



การตีความข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศบริเวณแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย  
ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

Airborne Geophysical Data Interpretation of the Khlong Marui Fault  
Zone in Surat Thani Province

เอกลักษณ์ มอบพิจิต

Akkaluk Moppijit

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

2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์                      การตีความข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศบริเวณแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยใน  
จังหวัดสุราษฎร์ธานี  
ผู้เขียน                                      นายเอกลักษณ์ มอบพิจิต  
สาขาวิชา                                    ธรณีฟิสิกส์

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

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

.....ประธานกรรมการ  
(ดร.กำแหง วัฒนเสน)

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

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ เกษราธิคุณ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอแสดงความขอบคุณ  
บุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไตรภพ ผ่องสุวรรณ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นายเอกลักษณ์ มอบพิจิต)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายเอกลักษณ์ มอบพิจิต)

นักศึกษา



ชื่อวิทยานิพนธ์	การตีความข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศบริเวณแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยใน จังหวัดสุราษฎร์ธานี
ผู้เขียน	นายเอกลักษณ์ มอบพิจิต
สาขาวิชา	ธรณีฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2557

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้เพื่อทำการแปลความข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศและกัมมันตภาพรังสีแกมมาทางอากาศเพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยบริเวณจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยใช้เทคนิค กิ่งอัตโนมัติ ได้แก่ เทคนิค Math Bandpass Filtering, Horizontal Gradient Magnitude (HGM), Analytic Signal (AS) และ Mag 3D inversion เพื่อระบุตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็กและความลึกของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็ก ควบคู่กับแผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศ ได้ถูกนำมาใช้ในการแปลความครั้งนี้ด้วย ผลการเปรียบเทียบค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหิน และการสร้างโมเดลจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก 3 มิติ แสดงพื้นผิวของวัตถุผิดปกติใต้พื้นดินอย่างชัดเจน แผนที่กัมมันตภาพรังสีผสม 3 สี สามารถใช้ในการจำแนกชนิดของหิน รอยต่อของหินแกรนิต หรือรอยเลื่อน การแปลความข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศและกัมมันตภาพรังสีแกมมาทางอากาศแสดงให้เห็นขอบเขตและความเป็นไปได้ในการกำหนดแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

<b>Thesis Title</b>	Airborne Geophysical Data Interpretation of Khlong Marui Faults Zones, Surat Thani Province, Thailand
<b>Author</b>	Mr. Akkaluk Moppijit
<b>Major Program</b>	Geophysics
<b>Academic Year</b>	2014

### **Abstract**

This study integrated interpretation of airborne magnetic and airborne gamma ray spectrometric data to locate The Khlong Marui Faults Zone (KMFZ). Semi Automatic techniques: Math Bandpass Filtering, Horizontal Gradient Magnitude (HGM), Analytic Signal (AS) and Mag 3D inversion were employed to estimate the magnetic contact and the depths of magnetic body. Moreover, analysis and interpretation of the airborne radiometric data (K, eU, eTh) were carried out. Comparison between magnetic susceptibility of rock sample and magnetic anomaly in 3D model showed the isosurface of magnetic body in the subsurface. Ternary map was successfully separated the rock formation such as faults, granite boundaries, and rock unit. The interpretation of airborne magnetic and gamma ray spectrometric data showed a good possibility to trace of the KMFZ in Surat Thani province.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลงได้เนื่องจากได้รับความกรุณาจากคณาจารย์และบุคลากรหลายฝ่าย จึงกราบขอขอบพระคุณ ดังรายชื่อต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ไตรภพ ผ่องสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำชี้แนะสั่งสอนผู้ทำการวิจัย ทั้งทางด้านวิชาการ และด้านการใช้ชีวิตใน อดีต ปัจจุบัน และอนาคตข้างหน้า

