้เป็นชนิดแบบโครงสร้าง เฉพาะ (model-specific) ประกอบด้วย วิธี HGM และปริมาณค่าสมบูรณ์ (absolute value, ABS) และชนิดแบบโครงสร้างอิสระ (model-independent) ประกอบไปด้วยวิธี AS และ LW ซึ่งฟังก์ชันพิเศษของแบบโครงสร้างเฉพาะ (model-specific special function) ใช้ในการประมาณตำแหน่งและ ความลึกของแหล่งผิดปกติที่มีรูปแบบเฉพาะ ตัวอย่างเช่น รอยต่อทางแม่เหล็กในแนวตั้ง ทั่วไปจะคำนวณจากการแปลงข้อมูลสนามศักย์ เช่น การลดทอนสู่ขั้ว (RTP) ส่วนฟังก์ชันพิเศษของแบบโครงสร้างอิสระ (model-independent special function) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าตรรกะนี้โครงสร้าง (SI) ใช้ในการประมาณตำแหน่งและความลึกของแหล่งผิดปกติประเภทต่างๆ ที่มีรูปแบบที่หลากหลาย สามารถคำนวณได้จากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจหรือจากการแปลงข้อมูลสนามศักย์ โดยเฉพาะการทำปริพันธ์ในแนวตั้ง (vertical integral, VI) ซึ่งสามารถช่วยลดอิทธิพลของสัญญาณรบกวนได้

Parsons et al. (2006) ได้ทำการทำนายลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินบริเวณ Mingan ในเมือง Quebec ประเทศแคนาดา โดยอาศัยการวิเคราะห์และการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศแสดงแผนภาพคอนทัวร์ของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กร่วมกับแผนที่ธรณีวิทยาหน่วยหินในการจำแนกประเภทของหิน จากการสังเกตค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กเปรียบเทียบกับค่าแมกนีไทเซชันที่ระบุในแผนที่ธรณีวิทยาพบว่าหิน แอมไฟโบไลต์ ในแผนที่ธรณีวิทยาเป็นหินที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูงมีส่วนทำให้เกิดค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูง และหิน ควอร์ตไซต์ เป็นหินที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กต่ำมีส่วนทำให้เกิดค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่มีค่าต่ำ การทำนายลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาจะใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติ โดย

อาศัยข้อมูลชนิดของหิน โผล่ที่มีการกระจายตัวและมีค่าความเข้มทางแม่เหล็กแตกต่างกัน เปรียบเทียบกับแผนที่ ความเข้มสนามแม่เหล็กรวม ผลที่ได้การทำนายลักษณะ โครงสร้างทางธรณีวิทยาค่อนข้างแม่นยำ แต่ยังมีความไม่ลงรอยกันเกิดขึ้นในบางบริเวณ ซึ่งการใช้วิธี Analytic signal (AS) สามารถอธิบายความไม่ลงรอยกันระหว่างค่าตอบของค่าแมกนีไทเซชันกับแผนที่ธรณีวิทยาได้ นอกจากนี้ยังสามารถประเมินทิศทางการเอียงเทของรอยต่อได้ผิวดิน จากการสังเกตยอดของแอมพลิจูดเมื่อทำการแปลงข้อมูลสนามศักย์ไปสู่สถานะต่อเนื่องแบบเลื่อนขึ้น (upward continuation) ที่ระดับ ซึ่งยอดของแอมพลิจูดจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับทิศทางการเอียงเทของรอยต่อ

Bournas et al. (2003) ได้ประยุกต์ใช้วิธี Euler deconvolution วิธี Analytic signal (AS) และวิธี Local wave-number (LW) ในการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศบริเวณทางทิศตะวันออกเฉียงของ Hoggar ประเทศแอลจีเรีย สำหรับการกำหนดตำแหน่งของรอยต่อ รอยเลื่อน ขอบเขตการเกิดหิน และสร้างแผนที่โครงสร้างทางธรณีวิทยา ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงขอบเขตของการเกิดหินบริเวณ Issalane ซึ่งแนะนำถึงรอยเชื่อมต่อระหว่างตอนกลางของ Hoggar กับทางทิศตะวันออกเฉียงของ Hoggar หรือ Saharan metacraton ซึ่งก่อนที่จะนำ 3 วิธีนี้มาประยุกต์ใช้ ได้ทำการทดสอบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่สังเคราะห์ขึ้น จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภายใต้การกำหนดตัวพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 2 รูปทรง คือ รูปทรงสามเหลี่ยมแนวตั้งเป็นการเลียนแบบรอยต่อและรอยเลื่อนทางธรณีวิทยา และรูปทรงกระบอกแนวตั้งเป็นการเลียนแบบรูปทรงของหินที่โผล่ขึ้นมาเป็นลักษณะวงกลม ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบนี้มักพบบ่อยในธรรมชาติ ผลที่ได้ของแต่ละวิธีจะนำมาทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม และนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อประเมินเกี่ยวกับความแม่นยำในการแปลความและประเมินถึงความไวต่อสัญญาณรบกวน ผลที่ได้พบว่าวิธี Euler deconvolution สามารถกำหนดตำแหน่งรอยต่อ ความลึก และรูปร่างของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กได้ดีที่สุดและมีความไวต่อสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด

Stendal et al. (2004) ได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ สำหรับประเมินแหล่งแร่ทอง ซึ่งเป็นการหาแหล่งแร่โดยทางอ้อมโดยใช้การศึกษา ไอโซโทปของธาตุตะกั่ว (Pb) ในหินและแร่สำหรับการทำนายยุคของหินในช่วงที่เกิดกระบวนการแปรสภาพและมีแร่ทองเกิดร่วม และแปลความร่วมกับข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ ในการประเมินลักษณะทางธรณีวิทยาที่เหมาะสมที่จะพบแหล่งแร่ทองและ โลหะพื้นฐานของพื้นที่เขตเหมืองแร่ Mpanda ที่มีการขยายพื้นที่กว้างออกไป โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการจัดเรียงลำดับชั้นหินและข้อมูลแหล่งแร่ พบว่าจากการสังเกตค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีค่าต่ำที่พบในพื้นที่เขตเหมืองแร่ Mpanda จะแสดงให้เห็นรายลักษณะที่เป็นลักษณะเฉพาะของหิน Ikulu และ ubenda ที่

เหมาะที่จะพบแร่ทอง ซึ่งข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กจะแสดงให้เห็นรอยผิดปกติหรือแนวโน้ม ของสายแร่ทองอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และมีแนวโน้มที่จะขยายออกไป ทางทิศเหนือไปถึงเมือง Mpanda

โดยทั่วไปการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศในพื้นที่ ที่มีหินภูเขาไฟ หรือหินอัคนีแทรกซอนอยู่เป็นจำนวนมากจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาถึงค่าความเข้มและทิศทาง ของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติภายในหิน เนื่องจากทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้างที่ไม่อยู่ ในแนวเดียวกันกับทิศทางของสนามแม่เหล็กโลกสามารถทำให้การแปลความทางด้านแม่เหล็กเกิด ความผิดพลาดได้หากไม่ได้นำข้อมูลตรงส่วนนี้มาประกอบการพิจารณา นอกจากนี้ปริมาณ อัตราส่วนระหว่างแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติกับแมกนีไทเซชันเหนี่ยวนำ (Q-value) สามารถ บ่งบอกได้ถึงชนิดของหินอัคนี ซึ่งถ้า $Q\text{-value} < 1$ มักเป็นหินอัคนีแทรกซอน แต่ถ้า $Q\text{-value} > 1$ มักเป็นหินอัคนีพุ (Books, 1962) การศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางแม่เหล็กของหิน เช่น ความเข้มและ ทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ (NRM) สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (k) และสภาพ แอนไอโซทรอปีของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (AMS) สามารถที่จะใช้เป็นฐานข้อมูลในการ สร้างแบบจำลองและแปลความโครงสร้างทางธรณีวิทยาได้ผิวดิน ดังในงานของ Blanco-Montenegro et al. (2003) ที่ได้ทำการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศเหนือเกาะ Gran Canaria ใกล้ชายฝั่งแอฟริกา โดยใช้วิธี Euler deconvolution เปรียบเทียบกับวิธี HGM ในการ ประมาณตำแหน่งของรอยต่อ รอยเลื่อนและขอบเขตโครงสร้างที่มีการแผ่ขยายออกไปได้ทะเล และ สร้างแบบจำลองล่วงหน้า (forward modeling) เพื่อประเมินโครงสร้างทางธรณีวิทยาของ Gran Canaria โดยอาศัยข้อมูลธรณีวิทยาลำดับชั้นหินและค่า NRM เป็นตัวควบคุมในการสร้า งแบบจำลองสองมิติ ผลการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กโดยใช้วิธี Euler deconvolution สามารถที่ จะประมาณความลึกและแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของรอยเลื่อน และผนังหรือผนังแทรกชั้น สัมพันธ์กับค่าธรณี โครงสร้าง (SI) ที่มีค่าเท่ากับ 0.5 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งลงรอยกันกับตำแหน่งที่ ประมาณได้จากวิธี HGM ของข้อมูลที่ทำการลดทอนสู่ผิว (RTP) และของข้อมูลสนามศักย์โน้มถ่วง เทียม (PG) ผลจากการสร้างแบบจำลองแบบสองมิติแสดงให้เห็นถึงหิน เมฟิกที่แทรกดันขึ้นมาใน ลักษณะเป็นแท่งบริเวณใจกลางของ Gran Canaria มีค่า NRM เท่ากับ 4 แอมแปร์ต่อ เมตร สัมพันธ์ กับค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูงและมีค่าเป็นบวก ในบางบริเวณที่ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กมี ค่าเป็นลบถูกกำหนดว่าเกิดจากหินอัคนีแทรกซอนที่มีค่า NRM เท่ากับ -3 และ -1.5 แอมแปร์ต่อ เมตร จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทิศทางของ NRM สามารถบอกได้ว่าหินอัคนีแทรกซอนตรง บริเวณนี้มีความสัมพันธ์กับการกลับขั้วแม่เหล็ก

Bhongsuwan และ Elming (2000) ได้ทำการ ศึกษาสมบัติแม่เหล็กของหินและ ลักษณะแม่เหล็กบรรพกาลของหินบะซอลต์จากภาคกลางและภาคเหนือของประเทศไทย โดยวัดค่า NRM ค่า k ค่า AMS และทำการ ลบล้างอำนาจแม่เหล็กโดยใช้ความร้อนและใช้กระแสสลับ ผล การศึกษาพบว่าหินบะซอลต์ประกอบด้วยแร่แมกนีไทต์และแร่ไททาโนแมกนีไทต์เป็นส่วนใหญ่ โดยพบแร่แม่เหล็กพวก Ti-rich ไททาโนแมกนีไทต์ในแหล่งหินสบปราบ แหล่งหินแม่ทะ และบาง จุดของแหล่งหินเด่นชัย ส่วน Ti-poor ไททาโนแมกนีไทต์ พบในแหล่งหินลำนารายณ์ แหล่งหิน วิเชียรบุรี แหล่งหินบะซอลต์เด่นชัย ซึ่งค่า Q-value สามารถบอกถึงเสถียรภาพทางแม่เหล็กของหิน โดยพบว่าตัวอย่างหินส่วนใหญ่มีเสถียรภาพทางแม่เหล็กสูง (Q-value>1) สามารถที่จะรักษาแมกนีไทเซชันตกค้างเอาไว้ได้ดี ในส่วน ของสภาพแอนไอโซทรอปีเชิงแม่เหล็ก พบว่าส่วนใหญ่มี ค่าพารามิเตอร์ P_j ที่ต่ำกว่า 10% แสดงว่าแอนไอโซทรอปีมีผลน้อยมากต่อทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ

Salminen and Pesonen (2007) ศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของหินมอนโซไดออไรต์ และหินไซอิไนต์ ซึ่งเป็นกลุ่มหินอัคนีบนเกาะ Valaam ในประเทศรัสเซีย ผลจากการทดสอบค่า ความหนาแน่น ค่า k ค่า NRM และค่า Q-value พบว่าหินมอนโซไดออไรต์มีค่าความหนาแน่น มากกว่าหินไซอิไนต์ซึ่งคาดว่าจะเป็นผลมาจากแร่โลหะที่ประกอบอยู่ในหิน นอกจากนี้ค่า NRM และค่า k ของหินมอนโซไดออไรต์ก็ยิ่งสูงกว่าหินไซอิไนต์ ส่วนค่า Q-value นั้นไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก ในส่วนของการทดสอบหาแร่ประกอบในหินด้วยวิธีการลบล้างอำนาจแม่เหล็กโดยใช้ ความร้อน พบว่ามีแร่กลุ่มเฟร์โรแมกเนติกเป็นแร่ประกอบในหิน โดยหินมอนโซไดออไรต์มี อุณหภูมิคูรีประมาณ 535-560 °C ซึ่งแสดงลักษณะของแร่ไททาโนแมกนีไทต์ที่มีไทเทเนียม ประกอบอยู่เล็กน้อย และมีเพียงบางตัวอย่างหินไซอิไนต์ที่มีอุณหภูมิ 325-355 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิ คูรีของแร่ไททาโนแมกนีไทต์ ที่มีไทเทเนียมประกอบอยู่ค่อนข้างมาก และจากการศึกษา AMS พบว่ามีค่า P_j อยู่ในช่วง 1-6% ซึ่งเป็นค่าที่น้อยและไม่ส่งผลต่อทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้างใน ตัวอย่างหิน โดยหินมอนโซไดออไรต์มีค่า P_j -T ที่มากกว่าหินไซอิไนต์เล็กน้อย

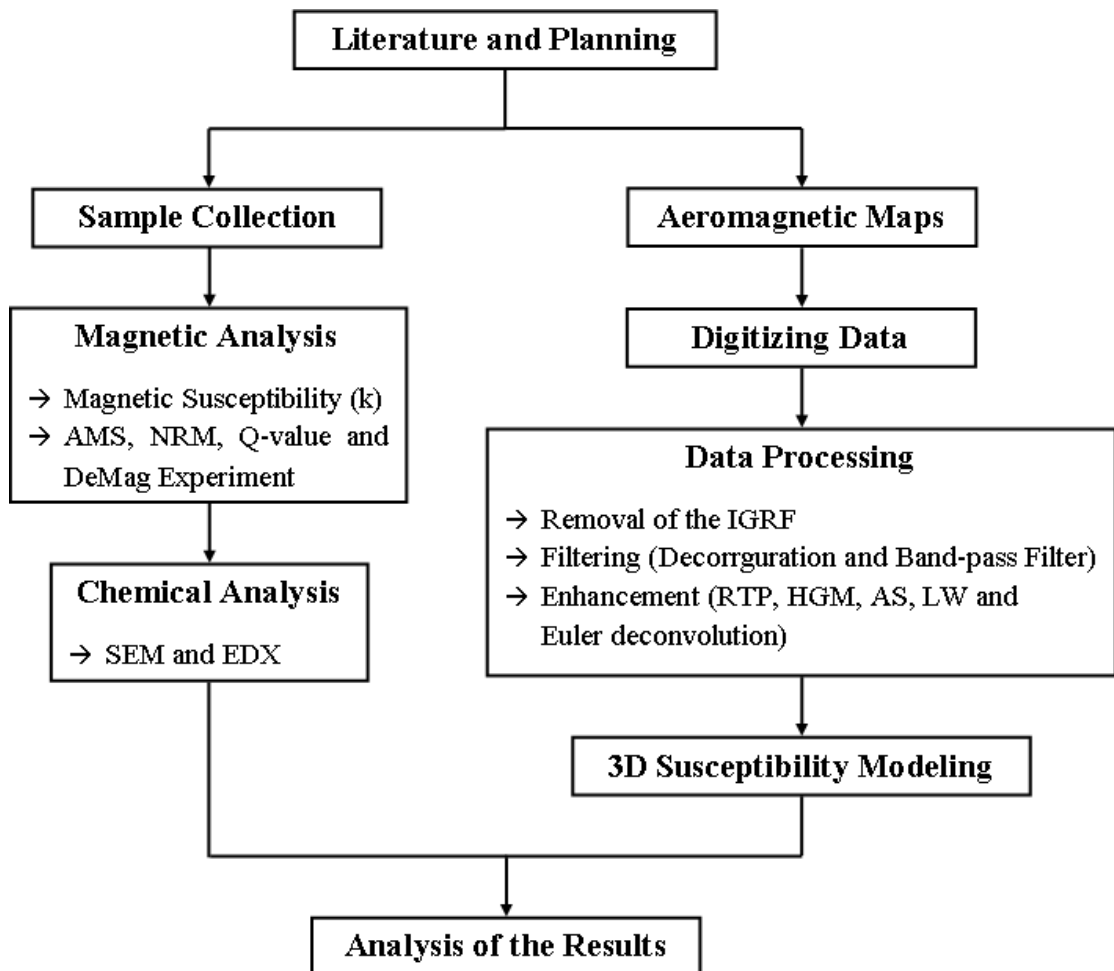
1.11 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของหินและวิเคราะห์ความเป็นแม่เหล็กตกค้างของ หินที่อาจจะส่งผลกระทบต่อการแปลความข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศในพื้นที่ลพบุรี
- 2) เพื่อหาบริเวณและกำหนดขอบเขตของหินที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูง และประเมินโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดิน ที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดแร่ในพื้นที่ ลพบุรี

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้แบ่งหัวข้อของการวิจัยออกเป็นสองส่วนหลักๆ ประกอบไปด้วย การเก็บตัวอย่างหินเพื่อศึกษาสมบัติทางแม่เหล็ก ของหิน และการทำกรรมวิธีข้อ มูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศในพื้นที่ลพบุรีเพื่อหาบริเวณและกำหนดขอบเขตของหินที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูงและประเมินโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดแร่ในพื้นที่ลพบุรี โดยมีขั้นตอนการดำเนินการและรายละเอียดดังภาพประกอบที่ 2.1



ภาพประกอบที่ 2.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัยโดยสรุป

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นดังต่อไปนี้

2.1.1 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของหิน

- 1) เครื่องเจาะเก็บตัวอย่างหินแบบเก็บแกน (portable core-drilling machine)
- 2) เครื่องวัดการวางตัว (orienting fixture)
- 3) เข็มทิศสุริยะ (sun compass)
- 4) เข็มทิศแม่เหล็ก (magnetic compass)
- 5) เครื่องระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ (global positioning system, GPS)
- 6) แท่งตัวอย่างหินชนิดวัดการวางตัว (oriented rock samples)
- 7) ก้อนตัวอย่างหินชนิดที่เป็นหิน โผล่หรือหินหลุดลอย
- 8) เครื่องชั่งมวล
- 9) เครื่องตัดหิน ทรงกระบอก สำหรับปรับ บรู้งแท่งตัวอย่างหินให้มีขนาดเท่ากับตัวอย่างมาตรฐาน
- 10) เครื่องแมกนีโทมิเตอร์แบบหมุน ยี่ห้อ AGICO รุ่น JR-6 ประเทศสาธารณรัฐเช็ก
- 11) เครื่องวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก ยี่ห้อ AGICO รุ่น KLY-3S Kappabridge ประเทศสาธารณรัฐเช็ก
- 12) เครื่องลบล้างอำนาจแม่เหล็กแบบสนามสลับ ยี่ห้อ Molspin ประเทศอังกฤษ
- 13) โปรแกรม SUSAM
- 14) โปรแกรม Rema6

2.1.2 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทำกรรมวิธีข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ

1) แผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศแบบ Survey A มาตรฐานส่วน 1:250,000 ระวังจังหวัดลพบุรี (5138 IV) และระวังข้างเคียงรวมทั้งหมด 6 ระวัง ประกอบไปด้วย ระวังอำเภออินทร์บุรี (5039 II) ระวังจังหวัดสิงห์บุรี (5038 I) ระวังจังหวัดอ่างทอง (5038 II) ระวังอำเภอบ้านหมี่ (5139 III) ระวังอำเภอท่าเรือ (5138 III) และระวังจังหวัดสระบุรี (5138 II) ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่เส้นแวงที่ 100.5 ถึง 100.75 องศาตะวันออก และเส้นรุ้งที่ 14.75 ถึง 15 องศาเหนือ

- 2) แผนที่ธรณีวิทยา และแผนที่ธรณีวิทยาแหล่งแร่ มาตราส่วน 1:250,000 ราววงจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ND47-8) ราววงอำเภอบ้านหมี่ (ND47-4) ราววงจังหวัดนครสวรรค์ (ND47-3) และราววงจังหวัดสุพรรณบุรี (ND47-7) ครอบคลุมพื้นที่ของข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ
- 3) เครื่องสแกนเนอร์
- 4) ดินสอสีสำหรับเน้นเส้นคอนทัวร์บนแผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ
- 5) โปรแกรม Didger สำหรับการดิจิทัล (digitize) แผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ แผนที่ธรณีวิทยา และแผนที่ธรณีวิทยาแหล่งแร่ และสำหรับการแปลง พิกัดของตำแหน่งให้อยู่ในระบบเดียวกัน
- 6) โปรแกรม Oasis montaj Viewer และซอฟต์แวร์ USGS สำหรับการทำการมวิธีข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ
- 7) โปรแกรมคำนวณค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากล (International Geomagnetic Reference Field, IGRF)
- 8) โปรแกรม Surfer สำหรับการสร้างแผนภาพคอนทัวร์และแสดงผลทางแม่เหล็ก
- 9) โปรแกรม MAG3D สำหรับสร้างแบบจำลองค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก 3 มิติ
- 10) โปรแกรม Voxler สำหรับแสดงผลแบบจำลองค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก 3 มิติ

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

2.2.1 วิธีดำเนินการวิจัยการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของหิน


2.2.1.1 การเก็บตัวอย่างหิน

การเก็บตัวอย่างหินในพื้นที่ในที่นี่ได้ทำการเก็บตัวอย่างหินทั้งชนิดวัดการวางตัว (oriented rock samples) และชนิดที่เป็นหินโผล่หรือหินหลุดลอย โดยอาศัยข้อมูลประทานบัตรเหมือง ข้อมูลทางธรณีวิทยา และข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศของพื้นที่ศึกษาในการกำหนดตำแหน่งและขอบเขตของพื้นที่ที่จะทำการเก็บตัวอย่าง ซึ่งในที่นี่ได้ทำการเก็บตัวอย่างหินรวมทั้งสิ้น 9 ตำแหน่ง แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 2.2 ประกอบไปด้วยตำแหน่ง M1 พิกัด 675,051E และ 1,668,994N บริเวณทางตอนเหนือของพื้นที่ศึกษาตรงกับตำแหน่งที่แสดงค่าผิดปกติทางแม่เหล็กสูง ตำแหน่ง M2 บริเวณเขตประทานบัตรเหมืองหินปูนการรถไฟแห่งประเทศไทย ตำแหน่ง M3 บริเวณเขาทับควาย (ภาพประกอบที่ 1.4) ตำแหน่ง P1 บริเวณเขาพุกา (ภาพประกอบที่ 1.5) ตำแหน่ง M4, N1, N2 บริเวณเขาเขาพระงาม (ภาพประกอบที่ 1.6) และ ตำแหน่ง Q1, Q2 บริเวณเขาสะพานนาคร (ภาพประกอบที่ 1.7) ซึ่งในการเก็บตัวอย่างหินชนิดวัดการวางตัว (M1, M2,

M4) จะใช้เครื่องเจาะเก็บตัวอย่างหินแบบเก็บแกน (portable core-drilling machine) เจาะเก็บแท่งตัวอย่าง (ภาพประกอบที่ 2.3) โดยต้องรักษาลักษณะทิศทางการวางตัวของตัวอย่างในกรอบอ้างอิงภูมิศาสตร์ (geo-graphic reference coordinate) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางของปริมาณเวกเตอร์ที่เป็นสมบัติกายภาพของหินนั้นๆ ในห้องปฏิบัติการต่อไป เช่น สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility, k) และแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ (natural remanent magnetization, NRM) เป็นต้น

เนื่องจากความจริงที่ว่า แมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติในหินแต่ละที่อาจเกิดที่เวลาแตกต่างกันเล็กน้อย เช่น ในตัวอย่างของหินอัคนี ส่วนของหินที่เย็นตัวผ่านอุณหภูมิคูรีก่อนก็จะรับเอาแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติไว้ก่อนหินที่ยังร้อนอยู่ หรือในตัวอย่างของหินตะกอน ส่วนของหินที่อยู่ส่วนล่างก็จะรับเอา แมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติไว้ก่อนหินที่อยู่ส่วนบน ซึ่งช่วงเวลาที่แตกต่างกันนี้สนามแม่เหล็กโลกอาจมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางไปเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การแปรผันระยะยาว (secular variation) ของสนามแม่เหล็กโลกเองหรือเนื่องมาจาก แผ่นเปลือกโลกเกิดการเคลื่อนที่หรือหมุนตัว ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างหินเพื่อวัดสมบัติแบบนี้ จำเป็นต้องใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยและค่าความผิดพลาดเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากที่สุด จึงทำให้จุดเก็บตัวอย่างหนึ่งๆ (sites) ควรจะเก็บตัวอย่างอย่างน้อย 5 ถึง 10 ตัวอย่าง (samples)

การเก็บตัวอย่างหินชนิดวัดการวางตัวมีขั้นตอนดังนี้

1) เลือกจุดหิน โผล่ที่เหมาะสมที่จะเจาะเก็บตัวอย่าง โดยเขียนหมายเลขกำกับและทำสัญลักษณ์  เพื่อใช้เป็นตัวเทียบเคียงในกรณีที่แท่งตัวอย่างเกิดหักระหว่างการเจาะแล้วเกิดการหมุนเลื่อนตำแหน่ง

2) เจาะเก็บตัวอย่างหินด้วยเครื่องเจาะแบบเก็บแกน (portable core-drilling machine) โดยที่ขณะเจาะจะต้องมีคนคอยปั้มน้ำเพื่อหล่อเย็นหัวเจาะไม่ให้เกิดความร้อน และระวังไม่ให้แท่งตัวอย่างหักใน โดยเจาะลึกประมาณ 3 ถึง 4 นิ้ว จำนวน 5 ถึง 10 ตัวอย่าง

3) ใช้เครื่องวัดการวางตัว (orienting fixture) เสียบลงในรอยเจาะรอบแท่งตัวอย่าง ตั้งตัววัดระดับลูกน้ำให้อยู่ในแนวระนาบ อ่านและบันทึกค่ามุมเท (dip) ของแท่งตัวอย่าง

4) วัดมุม strike ด้วยเข็มทิศแม่เหล็ก (magnetic compass) และเข็มทิศสุริยะ (sun compass) อ่านและบันทึกค่าพร้อมทั้งเวลาขณะที่ทำการวัด ซึ่งการใช้เข็มทิศทั้ง 2 แบบร่วมกันจะช่วยลดความผิดพลาดในกรณีที่ทำกรวัดในพื้นที่ที่มีสนามแม่เหล็กรบกวนมาก

5) จีตรอยดินสอสีบนแกนตัวอย่างลงในร่องที่สวมแกนตัวอย่างอยู่

6) ดึงเครื่องวัดการวางตัวออกช้าๆ ระวังแท่งตัวอย่างหัก

7) ใช้แท่งทองแดงที่มีปลายรูปลิ้มแทงลงในรอยเจาะ แล้วงัดให้แท่งตัวอย่างหักที่โคน

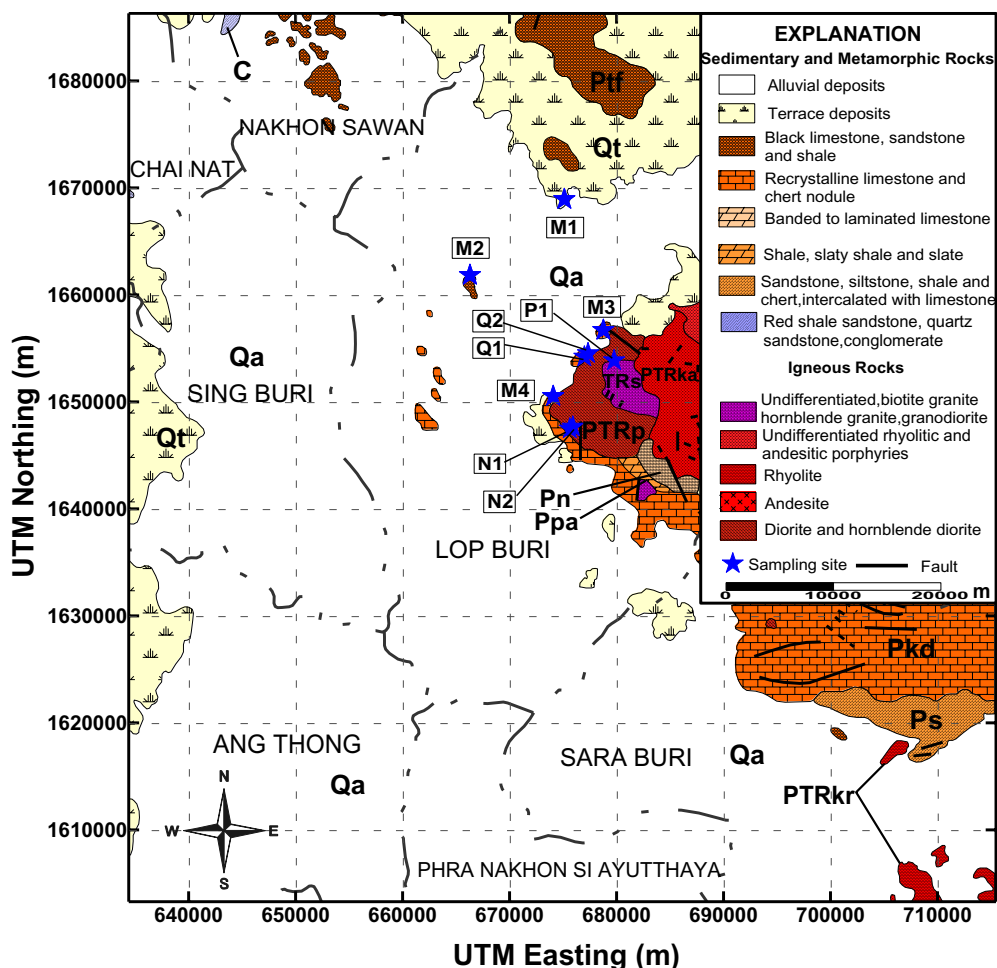
8) ใช้ปากกาเคมีกันน้ำ ชีตซ์ำตรงรอยดินสอสี แล้วเขียนหมายเลขกำกับลงบนแท่งตัวอย่าง

9) ได้แท่งตัวอย่างหินชนิดวัดการวางตัว (oriented rock sample)

10) วาดภาพตำแหน่งที่ทำการเจาะเก็บตัวอย่าง อย่างคร่าวๆ

11) บันทึกวันที่ เวลา และพิกัดของจุดเก็บตัวอย่าง (site)

การเก็บตัวอย่างหินชนิดที่เป็นหินโผล่หรือหินหลุดลอย (N1, N2, M3, P1, Q1, Q2) จะทำการเลือกเก็บเฉพาะในพื้นที่ที่น่าสนใจ โดยศึกษาจากข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ เลือกเก็บหินที่เป็นหินท้องที่หรือหินที่พบอยู่เป็นจำนวนมากในพื้นที่ ที่คาดว่าจะก่อให้เกิดค่าผิดปกติทางแม่เหล็กในพื้นที่



ภาพประกอบที่ 2.2 แผนที่ธรณีวิทยาและตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ลพบุรีในการศึกษารังสี



ภาพประกอบที่ 2.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างหินชนิดวัดการวางตัว

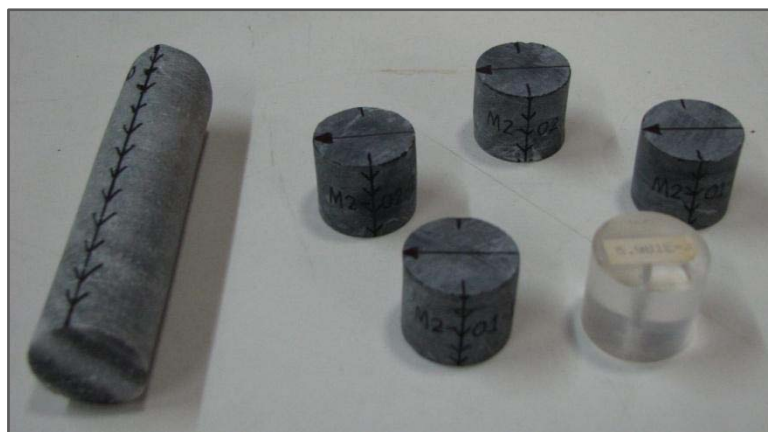
2.2.1.2 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างหินชนิดวัดการวางตัวจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ จำเป็นต้องทำการตัดแบ่งและปรับปรุงแต่งตัวอย่างหินให้มีขนาดเท่ากับตัวอย่างมาตรฐาน (สูง 2.2 เซนติเมตร และ เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร) ก่อนที่จะนำไปวัดด้วยเครื่องมือชนิดต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องตัดหินทรงกระบอก เป็นเครื่องที่สร้างขึ้นเองที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ภาพประกอบที่ 2.4) โดยที่แต่ละแท่งตัวอย่างสามารถตัดแบ่งออกได้เป็นชิ้นงาน 1 ถึง 3 ชิ้นงาน (specimens) แล้วจึงใช้ปากกาเคมีก้านน้ำเขียนหมายเลขและขีดทิศทาง โดยให้ทิศทางของลูกศรชี้ไปทางซ้ายมือเทียบกับรอยขีดจากร่องที่สวมแกนในตอนเก็บตัวอย่าง (ภาพประกอบที่ 2.5)