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ธงชัย พิงษ์ศรี และคณะอาจารย์ สาขาธรณีฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาทางด้านธรณีวิทยาและธรณีฟิสิกส์ อย่างกัลยาณมิตร

ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่เฉลียว มอบพิจิต ที่คอยอบรมสั่งสอนทั้งด้านทางโลก และทางธรรม และ ขอขอบคุณ คุณสมลักษณ์ มอบพิจิต และคุณจุฬาลักษณ์ มอบพิจิต ที่คอยให้กำลังใจเสมอ นอกจากนี้ขอขอบพระคุณ Mr. Sounthone Singsopho คุณสันติ รักษาวงศ์ คุณปัทมา พิศภักดิ์ คุณอัครา มะยาแม คุณอารยา จันทระเสน คุณเกษมศักดิ์ แซ่ตั้ง คุณพงษ์ปิยะ กลิ่นมณี คุณภาณุพงษ์ ลีมอส์โน คุณภูวนาถ จงจิตร คุณอุษา นิลสุวรรณ คุณเชษฐพร สุจิตะพันธ์ คุณประภัสสร นพประดิษฐ์ คุณมนัสพงษ์ บุญญะ คุณเอกรัฐ ฤทธิเนียม คุณกรวิทย์ เกื้อคลัง คุณพัทวิศรีระชา คุณตันติกร ชูวงศ์ คุณธีระ สมหมาย คุณธีรานุช มาณะศิริ คุณปรีวัติ ช่างคิด และคุณปรีชาชาญ แก้วนุ้ย ที่ช่วยผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลภาคสนามและให้คำปรึกษาด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขออุทิศผลงานที่ได้แก่ดวงวิญญาณคุณพ่อจรรุญ มอบพิจิต และคุณตาสำเร็จ เพชรชุม ผู้ล่วงลับไปแล้วที่ได้ให้กำเนิด เลี้ยงดู สั่งสอน ผู้วิจัยให้เป็นคนดี ด้วยความรักจนวินาทีสุดท้ายของชีวิตท่านทั้งสอง

เอกลักษณ์ มอบพิจิต

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพประกอบ	(14)
<b>บทที่</b>	
1. บทนำ	1
1.1. บทนำต้นเรื่อง	1
1.2. ลักษณะทางธรณีวิทยา	3
1.2.1. ธรณีวิทยาทั่วไป	3
1.2.2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย	6
1.3. ทฤษฎีพื้นฐาน	8
1.3.1. ทฤษฎีพื้นฐานทางแม่เหล็ก	8
1.3.2. ทฤษฎีพื้นฐานทางด้านกัมมันตรังสี	14
1.3.3. การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในประเทศไทย	20
1.4. ธรณีเคมีของธาตุกัมมันตรังสีธรรมชาติ	23
1.5. การตรวจเอกสาร	25
1.6. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	30
2. วิธีการวิจัย	31
2.1. วัสดุและอุปกรณ์	31
2.1.1. วัสดุและอุปกรณ์ทางแม่เหล็ก, แม่เหล็กตรวจวัดทางอากาศ	31
2.1.2. วัสดุและอุปกรณ์สเปกตรัมรังสีแกมมา, สเปกตรัมรังสีแกมมาทางอากาศ	32
2.1.3. วัสดุและอุปกรณ์อื่นๆ	32
2.1.4. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	32