ส่วนของการเตรียมตัวอย่างหินชนิดที่เป็นหิน โฟล์หรือหินหลุดลอย จำเป็นต้องทำการย่อยหินให้มี ขนาดเล็กลง (ภาพประกอบที่ 2.6) ให้สามารถใส่ได้พอดีในภาชนะพลาสติกทรงกระบอก (holder) ความสูง 5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร สำหรับวางตัวอย่างหินเพื่อทำการวัดในห้องปฏิบัติการ โดยที่หินแต่ละก้อนจะย่อยเป็นก้อนเล็กๆ 3 ถึง 5 ก้อน แล้วจึงเขียนหมายเลขกำกับลงบนหินตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 2.4 เครื่องตัดหินทรงกระบอก ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ภาพประกอบที่ 2.5 แท่งตัวอย่างหินชนิดวัดการวางตัว ตัวอย่างมาตรฐาน และชิ้นตัวอย่าง ขนาดมาตรฐานที่ได้จากการตัดแต่ง



ภาพประกอบที่ 2.6 ตัวอย่างหิน โผล่หรือหินหลุกหลอย และตัวอย่างหินที่ได้จากการย่อย

2.2.1.3 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

ในงานการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของหินได้ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการวิจัยอำนาจแม่เหล็กของหินและอำนาจแม่เหล็กบรรพกาล ที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยทำการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของหิน ได้แก่ ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility, k) และแอนไอโซทรอปีของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (anisotropy of magnetic susceptibility, AMS) ค่าแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ (natural remanent magnetization, NRM) และค่า Königsberger ratio (Q-value) นอกจากนี้ยังทำการศึกษาอำนาจแม่เหล็กโดยการลบล้างแมกนีไทเซชันตกค้างในตัวอย่างหินโดยใช้สนามแม่เหล็กสลับ (alternating field demagnetization, AF) ซึ่งในการศึกษาประกอบไปด้วยเครื่องมือและขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

2.2.1.3.1 การวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก และแอนไอโซทรอปีของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก

การวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility, k) และแอนไอโซทรอปีของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (anisotropy of magnetic susceptibility, AMS) จะใช้เครื่อง Spinning specimen magnetic susceptibility anisotropy meter ยี่ห้อ AGICO รุ่น KLY-3S Kappabridge ของประเทศสาธารณรัฐเช็ก (ภาพประกอบที่ 2.7) ตัวเครื่องมีความถี่ที่ใช้ 870 เฮิรต ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ใช้ 300 แอมแปร์ต่อเมตร ช่วงการวัดถึง 0.1 [SI] ความไว 3×10^{-8} [SI] ความถูกต้อง $\pm 3\%$ ใช้งานเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์และประมวลผลโดยใช้โปรแกรม SUSAM ซึ่งลักษณะของเครื่องประกอบด้วยตัวเครื่อง อุปกรณ์ตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องวัด

และส่วนที่เป็นภาชนะสำหรับวางตัวอย่างหิน (holder) เพื่อทำการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก และแอนไอโซทรอปีของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที เพื่ออุ่นตัวเครื่องให้เครื่องมีเสถียรภาพ
- 2) เปิดโปรแกรม SUSAM ปรับเทียบภาชนะสำหรับวางตัวอย่าง (holder) โดยการวัด 3 ครั้ง
- 3) ปรับเทียบเครื่องโดยใช้ตัวอย่างมาตรฐาน (calibration) โดยการวัด 3 ครั้ง
- 4) เริ่มทำการวัด โดยเลือกการวัดแบบ 15 ทิศทาง จากนั้นวางตัวอย่างหินโดยให้ทิศทางของลูกศรบนตัวอย่างชี้ไปตามทิศทางต่างๆ คือ ทิศทางในแนวแกน X แกน Y แกน Z จนครบทั้ง 15 ทิศทาง
- 5) ใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวอย่างหิน ได้แก่ ข้อมูล site, specimen, ค่ามุม strike และ มุม dip หลังจากนั้นเครื่องจะทำการประมวลผลได้ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก และค่าพารามิเตอร์แอนไอโซทรอปีของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก

สำหรับการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินชนิดที่เป็นหินโพลีหรือหินหลุดลอย จะมีขั้นตอนในการวัดที่แตกต่างกับตัวอย่างหินชนิดวัดการวางตัวเล็กน้อย ในส่วนของภาชนะสำหรับวางตัวอย่าง (holder) จะเลือกใช้ภาชนะพลาสติกทรงกระบอก และในการวัดจะเลือกใช้การวัดแบบ bulk ทำการวัดอย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยและคำนวณหาค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กเทียบกับปริมาตรของตัวอย่างมาตรฐาน โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างหินทั้งในอากาศและในน้ำ
- 2) คำนวณหาปริมาตรของตัวอย่างหินจากสมการ

$$V_{sample} = \frac{W_{air} - 4 W_{water}}{\psi_{water}} \quad (2.1)$$

เมื่อ V_{sample} แทนปริมาตรของตัวอย่างหินในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร W_{air} แทนน้ำหนักของตัวอย่างหินที่ชั่งในอากาศในหน่วยกรัม W_{water} แทนน้ำหนักของตัวอย่างหินที่ชั่งในน้ำในหน่วยกรัมและ ψ_{water} แทนความหนาแน่นของน้ำกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3) คำนวณค่าสภาพรีบไว้ได้ทางแม่เหล็กเทียบกับปริมาตรของตัวอย่างมาตรฐาน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากสมการ

$$k_{correction} = \frac{k_{measure} \Delta 10}{V_{sample}} \quad (2.2)$$

เมื่อ $k_{measure}$ แทนค่าสภาพรีบไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินที่ได้จากการวัด และ V_{sample} แทนปริมาตรของตัวอย่างหิน



ภาพประกอบที่ 2.7 เครื่องวัดค่าสภาพรีบไว้ได้ทางแม่เหล็ก ยี่ห้อ AGICO รุ่น KLY-3S Kappabridge

2.2.1.3.2 การวัดค่าแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ

การวัดค่าแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ (natural remanent magnetization, NRM) จะใช้เครื่องแมกนีโตมิเตอร์แบบหมุน (Spinner magnetometer) ยี่ห้อ AGICO รุ่น JR-6 ของประเทศสาธารณรัฐเช็ก (ภาพประกอบที่ 2.8) ตัวเครื่องมีความไว 2.4×10^{-6} แอมแปร์ต่อเมตร ใช้งานเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์และควบคุมการทำงานโดยโปรแกรม Rema6 พร้อมประมวลผลหลังการวัดได้มากที่สุด 6 ทิศทาง ซึ่งลักษณะของเครื่องประกอบด้วยตัวเครื่อง แทนวางตัวอย่างหิน และกำบังแม่เหล็ก 3 ชั้นทำด้วยโลหะผสม mu-metal อยู่ภายนอก ซึ่งตัวอย่างหินจะหมุนรอบแกนตั้งภายในชดลวดรับสัญญาณ โดยที่ค่าความเข้มและทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติจะถูกคำนวณโดยอัตโนมัติและแสดงบนจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที เพื่ออุ่นตัวเครื่องให้เครื่องมีเสถียรภาพ
- 2) เปิดโปรแกรม Rema6 ปรับเทียบเครื่องโดยใช้ตัวอย่างมาตรฐาน (calibration) โดยเลือกคำสั่งในการวัดเป็นแบบทำด้วยมือ (manual) และตั้งค่าความเร็วในการหมุนเป็นแบบช้า (low speed)
- 3) ใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวอย่างหิน ได้แก่ ข้อมูล specimen, ค่ามุม strike และมุม dip
- 4) เริ่มทำการวัด โดยเลือกการวัดแบบ 4 ทิศทาง จากนั้นจัดวางตัวอย่างหินโดยให้ทิศทางของลูกศรบนตัวอย่างตรงกับแต่ละตำแหน่งของแท่นวางตัวอย่างเพื่อวัดค่าในแนว แกน X แกน Y และแกน Z โดยเริ่มวัดจากการวางให้ลูกศรชี้ไปทางซ้ายก่อน แล้วจึงชี้ลง จากนั้นกลับด้านแท่นวางตัวอย่างวางให้ลูกศรชี้ไปทางซ้าย แล้วจึงชี้ลง ตามลำดับ จนครบทั้ง 4 ทิศทาง หลังจากนั้นเครื่องจะทำการคำนวณโดยอัตโนมัติได้ค่าความเข้มและทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ



ภาพประกอบที่ 2.8 เครื่องแมกนีโทมิเตอร์แบบหมุนยี่ห้อ AGICO รุ่น JR-6

2.2.1.3.3 การลบล้างอำนาจแม่เหล็กในหินตัวอย่าง

การลบล้างอำนาจแม่เหล็กในหินตัวอย่างจะใช้เครื่องลบล้างอำนาจแม่เหล็กแบบสนามสลับ ยี่ห้อ Molspin ของประเทศอังกฤษ (ภาพประกอบที่ 2.9) ประกอบด้วย 4 ส่วนสำคัญ คือ 1) ขดลวดล้างแม่เหล็กและอุปกรณ์ผลิตสนามแม่เหล็ก 2) มอเตอร์ปรับความเร็ว 3) holder สำหรับใส่ตัวอย่างพร้อมระบบ tumbler และ 4) ชุดกำลังแม่เหล็ก ภาชนะบรรจุตัวอย่างพร้อมด้วย tumbler แบบ 2 แกน ถูกวางตรงกึ่งกลางขดลวดล้างแม่เหล็ก ในกำลังแม่เหล็กที่ลดสนามแม่เหล็กโลกเหลือเพียงต่ำกว่า 10 นาโนเทสลา อุปกรณ์ tumbler ต่ออยู่กับมอเตอร์ที่หมุนด้วยความเร็วปรับได้

สนามแม่เหล็ก ถูกสร้างโดย AC variometer สามารถผลิตสนามความเข้มสูงสุดประมาณ 95 มิลลิเทสลา และปรับค่าได้ ใช้สำหรับการลบล้างอำนาจแม่เหล็กแบบเป็นขั้นๆ (progressive stepwise demagnetization experiment) โดยการนำเอาตัวอย่างหินมาทำการลบล้างด้วยสนามสลับโดยเพิ่มค่าสนามดังนี้ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 และ 60 มิลลิเทสลา ตามลำดับ โดยที่ตัวอย่างหินที่ได้หลังจากการลบล้างในแต่ละขั้น จะถูกนำกลับมาวัดค่าความเข้มและทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติด้วยเครื่องแมกนีโทมิเตอร์แบบหมุน เพื่อศึกษาถึงเสถียรภาพทางแม่เหล็กและลักษณะของโดเมนแม่เหล็กในหินตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 2.9 เครื่องลบล้างอำนาจแม่เหล็กแบบสนามสลับ ยี่ห้อ Molspin

2.2.1.3.4 การวิเคราะห์หาธาตุประกอบในหินตัวอย่าง

ในการศึกษาจะนำชิ้นตัวอย่างหินแบบชิ้นบางมาทำการวิเคราะห์หาธาตุซึ่งเป็นธาตุประกอบในตัวอย่างหิน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ของ JSM รุ่น 5800 LV ร่วมกับเครื่องรังสีเอกซ์ เรืองแบบกระจายพลังงาน (Energy dispersive X-ray spectrometer, EDX) ของ Oxford รุ่น ISIS 300 ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เพื่อวิเคราะห์หาธาตุประกอบที่บ่งบอกถึงชนิดของแร่เฟอร์โรแมกเนติก (ferromagnetic mineral) ในหินตัวอย่าง

2.2.2 วิธีดำเนินการวิจัยการทำกรรมวิธีข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ

2.2.2.1 แปลงข้อมูลแผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข

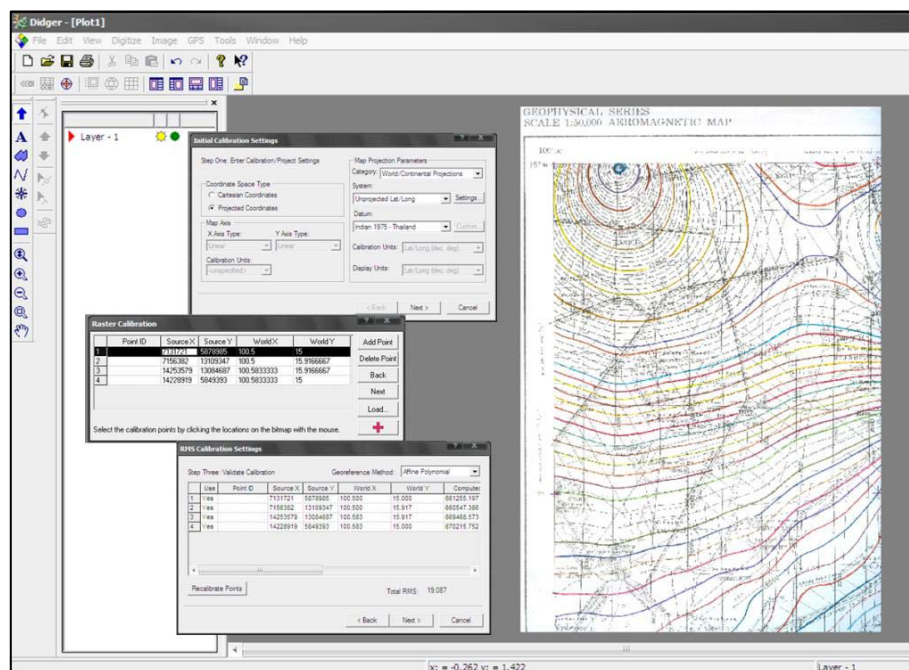
1) ศึกษาค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ทางอากาศ ในแผนที่ และ เน้นเส้นคอนทัวร์ เฉพาะค่าหลักๆ ทำให้เห็นความแตกต่างโดยใช้ดินสอสี เพื่อความสะดวกสำหรับการดิจิทัลไอซ์ข้อมูล

2) สแกนแผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก ทางอากาศ โดยแบ่งแผนที่แต่ละระวาง ออกเป็น 9 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนต้องสแกนให้เห็นจุดพิกัดอ้างอิง 4 จุด เพื่อใช้เป็นกรอบอ้างอิงสำหรับ ขั้นตอนการดิจิทัลไอซ์ข้อมูล



3) การดิจิทัลไอซ์ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ เป็นการแปลงข้อมูลจาก เชนอนาล็อกให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข โดยใช้โปรแกรม Digger ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

3.1) เปิดโปรแกรม Digger เปิดไฟล์แผนที่ที่ได้จากการ สแกนในลักษณะไฟล์ รูปภาพ โดยใช้คำสั่ง File เลือก Import Bitmap เลือก Into Raster Project เลือกไฟล์แผนที่ที่ต้องการดิจิทัลไอซ์

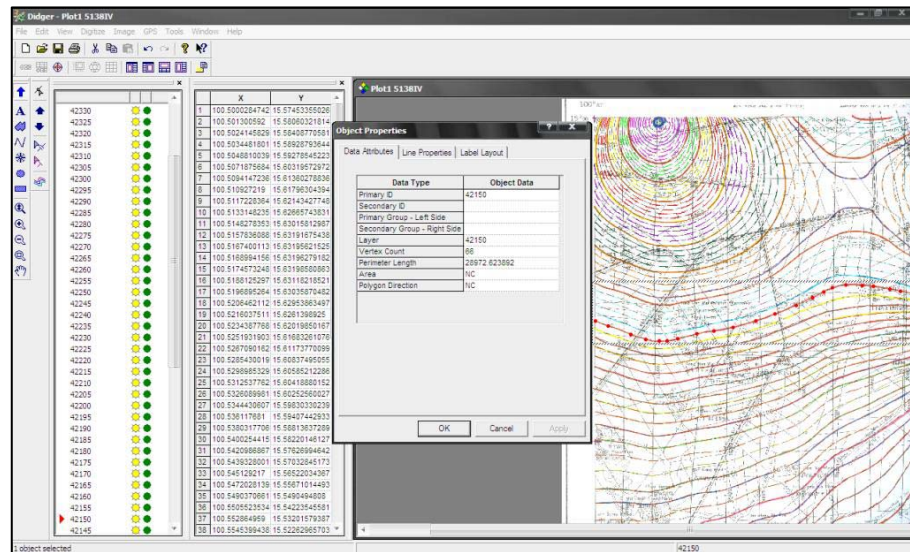
3.2) กำหนดจุดพิกัดอ้างอิง 4 จุด (ภาพประกอบที่ 2.10) โดยใช้คำสั่ง Image เลือก Calibrate Image จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Initial Calibration Settings สำหรับกำหนดระบบ พิกัดเริ่มต้น คลิกเลือก Projected Coordinates กำหนดระบบพิกัด ดั้งเดิมของแผนที่ เลือกเป็น ประเภท World/Continental Projections ระบบ Unprojected Lat/Long ในที่นี้เลือกใช้ พื้นหลักฐาน Indian 1975 จากนั้นกด Next จะปรากฏหน้าต่าง Raster Calibration สำหรับการกำหนดจุดพิกัดบน แผนที่ เลือกจุดที่ทราบพิกัดที่แน่นอน ใส่ค่าของจุดพิกัดในแนวแกน X (ลองจิจูด) ในช่อง World X และจุดพิกัดในแนวแกน Y (ละติจูด) ในช่อง World Y โดยค่าที่ใส่จะต้องเป็นแบบ decimal คือ ต้อง ทำให้เป็นเลขฐานสิบ ในตำแหน่ง minute และ second ด้วยการหาร ด้วย 60 และคูณด้วย 100 เช่น $7^{\circ}55'00''$ แปลงเป็นพิกัด decimal ได้ $7 + 55 \cdot 100 / 60 = 7.91667$ หลังจากนั้น ใช้คำสั่ง Add Point ใส่ ค่าพิกัด ใหม่ที่ละจุด จะครบทั้ง 4 จุด จากนั้นกด Next สุดท้ายโปรแกรมจะคำนวณค่า Total RMS เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งจุดข้อมูล ซึ่งควรมีค่าน้อยกว่า 10



ภาพประกอบที่ 2.10 การกำหนดระบบพิกัดและการกำหนดจุดพิกัดอ้างอิงสำหรับการดิจิทัลไซ์ข้อมูล ความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ

3.3) ดิจิทัลไซ์ข้อมูล (ภาพประกอบที่ 2.11) โดยใช้คำสั่ง Digitize เลือก Polyline หรือ  สำหรับการ ดิจิทัลไซ์ข้อมูลที่เป็นคอนทัวร์ หรือเป็นเชิงเส้น (เลือก Polygon หรือ  สำหรับการ ดิจิทัลไซ์ข้อมูลที่มีขอบเขต เช่น แผนที่ธรณีวิทยา) จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์สำหรับ กำหนดค่าของเส้นคอนทัวร์ที่จะทำการดิจิทัลไซ์ โดยใส่ค่าสนามแม่เหล็กลงในช่อง Primary ID เช่น 42,000 จากนั้นจึงทำการดิจิทัลไซ์ โดยการคลิกเมาส์ไปตามเส้น คอนทัวร์ 42,000 ที่ปรากฏในแผนที่ จนครบ หลังจากนั้นจึงเพิ่มข้อมูลชุดใหม่ โดย คลิกขวาที่หน้าต่างซ้ายมือ เลือก Add Layer เลือก คำสั่ง Digitize เลือก Polyline ใส่ค่าข้อมูลชุดใหม่ จากนั้นจึงทำการดิจิทัลไซ์ ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ ด้วย วิธีเดียวกันทีละเส้นจนครบในบริเวณพื้นที่ศึกษา

3.4) การนำข้อมูลจากการ ดิจิทัลไซ์ออกไปใช้สำหรับสร้างคอนทัวร์และสร้าง แผนที่ธรณีวิทยา ใช้คำสั่ง File เลือก Export เลือกรูปแบบของการบันทึกเป็นแบบ Golden Software Data (*.dat) สำหรับข้อมูลที่เป็นคอนทัวร์ และเลือกรูปแบบของการบันทึกเป็นแบบ AutoCAD DXF (*.dxf) สำหรับข้อมูลธรณีวิทยา

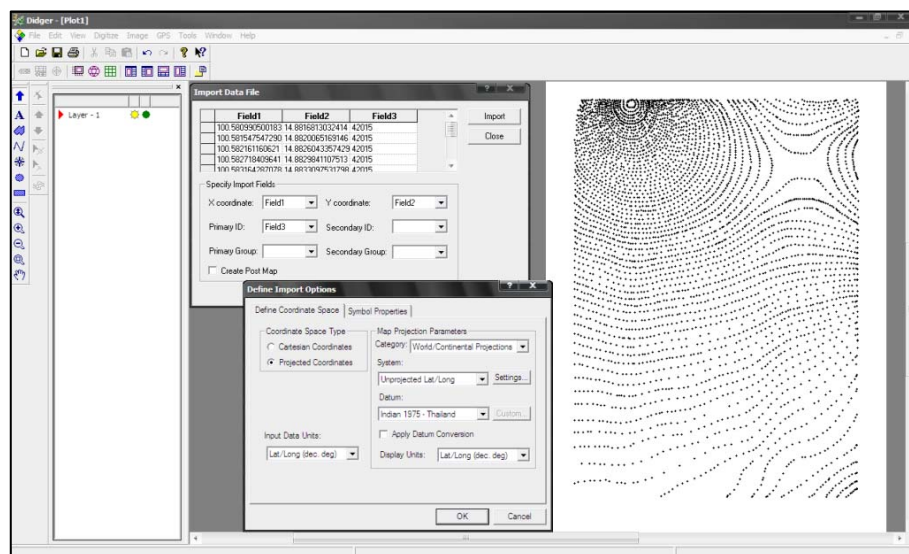


ภาพประกอบที่ 2.11 การดึงข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ

2.2.2.2 แปลงค่าพิกัดของตำแหน่งที่เป็น ละติจูดและลองจิจูด ให้เป็นระบบพิกัดแบบ UTM (Universal Transverse Mercator Co-ordinate System)

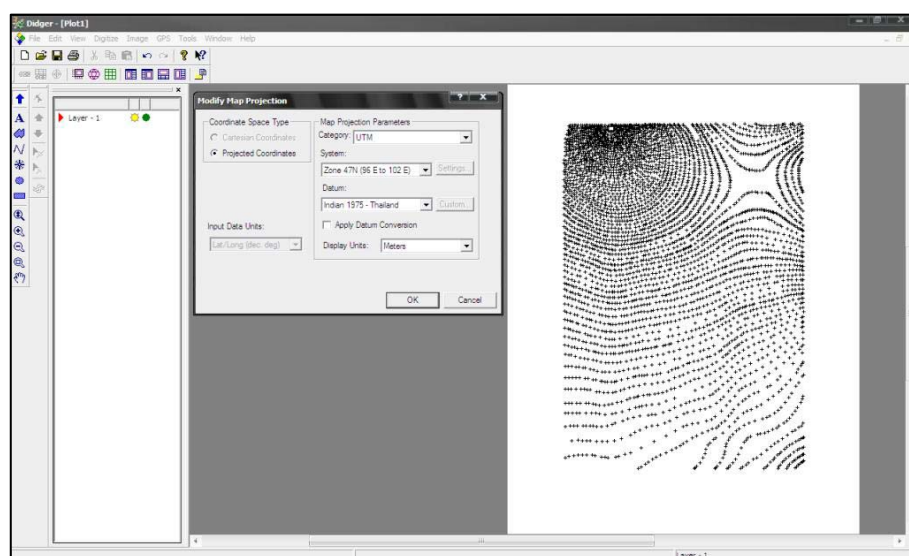
ข้อมูลที่ได้หลังจากทำการ ดิจิไทซ์เสร็จแล้วจะประกอบด้วยข้อมูลทั้งหมด 3 คอลัมน์ คือ คอลัมน์ที่ 1 จะเป็นค่าของพิกัดในแนวแกน X ส่วน คอลัมน์ที่ 2 จะเป็นค่าของพิกัดในแนวแกน Y ซึ่งทั้งสองส่วนนี้เป็น ค่าพิกัดของตำแหน่งที่เป็น ลองจิจูด และ ละติจูด ตามลำดับ ในลักษณะที่เป็น decimal ส่วนข้อมูลใน คอลัมน์ที่ 3 จะเป็นค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ในการแปลงค่าพิกัดของตำแหน่งที่เป็น ลองจิจูด และ ละติจูด ให้เป็นระบบพิกัดแบบ UTM คือ ระบบที่จัดให้เส้นรุ้งและเส้นแวงเป็นเส้นตรงและขนานกัน โดยใช้โปรแกรม Digger ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เปิดโปรแกรม Digger เปิดไฟล์ข้อมูลที่ได้หลังจากทำการ ดิจิไทซ์เสร็จแล้วที่เป็นไฟล์แบบ Golden Software Data (*.dat) โดยใช้คำสั่ง File เลือก Import Data File เลือกไฟล์ข้อมูลที่ต้องการแปลงค่าพิกัด จากนั้นจะปรากฏ ไดอะล็อกบ็อกซ์ สำหรับการเลือก ลำดับชุดข้อมูล โดยเลือก คอลัมน์ที่ 1 เป็นค่าของพิกัดในแนวแกน X คอลัมน์ที่ 2 เป็นค่าของพิกัดในแนวแกน Y และคอลัมน์ที่ 3 (Primary ID) เป็นค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก จากนั้นกด Import จะปรากฏ ไดอะล็อกบ็อกซ์ Define Import Options ให้คลิกเลือก Projected Coordinates และกำหนดระบบพิกัดดั้งเดิมของแผนที่ (เหมือนกันกับการกำหนดจุดพิกัดอ้างอิงในขั้นตอนการดิจิไทซ์ข้อมูล) จากนั้นกด OK จะปรากฏข้อมูล แสดงลักษณะที่เป็นจุดสัญลักษณ์ ตามตำแหน่ง ที่เป็นพิกัดแบบลองจิจูดและละติจูด (ภาพประกอบที่ 2.12)



ภาพประกอบที่ 2.12 ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กในพิกัดของตำแหน่งที่เป็นลองจิจูดและละติจูด

2) ทำการแปลง ข้อมูลให้เป็นระบบพิกัดแบบ UTM โดยใช้คำสั่ง View เลือก Change Projection จะปรากฏ ไดอะล็อกบ็อกซ์ Modify Map Projection ให้เรากำหนดระบบพิกัดใหม่ เลือกเป็นประเภท UTM ระบบ Zone 47N (96E to 102E) พื้นหลักฐาน Indian 1975 และแสดงในหน่วย เมตร จากนั้นกด OK จะปรากฏข้อมูลแสดงลักษณะที่เป็นจุดสัญลักษณ์ตามตำแหน่งที่เป็นระบบพิกัดแบบ UTM (ภาพประกอบที่ 2.13)



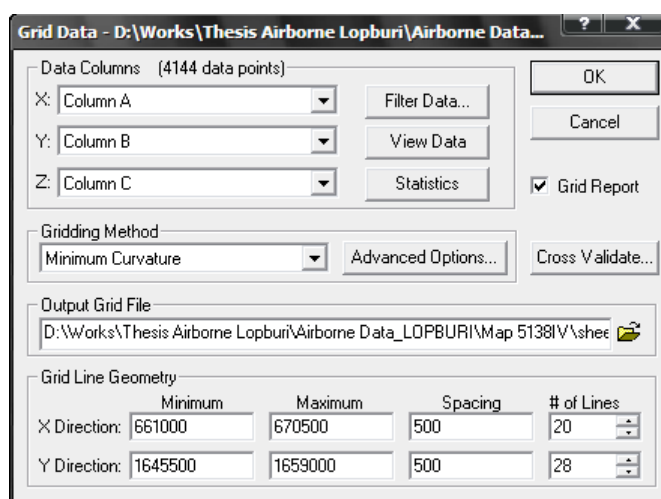
ภาพประกอบที่ 2.13 ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กในพิกัดของตำแหน่งที่เป็นพิกัดแบบ UTM

3) การนำข้อมูลออกไปใช้สำหรับสร้างคอนทัวร์ ใช้คำสั่ง File เลือก Export เลือก รูปแบบของการบันทึกเป็นแบบ Golden Software Data (*.dat)

2.2.2.3 สร้างแผนภาพคอนทัวร์ความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ

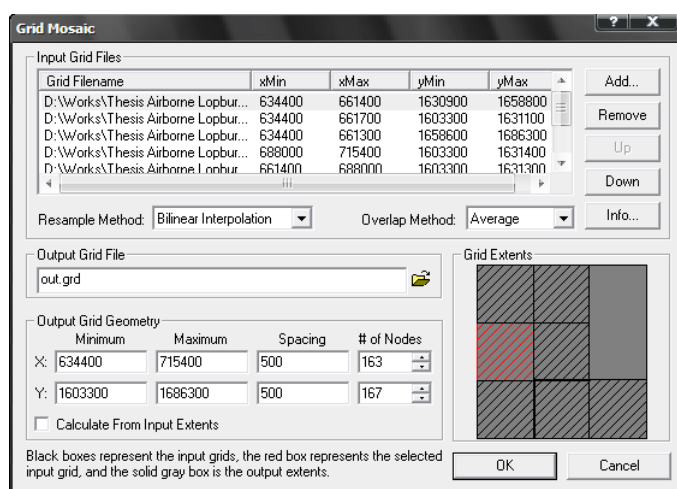
ข้อมูลเชิงตัวเลขของความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศที่ได้หลังจากทำการ ดิจิไทซ์และทำการแปลงค่าให้อยู่ในระบบพิกัดแบบ UTM เสร็จแล้ว จะถูกนำมาทำกริด คือ การทำให้ค่าของข้อมูลอยู่ในรูปที่เป็นสี่เหลี่ยมเล็กๆ โดยมีระยะห่างเท่าๆ กัน ทั้งทางแกน X และ Y เพื่อนำไปสร้างแผนภาพคอนทัวร์แบบอัตโนมัติ โดยใช้โปรแกรม Surfer ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) เปิดโปรแกรม Surfer ใช้คำสั่ง Grid เลือกคำสั่ง Data เลือกเปิดไฟล์ที่ได้หลังจากทำการดิจิไทซ์และทำการแปลงค่าให้อยู่ในระบบพิกัดแบบ UTM เสร็จแล้ว ที่เป็นไฟล์แบบ Golden Software Data (*.dat) หลังจากนั้น จะปรากฏ ไดอะล็อกบ็อกซ์ Grid Data สำหรับสร้างกริดข้อมูล (ภาพประกอบที่ 2.14) โดยเลือก คอลัมน์ X เป็นค่าพิกัดของตำแหน่งในแนวแกน X คอลัมน์ Y เป็นค่าพิกัดของตำแหน่งในแนวแกน Y และคอลัมน์ Z เป็นค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ส่วนวิธีการทำกริดข้อมูล (gridding method) ในที่นี้เลือกใช้แบบ Minimum Curvature เป็นการกำหนดให้มีความโค้งน้อยที่สุด และใช้ระยะห่าง (spacing) เท่ากับ 500 เมตร ทั้งทางแกน X และแกน Y จากนั้นกด OK ก็จะได้ไฟล์ข้อมูลที่เป็นแบบ Surfer Grid (*.grd) โดยทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ ด้วยวิธีเดียวกัน กับข้อมูลไฟล์ที่เหลือจนครบในบริเวณพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบที่ 2.14 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Grid Data สำหรับการสร้างกริดข้อมูล

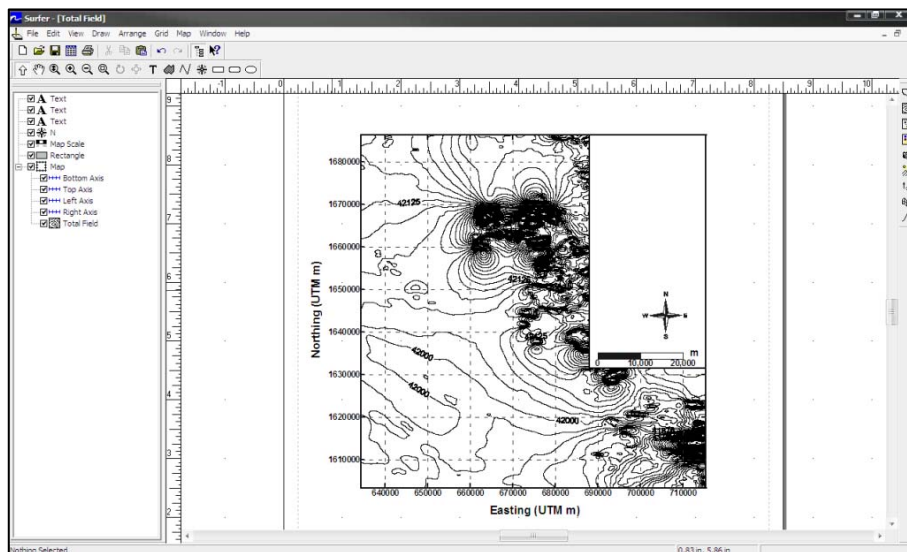
2) ทำการรวมข้อมูลไฟล์ Surfer Grid (*.grd) ทั้งหมดที่ได้จากการทำกริดข้อมูลมาต่อรวมกันเป็นแผ่นใหญ่ โดยใช้คำสั่ง Grid เลือกคำสั่ง Mosaic เลือกเปิดไฟล์ Surfer Grid (*.grd) ที่ต้องการจะต่อ จากนั้นจะปรากฏ ไดอะล็อกบ็อกซ์ Grid Mosaic (ภาพประกอบที่ 2.15) เลือกใช้ระยะห่าง (spacing) เท่ากับ 500 เมตร จากนั้นทำการเพิ่มไฟล์ Surfer Grid (*.grd) ที่ต้องการจะต่อ โดยใช้คำสั่ง Add ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ ด้วยวิธีเดียวกันกับข้อมูลไฟล์ที่เหลือจนครบ จากนั้นกด OK ก็จะได้ไฟล์ข้อมูลที่เป็นแบบ Surfer Grid (*.grd) ที่เป็นแผ่นใหญ่ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบที่ 2.15 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Grid Mosaic สำหรับการต่อกริดข้อมูล

3) ทำการ สร้างแผนภาพคอนทัวร์ ใช้คำสั่ง Map เลือก Contour Map เลือก New Contour Map เปิดไฟล์ข้อมูลที่เป็นแบบ Surfer Grid (*.grd) ที่ผ่านการทำกริดข้อมูลและต่อรวมกันเป็นแผ่นใหญ่มาแล้วก่อนหน้านี้ จากนั้นก็จะได้แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศในพื้นที่ศึกษา (ภาพประกอบที่ 2.16)

4) ทำการตรวจสอบและแก้ไขรูปร่างของเส้นคอนทัวร์โดยเปรียบเทียบกับรูปร่างในแผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศเพื่อความถูกต้อง



ภาพประกอบที่ 2.16 แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ

2.2.2.4 จำนวนและหักลบค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากล

การคำนวณค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากล (International Geomagnetic Reference Field, IGRF) มีจุดประสงค์เพื่อต้องการหาค่าสนามแม่เหล็กโลกในช่วงเวลาที่มีการสำรวจความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการประมวลผลข้อมูล โดยการหักลบค่าสนามแม่เหล็กโลกออกจากค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศที่สำรวจมาได้ เพื่อแสดงให้เห็นถึงค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กในบริเวณ พื้นที่ที่ทำการสำรวจ โดยในที่นี่จะ ใช้โปรแกรมคำนวณค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากล (ภาพประกอบที่ 2.17) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) กำหนดจุดพิกัด ของตำแหน่ง ให้ครอบคลุมกับขอบเขตของข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ
- 2) ใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากล (IGRF) ลงในโปรแกรม ได้แก่ ลองจิจูด ละติจูด ในลักษณะที่เป็น decimal ระดับความสูงของการบินสำรวจ และปีที่ทำ การบินสำรวจ ซึ่งในที่นี้แผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ ที่นำมาศึกษาบินที่ระดับความสูง 300 เมตร และทำการบินสำรวจในปี ค.ศ 1980
- 3) บันทึกค่า ลองจิจูด ละติจูด และค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิง สากลที่คำนวณ ได้ทั้งหมด ลงในตาราง โดยจัดเรียงเป็นคอลัมน์ ตามลำดับ เลือkBันทึกเป็นแบบ Golden Software Data (*.dat)

4) ทำการแปลงค่าพิกัดของตำแหน่งที่เป็นละติจูดและลองจิจูด ให้เป็นระบบพิกัดแบบ UTM

5) ทำกริดข้อมูล ของค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากล ให้มีขนาดของพื้นที่และระยะห่าง (spacing) ให้เท่ากับกับกริดข้อมูลของค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ และสร้างแผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากล

6) ทำการหาค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากลออกจากค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศโดยใช้โปรแกรม Surfer ใช้คำสั่ง Grid เลือกคำสั่ง Math จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Grid Math เลือกไฟล์ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศที่เป็นแบบ Surfer Grid (*.grd) กำหนดให้เป็น Input Grid File A และเลือกไฟล์ค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากลที่เป็นแบบ Surfer Grid (*.grd) กำหนดให้เป็น Input Grid File B ทำการคำนวณโดยใช้สมการ $C = A - B$ กด OK จากนั้นก็จะได้ออกมาเป็นแบบ Surfer Grid (*.grd) ซึ่งเป็นค่าผิดปกติ สนามแม่เหล็กทางอากาศในพื้นที่ศึกษาที่จะนำไปแปลความทางธรณีฟิสิกส์ต่อไป

ภาพประกอบที่ 2.17 โปรแกรมคำนวณค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากล
(ที่มา: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/point/index.html>)

2.2.2.5 กรองสัญญาณรบกวน

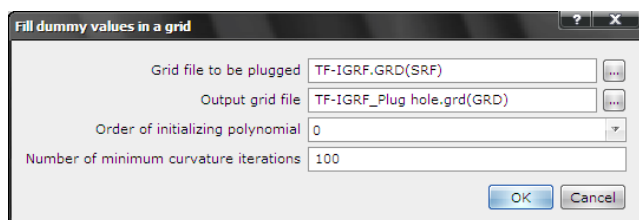
ในการแปลความเกี่ยวกับการกำหนดขอบเขตของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็ก ที่สัมพันธ์กับโครงสร้างในระดับลึก และการสร้างแบบจำลองของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิตินั้นจำเป็นต้องทำการกรองสัญญาณที่มีความถี่สูงออกไปก่อน ซึ่งสัญญาณความถี่สูงอาจเกิดจากตัวเครื่องบินหรือระดับความสูงในการบินสำรวจไม่คงที่ และสัญญาณความถี่สูงที่เกิดจากสิ่งก่อสร้างหรือวัตถุใกล้ผิวดิน ซึ่งสัญญาณความถี่สูงนี้เป็นสิ่งที่เราไม่ต้องการ เป็นสัญญาณรบกวน (noise) สาเหตุที่ต้องทำการกรองสัญญาณที่มีความถี่สูงออกไป เนื่องจากในการทำกรรมวิธีข้อมูลด้วยวิธีต่างๆ ส่วนมากต้องทำอนุพันธ์ของข้อมูล เพื่อช่วยให้ขอบเขตของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กมีความชัดเจนขึ้น ซึ่งอาจจะไปขยายสัญญาณที่มีความถี่สูง ซึ่งเป็นการเพิ่มสัญญาณรบกวน ในทำนองเดียวกันในส่วนของการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ใช้ กรรมวิธีย้อนกลับ (inversion method) ซึ่งในการสร้างแบบจำลองตัวโปรแกรมจะคำนึงถึงทุกอย่างที่มีในข้อมูลไม่ว่าจะเป็นความถี่สูงหรือความถี่ต่ำ จึงอาจจะทำให้แบบจำลองที่เราสนใจนั้นมีความไม่ชัดเจนหรืออาจเกิดการผิดเพี้ยนได้

2.2.2.5.1 การทำกรรมวิธี Decorrugation

การบินสำรวจข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศ เป็นไปได้ยากที่จะรักษาระดับของการบินสำรวจให้คงที่อยู่ตลอด เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศที่ไม่สม่ำเสมอ จึงส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนเป็นรอยย่น (corrugation) ปรากฏอยู่ในข้อมูลตามทิศทางของการบินสำรวจ ซึ่งกระบวนการในการกรองสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นตามทิศทางของการบินสำรวจนี้เรียกว่า decorrugation (Phillip, 2002) กระทำโดยใช้โปรแกรม Oasis montaj Viewer และซอฟต์แวร์ USGS ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

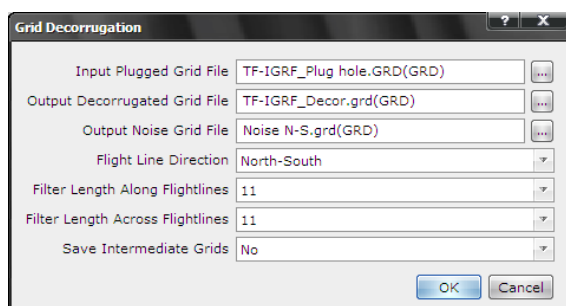
1) เปิดโปรแกรม Oasis montaj Viewer ทำการโหลดตัวซอฟต์แวร์ USGS สำหรับการทำการกรรมวิธีข้อมูล โดยใช้คำสั่ง Gx เลือกคำสั่ง Load Manu เลือก usgs.omn จะปรากฏคำสั่ง USGSV สำหรับการทำการกรรมวิธีข้อมูล โดยที่ข้อมูลกริดของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กทางอากาศที่ได้จากโปรแกรม Surfer ที่นำมาทำการกรรมวิธีข้อมูลจะต้องเลือกเปิดเป็นไฟล์แบบ Surfer (*.GRD)

2) ทำการ plug holes ซึ่งเป็นการอุดรูรั่วหรือตำแหน่งพื้นที่ว่างที่ไม่ มีข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ โดยใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Utilities เลือกคำสั่ง Plug holes by Iterating จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Fill dummy values in a grid (ภาพประกอบที่ 2.18) เลือกเปิดไฟล์กริดของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กทางอากาศ โดยเลือกเปิดเป็นไฟล์แบบ Surfer (*.GRD)



ภาพประกอบที่ 2.18 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Fill dummy values in a grid สำหรับการ plug holes

3) ทำ decorrugation โดยใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Spatial Filtering เลือกคำสั่ง Decorrugation (DECOR) จะปรากฏ ไดอะล็อกบ็อกซ์ Grid Decorrugation (ภาพประกอบที่ 2.19) เลือกเปิดไฟล์กริดของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่ได้จากการทำ plug holes และเลือกทิศทางการบินสำรวจ (flight line direction) หลังจากนั้น โปรแกรมจะทำการสร้างกริดและแสดงแผนภาพคอนทัวร์แบบอัตโนมัติของข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กทางอากาศที่ผ่านการทำ decorrugation และสัญญาณรบกวน (noise) ในแนวเหนือ-ใต้



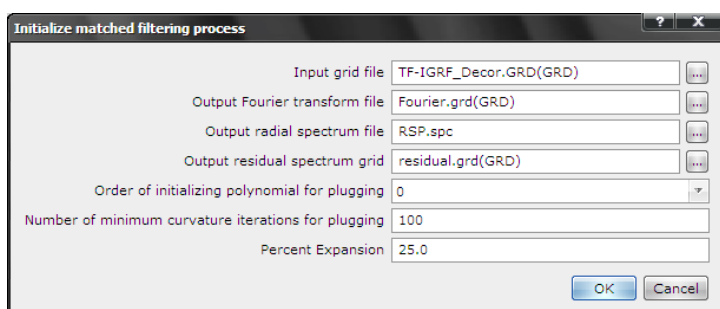
ภาพประกอบที่ 2.19 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Grid Decorrugation สำหรับการทำการวิธี decorrugation

2.2.2.5.2 การทำการวิธี Matched Band-pass Filtering

โดยทั่วไปบริเวณที่เป็นหินอัคนีและหินแปรมักแสดงลักษณะการแปรผันของค่าแม่เหล็กที่มีความซับซ้อน วัตถุที่ฝังตัวอยู่ในระดับลึกมักถูกปิดบังด้วยผลของแม่เหล็กความถี่สูง (high frequency) ที่เกิดขึ้นในระดับตื้น ซึ่ง สัญญาณของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่เกิดจากวัตถุที่ระดับตื้นจะมีแอมพลิจูดที่ต่ำและมีความยาวคลื่นที่สั้นกว่าค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่เกิดจากวัตถุที่ระดับลึก การกรองแบบ matched filtering เป็นการกำหนดตำแหน่งของสัญญาณ ในชุดข้อมูลสามารถใช้ในการแยกค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่เกิดจากวัตถุที่ระดับตื้น ออกจากค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่เกิดจากวัตถุที่ระดับลึก ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องในการ

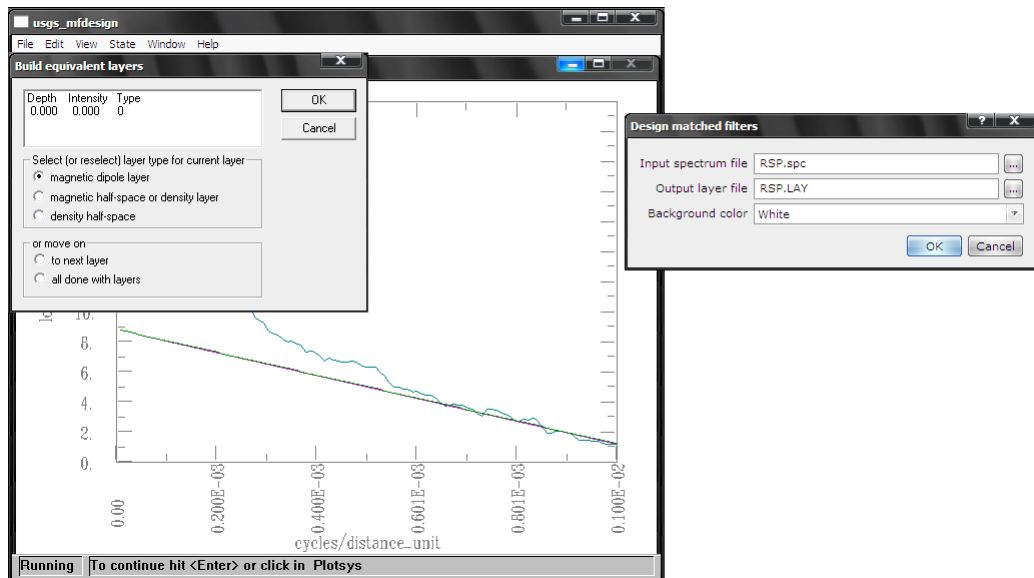
จำแนกสัญญาณ ถ้าเราทราบสเปกตรัมของสัญญาณที่ต้องการค้นหา matched filtering จะทำหน้าที่เป็นตัวกรองสัญญาณซึ่งมีสเปกตรัมเช่นเดียวกับสัญญาณที่ต้องการค้นหา ซึ่งในการทำ match band-pass filtering จะกระทำโดยใช้โปรแกรม Oasis montaj Viewer และซอฟต์แวร์ USGS สามารถทำให้เสร็จสมบูรณ์ภายใน 3 ขั้นตอนตามลำดับดังนี้

1) ขั้นตอนการทำ Initialization เป็นการเริ่มต้นปรับปรุงข้อมูลสำหรับการแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform) และคำนวณลอการิทึมของส่วนรัศมีที่สมมาตร (radially-symmetric part, RSP) และส่วนรัศมีที่ไม่สมมาตร (non-radially symmetric part, NRSP) ของฟูเรียร์สเปกตรัมกำลัง โดยใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Matched Filtering เลือกคำสั่ง Initialization (MFINIT) จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Initialize matched filtering process (ภาพประกอบที่ 2.20) เลือกเปิดไฟล์กริดของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กทางอากาศที่ผ่านการทำ decorrugation มาแล้วก่อนหน้านี้



ภาพประกอบที่ 2.20 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Initialize matched filtering process ของขั้นตอนการ Initialization สำหรับการทำการวิธี matched band-pass filtering

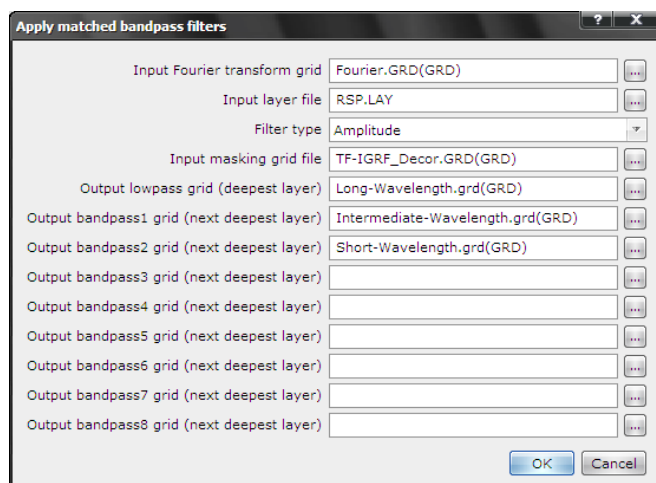
2) ขั้นตอนการทำ Design filters (ภาพประกอบที่ 2.21) สำหรับการเลือกช่วงการกรองสเปกตรัมของสัญญาณเพื่อจำแนกผลลัพธ์ที่เกิดจากวัตถุที่ระดับต้นและวัตถุที่ระดับลึก โดยใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Matched Filtering เลือกคำสั่ง Design filters (MFDESIGN) จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Design matched filters เลือกเปิดไฟล์ radial spectrum ที่ได้จากขั้นตอนการทำ Initialization ก่อนหน้านี้ และเริ่มทำการ fit กราฟของ สเปกตรัมกำลังลอการิทึม (log power spectrum) จากทางขวามือไปยังซ้ายมือ



ภาพประกอบที่ 2.21 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Design matched filters ของขั้นตอนการ Design filters และการ fit กราฟของสเปกตรัมกำลังลอการิทึมสำหรับการทำกรรมวิธี matched band-pass filtering

3) ขั้นตอนการทำ Apply Filters สำหรับการสร้างกริดและแสดงแผนภาพคอนทัวร์แบบอัตโนมัติของข้อมูลที่ผ่านการเลือกช่วงการกรองสเปกตรัมของสัญญาณของแต่ละช่วงความถี่ โดยใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Matched Filtering เลือกคำสั่ง Apply Filters (MFFILTER) จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Apply matched bandpass filters (ภาพประกอบที่ 2.22) เลือกเปิดไฟล์ Fourier transform ที่ได้จากขั้นตอนการทำ Initialization และไฟล์ layer ที่ได้จากขั้นตอนการทำ Design filters โดยเลือกรูปแบบของการกรองเป็นแบบ Amplitude หรือ Wiener และเลือกเปิดไฟล์กริดของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่ผ่านการทำ decorrugation สำหรับการ masking กริดข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการสร้างกริด หลังจากนั้น โปรแกรมจะทำการสร้างกริดและแสดงแผนภาพคอนทัวร์แบบอัตโนมัติของข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กในแต่ละช่วงความถี่

4) สำหรับการแสดงผลพาร์ทที่ได้หลังจากการกรองของแต่ละช่วงสัญญาณ ได้แก่ ความถี่ แอมพลิจูด และความยาวคลื่น จะใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Matched Filtering เลือกคำสั่ง Show Filters (MF PLOT)



ภาพประกอบที่ 2.22 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Apply matched bandpass filters ของขั้นตอนการ Apply Filters สำหรับการทำการรวมวิธี matched band-pass filtering

ข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กทางอากาศ ที่ได้ภายหลังจากการทำการรวมวิธี matched band-pass filtering ของแต่ละช่วงความถี่ สามารถที่จะนำข้อมูลมารวมกันหรือแยกแปลความเฉพาะส่วนที่มีความน่าสนใจ ซึ่งในที่นี้ ได้นำเอาข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่ระดับต้นความยาวคลื่นสั้น (short wavelength) มาทำการหักลบออกจากค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวม ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลที่ผ่านการกรองความถี่ต่ำผ่าน (low pass filtering) สัมพันธ์กับ โครงสร้างในระดับลึก สำหรับใช้ในการแปลความ ข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดขอบเขตของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็ก และนำเอาข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่ระดับลึกปานกลาง ความยาวคลื่นปานกลาง (intermediate wavelength) สำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติในส่วนต่อไป

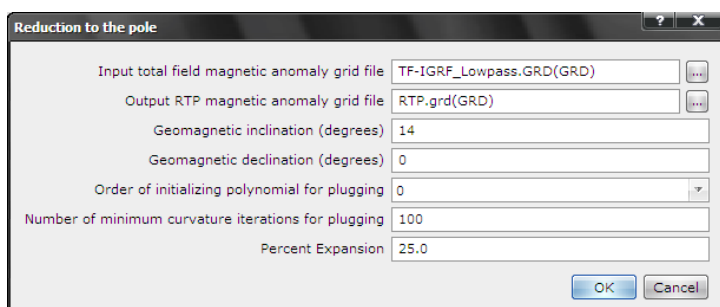
2.2.2.6 กำหนดขอบเขตและความความถี่ของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็ก

การแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศ ในที่นี้ได้นำเทคนิคการแปลความแบบอัตโนมัติ (automated techniques) มาประยุกต์ใช้ในการแปลความสำหรับการหาขอบเขตและความถี่ของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็ก เพื่อเพิ่มคุณค่าของข้อมูลหรือเพิ่มความหลากหลายในการแปลความข้อมูล (enhancement) ซึ่งมีด้วยกันหลากหลายวิธี ได้แก่ วิธี Horizontal gradient magnitude (HGM) วิธี Analytic signal (AS) หรือ Total gradient (TG) วิธี Local wave-number (LW) และวิธี Euler deconvolution สามารถทำโดยใช้โปรแกรม Oasis montaj Viewer และซอฟต์แวร์ USGS ซึ่งมีขั้นตอนในการทำตามลำดับดังนี้

2.2.2.6.1 การทำกรรมวิธี Horizontal Gradient Magnitude (HGM)

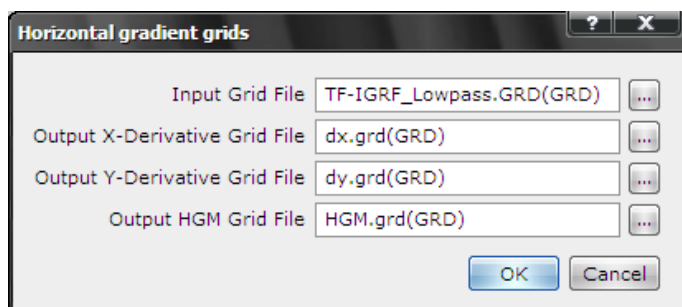
1) เปิดโปรแกรม Oasis montaj Viewer ทำการโหลดตัวซอฟต์แวร์ USGS สำหรับการทำการกรรมวิธีข้อมูล โดยใช้คำสั่ง Gx เลือกคำสั่ง Load Manu เลือก usgs.omn จะปรากฏคำสั่ง USGSV

2) ทำการลดทอนสู่ขั้ว (reduction to the pole, RTP) ของข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก โดยใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Fourier Filtering เลือก All-in-one เลือกคำสั่ง Reduction-to-the-pole transformation (REDPOL) จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Reduction to the pole (ภาพประกอบที่ 2.23) เลือกเปิดไฟล์ กริดข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนมาแล้ว และใส่ค่ามุมเท (inclination) และ มุมบ่ายเบน (declination) ของข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กของพื้นที่ศึกษา หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการสร้างกริดและแสดงแผนภาพคอนทัวร์แบบอัตโนมัติของข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กทางอากาศที่ได้จากการทำ RTP



ภาพประกอบที่ 2.23 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Reduction to the pole สำหรับการทำการกรรมวิธีลดทอนสู่ขั้ว

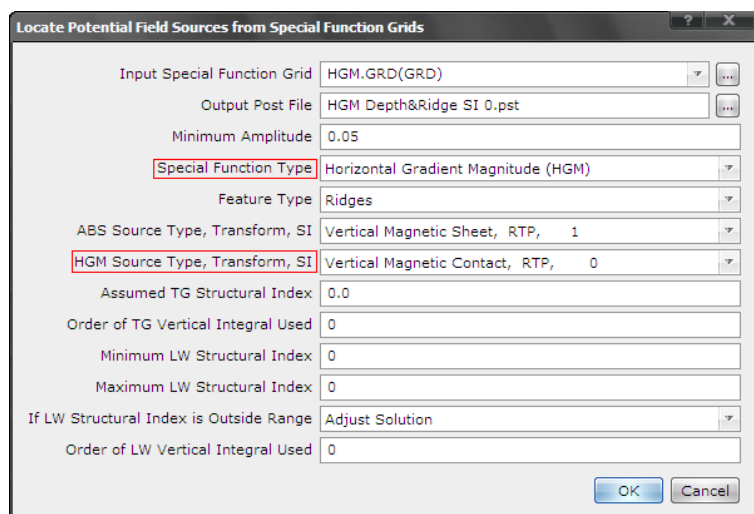
3) กำหนดตำแหน่งรอยต่อ ของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กโดยวิธี Horizontal gradient magnitude (HGM) คำนวณจากการปรับเชิงพื้นผิวแบบ local quadratic surface fitting ใน window ขนาด 3x3 โดยใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Spatial Filtering เลือกคำสั่ง Horizontal gradient (GRADXYH) จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Horizontal gradient grids (ภาพประกอบที่ 2.24) เลือกเปิดไฟล์กริดข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก ที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนมาแล้ว หรือข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่ได้จากการทำ RTP หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการสร้างกริดและแสดงแผนภาพคอนทัวร์แบบอัตโนมัติของข้อมูลที่ได้จากการทำ HGM



ภาพประกอบที่ 2.24 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Horizontal gradient grids สำหรับการทำการวิธี Horizontal gradient magnitude

4) ประมาณความลึกของรอยต่อของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กจาก วิธี Horizontal gradient magnitude (HGM) โดยใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Interpretation เลือกคำสั่ง Special Function depth analysis (SFDEPTH) จะปรากฏ ไดอะล็อกบ็อกซ์ Locate Potential Field Sources from Special Function Grids (ภาพประกอบที่ 2.25) เลือกเปิดไฟล์กริดข้อมูลที่ได้จากการทำ HGM และ กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความสำคัญ ได้แก่ ค่าแอมพลิจูดที่น้อยที่สุด (minimum amplitude) รูปแบบฟังก์ชันแบบพิเศษ (special function type) รูปแบบของผลลัพธ์ (feature type) และรูปแบบสมมุติของแหล่ง วัตถุผิดปกติ (HGM Source Type, Transform, SI) ซึ่งในที่นี้จะเลือกรูปแบบฟังก์ชันแบบพิเศษ เป็นแบบ Horizontal Gradient Magnitude (HGM) และเลือกรูปแบบสมมุติของแหล่งวัตถุผิดปกติเป็นรอยต่อของวัตถุทางแม่เหล็กที่วางตัวอยู่ในแนวตั้ง (vertical magnetic contact) จากข้อมูลที่มีการทำการลดทอนสู่ผิว (RTP) ซึ่งมีค่าดัชนีโครงสร้าง (structural index, SI) เท่ากับ 0 ซึ่งไฟล์ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลจะอยู่ในรูปของ Post File โดยที่ คอลัมน์ X และคอลัมน์ Y เป็นค่าพิกัดตำแหน่งของรอยต่อ คอลัมน์ Z1 เป็นค่าความลึก คอลัมน์ Z3 เป็นค่ามุมที่เทียบกับทิศเหนือ (strike) และคอลัมน์ Z5 เป็นค่าดัชนีโครงสร้าง (SI)

5) นำไฟล์ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลที่เป็น XYZ File ไปทำการจัดเรียงข้อมูลใหม่ และนำข้อมูลที่ได้ไปแสดงผลในลักษณะของจุดสัญลักษณ์ร่วมกับแผนภาพคอนทัวร์สำหรับการประมาณขอบเขตและความลึกของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กในโปรแกรม Surfer โดยใช้คำสั่ง New Post Map หรือ New Classed Post Map

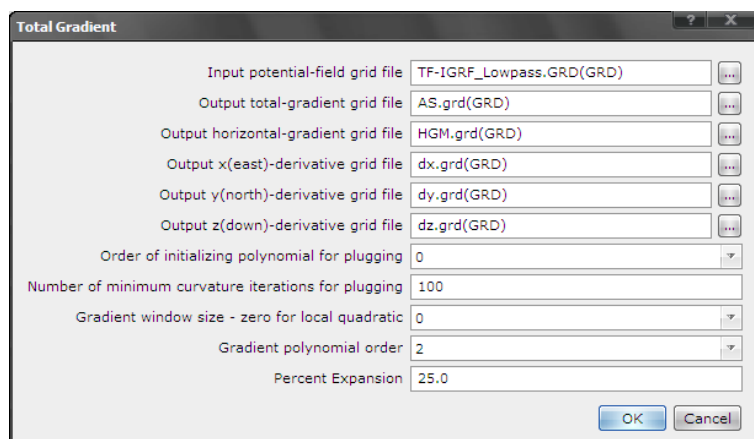


ภาพประกอบที่ 2.25 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Locate Potential Field Sources from Special Function Grids สำหรับการประมาณตำแหน่งและความลึกจากวิธี Horizontal gradient magnitude

2.2.2.6.2 การทำกรรมวิธี Analytic Signal (AS) หรือ Total Gradient (TG)

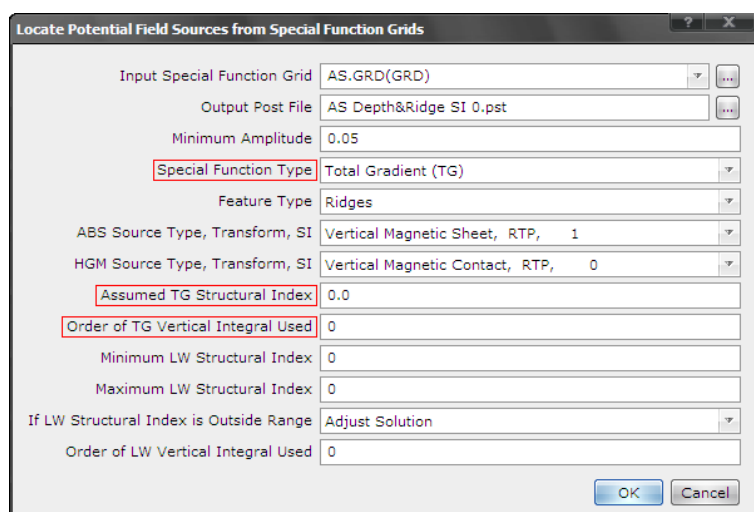
1) เปิดโปรแกรม Oasis montaj Viewer ทำการโหลดตัวซอฟต์แวร์ USGS สำหรับการทำกรรมวิธีข้อมูล โดยใช้คำสั่ง Gx เลือกคำสั่ง Load Manu เลือก usgsv.omn จะปรากฏคำสั่ง USGSV

2) กำหนดตำแหน่งรอยต่อของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กโดยวิธี Analytic signal (AS) โดยใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Interpretation เลือกคำสั่ง Total gradient and gradient components (TGRAD) จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Total gradient (ภาพประกอบที่ 2.26) เลือกเปิดไฟล์กริดข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนมาแล้ว และเลือกใช้การปรับเชิงพื้นผิวแบบ local quadratic surface fitting ในการคำนวณ หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการสร้างกริดและแสดงแผนภาพคอนทัวร์แบบอัตโนมัติของข้อมูลที่ได้จากการทำ AS



ภาพประกอบที่ 2.26 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Total gradient สำหรับการทำการรวมวิธี Analytic signal

3) ประมาณความลึกของรอยต่อของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กจาก วิธี Analytic signal (AS) โดยใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Interpretation เลือกคำสั่ง Special Function depth analysis (SFDEPTH) จะปรากฏ ไดอะล็อกบ็อกซ์ Locate Potential Field Sources from Special Function Grids (ภาพประกอบที่ 2.27) เลือกเปิดไฟล์ กริดข้อมูลที่ได้จากการทำ AS และกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งในที่นี้เลือกรูปแบบฟังก์ชันแบบพิเศษเป็นแบบ Total gradient (TG) สมมุติค่าดัชนีโครงสร้าง (structural index, SI) เท่ากับ 0 ซึ่งหมายถึง รอยต่อของ แหล่งผิดปกติทางแม่เหล็ก และค่าอันดับของการทำปริพันธ์สนามแม่เหล็กในแนวตั้ง (vertical integral) ของข้อมูล AS เท่ากับ 0 ในกรณีที่ไม่มีการทำปริพันธ์



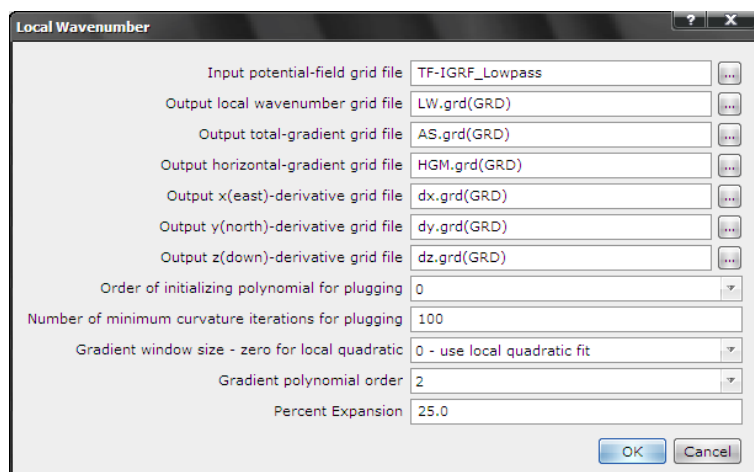
ภาพประกอบที่ 2.27 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Locate Potential Field Sources from Special Function Grids สำหรับการประมาณตำแหน่งและความลึกจากวิธี Analytic signal

4) นำไฟล์ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลที่เป็น XYZ File ไปทำการจัดเรียงข้อมูลใหม่ และนำข้อมูลที่ได้ไปแสดงผลของตำแหน่งรอยต่อในลักษณะของจุดสัญลักษณ์ร่วมกับแผนภาพคอนทัวร์สำหรับการประมาณขอบเขตและความลึกของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กในโปรแกรม Surfer โดยใช้คำสั่ง New Post Map หรือ New Classed Post Map

2.2.2.6.3 การทำกรรมวิธี Local Wave-number (LW)

1) เปิดโปรแกรม Oasis montaj Viewer ทำการโหลดตัวซอฟต์แวร์ USGS สำหรับการทำการกรรมวิธีข้อมูล โดยใช้คำสั่ง Gx เลือกคำสั่ง Load Manu เลือก usgsv.omn จะปรากฏคำสั่ง USGSV

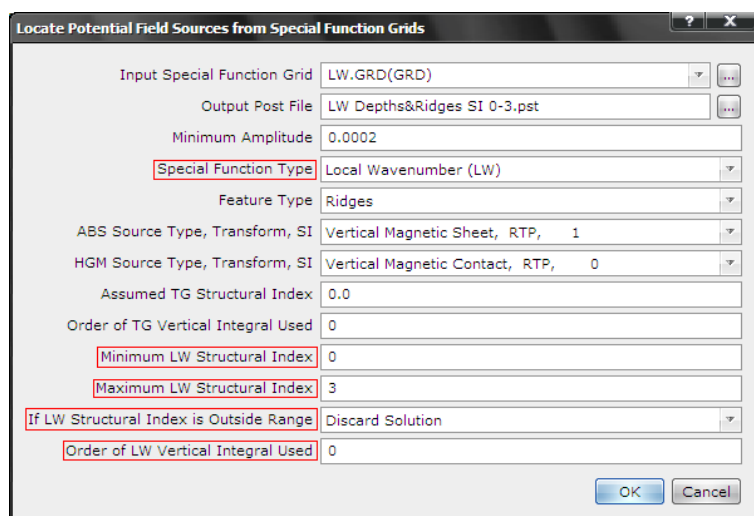
2) กำหนดตำแหน่งรอยต่อของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กโดยวิธี Local wave-number (LW) โดยใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Interpretation เลือกคำสั่ง Local wavenumber (LW) จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Local wavenumber (ภาพประกอบที่ 2.28) เลือกเปิดไฟล์กริดข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนมาแล้วและเลือกใช้การ ปรับเชิงพื้นผิวแบบ local quadratic surface fitting ในการคำนวณ หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการสร้างกริดและแสดงผลแผนภาพคอนทัวร์แบบอัตโนมัติของข้อมูลที่ได้จากการทำ LW



ภาพประกอบที่ 2.28 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Local wavenumber สำหรับการทำการกรรมวิธี Local wave-number

3) ประมาณความลึกของรอยต่อของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กจาก วิธี Local wave-number (LW) โดยใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Interpretation เลือกคำสั่ง Special Function depth analysis (SFDEPTH) จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Locate Potential Field Sources from Special Function Grids (ภาพประกอบที่ 2.29) เลือกเปิดไฟล์กริดข้อมูลที่ได้จากการทำ LW และกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งในที่นี้เลือกรูปแบบฟังก์ชันแบบพิเศษเป็นแบบ Local wavenumber (LW) เลือกช่วงของดัชนีโครงสร้าง (structural index, SI) ตั้งแต่ 0 ถึง 3 และค่าอันดับของการทำปริพันธ์สนามแม่เหล็กในแนวตั้ง (vertical integral) ของข้อมูล LW เท่ากับ 0 ในกรณีที่ไม่มีการทำปริพันธ์

4) นำไฟล์ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลที่เป็น XYZ File ไปทำการจัดเรียงข้อมูลใหม่ และนำข้อมูลที่ได้ไปแสดงผลของตำแหน่งรอยต่อในลักษณะของจุดสัญลักษณ์ร่วมกับแผนภาพคอนทัวร์สำหรับการประมาณขอบเขตและความลึกของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กในโปรแกรม Surfer โดยใช้คำสั่ง New Post Map หรือ New Classed Post Map

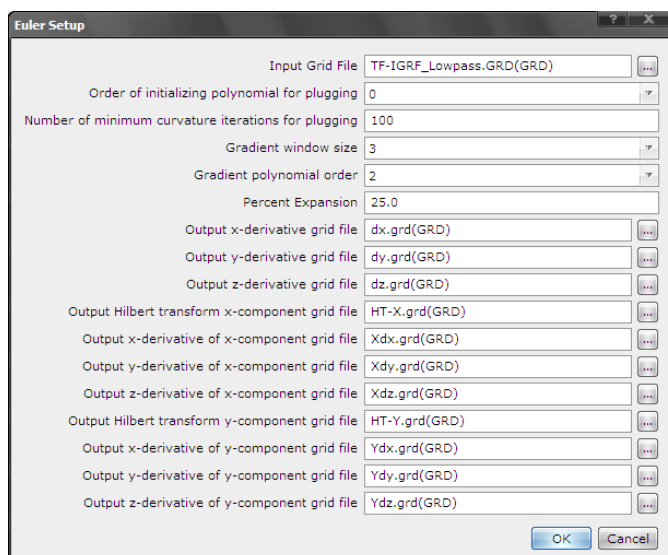


ภาพประกอบที่ 2.29 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Locate Potential Field Sources from Special Function Grids สำหรับการประมาณตำแหน่งและความลึกจากวิธี Local wave-number

2.2.2.6.4 การทำกรรมวิธี Euler deconvolution

1) เปิดโปรแกรม Oasis montaj Viewer ทำการโหลดตัวซอฟต์แวร์ USGS สำหรับการทำการกรรมวิธีข้อมูล โดยใช้คำสั่ง Gx เลือกคำสั่ง Load Menu เลือก usgsv.omn จะปรากฏคำสั่ง USGSV

2) คำนวณข้อมูลกริดอนุพันธ์ของข้อมูลสนามแม่เหล็กสำหรับการใช้ในการวิเคราะห์ขอบเขตและความลึก โดยวิธี Euler deconvolution โดยใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Interpretation เลือกคำสั่ง Euler Setup (SETEULER) จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Euler Setup (ภาพประกอบที่ 2.30) เลือกเปิดไฟล์กริดข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนมาแล้ว และเลือกขนาดของกริดข้อมูล (window size) เป็นขนาด 3x3 สำหรับการสร้างกริดข้อมูล



ภาพประกอบที่ 2.30 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Euler Setup สำหรับการคำนวณข้อมูลกริดอนุพันธ์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ขอบเขตและความลึกโดยวิธี Euler deconvolution

3) วิเคราะห์ขอบเขตและความลึกของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กโดยวิธี Euler deconvolution โดยใช้คำสั่ง USGSV เลือก Grid Interpretation เลือกคำสั่ง Euler depth analysis จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Two-step Extended Euler Depth Analysis (ภาพประกอบที่ 2.31) เลือกเปิดไฟล์กริดข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนมาแล้ว และกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความสำคัญดังนี้ ระดับของข้อมูลสำรวจ (observation surface elevation) ระดับพื้นผิวดิน ที่ลึกน้อยที่สุด (minimum depth surface elevation) หน่วยสำหรับความสูง

(elevation unit) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,000 สำหรับหน่วยเมตร ดัชนีโครงสร้าง (structural index, SI) และขนาดของกริดข้อมูลที่จะวิเคราะห์ (window size) โดยเลือกให้มีขนาดครอบคลุมกับข้อมูลผิดปกติ สนามแม่เหล็ก ซึ่งไฟล์ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลจะอยู่ในรูปของ Post File โดยที่ คอลัมน์ X และคอลัมน์ Y เป็นค่าพิกัดตำแหน่ง คอลัมน์ Z1 เป็นค่าความลึกเฉลี่ย คอลัมน์ Z2 เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาดของความลึกเฉลี่ย คอลัมน์ Z3 เป็นค่ามุมที่เทียบกับทิศเหนือ (strike) คอลัมน์ Z4 เป็นค่าดัชนี ความถูกต้องของข้อมูล คอลัมน์ Z5 เป็นค่าตัวเลขของกระบวนการในการเฉลี่ยข้อมูล และ คอลัมน์ Z6 เป็นค่าดัชนี โครงสร้างเฉลี่ย

Field	Value
Input observation surface grid file	[Empty]
OR observation surface elevation	300
Input minimum depth surface grid file	[Empty]
OR minimum depth surface elevation	0
Elevation units / horizontal units	1000
Input magnetic anomaly grid file	TF-Lowpass.GRD(GRD)
Input x-derivative grid file	dx.grd(GRD)
Input y-derivative grid file	dy.grd(GRD)
Input z-derivative grid file	dz.grd(GRD)
Input Hilbert transform x-component grid file	HT-X.grd(GRD)
Input x-derivative of x-component grid file	Xdx.grd(GRD)
Input y-derivative of x-component grid file	Xdy.grd(GRD)
Input z-derivative of x-component grid file	Xdz.grd(GRD)
Input Hilbert transform y-component grid file	HT-Y.grd(GRD)
Input x-derivative of y-component grid file	Ydx.grd(GRD)
Input y-derivative of y-component grid file	Ydy.grd(GRD)
Input z-derivative of y-component grid file	Ydz.grd(GRD)
Minimum structural index	0
Window size	15
Type of depth error to use	Percent
Maximum error in depth	10
Maximum horizontal distance	0
Maximum depth	5000
Output post file	Euler SI 0, Window 15.pst

ภาพประกอบที่ 2.31 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Two-step Extended Euler Depth Analysis สำหรับการวิเคราะห์ขอบเขตและความลึกโดยวิธี Euler deconvolution

4) นำไฟล์ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลที่เป็น XYZ File ไปทำการจัดเรียงข้อมูลใหม่ และนำข้อมูลที่ได้ไปแสดงผลของตำแหน่งรอยต่อในลักษณะของจุดสัญลักษณ์ ษณ์ร่วมกับแผนภาพคอนทัวร์สำหรับการประมาณขอบเขตและความลึกของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กในโปรแกรม Surfer โดยใช้คำสั่ง New Post Map หรือ New Classed Post Map

5) ทดลองทำการปรับเปลี่ยนค่าของดัชนีโครงสร้าง (SI) ตั้งแต่ 0 ถึง 3 และขนาดของกริดข้อมูลที่จะวิเคราะห์ (window size) ไปเรื่อยๆ เปรียบเทียบ คุณภาพของข้อมูลที่ได้ กับผลลัพธ์ที่ได้ก่อนหน้านี้ โดยวิเคราะห์จากความต่อเนื่องของสัญญาณ

2.2.2.7 สร้างแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ

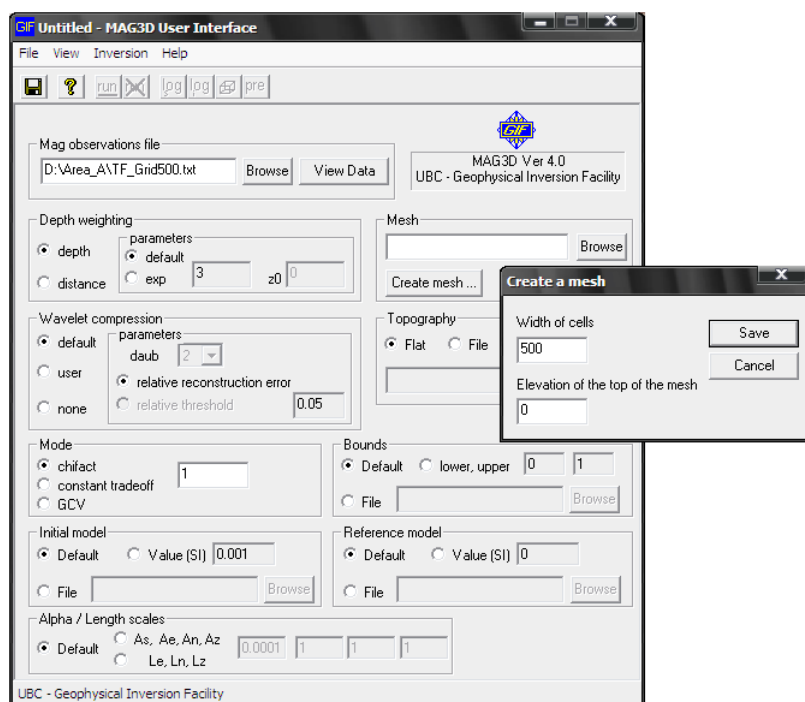
การสร้างแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ (3D magnetic model of magnetic susceptibility) เป็นการทํากรมวิธีคำนวณย้อนกลับ (inversion) ของข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก ซึ่งค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่คำนวณได้จากแบบจำลองจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินที่วัดได้จากห้องปฏิบัติการเพื่อประเมินถึงความเป็นไปได้มากที่สุดของแบบจำลอง สำหรับการประเมินรูปร่างลักษณะและขอบเขตของหินที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูง ซึ่งในการสร้างแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ กระทำโดยใช้โปรแกรม MAG3D ภายใต้สมมติฐานที่ว่าความเป็นแม่เหล็กของวัตถุเกิดจากการเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว (ไม่มีแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ) ซึ่งมีขั้นตอนในการทำตามลำดับดังนี้

1) เตรียมข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กเฉพาะส่วนที่น่าสนใจ เป็นการลดจำนวนของข้อมูลให้น้อยลงเพื่อลดระยะเวลาในการคำนวณสำหรับการสร้างแบบจำลอง ซึ่งในที่นี้ ได้เลือกใช้ข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่ระดับลึกปานกลาง ความยาวคลื่นปานกลาง (intermediate wavelength) ที่ได้จากการทำ matched filter สำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลอง


2) ทำการจัดเรียงข้อมูล ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก ใหม่ตามรูปแบบของโปรแกรม MAG3D (ภาคผนวก ข) และเลือกรูปแบบของการบันทึกเป็นแบบ Text Documents (*.txt)




3) เปิดโปรแกรม MAG3D User Interface (ภาพประกอบที่ 2.32) ในช่องของ Mag observations file เลือกเปิดข้อมูลที่ทำกรจัดเรียงตามรูปแบบของโปรแกรม MAG3D และเลือกคำสั่ง View data เพื่อดูข้อมูล

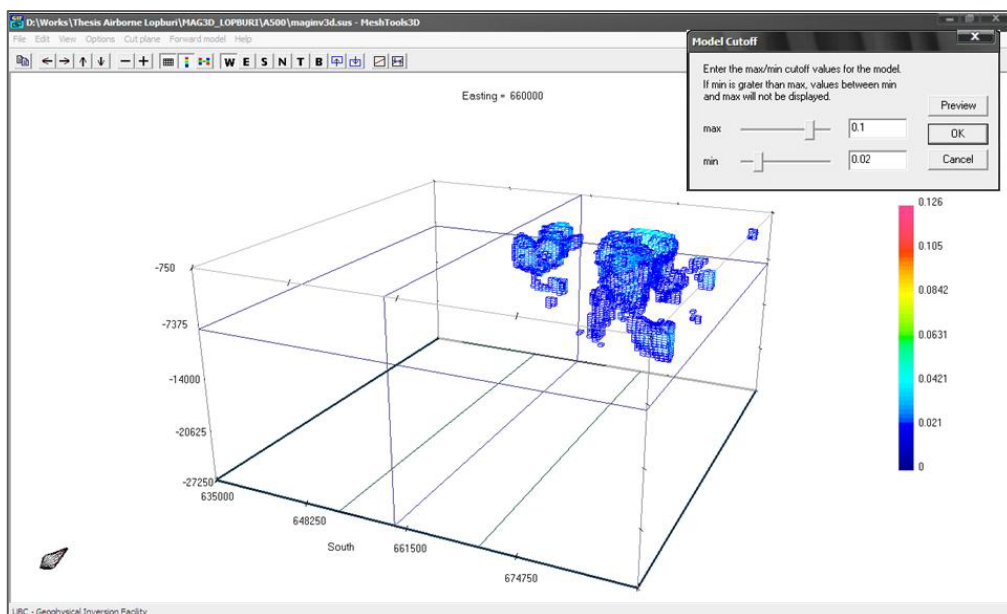
4) ทำกร สร้าง mesh เป็นการ แบ่งปริมาณ ของข้อมูลออกเป็นเซลล์ย่อยๆ รูปลูกบาศก์ (cuboidal cells) ในแบบสามมิติ โดยเลือกคำสั่ง Create mesh จะปรากฏ ไดอะล็อกบ็อกซ์ Create a mesh สำหรับการกำหนดความกว้างของเซลล์ และระดับความสูงส่วนบนสุดของเซลล์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในการกำหนดความกว้างของเซลล์มักกำหนดให้มีความกว้างเท่ากับหรือเป็นครึ่งหนึ่งของระยะห่างระหว่างกริดข้อมูล (grid spacing) หลังจากนั้นเลือกรูปแบบของการบันทึกเป็นแบบ MAG mesh file



ภาพประกอบที่ 2.32 โปรแกรม MAG3D User Interface สำหรับการสร้างแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ

5) ทำการ บันทึก ไฟล์ MAG3D เป็นแบบ MAG3D file (*.inp) หลังจากนั้นทำการ run ข้อมูล โดยเลือกคำสั่ง Inversion เลือกคำสั่ง Run หรือ  ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลที่ผ่านมาการ run ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ให้เลือกคำสั่ง File เลือก open เลือกไฟล์ข้อมูล ที่เป็นแบบ MAG3D file (*.inp) หลังจากนั้นโปรแกรมจะดึงไฟล์ข้อมูลและไฟล์ mesh เข้ามาให้อัดโนมิตีสำหรับ ทำการแสดงผลแบบจำลองในส่วนต่อไป

6) ทำการแสดงผลแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ (ภาพประกอบที่ 2.33) โดยเลือกคำสั่ง model หรือ  หลังจากนั้นทำการตัดข้อมูลของเซลล์ ส่วนที่ไม่สมมาตรออกตรงบริเวณขอบของแบบจำลอง โดยเลือกคำสั่ง Option เลือก Padding cells แล้วกำหนดจำนวนระนาบ ของเซลล์ข้อมูลที่ต้องการตัด ของแต่ละ ทิศทาง ต่อจากนั้น ทำการเลือก ช่วงของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก เพื่อประเมินรูปร่างลักษณะของแบบจำลองโดยใช้คำสั่ง Option เลือก Cutoff กำหนดช่วงของข้อมูลโดยอาศัยข้อมูลค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินที่ วัดได้จากห้องปฏิบัติการเป็นเกณฑ์ นอกจากนี้ยังสามารถที่จะได้แสดงข้อมูล แบบระนาบตาม ทิศทางต่างๆ โดยใช้คำสั่ง Cut plane เลือกทิศทางหรือ **W E S N T B** และกด  หรือ  ตามทิศทางที่ต้องการ



ภาพประกอบที่ 2.33 โปรแกรม MeshTools3D สำหรับแสดงผลแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ

7) ทำการรวมข้อมูลสำหรับการแสดงผลของแบบจำลอง สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติในโปรแกรม Voxler โดยการนำไฟล์ข้อมูล maginv3d.sas และ mesh วางไว้ที่เดียวกันกับโปรแกรม model2xyzval หลังจากนั้นทำการ Run cmd ขึ้นมา และเลือกที่อยู่ของข้อมูล โดยใส่ข้อมูลตามลำดับ ดังนี้ ตัวอย่าง D:\>model2xyzval mesh500 maginv3d.sas output.xyz จากนั้นนำไฟล์ที่ได้จากการรวม ข้อมูลที่เป็น XYZ File ไปแสดงผล ของแบบจำลอง แบบสามมิติ ร่วมกับตำแหน่งรอยต่อที่ได้จากการประมาณของแต่ละวิธีในลักษณะของจุดสัญลักษณ์ในโปรแกรม Voxler สำหรับการประมาณขอบเขตและความลึกของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็ก

บทที่ 3

ผลและการอภิปรายผล

3.1 ผลการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็ก

3.1.1 ผลการศึกษาสมบัติแม่เหล็กขั้นต้นของตัวอย่างหิน

การศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กขั้นต้นของหินในพื้นที่ในขณะนี้ได้ทำการเก็บ ตัวอย่างหินทั้งชนิดวัดการวางตัวและชนิดที่เป็นหิน โผล่หรือหินหลุดลอย รวมทั้งสิ้น 9 ตำแหน่ง ประกอบไปด้วยตำแหน่ง M1 พิกัด 675,051E และ 1,668,994N บริเวณทางตอนเหนือของพื้นที่ศึกษาตรงกับตำแหน่งที่แสดงค่าผิดปกติทางแม่เหล็กสูง ตำแหน่ง M2 บริเวณเขตประทานบัตรเหมืองหินปูน การรถไฟแห่งประเทศไทย ตำแหน่ง M3 บริเวณเขาทับควาย ตำแหน่ง M4, N1, N2 บริเวณเขาเขาพระงาม ตำแหน่ง Q1, Q2 บริเวณเขาสะพานนาคร และ ตำแหน่ง P1 บริเวณเขาพุกา โดยผลที่ได้จากการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility, k) ค่าแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ (natural remanent magnetization, NRM) ค่า Königsberger ratio (Q-value) และค่าพารามิเตอร์แอนไอโซทรอปีของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (AMS) ของตัวอย่างหินชนิดวัดการวางตัว (M1, M2, M4) แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และผลที่ได้จากการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินที่เป็นหิน โผล่หรือหินหลุดลอย (N1, N2, M3, P1, Q1, Q2) แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

จากการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กขั้นต้นของหินชนิดวัดการวางตัว รวมทั้งสิ้น 3 ตำแหน่ง พบว่าหินแกบโบร (gabbro) จากตำแหน่ง M1 มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กเฉลี่ยที่มีค่าสูงเท่ากับ $179,333 \pm 11,104 \times 10^{-6}$ [SI] และมีค่าความเข้มของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติเฉลี่ยที่มีค่าสูงเท่ากับ $2,262 \pm 1,273$ มิลลิแอมแปร์ต่อเมตร ซึ่งเป็นเพียงตำแหน่งเดียวที่มีนัยสำคัญทางด้านแม่เหล็ก เนื่องจากหินจากตำแหน่ง M2 และ M4 เป็นหินปูน แสดงคุณสมบัติที่เป็นไดอะแมกเนติกซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางด้านแม่เหล็ก นอกจากนี้จากการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินที่เป็นหิน โผล่หรือหินหลุดลอย รวมทั้งสิ้น 6 ตำแหน่ง ทำให้ทราบ ว่าหินในพื้นที่ลพบุรีส่วนใหญ่เป็นหินที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ค่อนข้างต่ำ ไม่ก่อให้เกิดค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีค่าสูง ดังนั้นค่าผิดปกติที่มีค่าสูงที่เกิดขึ้นในพื้นที่อาจจะเป็นผลมาจากโครงสร้างของหินแกบโบรที่หนูนอยู่ด้านล่างเหมือนกับ ตำแหน่ง M1 พิกัด 675,051E และ 1,668,994N ที่พบหินแกบโบรซึ่งถูกปิดทับด้วยตะกอนทับถมในบริเวณที่ราบทางตอนเหนือของพื้นที่ศึกษาตรงกับตำแหน่งที่แสดงค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีค่าสูง

ตารางที่ 3.1 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (k), ค่าแมกนีไทเซชันคงค้างธรรมชาติ (NRM), ค่า Königsberger ratio (Q-value) และค่าพารามิเตอร์แอนไอโซทรอปี

Site	N	Susceptibility ($\times 10^{-6}$ SI)	NRM intensity (mA/m)	Q-value	Pj	T
		mean $\pm 1\sigma$	mean $\pm 1\sigma$	mean $\pm 1\sigma$	mean $\pm 1\sigma$	mean $\pm 1\sigma$
M1	14	179333 \pm 11104	2262 \pm 1273	0.3 \pm 0.2	1.376 \pm 0.032	0.693 \pm 0.098
M2*	14	- 8 \pm 4	0.7 \pm 1.7	-	1.161 \pm 0.437	0.150 \pm 0.527
M4*	22	-11 \pm 1	1.2 \pm 1.1	-	1.026 \pm 0.014	-0.177 \pm 0.412

เมื่อ N คือจำนวนชิ้นตัวอย่างสำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ย และ Pj และ T เป็นพารามิเตอร์แอนไอโซทรอปีของ Jelinek (1981)

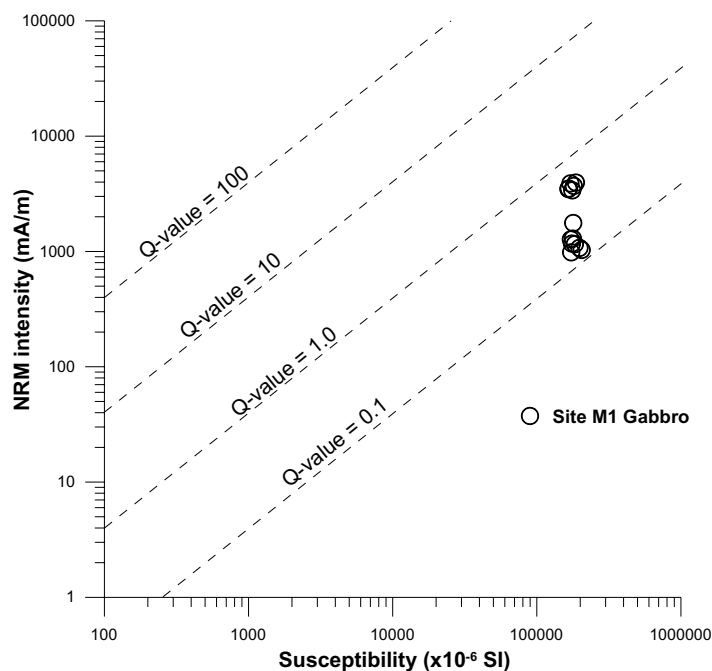
หมายเหตุ M2* และ M4* ไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากไม่มีนัยสำคัญทางด้านแม่เหล็ก

3.1.2 ผลเสถียรภาพทางแม่เหล็กของตัวอย่างหิน

ค่า Königsberger ratio หรือค่า Q-value ของตัวอย่าง หิน สามารถคำนวณได้จากสมการ $Q4\ value = \frac{NRM}{40000k}$ โดย NRM คือ แมกนีไทเซชันคงค้างธรรมชาติในหน่วย มิลลิแอมแปร์ต่อเมตร และ k คือ ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (ในระบบ SI ไม่มีหน่วย) ซึ่งค่า Q-value จะแสดงถึงเสถียรภาพของแมกนีไทเซชันคงค้าง โดยถ้า $Q-value > 1$ แสดงถึงแมกนีไทเซชันคงค้างในหินมีเสถียรภาพสูง สามารถเก็บรักษาอำนาจแม่เหล็กคงค้างไว้ได้นาน (Collinson, 1983) นอกจากนี้ค่า Q-value ยังสามารถบอกได้ถึงชนิดของหินอัคนี ซึ่งถ้าค่า $Q-value < 1$ มักเป็นหินอัคนีแทรกซอน แต่ถ้าค่า $Q-value > 1$ มักเป็นหินอัคนีพุ (Books, 1962) ซึ่งในที่นี้ค่า Q-value ของตัวอย่างหินแกรบอร์ จากตำแหน่ง M1 มีค่า Q-value เฉลี่ยเท่ากับ 0.3 ± 0.2 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงแมกนีไทเซชันคงค้างในหินชนิดนี้มีเสถียรภาพที่ต่ำ (low stability of NRM) ซึ่งอำนาจแม่เหล็กคงค้างสามารถถูกลบล้างได้ง่าย และเป็นหินอัคนีแทรกซอน

ตารางที่ 3.2 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหิน โผล่หรือหินหลุดลอยในพื้นที่ศึกษา

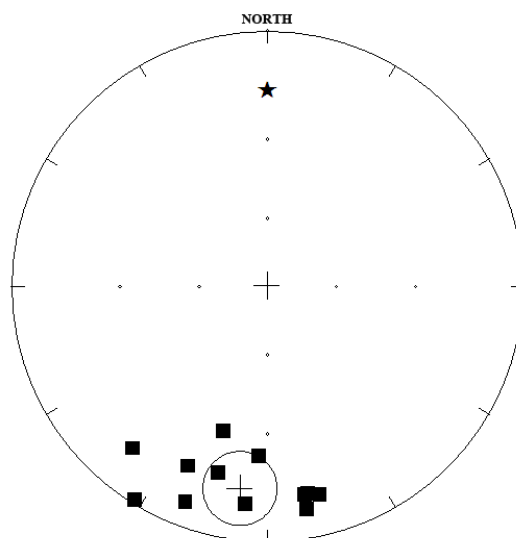
Site	Sample	N	Density (g/cm ³)	Susceptibility (x10 ⁻⁶ SI)	Rock type
			mean ± 1σ	mean ± 1σ	
<i>Gabbro</i>	M1	8	2.67 ± 0.24	131129 ± 15525	Gabbro
<i>Khao Thap Khwi</i>					
M3	M3-01	5	2.66 ± 0.03	24474 ± 638	Diorite (very mafic)
	M3-02	5	2.64 ± 0.02	21747 ± 2509	Diorite (very mafic)
	M3-03	5	2.64 ± 0.06	221 ± 64	Granodiorite
	M3-04	10	2.50 ± 0.05	114 ± 69	Marble
	M3-05	5	2.64 ± 0.04	496 ± 154	Rhyolitic tuff
	M3-06	10	2.52 ± 0.04	-1.12 ± 3.09	Calcite
<i>Khao Phra Ngam</i>					
N1	N1-01	5	2.85 ± 0.14	713 ± 83	Diorite
	N1-02	5	2.70 ± 0.06	328 ± 29	Diorite
	N1-03	5	2.95 ± 0.07	428 ± 18	Glossular, Saponite
	N1-04	5	2.36 ± 0.05	-3.90 ± 6	Quartz
N2	N2-01	5	2.59 ± 0.09	1115 ± 573	Hornblende diorite
	N2-02	5	2.52 ± 0.05	300 ± 44	Diorite
	N2-03	5	2.56 ± 0.03	1489 ± 559	Diorite
	N2-04	5	2.62 ± 0.02	2978 ± 1516	Hornblende diorite
	N2-05	5	2.62 ± 0.08	692 ± 144	Hornblende diorite
	N2-06	10	2.40 ± 0.06	-9.31 ± 2	Quartz
<i>Khao Sa Phan Nak</i>					
Q1	Q1-01	5	2.59 ± 0.04	158 ± 3	Albite, Diopside
	Q1-02	5	2.57 ± 0.02	91 ± 22	Albite, Diopside, Biotite
	Q1-03	15	2.59 ± 0.03	75 ± 18	Albite, Diopside
Q2	Q2-01	5	2.59 ± 0.03	486 ± 111	Hornfels
	Q2-02	5	2.52 ± 0.02	7729 ± 2795	Granodiorite
	Q2-03	5	2.91 ± 0.02	338 ± 20	Rhyolitic tuff
	Q2-04	5	2.92 ± 0.05	333 ± 6	Rhyolitic tuff
	Q2-05	10	2.70 ± 0.09	217 ± 24	Rhyolitic tuff
<i>Khao Phu Kha</i>					
P1	P1-01	10	2.44 ± 0.03	52 ± 12	Albite, Diopside
	P1-02	5	2.84 ± 0.03	795 ± 78	Hornfels
	P1-03	5	2.48 ± 0.03	133 ± 25	Albite, Microcline, Hedebergite
	P1-04	10	2.47 ± 0.04	96 ± 93	Limestone



ภาพประกอบที่ 3.1 กราฟแสดงค่า k , NRM และ Q-value ของตัวอย่างหินแกรบิโอ

3.1.3 ผลทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ

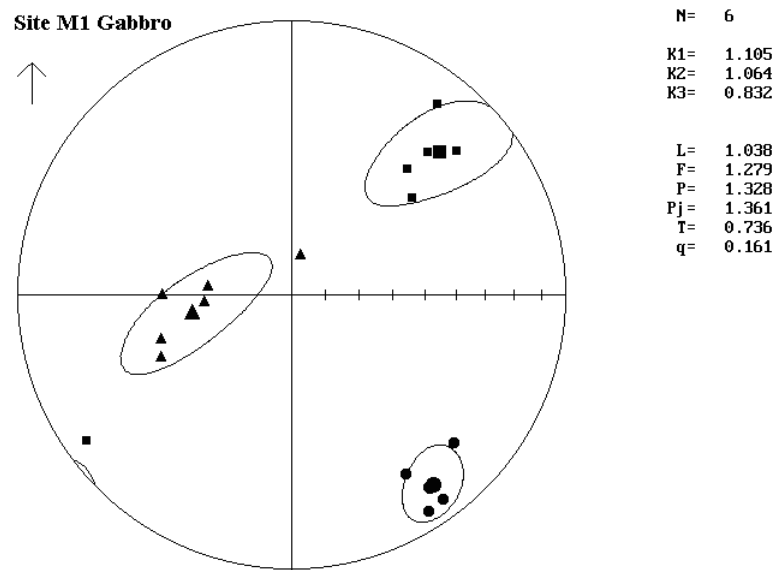
ผลของทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ (NRM) ของหินแกรบิโอ จำนวน 14 ชิ้นตัวอย่าง แสดงบนกราฟสเตอริโอกราฟิก โดยที่สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมปิดแทนมุมเท ที่มีค่าเป็นบวก และดาวสี่ด้ามแทนทิศทางของสนามแม่เหล็กโลก ปัจจุบัน มีค่ามุมบ่าเบน อยู่ที่ 0 องศา และมีค่ามุมเท อยู่ที่ 14 องศา แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.2 ซึ่งทิศทางของ NRM ที่พบจะมีทิศทางที่ตรงกันข้ามกับทิศทางของสนามแม่เหล็กโลกปัจจุบัน บ่งบอกถึงสนามแม่เหล็กในอดีตมีการกลับขั้ว โดยค่าเฉลี่ยของทิศทาง NRM ของหินแกรบิโอ มีค่ามุมบ่าเบนอยู่ที่ 187.8 องศา และมีค่ามุมเท อยู่ที่ 12.9 องศา โดยมีขอบเขตวงกลมที่แสดงระดับความเชื่อมั่น 95% (ζ_{95}) เท่ากับ 10.1 องศา จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของทิศทาง NRM ของหินแกรบิโอพบว่าทิศทาง NRM มีทิศทางที่ตรงกันข้ามกับทิศทางของสนามแม่เหล็กโลกประมาณ 180 องศา และอยู่ในแนวเดียวกันกับ แกนของสนามแม่เหล็กโลก ปัจจุบัน เพราะฉะนั้น อิทธิพลของ ทิศทาง NRM จึงไม่ส่งผลกระทบต่อรูปร่างของค่าผิดพลาดทางแม่เหล็กในการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กเกี่ยวกับการกำหนดตำแหน่งและขอบเขต แต่อาจส่งผลต่อการแปลความเกี่ยวกับการประมาณความลึก และค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก ที่ถูกต้อง เนื่องจาก ขนาดของแมกนีไทเซชันรวมจะเป็นตัวกำหนดแอมพลิจูดของค่าผิดพลาดทางแม่เหล็กซึ่งสัมพันธ์กับค่าความลึก และสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Sutton and Mumme, 1957; Roest and Pilkington, 1993)



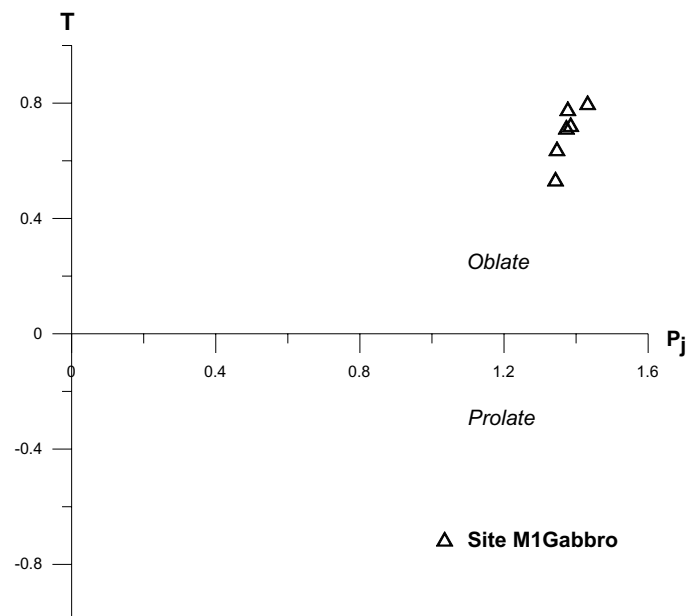
ภาพประกอบที่ 3.2 ทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติของตัวอย่างหินแกรบโบร

3.1.4 ผลทิศทางของ AMS และพารามิเตอร์แอนไอโซทรอปี Pj-T

ผลของทิศทางของแอนไอโซทรอปีของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (AMS) ของตัวอย่างหินแกรบโบร จำนวน 6 ชิ้นตัวอย่าง แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.3 แสดงผลของทิศทางการวางตัวของทรงรีของค่า k (susceptibility ellipsoid) ในทิศทางของ 3 แกนหลัก (principal axis) คือ k_{\max} (■), k_{int} (▲) และ k_{\min} (●) บนกราฟสเตอริโอกราฟิก โดยทิศทางของแกนหลักของค่า k แสดงลักษณะที่จับกลุ่มกันดี มี ขนาดของค่า k_{\max} เท่ากับ 1.105, k_{int} เท่ากับ 1.064 และ k_{\min} เท่ากับ 0.832 และมีขอบเขตวงรีที่แสดงระดับความเชื่อมั่น 95% (ζ_{95}) ที่ไม่กว้างมาก ซึ่งจากการวิเคราะห์ขนาดของค่า k ที่เป็นแกนหลัก พบว่าค่าของ k_{\max} มีค่าประมาณเท่ากับค่าของ k_{int} และมีค่ามากกว่า k_{\min} จะแสดงลักษณะทรงรีของ AMS แบบแบนที่ขี้ (oblate ellipsoid) นอกจากนี้ การวิเคราะห์ลักษณะทรงรี ของ AMS สามารถพิจารณาได้จากค่า พารามิเตอร์ T หรือ shape factor ในขณะที่ค่า พารามิเตอร์ Pj จะเป็นตัวบอกระดับของสภาพแอนไอโซทรอปี (anisotropy degree) หากค่า Pj มากจะแสดงถึงสภาพแอนไอโซทรอปีค่อนข้างสูงซึ่งอาจจะ มีความสัมพันธ์ถึงแร่บางชนิดที่มีค่า Pj สูงตามธรรมชาติ (magneto-crystalline anisotropy) รูปร่างของเกรนแม่เหล็ก (shape anisotropy) และ แรงเทกโทนิคส์ (tectonic stress-induced anisotropy) เป็นต้น ผลของค่าพารามิเตอร์แอนไอโซทรอปีของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินแกรบโบร จำนวน 6 ชิ้นตัวอย่าง แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.4 ซึ่งมีค่า Pj เฉลี่ยอยู่ที่ 1.36 แสดงถึงความเป็นแอนไอโซทรอปีต่ำ ในขณะที่ค่า T ที่ใช้แสดงลักษณะทรงรีของ AMS มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.74 ซึ่งมีค่ามากกว่าศูนย์ ($T > 0$) บ่งบอกถึงลักษณะทรงรีของ AMS แบบแบนที่ขี้



ภาพประกอบที่ 3.3 การกระจายทิศทางทรงรีของแอนไอโซทรอปีของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินแกบโบร

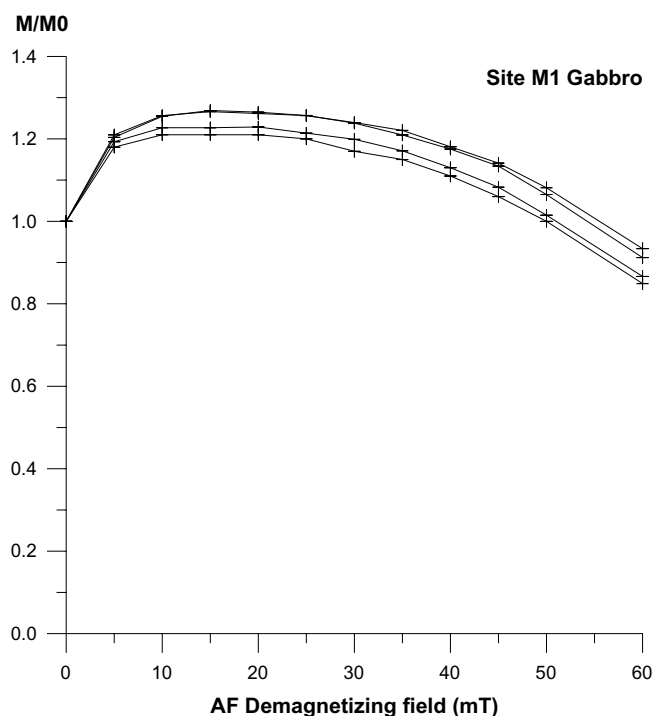


ภาพประกอบที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ Pj กับ T ของตัวอย่างหินแกบโบร

3.1.5 ผลการลบล้างแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติด้วยสนามแม่เหล็กสลับ

ผลจากการลบล้างแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ (NRM) ด้วยสนามแม่เหล็กสลับของตัวอย่างหินแกรนิตจำนวน 4 ชิ้นตัวอย่าง แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.5 จากการศึกษารูปแบบการลดลงของค่าความเข้มแมกนีไทเซชันตกค้างในระหว่างการลบล้างอำนาจแม่เหล็กแบบเป็นขั้นๆ ของตัวอย่างหินแกรนิต พบว่า ไม่สามารถที่จะลบล้างความเข้มของแมกนีไทเซชันตกค้างให้เหลือครึ่งหนึ่งหรือ 50% ได้แม้จะใช้สนามที่ 60 mT แล้วก็ตาม โดยตัวอย่างหินแกรนิตจะแสดง coercivity (h_c) ของแมกนีไทเซชันตกค้างที่ต่ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของค่าแมกนีไทเซชันตกค้างที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการลบล้าง ที่สนามแม่เหล็กต่ำระดับ 5-10 มิลลิเทสลา แสดงถึงแมกนีไทเซชันตกค้างในหินชนิดนี้มีเสถียรภาพที่ต่ำ ถูกลบล้างได้ง่าย ซึ่งเป็นจริงสอดคล้องกับค่า Q-value เฉลี่ยที่มีค่าต่ำเท่ากับ 0.3 ± 0.2 โดยแมกนีไทเซชันตกค้างที่ถูกลบล้างได้ง่ายที่สนามแม่เหล็กต่ำนี้เป็นส่วนขององค์ประกอบแมกนีไทเซชันตกค้างทุติยภูมิที่เกิดจาก viscous remanent magnetization (VRM) แสดง coercivity (h_c) ของแมกนีไทเซชันตกค้างที่ต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะของโดเมนแม่เหล็กแบบหลายโดเมน (multidomain, MD) ในขณะที่ส่วนขององค์ประกอบ ที่แสดงลักษณะเฉพาะของแมกนีไทเซชันตกค้าง (characteristic NRM, ChRM) ที่แสดง coercivity (h_c) ของแมกนีไทเซชันตกค้างที่ระดับปานกลางถึงสูง ที่สนามแม่เหล็ก ระดับ 20-50 มิลลิเทสลา บ่งบอกถึงส่วนขององค์ประกอบที่แสดงลักษณะเฉพาะของแมกนีไทเซชันตกค้าง (ChRM) ที่สามารถรักษาแมกนีไทเซชันตกค้าง ไว้ได้ดีซึ่งอาจจะเป็นแมกนีไทเซชันตกค้างปฐมภูมิที่เกิดจาก thermoremanent magnetization (TRM) ที่ได้รับมาเมื่อหินแข็งตัวและเย็นตัวผ่านอุณหภูมิคูรีภายใต้สนามแม่เหล็กภายนอกในอดีต ซึ่ง coercivity (h_c) ของแมกนีไทเซชันตกค้างที่ระดับปานกลางถึงสูง เป็นลักษณะของโดเมนแม่เหล็กแบบโดเมนเดี่ยว (single domain grain, SD) หรือแบบโดเมนเดี่ยวเทียม (pseudo-single domain, PSD) (Butler, 1992; Dunlop and Ozdemir, 1997)

ลักษณะที่เพิ่มขึ้นของค่าความเข้มแมกนีไทเซชันตกค้างที่เกิดขึ้น ในระหว่างการลบล้างที่สนามแม่เหล็กต่ำระดับ 5-10 มิลลิเทสลา เป็นผลมาจากแมกนีไทเซชันรวมของเวกเตอร์ ที่ได้จากการลบล้างส่วนขององค์ประกอบแมกนีไทเซชันตกค้างทุติยภูมิ (VRM) ที่ได้รับมาที่สนามแม่เหล็กภายนอก ณ ปัจจุบัน ซึ่งมีขนาดที่น้อยกว่าและมีทิศทางที่ตรงกันข้ามกับ ส่วนขององค์ประกอบที่แสดงลักษณะเฉพาะของแมกนีไทเซชันตกค้าง (ChRM) ที่ได้รับมาในระหว่างเวลาที่สนามแม่เหล็กภายนอกมีการกลับขั้วแม่เหล็ก สอดคล้องกับ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ ก่อนหน้านี้ ที่บ่งบอก ถึงสนามแม่เหล็กในอดีตมีการกลับขั้วแม่เหล็ก



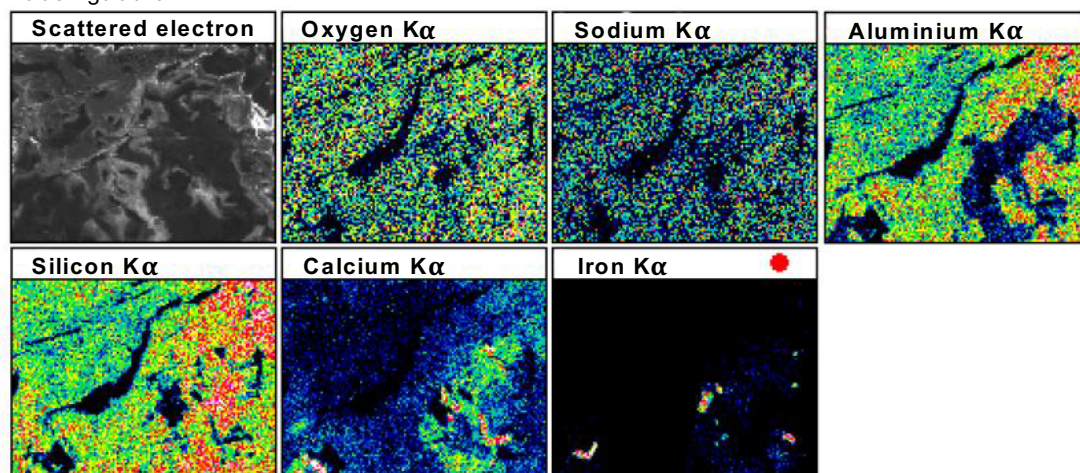
ภาพประกอบที่ 3.5 กราฟแสดงการลบล้างแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติด้วยสนามแม่เหล็กสลับของตัวอย่างหินแกรบิโอ

3.1.6 ผลการวิเคราะห์หาธาตุประกอบด้วย SEM-EDX

ผลการวิเคราะห์ของตัวอย่างหินแกรบิโอแบบชิ้นบางซึ่งได้จัดส่งให้ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทำการวิเคราะห์หาธาตุประกอบในตัวอย่างหิน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ร่วมกับเครื่องรังสีเอกซ์ เรืองแบบกระจายพลังงาน (EDX) ที่ระดับกำลังขยายสูง 300 เท่า สำหรับการวิเคราะห์หาธาตุที่มีความสำคัญบางชนิดของแร่ทางแม่เหล็ก เช่น เหล็ก (Fe) ไทเทเนียม (Ti) และ ซัลเฟอร์ (S) เป็นต้น แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.6 จากภาพรังสีเอกซ์เรืองแสดงให้เห็นถึงการมีอยู่ของธาตุออกซิเจน (O) โซเดียม (Na) อะลูมิเนียม (Al) ซิลิกอน (Si) แคลเซียม (Ca) และเหล็ก (Fe) โดยธาตุซิลิกอน ออกซิเจน และแคลเซียมแสดงอยู่ในผลึกแร่เดียวกันซึ่งบ่งชี้ถึงแร่โวลลาสโทไนต์ (CaSiO_3) เป็นแร่ประกอบในหินธาตุเหล็กและออกซิเจนแสดงอยู่ในผลึกแร่เดียวกันซึ่งบ่งชี้ถึงแร่ กลุ่มเหล็กออกไซด์ แมกนีไทต์ (Fe_3O_4) ซึ่งเป็นแร่ประกอบหินที่มีความสำคัญ และมีบทบาทเกี่ยวกับสมบัติทางแม่เหล็ก (Bhongsuwan and Ponathong, 2002) นอกจากนี้ธาตุ แคลเซียม อะลูมิเนียม และซิลิกอน ซึ่งแสดงอยู่ในผลึกแร่เดียวกันซึ่งบ่งชี้ถึงแร่กลุ่มเฟลด์สปาร์ชนิดแพลจิโอเคลส ที่มีแคลเซียม สูง ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) เช่น แลบราโดไรต์ และไบโทไวไนต์ และแร่กลุ่มไพรอกซีน ($\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})(\text{Al}, \text{Si})_2\text{O}_6$) เช่น

ออไรต์ ซึ่งโดยทั่วไปแร่กลุ่มเฟลด์สปาร์ (แลบราโดไรต์ และ ไบโทวไนต์) และแร่กลุ่มไพรอกซีน (ออไรต์) รวมถึงแร่กลุ่มเหล็กออกไซด์ (แมกนีไทต์) มักเป็นแร่ประกอบหิน พื้นฐานที่พบ ในหิน แกบโบร (Thompson and Oldfield, 1986)

Label: gabbro



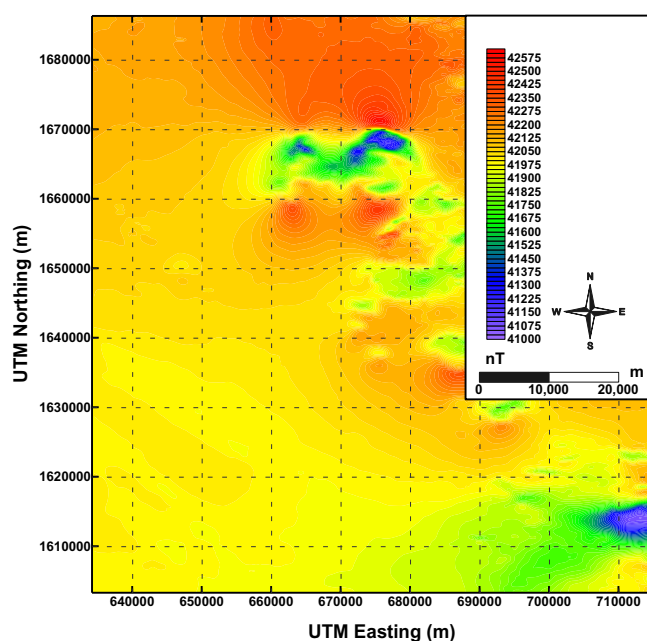
ภาพประกอบ ที่ 3.6 ภาพการกระเจิงอิเล็กตรอนและภาพรังสีเอกซ์เรือง ที่ปล่อยออกมาจาก หินประกอบในตัวอย่างหินแกบโบร

3.2 ผลการทำกรรมวิธีข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ

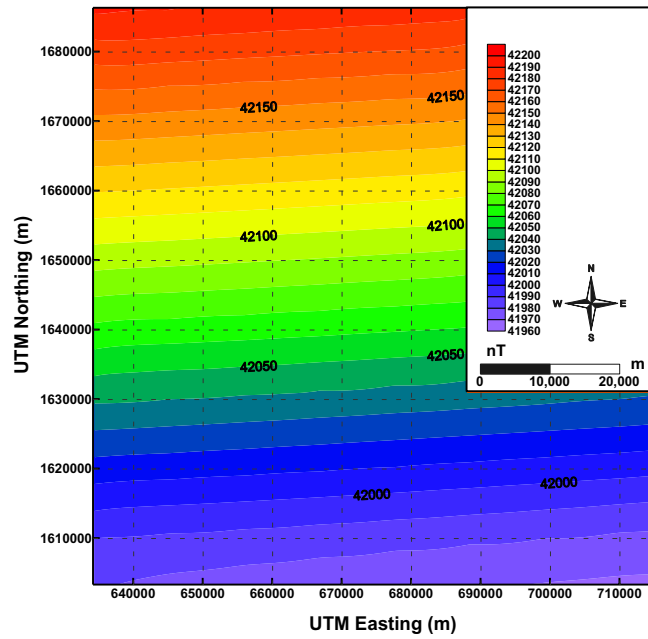
3.2.1 ผลข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กทางอากาศ

ข้อมูลค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศของพื้นที่ลพบุรี ซึ่งได้จากการบินสำรวจ แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.7 มีระยะห่างระหว่างเส้นคอนทัวร์ 25 นาโนเทสลา แสดงค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ที่มีค่าสูงประมาณ 41,000 ถึง 42,600 นาโนเทสลาเหนือพื้นที่ลพบุรี ซึ่งโดยทั่วไปค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกของพื้นที่ศึกษาจะมีค่าประมาณ 41,950 ถึง 42,200 นาโนเทสลา ดังภาพประกอบที่ 3.8 ดังนั้นค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีค่าแตกต่างไปจากค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก จึงเป็นส่วนของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่เกิดจากวัตถุ หรือหินที่มีสมบัติทางแม่เหล็กได้ผิวดิน ข้อมูล ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กทางอากาศ ของพื้นที่ศึกษา แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.9 ที่ได้จากการนำค่าสนามแม่เหล็กโลกที่คำนวณได้จากสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากล (IGRF) ในปี ค.ศ. 1980 ณ ตำแหน่งต่างๆ ของพื้นที่ ศึกษาไปหักลบออกจากค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศที่ได้จากการบินสำรวจในปี ค.ศ. 1980 ข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กทางอากาศแสดงให้เห็นถึงค่าผิดปกติที่มีทั้งค่าที่เป็นค่าบวก (ค่าสูงกว่า IGRF) และค่าที่เป็นค่าลบ

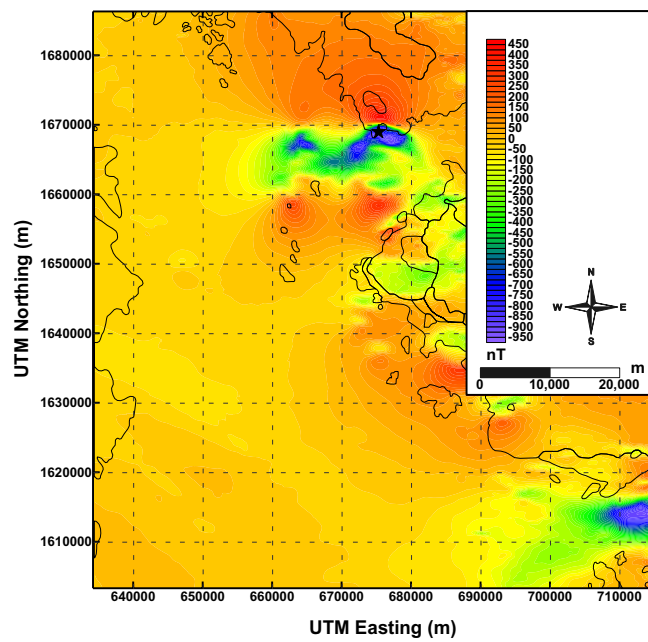
(ค่าต่ำกว่า IGRF) มีค่าประมาณ 450 ถึง -950 นาโนเทสลา โดยทั่วไปแล้วในกรณีพื้นที่ทำการสำรวจ อยู่ในบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก หรือที่บริเวณละติจูดต่ำๆ มุมเอียง (inclination) ของ สนามแม่เหล็กโลกมีค่าประมาณ 0 องศา ค่าผิดปกติที่แสดงค่าเป็นลบสูงจะสัมพันธ์กับตำแหน่งของ แหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูง ในที่นี้พื้นที่ลพบุรีตั้งอยู่ที่ละติจูด ประมาณ 14 องศา เป็นบริเวณที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร จากข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กทางอากาศ แสดงให้เห็นถึงค่าผิดปกติ ที่มีค่าเป็นลบสูงมีค่าประมาณ -100 ถึง -950 นาโนเทสลา สามารถ สังเกตเห็นได้ชัดเจนอยู่สองบริเวณ คือ ทางตอนเหนือของพื้นที่ระหว่างพิกัด 660,000 ถึง 680,000 E และ 1,660,000 ถึง 1,670,000 N และทางตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ ระหว่างพิกัด 700,000 ถึง 715,000 E และ 1,610,000 ถึง 1,620,000 N ซึ่งค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก ทั้งสองบริเวณนี้ ไม่มีความ สอดคล้องกับข้อมูลลำดับชั้นหินที่แสดงในแผนที่ธรณีวิทยาเพราะว่าพื้นที่ตรงบริเวณนี้ส่วนใหญ่จะ ประกอบไปด้วย ตะกอนทับถมและ หินปูน ซึ่ง โดยทั่วไปจะมีค่า สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ต่ำ นอกจากนี้บริเวณทางตอนกลางของพื้นที่ระหว่างพิกัด 670,000 ถึง 688,000 E และ 1,635,000 ถึง 1,660,000 N ยังแสดงค่าผิดปกติไปตามแนวขอบของหินอัคนีแทรกซอน มีค่าประมาณ -100 ถึง -400นาโนเทสลา มีแนวการวางตัวส่วนใหญ่อยู่ในแนวตะวันออก -ตะวันตก และ ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ภาพประกอบที่ 3.9)



ภาพประกอบที่ 3.7 แผนที่ภาพคอนทัวร์แสดงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศของพื้นที่ลพบุรี



ภาพประกอบที่ 3.8 แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกของพื้นที่ลพบุรี

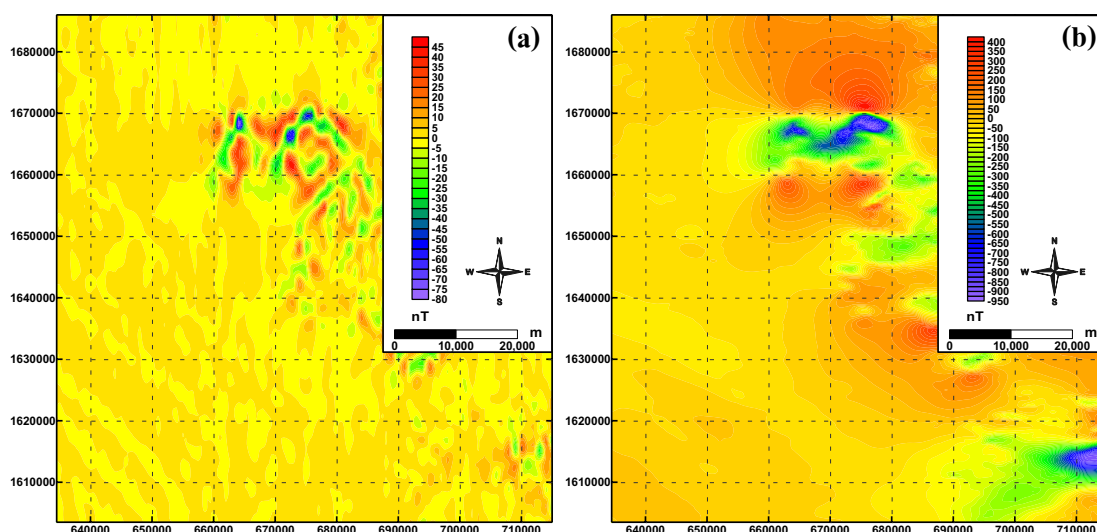


ภาพประกอบที่ 3.9 แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กซ้อนทับกับแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ลพบุรี

3.2.2 ผลการกรองสัญญาณรบกวน

3.2.2.1 ผลการทำกรรมวิธี Decorrugation

ผลที่ได้จากการกรองสัญญาณรบกวนที่เกิดจากตัวเครื่องบินหรือระดับความสูงในการบินสำรวจไม่คงที่ ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่สูง ด้วย กรรมวิธี decorrugation แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.10 แสดงให้เห็นถึงสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะเป็นวงเล็กๆ ต่อเนื่อง ในแนวเหนือ-ใต้ และมีทิศทางขนานไปกับแนวการบินสำรวจ มีค่าประมาณ 45 ถึง -80 นาโนเทสลา (ภาพประกอบที่ 3.10a) จากการเปรียบเทียบผลข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กทางอากาศ ก่อนการกรองสัญญาณรบกวน (ภาพประกอบที่ 3.9) กับข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กทางอากาศ ภายหลังการกรองสัญญาณรบกวน (ภาพประกอบที่ 3.10b) ผลที่ได้ยังคงแสดงค่าผิดปกติที่มีลักษณะและรูปร่างที่เหมือนเดิมเนื่องจากค่าผิดปกติที่ถูกกรองออกไปเป็นสัญญาณความถี่สูงจึงไม่ส่งผลต่อค่าผิดปกติที่สัมพันธ์ถึง โครงสร้างในระดับลึก (Phillips, 2002)



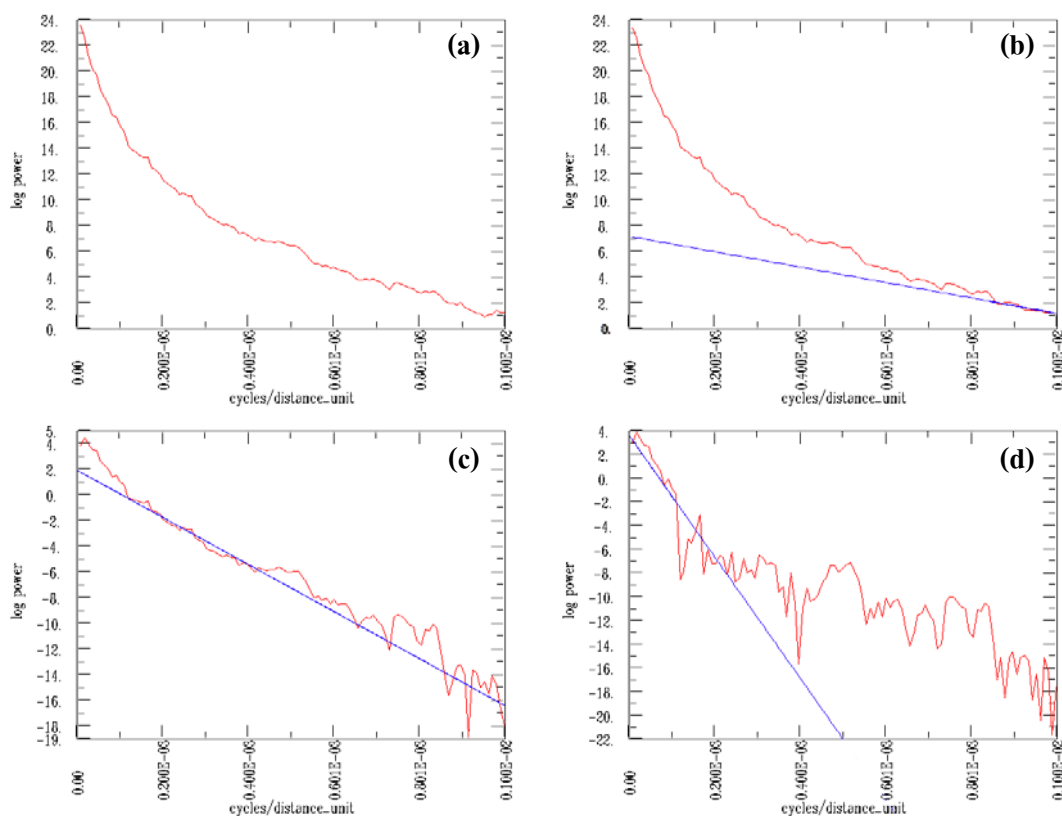
ภาพประกอบที่ 3.10 แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กของการทำ กรรมวิธี decorrugation, (a) สัญญาณรบกวนในแนวเหนือ -ใต้, (b) ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก ภายหลังการกรองสัญญาณรบกวน

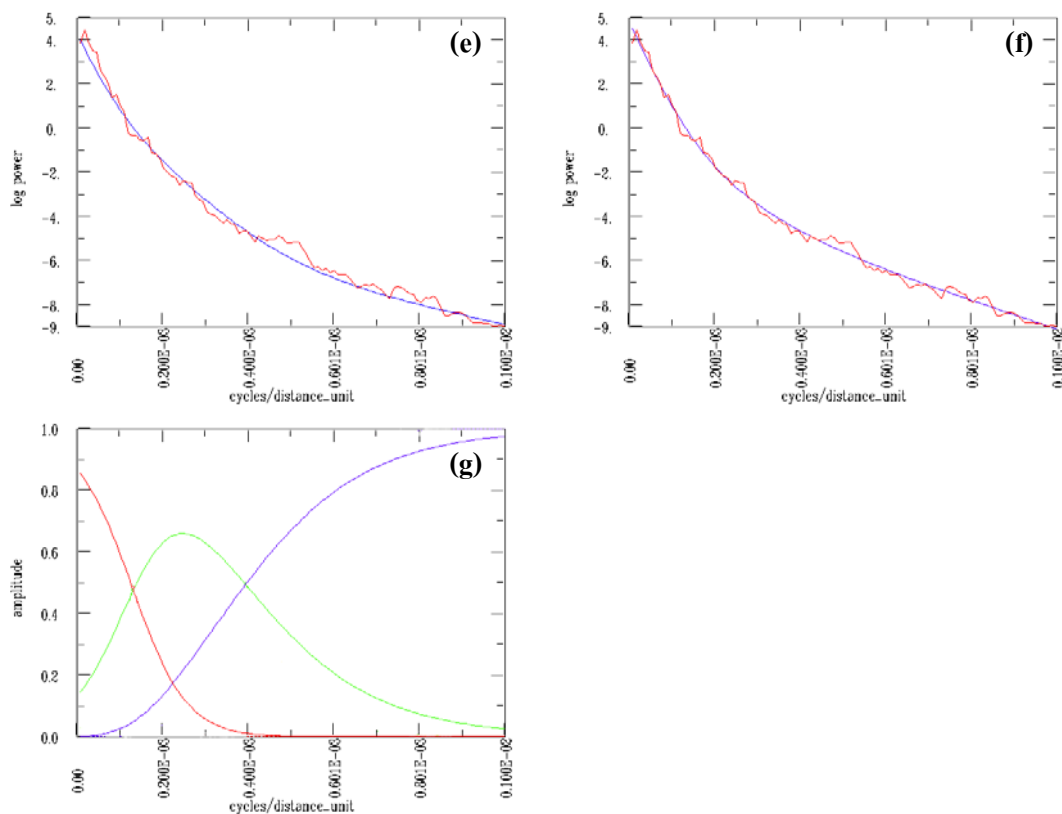
3.2.2.2 ผลการทำกรรมวิธี Matched Band-pass Filtering

ผลที่ได้จากการคำนวณ สเปกตรัม กำลัง (power spectrum) ของค่าผิดปกติ สนามแม่เหล็ก ทางอากาศ สำหรับวัตถุแต่ละชนิด ในขั้นตอนการ Design filters แสดงกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่าง สเปกตรัม กำลัง ลอการิทึม (log power spectrum) กับส่วนประกอบเลขคลื่น (wavenumber) ในหน่วยรอบต่อเมตร แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.11 โดยที่กราฟ สเปกตรัม กำลัง ลอการิทึมของข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กทางอากาศ จะแสดงค่าความชันที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามความลึกของแหล่งที่ให้ค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก (ภาพประกอบที่ 3.11a) ซึ่งสามารถที่จะ แยกผลลัพธ์ที่เกิดจากวัตถุที่ระดับตื้นออกจากวัตถุที่ระดับลึก ได้จากการพิจารณา ค่าความชันของกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมกำลังลอการิทึมกับส่วนประกอบเลขคลื่น (Phillips, 2001) สามารถแยกออกได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่มีค่าสเปกตรัมกำลังที่ต่ำมากความชันเกือบราบ และแสดงค่าเลขคลื่นที่มีค่ามากๆ ที่มีความสอดคล้องกับความยาวคลื่นสั้นจะ เป็นส่วนของสัญญาณรบกวน (ภาพประกอบที่ 3.11b) ส่วนที่มีความชันปานกลางมีค่าสเปกตรัมกำลังที่ต่ำและแสดงค่าเลขคลื่นที่มีค่าปานกลาง ที่สอดคล้องกับความยาวคลื่นปานกลางจะสัมพันธ์กับ โครงสร้างทางธรณีวิทยาหรือ แหล่งปลูกสร้างใกล้ผิวดิน (ภาพประกอบที่ 3.11c) และส่วนที่มีความชันที่สูงมีค่า สเปกตรัม กำลังที่สูงและแสดงค่าเลขคลื่นที่มีค่าน้อยๆ ที่สอดคล้องกับความยาวคลื่นยาวจะสัมพันธ์กับ โครงสร้างทางธรณีวิทยาหรือแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กในระดับลึก (ภาพประกอบที่ 3.11d) ซึ่งผลที่ได้จากการ แยกกราฟของ สเปกตรัม กำลังของแต่ละช่วง สัญญาณ จะถูกนำมารวมกัน (ภาพประกอบที่ 3.11e) และแก้ไขโดยวิธีกำลังสองน้อยสุด (least-squares method) กระทำซ้ำ จน ได้กราฟที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลสเปกตรัมกำลังของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก มากที่สุด (ภาพประกอบที่ 3.11f) ซึ่งผลลัพธ์สุดท้ายจะแสดงให้เห็นแอมพลิจูดของสัญญาณที่แยกออกจากกันของแต่ละช่วงความยาวคลื่นซึ่งมีความ สัมพันธ์กับระดับความลึก ของแหล่งที่ให้ค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก (ภาพประกอบที่ 3.11g) ซึ่งค่าความลึก แอมพลิจูด และความยาวคลื่นที่ประมาณได้จากวิธีนี้แสดงไว้ดังตารางที่ 3.3

ผลที่ได้จาก การ แยกค่าสนามแม่เหล็กผิดปกติของแต่ละช่วงความยาวคลื่น ซึ่ง สัมพันธ์กับระดับความลึกของแหล่งที่ให้ค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.12 ข้อมูล ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่มีความยาวคลื่นยาว (ภาพประกอบที่ 3.12a) แสดงค่าผิดปกติ สนามแม่เหล็กที่มีค่า 250 ถึง -650 นาโนเทสลา เป็นค่าผิดปกติที่เกิดจาก โครงสร้างทางธรณีวิทยา หรือแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กในระดับลึกมีค่าประมาณ 1,200 ถึง 3,200 เมตร เทียบจากผิวดิน ข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่มีความยาวคลื่นปานกลาง (ภาพประกอบที่ 3.12b) แสดงค่าผิดปกติ สนามแม่เหล็กที่มีค่า 350 ถึง -450 นาโนเทสลา เป็นค่าผิดปกติที่เกิดจากโครงสร้างทางธรณีวิทยา หรือแหล่งปลูกสร้างใกล้ผิวดิน อยู่ที่ระดับลึกประมาณ 200 ถึง 1,200 เมตร เทียบจากผิวดิน และ

ข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่มีความยาวคลื่นสั้น (ภาพประกอบที่ 3.12c) แสดงค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่มีค่า 80 ถึง -80 นาโนเทสลา เป็นค่าผิดปกติที่เกิดจากสัญญาณรบกวนของวัตถุทางแม่เหล็กขนาดเล็กใกล้ผิวดินอยู่ที่ระดับลึกประมาณ 200 เมตร ถึงผิวดิน (Phillips, 2001) นอกจากนี้ผลที่ได้จากการนำเอาข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่มีความยาวคลื่นสั้นมาทำการหักลบออกจากข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวน จากกระบวนการ decorrugation (ภาพประกอบที่ 3.10b) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็น ข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก ที่ผ่านการกรองความถี่ต่ำผ่าน (low pass filtering) สัมพันธ์ถึงโครงสร้างที่ระดับลึกประมาณ 200 ถึง 3,200 เมตร เทียบจากผิวดิน (ภาพประกอบที่ 3.12d) สำหรับใช้ในการแปลความข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดขอบเขตของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กในส่วนต่อไป





ภาพประกอบที่ 3.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง สเปกตรัม กำลังลอการิทึม กับส่วนประกอบเลขคลื่น

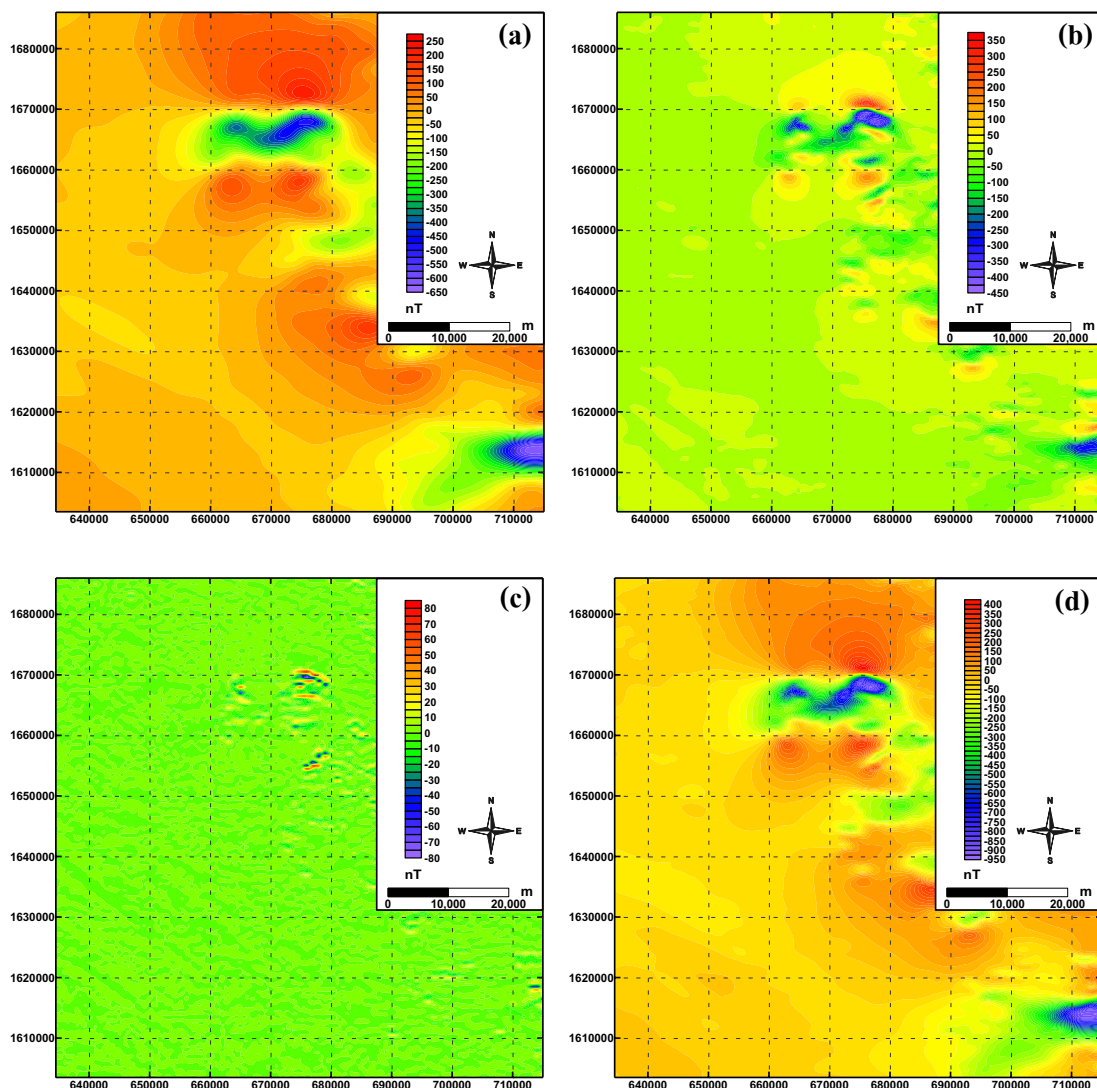
ตารางที่ 3.3 ค่าความลึก , ค่าแอมพลิจูด และค่าความยาวคลื่นที่ประมาณ ได้จากการทำ กรรมวิธี matched band-pass filtering

Depth (m)	Amplitude (nT/m)	Wavelength min (m)	Wavelength max (m)	Type*
200	103	1000	2571	0
1200	2	2571	7714	1
3200	10	7714	0	1

* 0 = dipole layer

1 = density layer or magnetic half-space

2 = density half-space

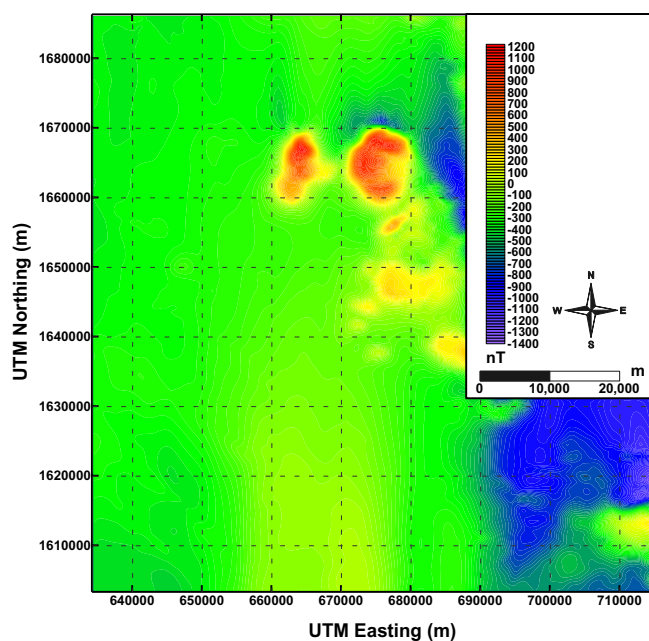


ภาพประกอบที่ 3.12 แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กของการทำกรรมวิธี matched band-pass filtering, (a) ค่าผิดปกติที่มีความยาวคลื่นยาว, (b) ค่าผิดปกติที่มีความยาวคลื่นปานกลาง, (c) ค่าผิดปกติที่มีความยาวคลื่นสั้น, (d) ค่าผิดปกติที่ผ่านการกรองความถี่ต่ำผ่าน

3.2.3 ผลการลดทอนสู่ขั้ว (Reduction to the pole, RTP)

โดยทั่วไปแล้วในการกำหนดตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็กด้วยวิธี Horizontal gradient magnitude (HGM) ของข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก จำเป็นที่จะต้องทำการลดทอนสู่ขั้ว (reduction to the pole, RTP) หรือแปลงสนามศักย์แม่เหล็กไปเป็นสนามศักย์โน้มถ่วงเทียม (pseudogravity transformation, PG) เพื่อขจัดความไม่สมมาตรที่เกิดจากทิศทางของเมกนีไทเซชัน และทิศทางของสนามแม่เหล็กไม่อยู่ในแนวตั้ง ยอดของค่าผิดปกติที่ได้ที่มีค่าเป็นบวกจะแสดงตรง

กับตำแหน่งของแหล่งที่ให้ค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก (Phillips, 2000) ซึ่งผลที่ได้จากการ ทำการลดทอนสู่ขั้ว (RTP) ของข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.13 พบว่าค่าผิดปกติที่มีค่าเป็นบวกสูงมีค่าประมาณ 100 ถึง 1,200 นาโนเทสลา สามารถแสดงให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีขอบเขตและมีลักษณะรูปร่างที่เป็นทรงกลมสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนอยู่บริเวณทางตอนเหนือของพื้นที่ศึกษา แต่จะแสดงให้เห็น ลักษณะของค่าผิดปกติที่ผิดปกติไปอย่างมากบริเวณทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งแสดงค่าผิดปกติที่มีค่าเป็นลบสูงประมาณ -500 ถึง -1,400 นาโนเทสลา และมีการกระจายออกไปเป็นพื้นที่กว้างไม่สอดคล้องกับข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กก่อนการทำการลดทอนสู่ขั้วที่ไม่ปรากฏค่าผิดปกติตรงบริเวณนี้ ซึ่งค่าผิดปกติที่ผิดปกติไปนี้เป็นผลมาจากการทำการลดทอนสู่ขั้วของข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก ในพื้นที่ที่ละติจูดน้อยกว่า 15 องศา (MacLeod et al., 1993) ซึ่งในที่นี้ พื้นที่ของจังหวัดลพบุรี ตั้งอยู่ที่ละติจูดประมาณ 14 องศา เป็นบริเวณที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ข้อมูลสนามแม่เหล็กส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูลสนามแม่เหล็กในแนวราบ ซึ่งแสดงลักษณะของค่าผิดปกติที่คล้ายคลึงกันกับลักษณะของค่าผิดปกติที่ตำแหน่งขั้วโลกใต้และมีลักษณะของค่าผิดปกติที่ค่อนข้างสมมาตร ยอดของค่าผิดปกติที่มีค่าลบ จะแสดงตรงกับตำแหน่งของแหล่งที่ให้ค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงหลีกเลี่ยงที่จะไม่ทำการลดทอนสู่ขั้วเนื่องจากอาจทำให้เกิดการผิดพลาดในการแปลความข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดขอบเขตของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็ก

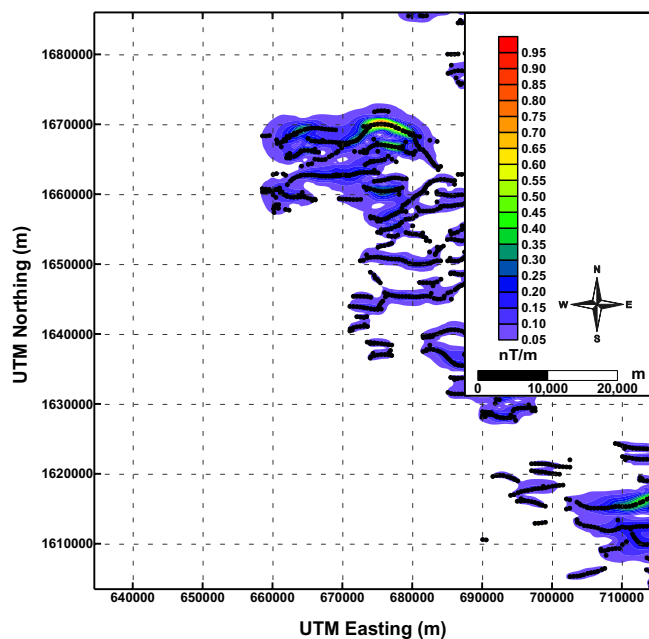


ภาพประกอบที่ 3.13 แผนภาพคอนทัวร์แสดงค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก ของการทำการรวมวิธีการลดทอนสู่ขั้ว

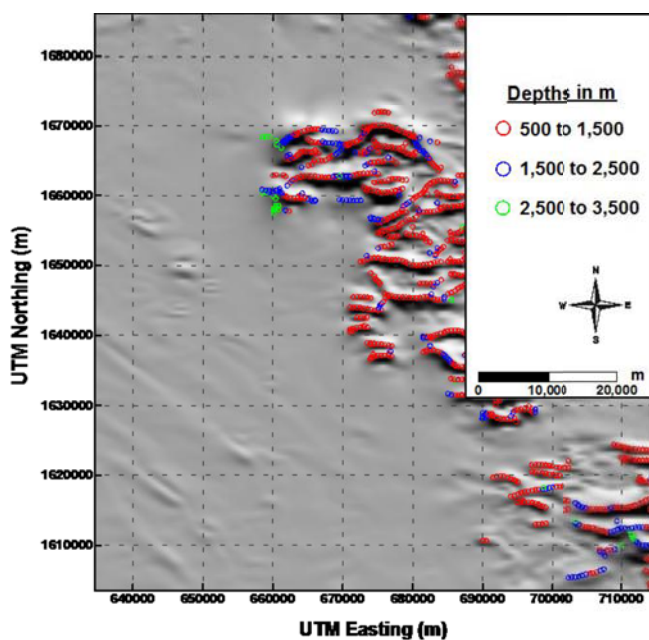
3.2.4 ผลการกำหนดขอบเขตและความความลึกของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็ก

3.2.4.1 ผลการทำกรรมวิธี Horizontal Gradient Magnitude (HGM)

ผลที่ได้จากการทำกรรมวิธี Horizontal gradient magnitude (HGM) ในการกำหนดตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็กและขอบเขตของ แหล่ง ผิดปกติทางแม่เหล็ก แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.14 แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีค่าแมกนิ จูดที่มีค่าสูง ประมาณ 0.05 ถึง 0.95 นาโนเทสลาต่อเมตร แสดงเหนือแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กในบริเวณทางตอนกลางถึงทางตอนเหนือของพื้นที่ระหว่างพิกัด 660,000 ถึง 688,000 E และ 1,630,000 ถึง 1,670,000 N และทางตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ระหว่างพิกัด 690,000 ถึง 715,000 E และ 1,610,000 ถึง 1,630,000 N ซึ่งยอดหรือค่าแมกนิจูดที่มีค่าสูงมากกว่า 0.05 นาโนเทสลาต่อเมตร จะแทนด้วยสัญลักษณ์ วงกลมสีดำ แสดงถึงตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็ก ที่มีการแยกออกจากกันในแนวตั้ง จากการวิเคราะห์ยอดหรือค่าแมกนิจูดของสัญญาณพบว่าวิธี HGM สามารถที่จะแสดงตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็ก ที่มีความต่อเนื่องและแสดงขอบเขตของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีการแยกออกจากกันในแนวตั้งได้อย่างชัดเจน มีความไวต่อสัญญาณรบกวนและอิทธิพลต่างๆ ที่เป็นสิ่งรบกวนน้อยมาก ผลจากประมาณความลึกของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กจากวิธี Horizontal gradient magnitude (HGM) แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.15 แสดงค่าแมกนิ จูดของสัญญาณ ในรูปแบบของแสง เงาที่ตำแหน่งมุมแสง ในแนวราบ 65 องศา และแนวตั้ง 40 องศา ซ้อนทับกับค่าความลึกของรอยต่อ ทางแม่เหล็ก ที่ประมาณได้แทนด้วย สัญลักษณ์ วงกลม แบ่งตาม เคนสี โดยค่าความลึกส่วนบนสุดของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่ประมาณได้ จากวิธี HGM ส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 500 ถึง 1,500 เมตร เทียบจากผิวดิน



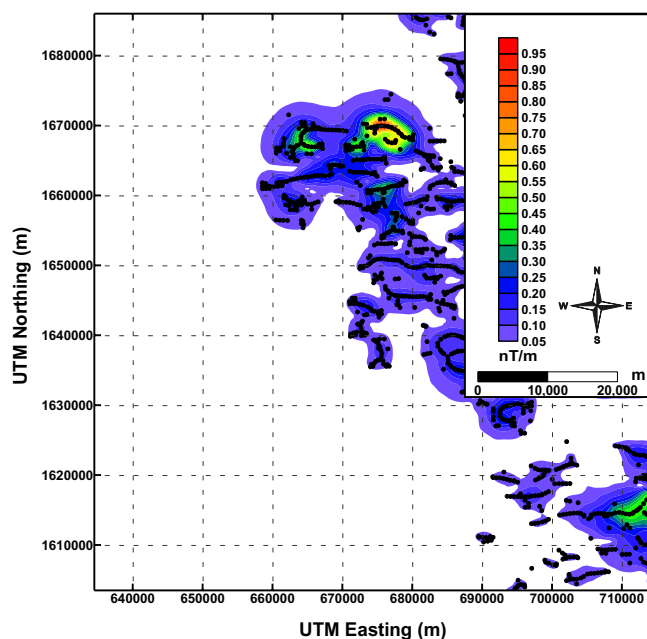
ภาพประกอบที่ 3.14 แผนภาพคอนทัวร์ ของ Horizontal gradient magnitude ซ้อนทับกับตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็ก



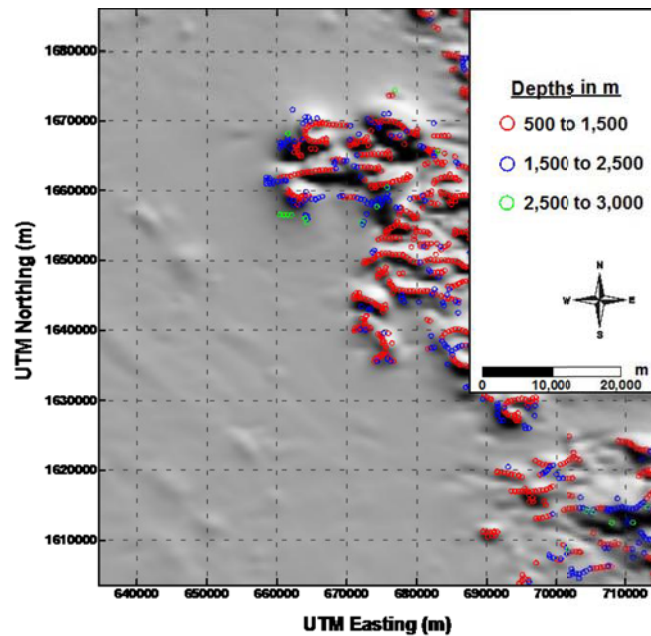
ภาพประกอบที่ 3.15 แผนภาพแสงเงาของ Horizontal gradient magnitude ซ้อนทับกับค่าความลึกของรอยต่อทางแม่เหล็ก

3.2.4.2 ผลการทำกรรมวิธี Analytic Signal (AS) หรือ Total Gradient (TG)

ผลที่ได้จากการทำกรรมวิธี Analytic signal (AS) ในการกำหนดตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็กและขอบเขตของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็ก แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.16 แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีค่าแอมพลิจูดที่มีค่าสูงประมาณ 0.05 ถึง 0.95 นาโนเทสลาต่อเมตร ซึ่งยอดหรือค่าแอมพลิจูดที่มีค่าสูงมากกว่า 0.05 นาโนเทสลาต่อเมตร แทนด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีดำ แสดงถึงตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็กที่มีการแยกออกจากกันในแนวตั้ง จากการวิเคราะห์ยอดหรือค่าแอมพลิจูดของสัญญาณพบว่าวิธี AS ให้ผลลัพธ์ในการประมาณตำแหน่งและขอบเขต ที่เหมือนกันกับวิธี HGM แต่จะแสดงตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็กที่ต่อเนื่องน้อยกว่า และมีลักษณะที่โค้งมนมากกว่าเมื่อเทียบกับวิธี HGM ส่วนผลที่ได้จากการประมาณความลึกจาก วิธี Analytic signal (AS) แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.17 แสดงค่าแอมพลิจูด ของสัญญาณในรูปแบบของแสงเงาที่ตำแหน่งมุมแสงในแนวราบ 65 องศา และแนวตั้ง 40 องศา ซ้อนทับกับค่าความลึกของรอยต่อทางแม่เหล็กที่ประมาณได้ โดยค่าความลึกส่วนบนสุดของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่ประมาณได้จากวิธี นี้ให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันกับ วิธี HGM ซึ่งส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 500 ถึง 1,500 เมตร เทียบจากผิวดิน จากความเหมือนกันของทั้งสองวิธีจึงพอที่ประเมินได้ว่าแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กของพื้นที่ส่วนใหญ่จะมีลักษณะ โครงสร้างที่เป็นชั้นหนา และมีรอยต่อที่แยกออกจากกันแนวตั้ง



ภาพประกอบที่ 3.16 แผนภาพคอนทัวร์ของ Analytic signal ซ้อนทับกับตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็ก

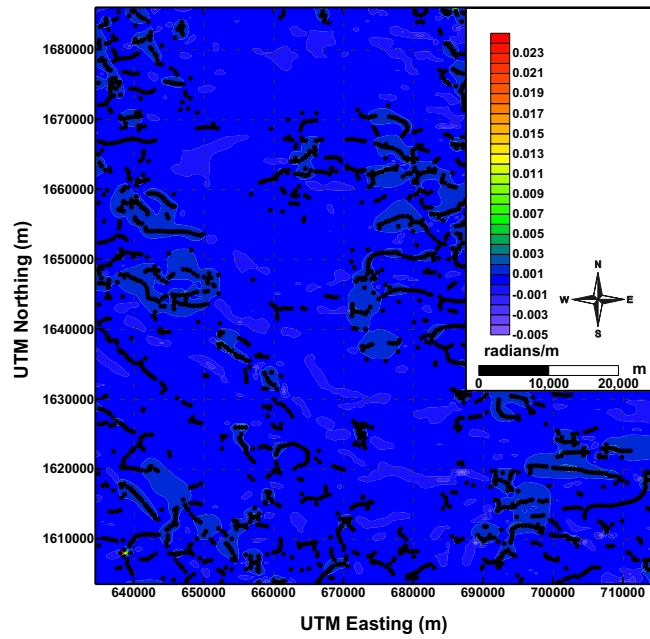


ภาพประกอบที่ 3.17 แผนภาพแสงเงาของ Analytic signal ซ้อนทับกับค่าความลึกของรอยต่อทางแม่เหล็ก

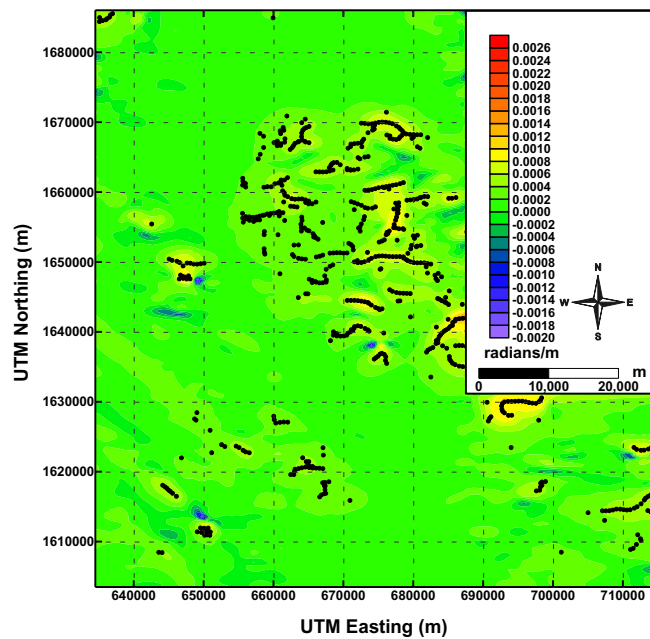
3.2.4.3 ผลการทำกรรมวิธี Local Wave-number (LW)

ผลที่ได้จากการทำกรรมวิธี Local wave-number (LW) ของข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กในการกำหนดตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็กและขอบเขตของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็ก แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.18 แสดงค่าเลขคลื่นที่มีค่าประมาณ 0.023 ถึง -0.005 เรเดียนต่อเมตร ซึ่งยอดหรือค่าเลขคลื่นที่มีค่าสูงมากกว่า 0 เรเดียนต่อเมตร จะแทนด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีดำแสดงถึงตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็กที่มีการแยกออกจากกันในแนวตั้ง จากการวิเคราะห์ยอดหรือค่าเลขคลื่นของสัญญาณพบว่า LW ของข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก ให้ผลลัพธ์ในการประมาณตำแหน่งและขอบเขตไม่ชัดเจน มองไม่เห็นนัยสำคัญที่แสดง ถึงแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็ก ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากสัญญาณรบกวน ที่เกิดขึ้นภายในข้อมูล เนื่องจากวิธีนี้ต้องคำนวณค่าอนุพันธ์อันดับสอง (second derivatives) ของข้อมูลสนามแม่เหล็ก จึงทำให้มีความไวต่อสัญญาณรบกวนและอิทธิพลต่างๆ ที่เป็นสิ่งรบกวนสูง ซึ่งในที่นี้ได้ทำการปรับปรุงข้อมูลก่อนการคำนวณ LW เพื่อลดสัญญาณรบกวนโดยการทำปริพันธ์ในแนวตั้งอันดับหนึ่ง (first-vertical integral, FVI) ของข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก (Phillips et al., 2007) แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.19 จากการวิเคราะห์ยอดหรือค่าเลขคลื่นของสัญญาณพบว่าข้อมูล LW ที่ได้จากการทำปริพันธ์ในแนวตั้งอันดับหนึ่ง (LW-FVI) จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าข้อมูล LW ที่คำนวณจากข้อมูล ค่าผิดปกติ

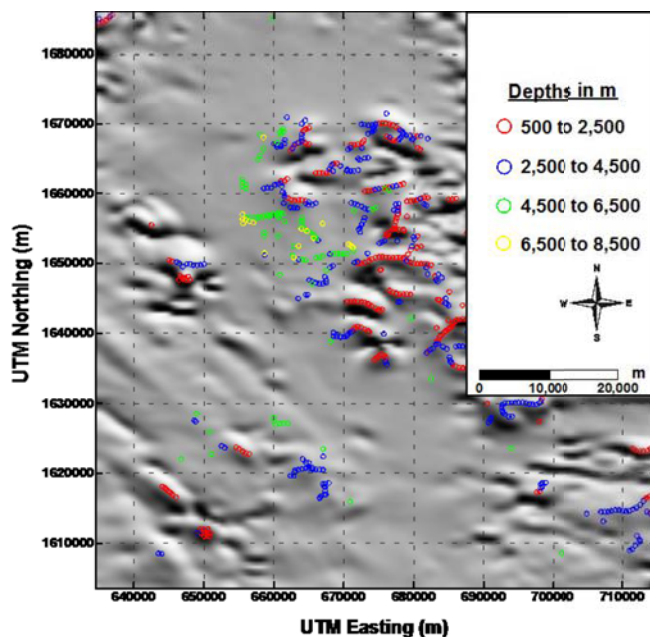
สนามแม่เหล็กโดยตรง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งและขอบเขตที่เหมือนกันกับวิธี HGM และ AS แต่จะแสดงตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็กที่มีความต่อเนื่องน้อยกว่า และมีลักษณะที่โค้งมน เช่นเดียวกับวิธี AS ส่วนผลที่ได้จากการประมาณความลึกจากวิธี LW-FVI แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.20 แสดงค่าเลขคลื่นของสัญญาณ ในรูปแบบของแสงเงาที่ตำแหน่งมุมแสงในแนวราบ 65 องศา และแนวตั้ง 40 องศา ซ้อนทับกับค่าความลึกของรอยต่อทางแม่เหล็กที่ประมาณได้ โดยค่าความลึกส่วนบนสุดของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่ประมาณได้จากวิธีนี้จะประมาณได้ลึกมากกว่าความลึกที่ประมาณได้จากวิธี HGM และ AS โดยเมื่อพิจารณาถึงขอบเขตของค่าความลึกที่ประมาณได้จากวิธี HGM และ AS ซึ่งมีค่าความลึกน้อยที่สุดอยู่ที่ประมาณ 500 เมตร และมีค่าความลึกมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 2,500 เมตร เทียบจากผิวดิน ดังนั้นความลึกส่วนบนสุดของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กจากวิธี LW-FVI ที่น่าจะเป็นไปได้มากที่สุด จึงควรมีค่าอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 500 ถึง 2,500 เมตร เทียบจากผิวดิน (Phillips, 2000) นอกจากนี้ผลที่ได้จากการทำกรรมวิธี LW-FVI ยังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของแหล่งผิดปกติ กับค่าดัชนีโครงสร้าง (structure index, SI) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 3 แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.21 แสดงค่าเลขคลื่นของสัญญาณในรูปแบบของแสงเงาซ้อนทับกับค่าดัชนีโครงสร้าง (SI) แทนด้วยสัญลักษณ์วงกลมแบ่งตามเฉดสี จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีโครงสร้าง (SI) ร่วมกับการกำหนดตำแหน่งของรอยต่อและขอบเขตของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีความสัมพันธ์กับความลึกและลักษณะของโครงสร้างทางธรณีวิทยา พบว่าค่าดัชนีโครงสร้าง (SI) โดยส่วนใหญ่จะแสดงค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1 ถึง 2 บ่งบอกถึงโครงสร้างของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กของพื้นที่ส่วนใหญ่ที่เป็นลักษณะของพนัง (dyke) หรือพนังแทรกชั้น (sill) แทรกดันขึ้นมาอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 500 ถึง 2,500 เมตร เทียบจากผิวดิน



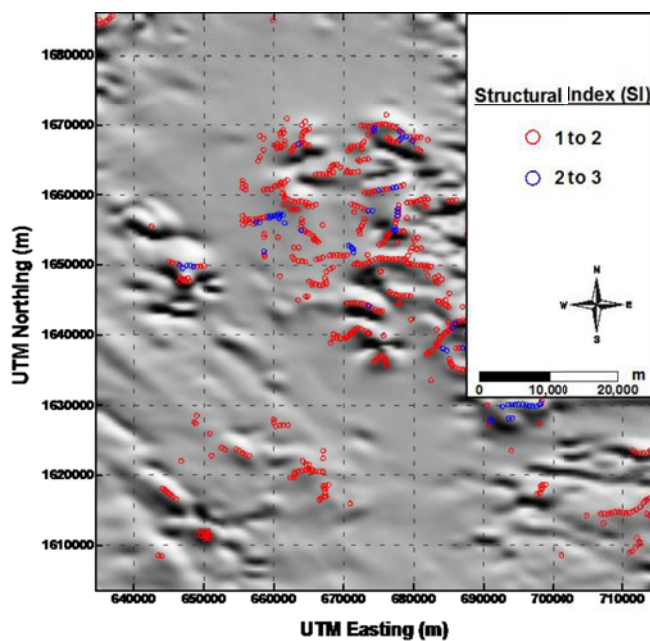
ภาพประกอบที่ 3.18 แผนภาพคอนทัวร์ของ Local wave-number ซ้อนทับกับตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็ก



ภาพประกอบที่ 3.19 แผนภาพคอนทัวร์ของ Local wave-number จากการทำปริพันธ์ในแนวตั้งอันดับหนึ่ง ซ้อนทับกับตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็ก



ภาพประกอบที่ 3.20 แผนภาพแสงเงาของ Local wave-number จากการทำปริพันธ์ในแนวตั้งอันดับหนึ่ง ซ้อนทับกับค่าความลึกของรอยต่อทางแม่เหล็ก

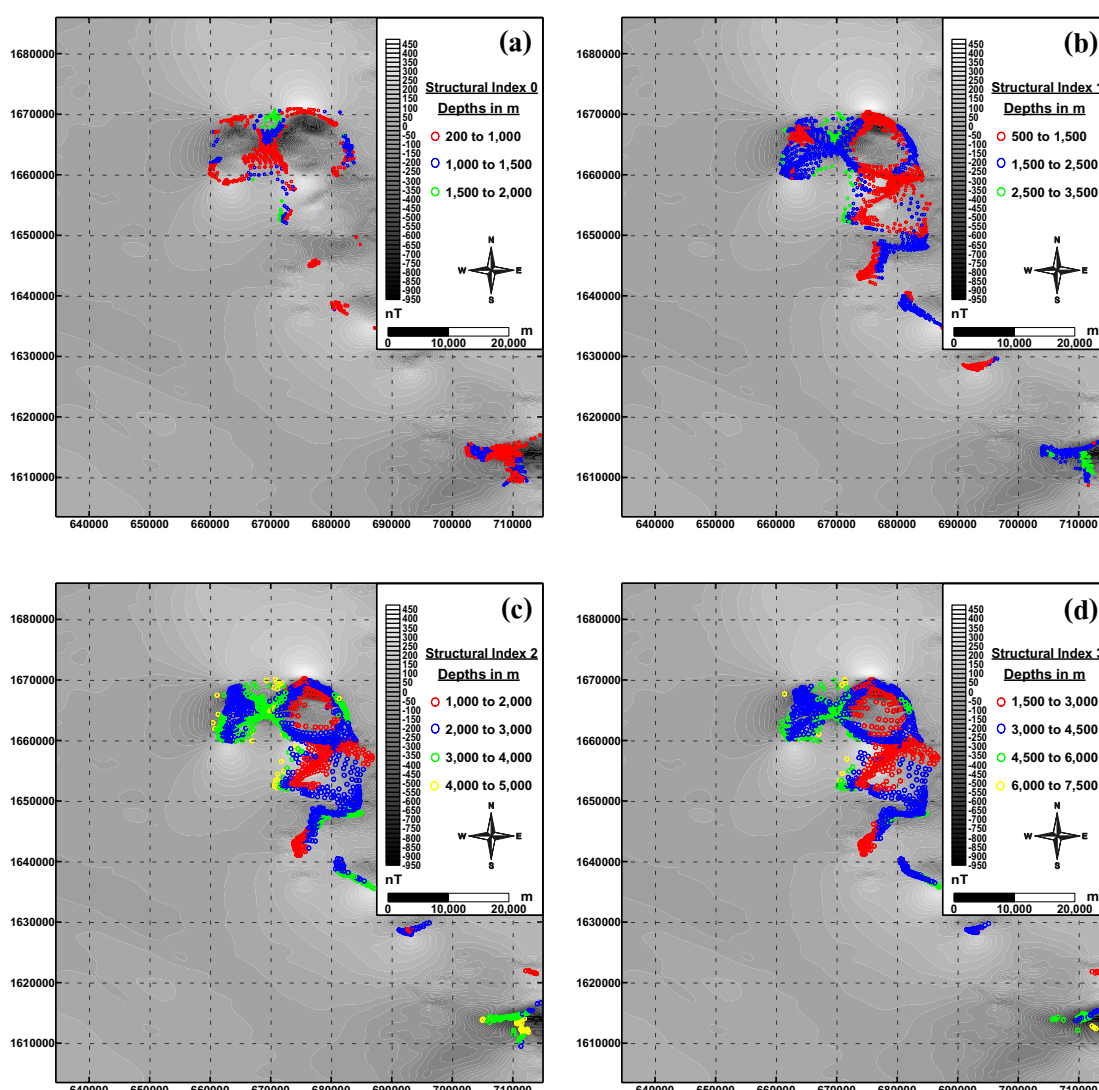


ภาพประกอบที่ 3.21 แผนภาพแสงเงาของ Local Wave-number จากการทำปริพันธ์ในแนวตั้งอันดับหนึ่ง ซ้อนทับกับค่าดัชนีโครงสร้าง

3.2.4.4 ผลการทำกรรมวิธี Euler deconvolution

ผลที่ได้จากการทำกรรมวิธี Euler deconvolution ในการกำหนดตำแหน่งและประมาณความลึกของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็ก จากการกำหนดค่าของดัชนีโครงสร้าง (SI) ตั้งแต่ 0 ถึง 3 และกำหนดขนาดของกริดข้อมูล (window size) เท่ากับ 15×15 ซึ่งสัญลักษณ์วงกลมแบ่งตามเฉดสีใช้แทนค่าของระดับความลึกและตำแหน่งของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กแสดงร่วมกับข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กในโทนสีขาวดำ แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.22 ผลจากการกำหนดค่าของดัชนีโครงสร้าง (SI) เท่ากับ 0 สัมพันธ์ถึงรอยต่อ ทางแม่เหล็ก (magnetic contact) ที่มีการแยกออกจากกันในแนวตั้ง (ภาพประกอบที่ 3.22a) แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของรอยต่อที่มีความต่อเนื่องและมีขอบเขตที่ชัดเจน ในลักษณะที่เป็นวงกลมและสามเหลี่ยมในแนวนอน บริเวณทางตอนเหนือของพื้นที่ระหว่างพิกัด 660,000 ถึง 680,000 E และ 1,660,000 ถึง 1,670,000 N และทางตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ระหว่างพิกัด 700,000 ถึง 715,000 E และ 1,610,000 ถึง 1,620,000 N ตามลำดับ ซึ่งความลึกของรอยต่อทางแม่เหล็กที่ประมาณได้ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 200 ถึง 1,500 เมตร เทียบจากผิวดิน สอดคล้องกับค่าความลึก ของรอยต่อที่ประมาณได้จากวิธี HGM และ AS ผลจากการ กำหนด ค่าของดัชนีโครงสร้าง (SI) เท่ากับ 1 สัมพันธ์ถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เป็นผนังหรือผนังแทรกชั้น (dyke or sill) (ภาพประกอบที่ 3.22b) แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งและขอบเขตที่มีความต่อเนื่อง ชัดเจนบ่งบอกถึงโครงสร้าง ที่เป็นผนังหรือผนังแทรกชั้น (dyke or sill) บริเวณทางตอนเหนือและทางตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ ซึ่ง อยู่ในขอบเขตของรอยต่อทางแม่เหล็กที่ได้จากการกำหนดค่าดัชนีโครงสร้าง (SI) เท่ากับ 0 นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งในลักษณะที่เป็นเชิงเส้น บริเวณตอนกลางของพื้นที่ ระหว่างพิกัด 670,000 ถึง 688,000 E และ 1,635,000 ถึง 1,660,000 N บ่งบอกถึงตำแหน่งของโครงสร้างที่เป็นผนัง (dyke) มีทิศทางการวางตัวอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และ ตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งความลึกส่วนบนสุดของโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เป็นผนังหรือผนังแทรกชั้น ที่ประมาณได้ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 500 ถึง 2,500 เมตร เทียบจากผิวดิน สอดคล้องกับค่าความลึกที่ประมาณได้จากวิธี LW-FVI ส่วนผลจากการ กำหนด ค่าดัชนีโครงสร้าง (SI) เท่ากับ 2 สัมพันธ์ถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีลักษณะคล้ายท่อหรือวัตถุทรงกระบอกในแนวนอน (pipe or horizontal cylinder) (ภาพประกอบที่ 3.22c) และดัชนีโครงสร้าง (SI) เท่ากับ 3 สัมพันธ์ถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีลักษณะคล้าย ทรงกลม (sphere) (ภาพประกอบที่ 3.22d) จะแสดงผลใน การกำหนดตำแหน่งของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่คล้ายคลึงกันกับผลที่ได้จากการกำหนดค่าดัชนีโครงสร้าง (SI) เท่ากับ 1 แต่ค่าความลึกที่ประมาณได้จะมีค่า ที่มากกว่า และมีค่าที่มากขึ้นไป จากการเปรียบเทียบกับค่าความลึกที่ประมาณได้จากวิธี HGM AS และ LW-FVI ซึ่งความลึกที่ประมาณได้

จะเป็นความลึกถึงส่วนตรงกลางของแหล่งผิดปกติ จากการวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ของลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาพบว่าผลจากการกำหนดค่าดัชนีโครงสร้าง (SI) เท่ากับ 1 มีความเหมาะสม และมีความน่าเชื่อถือมากกว่าการกำหนดค่าดัชนีโครงสร้าง (SI) เท่ากับ 2 และ 3 เนื่องจากค่าความลึกที่ประมาณได้จากการกำหนดค่าดัชนีโครงสร้าง (SI) เท่ากับ 1 มีความสอดคล้องกับค่าความลึกที่ประมาณได้จากวิธี LW-FVI ที่แสดงค่าของธรณีโครงสร้าง (SI) อยู่ในช่วงประมาณ 1 ถึง 2 และจากข้อมูลลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นโครงสร้างของหินอัคนีแทรกซอนที่มีการแทรกดันขึ้นมาในลักษณะที่เป็นผนังหรือผนังแทรกชั้น



ภาพประกอบที่ 3.22 ตำแหน่งและความลึกของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กจากการทำกรรมวิธี Euler deconvolution ซ้อนทับกับแผนภาพคอนทัวร์ของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก

3.2.5 ผลการสร้างแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ

แบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ (3D magnetic model of magnetic susceptibility) ซึ่งในที่นี้ได้เลือกใช้ข้อมูลค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่ระดับลึกปานกลาง ความยาวคลื่นปานกลาง (intermediate wavelength) ที่ได้จากการทำ matched band-pass filtering (ภาพประกอบที่ 3.12b) มาทำกรรมวิธีคำนวณย้อนกลับ (inversion) โดยใช้โปรแกรม MAG3D ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าความเป็นแม่เหล็กของวัตถุเกิดจากการเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว ไม่มีแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ (Li and Oldenburg, 1996) ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ แสดงดังภาพประกอบที่ 3.23 แสดงให้เห็นถึงรูปร่างและลักษณะของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก สูงอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.076 [SI] อยู่ที่ระดับความลึก 150 ถึง 5,125 เมตร เทียบจากผิวดิน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 บริเวณ ดังนี้ บริเวณทางตอนเหนือของพื้นที่ซึ่งแสดงลักษณะรูปร่างของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่เป็นวงกลม มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูงอยู่ในช่วง 0.015 ถึง 0.076 [SI] บริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ซึ่งแสดงลักษณะรูปร่างของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่เป็นสามเหลี่ยมในแนวนอนมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูงอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.06 [SI] และบริเวณตอนกลางของพื้นที่ที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.025 [SI] ซึ่งรูปร่างลักษณะของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กทั้ง 3 บริเวณนี้ล้วนลงรอยกันกับผลการ กำหนดขอบเขตและ ความลึกจากการทำกรรมวิธีต่างๆ ก่อนหน้านี้ ซึ่งผลจากการกำหนดตำแหน่งรอยต่อของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กจากวิธี HGM AS และ LW-FVI ซ้อนทับกันแสดงร่วมกับ แบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ แสดงดังภาพประกอบที่ 3.24 สามารถที่จะประเมินได้ถึงโครงสร้างของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีการเอียงเท (Phillips, 2002) ซึ่งพบว่ารอยต่อของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่ประมาณได้จากวิธี HGM โดยส่วนใหญ่มีแนวที่ขนานและ ลงรอยกันกับแนว รอยต่อที่ประมาณได้จากวิธี AS และ LW-FVI แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กโดยส่วนใหญ่มี การวางตัวอยู่ในแนวตั้ง หรือแนวตั้ง พบเพียงบางบริเวณที่แนวรอยต่อที่ประมาณได้จากวิธี HGM มีแนวที่เลื่อนไปจากแนว รอยต่อที่ประมาณได้จากวิธี AS และ LW-FVI เพียงเล็กน้อย ซึ่งเห็นได้ชัดเจนตรง บริเวณทางทิศ ตะวันออกเฉียงใต้บ่งบอกถึง โครงสร้างที่มีการเอียงเทลงแผ่ออกทางด้านข้าง และบริเวณทางตอนเหนือของพื้นที่บริเวณที่แสดงลักษณะรูปร่างของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่เป็นวงกลม ซึ่งบางบริเวณมีการเอียงเทลงเข้าหาศูนย์กลาง

จากการวิเคราะห์ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก ของแบบจำลอง สามมิติ ซึ่งมีค่าที่มากที่สุดเท่ากับ 0.76 [SI] พบว่ายังคงมีค่าที่น้อยกว่าค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินแกรนิตโบรที่วัดได้จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.179 [SI] เป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของแมกนีไทเซชัน

ตกค้าง ที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของแมกนีไทเซชัน เหนี่ยวนำ ประมาณ 180 องศา ซึ่งผลของแมกนีไทเซชันรวมที่ได้จากการรวมกันของเวกเตอร์ทั้งสองนี้ จะส่งผลให้ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของแบบจำลองสามมิติที่คำนวณได้ มีค่าที่น้อยกว่าค่าจริง ซึ่งพิสูจน์ได้จากสมการที่ 1.1

$$\bar{J}_i \mid k_{app} \bar{H}$$

เมื่อ \bar{J}_i คือ ความเข้มของแมกนีไทเซชันเหนี่ยวนำ

\bar{J}_r คือ ความเข้มของแมกนีไทเซชันตกค้างของหินแถบ โบริ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.262 A/m

k_{app} คือ สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กปรากฏ ที่คำนวณได้จากการสร้างแบบจำลองสาม มิติ ซึ่งมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.076 [SI]

\bar{H} คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำภายในวัตถุ ในหน่วย A/m โดยที่ $\bar{H} \mid \frac{\bar{B}}{\sigma_0}$

\bar{B} คือ ความเข้มสนามแม่เหล็ก มีค่าเท่ากับ 42,200 nT

σ_0 คือ สภาพซึมซาบได้ทางแม่เหล็กของสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ $4\phi \Delta 10^{47}$ H/m

ดังนั้น

$$\bar{J}_i \mid k_{app} \frac{\bar{B}}{\sigma_0}$$

แทนค่า

$$\mid 0.076 \left(\frac{42200 \Delta 10^{49}}{4\phi \Delta 10^{47}} \right)$$

$$\bar{J}_i \mid 2.55 \text{ A/m}$$

แต่เนื่องจาก $\bar{J}_{total} \mid \bar{J}_i + 2 \bar{J}_r$

ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ถูกต้องสำหรับแบบจำลองสามมิติ จึงต้องทำการบวกค่าความเข้มของแมกนีไทเซชันตกค้างของหินแถบ โบริ ที่วัดได้จากห้องปฏิบัติการ เพิ่มเข้าไป

ดังนั้น

$$k_{correct} \mid \left(\bar{J}_i + 2 \bar{J}_r \right) \frac{\sigma_0}{\bar{B}}$$

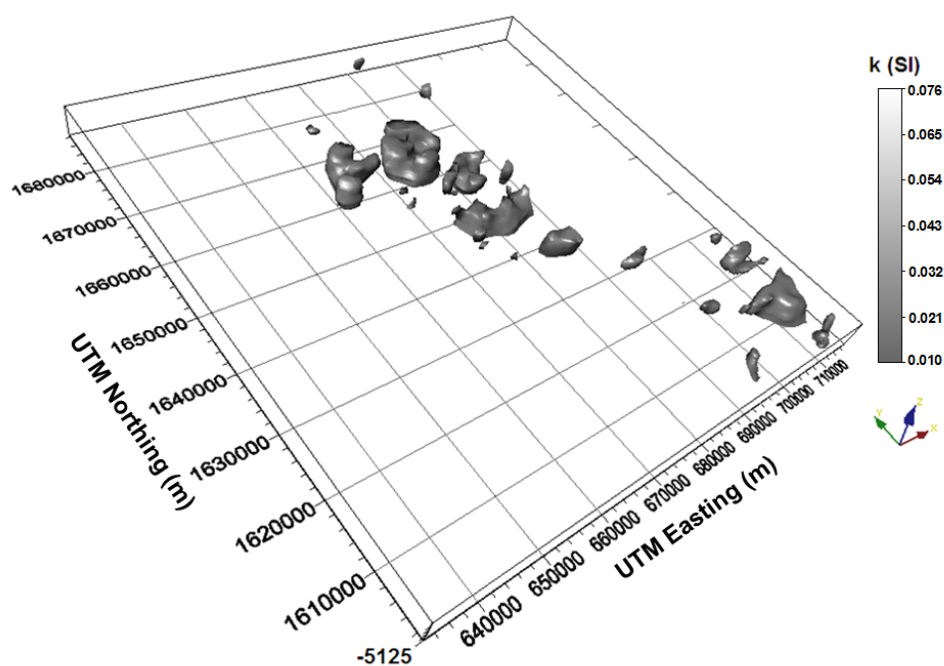
แทนค่า

$$\mid \left(2.55 + 2 \cdot 2.262 \right) \frac{4\phi \Delta 10^{47}}{42200 \Delta 10^{49}}$$

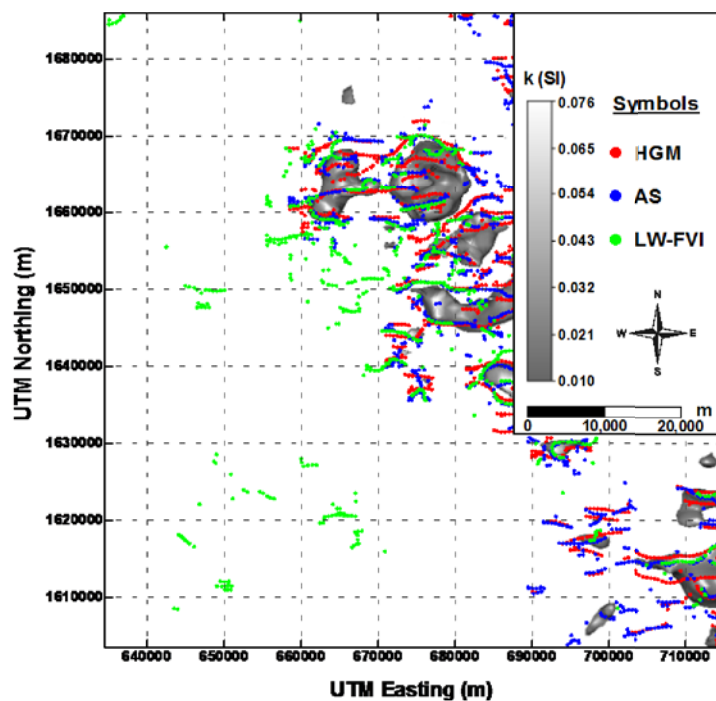
เพราะฉะนั้น

$$k_{correct} \mid 0.143 \text{ [SI]}$$

ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กจากการปรับแก้ เท่ากับ 0.143 [SI] มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินแถบ โบริ ที่วัดได้จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.179 [SI]



ภาพประกอบที่ 3.23 แบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ

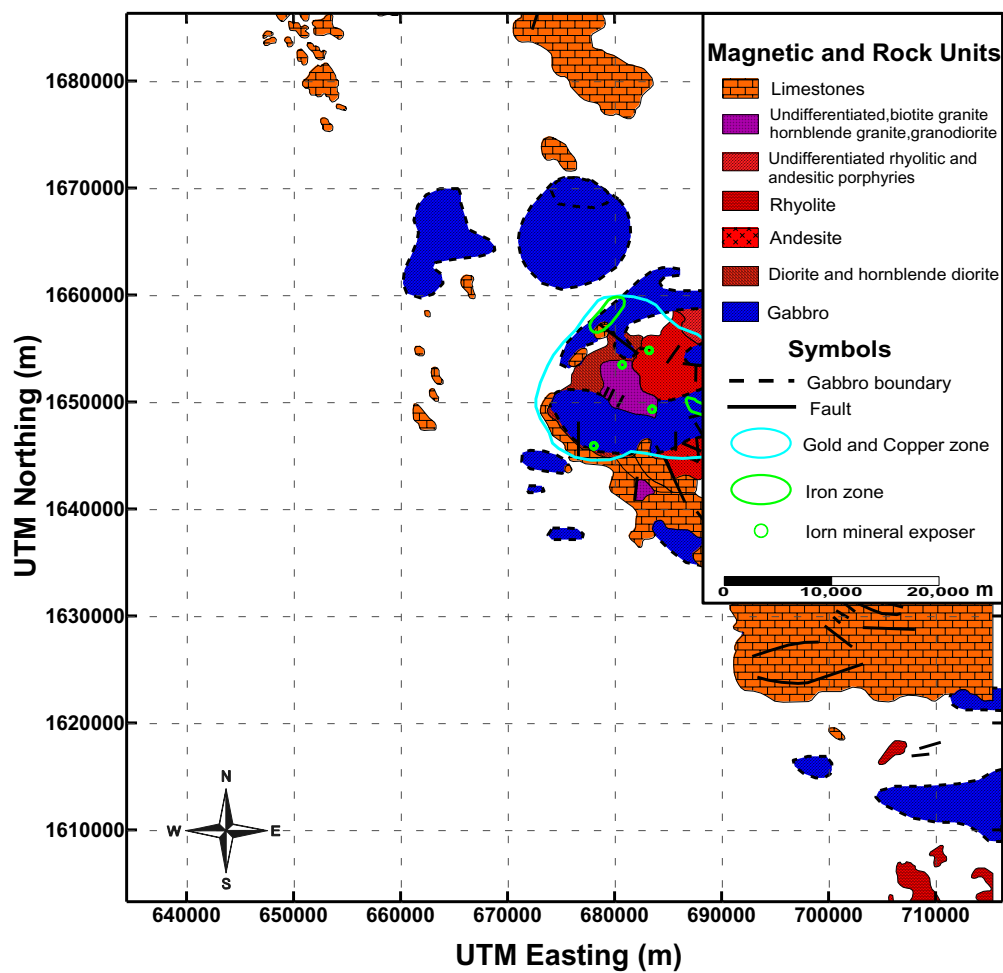


ภาพประกอบที่ 3.24 ตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็กของวิธี HGM AS และ LW-FVI ซ้อนทับกัน แสดงร่วมกับแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ

3.2.6 ผลการแปลความโครงสร้างทางธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแหล่งแร่

ผลการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศสามารถที่จะกำหนดขอบเขตของหินที่มีค่าสภาพรีบไว้ได้ทางแม่เหล็กสูง และประเมินโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดแร่ในพื้นที่ลพบุรี แสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.25 แสดงให้เห็นถึงขอบเขตและโครงสร้างของแหล่งที่ก่อให้เกิดค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูงในพื้นที่ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นโครงสร้างของหินแกรบโบริที่หนุนอยู่ด้านล่าง เนื่องจากจากการศึกษาค่าสภาพรีบไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินในห้องปฏิบัติการ พบว่าหินในพื้นที่ลพบุรีส่วนใหญ่เป็นหินที่มีค่าสภาพรีบไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ค่อนข้างต่ำ ไม่ก่อให้เกิดค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูง จากการแปลความสามารถกำหนดตำแหน่ง และขอบเขตของหินแกรบโบริได้ 3 บริเวณ ซึ่งอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 500 เมตร เทียบจากผิวดิน ดังนี้ 1) บริเวณที่ราบทางตอนเหนือของพื้นที่ แสดงลักษณะขอบเขตที่เป็นวงกลม เกิดจากโครงสร้างของหินแกรบโบริที่มีการแทรกซอนขึ้นมาในลักษณะที่เป็นผนังหรือผนังแทรกชั้น ในชั้นของหินตะกอน ซึ่งบริเวณนี้เป็น ตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งที่พบหินแกรบโบริ โผล่ขึ้นมาใกล้ผิวดินและบางส่วน ถูกปิดทับด้วยตะกอน ทับถม ในบริเวณที่ราบทางตอนเหนือของพื้นที่ศึกษา 2) บริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่แสดงลักษณะขอบเขตที่เป็นแผ่นสามเหลี่ยมแสดงลักษณะของโครงสร้างที่มีการวางตัวอยู่ในแนวราบในลักษณะที่เป็นผนังแทรกชั้นในชั้นของหินตะกอน อยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 500 เมตร เทียบจากผิวดิน 3) บริเวณตอนกลางของพื้นที่ในลักษณะที่เป็นผนังที่ตัดขวางไม่รวมแนวกับโครงสร้างเดิม อยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 500 เมตร เทียบจากผิวดิน โดยมีทิศทางการวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ในบริเวณพื้นที่เขาพระงาม เขาทับควาย และเขาสะพานนาคร ที่พบค่าผิดปกติ สนามแม่เหล็กและค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก ไฟฟ้าที่บ่งบอกถึงโครงสร้างที่มีสมบัติทางแม่เหล็กและโครงสร้างชั้นหินตัวนำไฟฟ้าที่เกิดจากหินอัคนีแทรกซอนหนุนอยู่ด้านล่างในระดับลึก โดยมีทิศทางการวางตัวส่วนใหญ่ในแนวเหนือ-ใต้ และตะวันออก-ตะวันตก (มนตรี เหลืองอิงคะสุต, 2539) และเป็นไปได้ว่าโครงสร้างของหินแกรบโบริที่หนุนอยู่ด้านล่างบริเวณตอนกลางของพื้นที่นี้น่าจะมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางธรณีวิทยาแหล่งแร่ และอาจมีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่เหล็กและแร่ทองแดงที่พบในบริเวณเขาพระงาม เขาทับควาย เขาพุกา และ เขาสะพานนาคร ในลักษณะของการแทรกดันของหินแกรบโบริขึ้นมาสัมผัสกับหินปูนและหินอ่อน ซึ่งเป็นหินท้องที่ มีผลทำให้หินท้องที่ถูกแปรสภาพไปเป็นหินสการ์น โดยมีแร่เหล็กและแร่ทองแดงเกิดร่วม จากการประเมินเกี่ยวกับโครงสร้างทาง ธรณีวิทยาแหล่งแร่สามารถที่จะบ่งบอกได้ว่า บริเวณตอนกลางของ พื้นที่ลพบุรีนี้น่าจะเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพ

ทางแหล่งแร่ที่สูง ซึ่งลงรอยกันกับข้อมูลพื้นที่ศักยภาพทางแร่เหล็กและทองแดงในพื้นที่ลพบุรี ของ กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี (พงศศักดิ์ วิจิต และคณะ, 2544)



ภาพประกอบที่ 3.25 แผนที่ธรณีวิทยาและพื้นที่ศักยภาพทางแร่จากการแปลความข้อมูล สนามแม่เหล็กทางอากาศในพื้นที่ลพบุรี

บทที่ 4

สรุปและวิจารณ์

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอเทคนิคในการแปลความเชิงคุณภาพของข้อมูลความเข้มข้นแม่เหล็กทางอากาศในพื้นที่จังหวัดลพบุรีเพื่อหาบริเวณและกำหนดขอบเขตของหินที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูง และประเมินโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดแร่ในพื้นที่จังหวัด ลพบุรี นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางแม่เหล็กของหินและวิเคราะห์ความเป็นแม่เหล็กตกค้างของหิน เพื่อใช้อ้างอิงในการแปลความ ข้อมูลความเข้มข้นแม่เหล็กทางอากาศ และเป็นฐานข้อมูลในการใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

จากการเก็บตัวอย่าง ของหิน รวมทั้งสิ้น 9 ตำแหน่ง ในพื้นที่ลพบุรี มาทำการทดสอบสมบัติทางแม่เหล็กของตัวอย่างหิน ได้แก่ ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (k) ค่าแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติ (NRM) ค่า Königsberger ratio (Q-value) และพารามิเตอร์ของแอนไอโซทรอปีของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (AMS) ผลการศึกษาพบว่า หินในพื้นที่ลพบุรี ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย หินตะกอน หินปูน หินแปร และบางบริเวณเป็นหินอัคนี ซึ่งมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ค่อนข้างต่ำ ไม่ก่อให้เกิดค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีค่าสูง โดยค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีค่าสูงที่แสดงในพื้นที่ลพบุรีน่าจะเกิดจากหินที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่สูง ซึ่งถูกปิดทับอยู่ในระดับลึก จากการสำรวจเก็บตัวอย่างพบหินแกบโบร ที่ตำแหน่ง M1 พิกัด 675,051E และ 1,668,994N บริเวณทางตอนเหนือของพื้นที่ศึกษา ซึ่งตรงกับตำแหน่งที่แสดงค่าผิดปกติทางแม่เหล็กสูง จากการทดสอบสมบัติทางแม่เหล็กของหินพบว่าหินแกบโบร มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กเฉลี่ยที่มีค่าสูงเท่ากับ $179,333 \pm 11,104 \times 10^{-6}$ [SI] มีค่าความเข้มของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติเฉลี่ยที่มีค่าสูงเท่ากับ $2,262 \pm 1,273$ มิลลิแอมแปร์ต่อเมตร มีค่าพารามิเตอร์ P_j เฉลี่ยอยู่ที่ 1.36 แสดงถึงความเป็นแอนไอโซทรอปีที่ต่ำ และมีค่าพารามิเตอร์ T เฉลี่ยที่มากกว่า 0 แสดงถึงลักษณะทรงรีของ AMS แบบแบนที่ขั้ว นอกจากนี้ยังแสดงค่า Q-value ที่น้อยกว่า 1 แสดงถึงแมกนีไทเซชันตกค้างในหินชนิดนี้มีเสถียรภาพที่ต่ำและถูกลบล้างได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการลบล้างแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติด้วยสนามแม่เหล็กสลับ จากการวิเคราะห์หาธาตุประกอบในตัวอย่างหินแกบโบรด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ร่วมกับเครื่องรังสีเอกซ์เรืองแสงกระจายพลังงาน (EDX) แสดงให้เห็น ถึงแร่แมกนีไทต์ (Fe_3O_4) ที่เป็นแร่แม่เหล็กในหินแกบโบร ซึ่งมีบทบาทสำคัญที่ก่อให้เกิดค่าผิดปกติทางแม่เหล็กในพื้นที่

จากการวิเคราะห์ ความเป็นแม่เหล็กตกค้างของหิน ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อ การแปลความข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศในพื้นที่ลพบุรี พบว่าทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้างธรรมชาติของหินแกรโบร มีทิศทางที่ตรงกันข้ามกับทิศทางของสนามแม่เหล็กโลกประมาณ 180 องศา และอยู่ในแนวเดียวกันกับแกนของสนามแม่เหล็กโลกปัจจุบัน เพราะฉะนั้นอิทธิพลของทิศทางของแมกนีไทเซชันตกค้าง จึงไม่ส่งผลกระทบต่อรูปร่างของค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก ในการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กเกี่ยวกับการกำหนดตำแหน่งและขอบเขต แต่จะส่งผลกระทบต่อ การแปลความเกี่ยวกับการประมาณความลึกและค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ถูกต้อง

การแปลความข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศในพื้นที่จังหวัดลพบุรี ได้ทำการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลความแบบอัตโนมัติ (automated techniques) ได้แก่ วิธี Horizontal gradient magnitude (HGM) วิธี Analytic signal (AS) วิธี Local wave-number (LW) และวิธี Euler deconvolution สำหรับการหาขอบเขตและความลึกของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็ก โดยที่ทุกวิธีจะถูกนำมาเปรียบเทียบและแปลความร่วมกันเพื่อความถูกต้องและความชัดเจนในการแปลความ ซึ่งผลที่ได้พบว่าวิธี HGM สามารถที่จะแสดงตำแหน่งของรอยต่อทางแม่เหล็กที่มีความต่อเนื่องและแสดงขอบเขตของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีการแยกออกจากกัน ในแนวตั้ง ได้ชัดเจน ที่สุด มีความไวต่อสัญญาณรบกวนและอิทธิพลต่างๆ ที่เป็นสิ่งรบกวนน้อยที่สุด ส่วนวิธี AS และ LW สามารถที่จะช่วยเพิ่มความชัดเจนและแก้ปัญหาความกำกวมในการแปลความข้อมูลสนามแม่เหล็กทางอากาศในพื้นที่ที่ละเอียดจุดต่ำๆ หรือในบริเวณที่หินมีค่าแมกนีไทเซชันตกค้างสูงๆ นอกจากนี้วิธี Euler deconvolution สามารถที่จะช่วยเพิ่มรายละเอียดในการแปลความเกี่ยวกับ โครงสร้างทางธรณีวิทยา และมีประโยชน์สำหรับใช้ในการตรวจสอบค่าความลึกที่ถูกต้อง ผลการแปลความของแต่ละวิธี แสดงตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็ก และความลึก ที่ใกล้เคียงกัน สอดคล้องกันกับ บริเวณที่แสดงค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูงของแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบสามมิติ แต่ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของแบบจำลองสามมิติที่คำนวณได้ จะมีค่าที่น้อยกว่าค่าที่วัดได้จริง เป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของแมกนีไทเซชันตกค้าง จากการแปลความข้อมูลของทุกวิธีร่วมกันสามารถที่จะกำหนดขอบเขตของหินที่มีค่า สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูง ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นโครงสร้างของหินแกรโบรที่หนูนอยู่ด้านล่าง อยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 500 เมตร เทียบจากผิวดิน และอาจมีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่เหล็กและแร่ทองแดง ในลักษณะของการแทรกดันของหินแกรโบรขึ้นมาสัมผัส กับหินท้องที่ มีผลทำให้หินท้องที่ถูกแปรสภาพไปเป็นหินสการ์น โดยมีแร่เหล็กและแร่ทองแดงเกิดร่วม โดยพื้นที่ บริเวณตอนกลางของ จังหวัด ลพบุรี คาดว่า น่าจะเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพทางแหล่งแร่ที่สูง

บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี, 2550. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดลพบุรี. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 64 หน้า.
- ชัยยันต์ หินทอง, 2524. ธรณีวิทยาและแหล่งแร่ระวางจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ND47-8). รายงานการสำรวจธรณีวิทยา ฉบับที่ 4 กรมทรัพยากรธรณี, 114 หน้า.
- ชัยยันต์ หินทอง, แสงอาทิตย์ เชื้อวิโรจน์, วรกุล แก้วยานะ, สุเทพ ศรีสุข, ชัยวัฒน์ ผลประสิทธิ์ และทรงภพ พลจันทร์, 2528. แผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:250,000 ระวางจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ND47-8) กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.
- นิกร นครศรี, 2524. ธรณีวิทยาและแหล่งแร่ระวางอำเภอบ้านหมี่ (ND47-4). รายงานการสำรวจธรณีวิทยา ฉบับที่ 3 กรมทรัพยากรธรณี, 53 หน้า.
- นิกร นครศรี, เสถียร สนั่นเสียง, นิคม จึงอยู่สุข, วิวัฒน์ ไพจิตรประภาภรณ์, ปัญญา สุริยะสาย และ ยงยุทธ ตรังคชสาร, 2519. แผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:250,000 ระวางอำเภอบ้านหมี่ (ND47-4) กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.
- บุญรวม สงกรานต์, 2539. การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ . รายงานกองพัฒนาทรัพยากรธรณี ฉบับที่ 10/2539 กรมทรัพยากรธรณี, กันยายน 2539, 129 หน้า.
- มนตรี เหลืองอิงคะสุต, 2539. รายงานการสำรวจธรณีฟิสิกส์พื้นที่เขาพระงาม อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี. รายงานกองพัฒนาทรัพยากรธรณี ฉบับที่ 12/2539 กรมทรัพยากรธรณี, ตุลาคม 2539, 73 หน้า.
- พงศ์สันต์ ยาวิไชย, 2536. ผลการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ชั้นเบื้องต้นในพื้นที่ลพบุรี . รายงานฝ่ายสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่และประเมินผล ฉบับที่ 4/2537 โครงการพัฒนาทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี, พฤศจิกายน 2536, 126 หน้า.

พงศ์ศักดิ์ วิจิต, สุภัทรพงษ์ กรรมเลข, พุยศ โชติคณาทิส, วีระ กาหลง, ไพรัตน์ จรรย์หาญ, รังสิโรจน์ วงศ์พรหมเมฆ, ไวยพจน์ วรกกน, พัชระ จริยาวัฒน์, พีระพงษ์ คีนคง, ฤทธิไกร ภาณุตานนท์ ณ มหาสารคาม และสุรพงษ์ หมายลาภ, 2544. แผนที่ทรัพยากรแร่มาตราส่วน 1:250,000 ระวังอำเภอบ้านหมี่ (ND47-4) และระวังจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ND47-8) กองเศรษฐกิจธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.

พิชญ วงศ์พรชัย, 2548. ธรณีฟิสิกส์ประยุกต์. ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 49-110.

มนตรี เหลืองอิงคะสุต และสมหมาย เตชวาล, 2539. รายงานการสำรวจธรณีฟิสิกส์พื้นที่เขาทับควาย-เขาสระพรานนาค อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี. รายงานกองพัฒนาทรัพยากรธรณี ฉบับที่ 5/2539 กรมทรัพยากรธรณี, มิถุนายน 2539, 134 หน้า.

วรวิมล โลหะวิจารณ์, 2546. การสำรวจธรณีฟิสิกส์ 1. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 7-15 หน้า.

อกนิษฐ์ สุวรรณสิงห์, 2528. แหล่งแร่เหล็กเขาทับควาย จังหวัดลพบุรี. ข่าวสารการธรณีฉบับที่ 11 (พ.ย. 2528), หน้า 20-22.

อำนาจ ส่งอุไรล้ำ, 2536. การสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ชั้นกึ่งรายละเอียดในพื้นที่เขาทับควาย อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี. รายงานฝ่ายสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่และประเมินผล ฉบับที่ 10/2537 โครงการพัฒนาทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี, พฤศจิกายน 2536, 37 หน้า.

Bhongsuwan, T. and Elming, S.-A., 2000. Rock magnetic and palaeomagnetic study of some cenozoic basalts of central and northern Thailand. In Bhongsuwan, T., Division of Applied Geophysics, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden, Ph.D. thesis.

Bhongsuwan, T. and Ponathong, P., 2002. Magnetic characterization of the Thung-Yai Redbed of Nakhon Si Thammarat province, southern Thailand, and magnetic relationship with the Khorat Redbed, Science Asia 28, pp 277-290.

- Blakely, R.J. and Simpson, R.W., 1986. Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies, *Geophysics* 51, pp. 1494-1498.
- Blanco-Montenegro, I., Torta, J.M., Garcia, A., and Arana, V., 2003. Analysis and modeling of the aeromagnetic anomalies of Gran Canaria (Canary Islands), *Earth and Planetary Science Letters* 206, pp. 601-616.
- Books, K.G., 1962. Remanent magnetization as a contributor to some aeromagnetic anomalies, *Geophysics* 27, pp. 359-375.
- Bournas, N., Galdeano, A., Hamoudi, M., and Baker, H., 2003. Interpretation of the aeromagnetic map of eastern Hoggar (Algeria) using the Euler deconvolution, analytic signal and local wavenumber methods, *Journal of African Earth Sciences* 37, pp. 191-205.
- Butler, R.F., 1992. *Palaeomagnetism*. Backwell Scientific, Cambridge, 319 p.
- Collinson, D.W., 1983. *Methods in rock magnetism and palaeomagnetism*. Chapman and Hall, London, 503 p.
- Cordell, L. and Grauch, V.J.S., 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin, New Mexico, in W.J. Hinze, ed., *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps*, Society of Exploration Geophysicists. pp. 181-197.
- Dunlop, D.J. and Özdemir, Ö., 1997. *Rock magnetism fundamentals and frontiers*. Cambridge University Press, 573 p.
- Haalck, H., 1953. *Lehrbuch der Angewandten Geophysik, 1*. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Hrouda, F., 1982. Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics, *Geophysical Surveys* 5, pp. 37-82.

- Intayot, S., 2006. Genesis of Skarn in Khao Phra Ngam area Changwat Lop Buri, Doctor of Philosophy thesis in Geology, Chiang Mai University, 221 p.
- Jelinek, V., 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks, *Tectonophysics* 79, pp. 63-7.
- Li, Y. and Oldenburg, D.W., 1996. 3-D inversion of magnetic data, *Geophysics* 61, pp. 394-408.
- MacLeod, I.N., Jones, K., and Dai, T.F., 1993. 3-D analytic signal in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes, *Exploration Geophysics* 24, pp. 679-688.
- Parsons, S., Nadeau, L., Keating, P., and Chung, C., 2006. Optimizing the use of aeromagnetic data for predictive geological interpretation: and example from the Grenville province, Quebec, *Computers and Geosciences* 32, pp. 565-576.
- Phillips, J.D., 1997. Potential-field geophysical software for the PC, version 2.2, U.S. Geological Survey Open-File Report 97-725, 34 p.
<ftp://greenwood.cr.usgs.gov/pub/open-file-reports/ofr-97-0725/pfofr.htm>
- Phillips, J.D., 2000. Locating magnetic contacts: a comparison of the horizontal gradient, analytic signal, and local wavenumber methods, Society of Exploration Geophysicists, Expanded Abstracts, 2000 Technical Program 1, pp. 402-405.
- Phillips, J.D., 2001. Designing matched bandpass and azimuthal filters for the separation of potential-field anomalies by source region and source type, 15th Geophysical Conference and Exhibition, Australian Society of Exploration Geophysicists, Brisbane, Expanded Abstracts, 4 p.
- Phillips, J.D., 2002. Processing and interpretation of aeromagnetic data for the Santa Cruz basin-Patagonia mountains area, south-central Arizona, U.S. Geological Survey Open-File Report 02-98, 12 p. <http://geopubs.wr.usgs.gov/open-file/of02-98> [accessed November 12, 2009]

- Phillips, J.D., 2007. Geosoft eXecutables (GX's) Developed by the U.S. Geological Survey, version 2.0, with notes on GX development from fortran code, U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1355, 111 p.
- Phillips, J.D., Duval, J. S., and Saltus, R. W., 2003. Geosoft eXecutables (GX's) developed by the U.S. Geological Survey, version 1.0, with a viewgraph tutorial on GX development, U.S. Geological Survey Open-File Report 03-010, 21 p. <http://pubs.usgs.gov/of/2003/ofr-03-010/>
- Phillips, J.D., Hansen, R.O., and Blakely, R.J., 2007. The use of curvature in potential-field interpretation, *Exploration Geophysics* 38, pp. 111-119.
- Reid, A.B., Allsop, J.M., Granser, H., Millett, A.J., and Somerton, I.W., 1990. Magnetic interpretations in three dimensions using Euler deconvolution, *Geophysics* 55, pp. 80-91.
- Roest, W.R. and Pilkington, M., 1993. Identifying remanent magnetization effects in magnetic data, *Geophysics* 58, pp. 653-659.
- Roest, W.R., Verhoef, J., and Pilkington, M., 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal, *Geophysics* 57, pp. 116-125.
- Salminen, J. and Pesonen, L.J., 2007. Paleomagnetic and rock magnetic study of the Mesoproterozoic sill, Valaam island, Russian Karelia, *Precambrian Research*, Vol. 159, pp. 212-230.
- Smith, R.S., Thurston, J.B., Dai, T.F., and MacLeod, I.N., 1998. iSPITM- the improved source parameter imaging method, *Geophysical Prospecting* 46, pp. 141-151.
- Stendal, H., Frei, R., Muhongo, S., Rasmussen, T.M., Mnali, S., Petro, F., and Temu, E.B., 2004. Gold potential of the Mpanda mineral field, SW Tanzania: evaluation based on geological, lead isotopic and aeromagnetic data, *Journal of African Earth Sciences* 38, pp. 437-447.







- Sutton, D.J. and Mumme, W.G., 1957. The effect of remanent magnetization on aeromagnetic interpretation, *Australian Journal of Physics* 10, pp. 547-557.
- Tarling, D.H. and Hrouda, F., 1993. *The Magnetic Anisotropy of Rocks*, Chapman and Hall, London, 217 p.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 62-135.
- Thompson, D.T., 1982. EULDPH – A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data, *Geophysics* 47, pp. 31-37.
- Thompson, R. and Oldfield, F., 1986. *Environmental magnetism*. Allen and Unwin, London, 227 p.
- Thurston, J.B. and Smith, R.S., 1997. Automatic conversion of magnetic data to depth, dip, and susceptibility contrast using the SPITM method, *Geophysics* 62, pp. 807-813.
- Wisetsind, W., 1994. *Airborne Geophysical survey interpretation of Petchabun study area, Changwat Petchabun, Pichit, Lopburi and Nakorn Sawan, Thailand*, Economic Geology Division Report, Department of Mineral Resources, 198 p.

ภาคผนวก










ภาคผนวก ก

ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินโผล่หรือหินหลุดลอยในพื้นที่ศึกษา


ตารางที่ 5.1 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินในพื้นที่เขาทับควาย

Sample	Wair (g)	Wwater (g)	Density (g/cm ³)	Volume (cm ³)	k _{measure} (x10 ⁻⁶ SI)	k _{correct} (x10 ⁻⁶ SI)	Rock Type
M3-01-1	21.8	14.0	2.71	8.05	19100	23728	
M3-01-2	27.2	17.2	2.64	10.32	25600	24806	
M3-01-3	33.7	21.3	2.63	12.80	31100	24303	
M3-01-4	17.3	11.0	2.66	6.50	15700	24148	
M3-01-5	25.1	15.9	2.64	9.49	24100	25384	
M3-02-1	33.4	21.2	2.65	12.59	23600	18745	
M3-02-2	18.1	11.5	2.66	6.81	15600	22904	
M3-02-3	28.8	18.3	2.66	10.84	26300	24271	
M3-02-4	29.1	18.3	2.61	11.15	21600	19380	
M3-02-5	26.6	16.8	2.63	10.11	23700	23434	
M3-03-1	15.8	10.2	2.73	5.78	117	202	
M3-03-2	29.0	18.4	2.65	10.94	191	175	
M3-03-3	16.0	10.0	2.58	6.19	139	224	
M3-03-4	26.6	16.8	2.63	10.11	333	329	
M3-03-5	10.2	6.4	2.60	3.92	68	174	
M3-04-1	19.1	11.8	2.54	7.53	54	71	
M3-04-2	26.8	16.8	2.60	10.32	88	86	
M3-04-3	10.0	6.0	2.42	4.13	26	64	
M3-04-4	17.0	10.5	2.53	6.71	172	256	
M3-04-5	18.2	11.0	2.45	7.43	105	141	
M3-04-6	28.6	17.4	2.47	11.56	208	180	
M3-04-7	21.1	13.0	2.52	8.36	31	36	
M3-04-8	26.3	16.1	2.50	10.53	55	53	
M3-04-9	16.5	10.0	2.46	6.71	106	158	
M3-04-10	25.9	15.9	2.51	10.32	95	92	
M3-05-1	24.5	15.6	2.67	9.18	481	524	
M3-05-2	33.1	20.7	2.59	12.80	687	537	
M3-05-3	15.0	9.6	2.69	5.57	222	398	
M3-05-4	27.4	17.4	2.66	10.32	318	308	
M3-05-5	27.6	17.4	2.62	10.53	752	714	
M3-06-1	24.1	14.8	2.51	9.60	2.13	2.22	
M3-06-2	20.1	12.3	2.50	8.05	-3.66	-4.55	
M3-06-3	30.5	18.6	2.48	12.28	-3.35	-2.73	
M3-06-4	21.2	13.0	2.51	8.46	-3.07	-3.63	
M3-06-5	15.5	9.4	2.46	6.30	0.90	1.44	
M3-06-6	27.0	16.5	2.49	10.84	-3.60	-3.32	
M3-06-7	27.9	17.3	2.55	10.94	3.29	3.01	
M3-06-8	15.9	10.0	2.61	6.09	-1.49	-2.45	
M3-06-9	20.2	12.5	2.54	7.95	-3.20	-4.03	
M3-06-10	16.6	10.3	2.55	6.50	1.85	2.85	




ตารางที่ 5.2 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินในพื้นที่เขาพระงาม

Sample	W _{air} (g)	W _{water} (g)	Density (g/cm ³)	Volume (cm ³)	k _{measure} (x10 ⁻⁶ SI)	k _{correct} (x10 ⁻⁶ SI)	Rock Type
N1-01-1	51.8	34.6	2.92	17.75	1420	800	
N1-01-2	31.3	21.1	2.97	10.53	823	782	
N1-01-3	19.7	12.6	2.69	7.33	456	622	
N1-01-4	24.7	15.9	2.72	9.08	573	631	
N1-01-5	25.9	17.4	2.95	8.77	639	728	
N1-02-1	37.5	24.4	2.77	13.52	449	332	
N1-02-2	22.5	14.4	2.69	8.36	292	349	
N1-02-3	44.8	28.8	2.71	16.51	512	310	
N1-02-4	23.0	14.8	2.72	8.46	243	287	
N1-02-5	31.0	19.5	2.61	11.87	427	360	
N1-03-1	59.9	40.9	3.05	19.61	895	456	
N1-03-2	56.9	37.9	2.90	19.61	826	421	
N1-03-3	20.8	13.8	2.88	7.22	299	414	
N1-03-4	22.2	14.9	2.95	7.53	317	421	
N1-03-5	20.8	13.8	2.88	7.22	299	414	
N1-04-1	27.6	15.9	2.29	12.07	-8.49	-7.0	
N1-04-2	38.4	22.8	2.39	16.10	-16.6	-10.3	
N1-04-3	31.7	18.6	2.34	13.52	-8.9	-6.6	
N1-04-4	31.1	18.5	2.39	13.00	-0.185	-0.1	
N1-04-5	20.3	12.1	2.40	8.46	3.85	4.5	
N2-01-1	34.7	21.7	2.59	13.42	2630	1960	
N2-01-2	34.2	21.6	2.63	13.00	1420	1092	
N2-01-3	24.8	15.8	2.67	9.29	725	781	
N2-01-4	25.1	15.1	2.43	10.32	458	444	
N2-01-5	27.9	17.6	2.62	10.63	1380	1298	
N2-02-1	43.4	27.1	2.58	16.82	583	347	
N2-02-2	24.5	15.0	2.50	9.80	312	318	
N2-02-3	39.7	24.5	2.53	15.69	514	328	
N2-02-4	31.6	19.6	2.55	12.38	320	258	
N2-02-5	23.1	14.0	2.46	9.39	232	247	
N2-03-1	38.0	23.6	2.56	14.86	3110	2093	
N2-03-2	38.9	24.1	2.55	15.27	2690	1761	
N2-03-3	27.5	16.9	2.51	10.94	1180	1079	
N2-03-4	31.9	20.0	2.60	12.28	2180	1775	
N2-03-5	34.0	21.2	2.57	13.21	976	739	
N2-04-1	47.4	29.8	2.61	18.16	3280	1806	
N2-04-2	38.0	24.0	2.63	14.45	7520	5205	
N2-04-3	40.7	25.8	2.65	15.38	6020	3915	
N2-04-4	24.1	15.1	2.59	9.29	1860	2003	
N2-04-5	22.0	13.8	2.60	8.46	1660	1962	
N2-05-1	48.6	31.1	2.69	18.06	992	549	
N2-05-2	34.4	21.5	2.58	13.31	1180	886	
N2-05-3	32.2	19.9	2.54	12.69	992	782	
N2-05-4	39.7	24.7	2.56	15.48	873	564	
N2-05-5	51.9	33.3	2.70	19.20	1300	677	






ตารางที่ 5.2 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินในพื้นที่เขาพระงาม (ต่อ)

Sample	Wair (g)	Wwater (g)	Density (g/cm ³)	Volume (cm ³)	k _{measure} (x10 ⁻⁶ SI)	k _{correct} (x10 ⁻⁶ SI)	Rock Type
N2-06-1	36.3	21.9	2.44	14.86	-16.2	-10.9	
N2-06-2	43.2	26.5	2.51	17.23	-21.2	-12.3	
N2-06-3	26.9	16.1	2.41	11.15	-9.45	-8.5	
N2-06-4	23.4	14.0	2.41	9.70	-8.23	-8.5	
N2-06-5	14.4	8.4	2.33	6.19	-6.19	-10.0	
N2-06-6	15.9	9.3	2.33	6.81	-5.53	-8.1	
N2-06-7	31.9	19.1	2.41	13.21	-10.7	-8.1	
N2-06-8	19.0	11.2	2.36	8.05	-8.82	-11.0	
N2-06-9	23.5	14.0	2.40	9.80	-10.4	-10.6	
N2-06-10	16.2	9.5	2.34	6.91	-3.59	-5.2	





ตารางที่ 5.3 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินในพื้นที่เขาสะพานนาค

Sample	Wair (g)	Wwater (g)	Density (g/cm ³)	Volume (cm ³)	k _{measure} (x10 ⁻⁶ SI)	k _{correct} (x10 ⁻⁶ SI)	Rock Type
Q1-01-1	39.9	24.9	2.58	15.48	239	154	
Q1-01-2	40.0	25.2	2.62	15.27	246	161	
Q1-01-3	19.7	12.3	2.58	7.64	119	156	
Q1-01-4	33.5	21.2	2.64	12.69	203	160	
Q1-01-5	31.3	19.4	2.55	12.28	192	156	
Q1-02-1	43.8	27.4	2.59	16.92	157	93	
Q1-02-2	29.0	18.1	2.58	11.25	98	87	
Q1-02-3	21.7	13.4	2.53	8.57	57	66	
Q1-02-4	39.2	24.5	2.58	15.17	190	125	
Q1-02-5	39.3	24.5	2.57	15.27	126	82	
Q1-03-1	64.8	40.8	2.62	24.77	317	128	
Q1-03-2	24.3	15.3	2.62	9.29	79	85	
Q1-03-3	21.4	13.2	2.53	8.46	69	81	
Q1-03-4	56.8	35.7	2.61	21.78	194	89	
Q1-03-5	48.3	30.3	2.60	18.58	169	91	
Q1-03-6	39.6	24.7	2.58	15.38	98	64	
Q1-03-7	35.7	22.4	2.60	13.73	89	65	
Q1-03-8	32.9	20.5	2.57	12.80	80	62	
Q1-03-9	49.9	31.4	2.61	19.09	127	67	
Q1-03-10	58.7	37.0	2.62	22.39	151	67	
Q1-03-11	35.1	22.0	2.60	13.52	89	66	
Q1-03-12	49.9	31.3	2.60	19.20	136	71	
Q1-03-13	45.1	28.1	2.57	17.54	114	65	
Q1-03-14	52.4	32.8	2.59	20.23	134	66	
Q1-03-15	35.5	22.1	2.57	13.83	89	64	

ตารางที่ 5.3 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินในพื้นที่สะพานนาคร (ต่อ)

Sample	W _{air} (g)	W _{water} (g)	Density (g/cm ³)	Volume (cm ³)	k _{measure} (x10 ⁻⁶ SI)	k _{correct} (x10 ⁻⁶ SI)	Rock Type
Q2-01-1	37.9	23.5	2.55	14.86	959	645	
Q2-01-2	38.1	24.0	2.62	14.55	629	432	
Q2-01-3	37.2	23.3	2.59	14.34	689	480	
Q2-01-4	40.8	25.6	2.60	15.69	546	348	
Q2-01-5	29.3	18.4	2.60	11.25	591	525	
Q2-02-1	56.2	34.6	2.52	22.29	15700	7043	
Q2-02-2	50.4	31.0	2.52	20.02	23200	11588	
Q2-02-3	30.0	18.6	2.55	11.76	4580	3893	
Q2-02-4	39.8	24.4	2.50	15.89	13900	8746	
Q2-02-5	46.3	28.3	2.49	18.58	13700	7375	
Q2-03-1	48.7	32.3	2.88	16.92	593	350	
Q2-03-2	55.6	37.1	2.91	19.09	670	351	
Q2-03-3	32.4	21.6	2.91	11.15	345	310	
Q2-03-4	56.6	37.8	2.92	19.40	688	355	
Q2-03-5	51.4	34.5	2.95	17.44	563	323	
Q2-04-1	46.2	30.8	2.91	15.89	537	338	
Q2-04-2	35.2	23.3	2.87	12.28	415	338	
Q2-04-3	49.0	32.8	2.93	16.72	540	323	
Q2-04-4	47.2	31.4	2.89	16.31	545	334	
Q2-04-5	23.9	16.2	3.01	7.95	262	330	
Q2-05-1	31.3	19.7	2.61	11.97	244	204	
Q2-05-2	29.6	18.6	2.61	11.35	191	168	
Q2-05-3	22.2	14.0	2.62	8.46	197	233	
Q2-05-4	47.1	29.7	2.62	17.96	430	239	
Q2-05-5	26.0	16.3	2.60	10.01	191	191	
Q2-05-6	39.0	25.4	2.78	14.04	334	238	
Q2-05-7	31.4	20.4	2.77	11.35	251	221	
Q2-05-8	39.1	25.5	2.79	14.04	302	215	
Q2-05-9	19.5	12.7	2.78	7.02	153	218	
Q2-05-10	33.6	22.0	2.81	11.97	288	241	

ตารางที่ 5.4 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินในพื้นที่เขาพูกา

Sample	W _{air} (g)	W _{water} (g)	Density (g/cm ³)	Volume (cm ³)	k _{measure} (x10 ⁻⁶ SI)	k _{correct} (x10 ⁻⁶ SI)	Rock Type
P1-01-1	50.6	30.6	2.45	20.64	113	55	
P1-01-2	22.0	13.1	2.40	9.18	72	78	
P1-01-3	19.4	11.7	2.44	7.95	38	48	
P1-01-4	31.3	18.7	2.41	13.00	67	52	
P1-01-5	22.9	13.6	2.39	9.60	34	36	
P1-01-6	58.7	35.9	2.49	23.53	101	43	
P1-01-7	51.2	31.0	2.46	20.85	102	49	
P1-01-8	37.1	22.5	2.46	15.07	62	41	
P1-01-9	25.9	15.6	2.44	10.63	62	58	
P1-01-10	33.6	20.4	2.47	13.62	87	64	
P1-02-1	42.1	27.8	2.85	14.76	1090	739	
P1-02-2	47.3	31.2	2.85	16.62	1330	800	
P1-02-3	34.6	22.6	2.79	12.38	1150	929	
P1-02-4	31.1	20.4	2.82	11.04	837	758	
P1-02-5	29.3	19.4	2.87	10.22	768	752	
P1-03-1	26.4	16.0	2.46	10.73	158	147	
P1-03-2	24.9	15.2	2.49	10.01	100	100	
P1-03-3	48.6	29.3	2.44	19.92	325	163	
P1-03-4	41.3	25.4	2.52	16.41	193	118	
P1-03-5	49.9	30.4	2.48	20.12	274	136	
P1-04-1	29.0	17.4	2.42	11.97	326	272	
P1-04-2	32.9	20.1	2.49	13.21	40	30	
P1-04-3	37.7	23.1	2.50	15.07	46	31	
P1-04-4	31.4	19.2	2.49	12.59	41	32	
P1-04-5	19.3	11.6	2.43	7.95	20	25	
P1-04-6	37.3	22.8	2.49	14.96	119	80	
P1-04-7	29.2	17.9	2.50	11.66	52	45	
P1-04-8	23.4	14.3	2.49	9.39	227	242	
P1-04-9	20.5	12.3	2.42	8.46	130	154	
P1-04-10	29.5	17.8	2.44	12.07	62	51	

ภาคผนวก ข

การจัดรูปแบบไฟล์ข้อมูลและพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองสภาพรับไว้ได้แบบ 3 มิติ
ในโปรแกรม MAG3D

File: obs.mag

```

! comments ...
!
Incl    Decl    geomag
Aincl   Adecl   idir
ndat
E1    N1    Elev1    [aincl1  adecl1]    Mag1    Err1
E2    N2    Elev2    [aincl2  adecl2]    Mag2    Err2
:
Endat  Nndat  Elevndat  [ainclndat  adeclndat]  Magndat  Errndat

```

!comments top lines beginning with ! are comments.

Incl, Decl inclination and declination of the inducing magnetic field.

geomag strength of the inducing field in nT.

Aincl, Adecl inclination and declination of the anomaly projection.

idir = 0 : multi-component data set. Observations have different inclinations and declinations, $aincl_n$ and $adecl_n$, specifying the projection direction of the anomaly. In this case, *Aincl* and *Adecl* should be equal to *Incl* and *Decl*, respectively.

= 1 : single-component data set. All observations have the same inclination and declination of the anomaly projection: *Aincl, Adecl*.

If *idir* is missing, it is assumed to be equal to 1.

ndat number of observations. When single component data are specified, the number of observations is equal to the number of data locations. When multi-component data are specified, the number of observations will exceed the number of data

locations. For example, if three-component data are specified at N locations, the number of observation is $3N$.

$E_n, N_n, Elev_n$ easting, northing and elevation of the observation, measured in meters. Elevation should be above topography for surface data, and below topography for borehole data. The observation locations can be listed in any order.

$aincl_n, adecl_n$ inclination and declination of the anomaly projection for observation n . Used only when $idir = 0$. The brackets “[...]” indicate that these two fields are optional and depend on the value of $idir$.

Mag_n magnetic anomaly data, measured in nT.

Err_n standard deviation of Mag_n . This represents the absolute error. It CANNOT be zero or negative.

Example of obs.mag file : Lop Buri area

File: single-component data.

```

!  Gabbro data...
!
14.67  -0.5  42200  !!  Incl, Decl, geomag (IGRF1980)
14.67  -0.5    1    !!  aincl, adecl: anomaly, idir
11878                                !!  # of data
635000  1631000  300  -5.143533707  2.257176685
635500  1631000  300  -4.770329475  2.238516474
636000  1631000  300  -4.503096581  2.225154829
:
687000  1686000  300  8.155534744  2.407776737
687500  1686000  300  1.944527388  2.097226369
688000  1686000  300  -8.344240189  2.417212009

```

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายภาณุพงษ์ ลิ้มอุสัน โน

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010220211

วุฒิการศึกษา

วุฒิ

ชื่อสถาบัน

ปีที่สำเร็จการศึกษา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์)

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2550

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนอุดหนุนเพื่อวิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย ปีการศึกษา 2550 และทุนผู้ช่วยสอน
ของคณะวิทยาศาสตร์ ปีการศึกษา 2550-2552

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Lim-u-sanno, P. and Bhongsuwan, T., 2010. Study of magnetic properties of rocks and data processing of aeromagnetic field intensity in Lop Buri province, Proceeding of the 5th International Conference on Applied Geophysics, pp. 84-99.