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.	2.2. หลักการดำเนินการข้อมูล 33
2.2.1.	การเตรียมการข้อมูลด้านความเข้มข้นแม่เหล็กทางอากาศ 33
2.2.2.	การวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมรังสีแกมมาทางอากาศ 47
2.2.3.	การวิเคราะห์สมบัติแม่เหล็กในหิน 48
2.2.4.	การสร้างแบบจำลองของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบ 3 มิติ 52
2.2.5.	การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยสเปกโทมิเตอร์รังสีแกมมาด้วยหัววัด HPGe ชนิด NaI 53
2.2.6.	การสร้างแผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศเพื่อระบุตำแหน่ง ขอบเขตรอยต่อหินแกรนิต 58
3.	ผลและการอภิปรายผล 60
3.1.	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศ 60
3.1.1.	ผลการประเมินเพื่อระบุตำแหน่งรอยต่อและความลึกทาง แม่เหล็กด้วยเทคนิค Horizontal Gradient Magnitude (HGM) และเทคนิค Analytic Signal (AS) หรือ Total Gradient (TG) 60
3.1.2.	ผลการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Magnetic susceptibility, k) 65
3.1.3.	ผลการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ (Mag 3D Inversion) 69
3.1.4.	ผลการตัวอย่างหินด้วยวิธี X-Ray Diffraction (XRD) 70
3.2.	ผลการวัดข้อมูลกัมมันตภาพรังสีทางอากาศ 72
3.2.1.	การสร้างแผนที่กัมมันตภาพรังสีแกมมาทางอากาศยูเรเนียม, ทอเรียมสมมูล, โพแทสเซียม และ กัมมันตรังสีผสม 3 สี เพื่อ ระบุตำแหน่งรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย 72
3.2.2.	การวัดตัวอย่างหินด้วยเครื่องสเปกตรัมรังสีแกมมาชนิดหัววัด HPGe ชนิด NaI 77

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.3 สมบัติเชิงกัมมันตรังสีของหน่วยหินชนิดต่างๆ	83
3.3.1. สมบัติเชิงกัมมันตรังสีหน่วยหินธรณีวิทยาหน่วยหินปูนยุคเพอร์เมียน (Pr)	84
3.3.2. สมบัติเชิงกัมมันตรังสีหน่วยหินธรณีวิทยาหน่วยหินแกรนิตยุคครีเทเชียส (KGr)	85
3.3.3. สมบัติเชิงกัมมันตรังสีของหน่วยธรณีวิทยาหน่วยหินโคลนปนกรวดยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงเพอร์เมียน (CPK)	86
3.3.4. สมบัติเชิงกัมมันตรังสีของหน่วยธรณีวิทยาหน่วยตะกอนยุคเทอร์นารีไม่แข็งตัว	88
3.4. สมบัติเชิงกัมมันตรังสีของหินแกรนิต	89
3.4.1. การปรับปรุงแผนที่ขอบเขตหินแกรนิตใหม่	89
3.4.2. การวิเคราะห์พื้นที่ศักยภาพดินขาว	91
4. สรุปผลและเสนอแนะ	92
4.1. สรุปผลวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นแม่เหล็กทางอากาศเพื่อระบุตำแหน่งรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย	92
4.2. สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นภาพรังสีทางอากาศ	93
4.2.1. สรุปผลการวิเคราะห์แนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยจากแผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศด้วยแผนที่โทแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล ทอเรียมสมมูล และกัมมันตรังสีผสม 3 สี	93
4.2.2. สรุปการวิเคราะห์ตัวอย่างหินปูนที่พาดผ่านแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยและตัวอย่างหินปูนบริเวณเหมืองหิน บริษัท ผาทองสุราษฎร์ จำกัด	94
4.2.3. สรุปการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนไม่แข็งตัวยุคควอเตอร์นารี	95

(Q)

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.2.4. สรุปการวิเคราะห์ขอบเขตหินแกรนิตยุคครีเทเชียส (KGr) ใน จังหวัดสุราษฎร์ธานี	95
4.2.5. สรุปการวิเคราะห์แหล่งแร่ศักยภาพแหล่งแร่ดินขาว	96
4.3. ข้อเสนอแนะ	96
บรรณานุกรม	97
ภาคผนวก	102
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์	109
ประวัติผู้เขียน	115

## รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหิน (ดัดแปลงจาก Telford et al, 1998)	10
1.2	แสดงข้อกำหนดของการบินสำรวจและเครื่องมือสำรวจ Survey A (ดัดแปลงจาก บุญรวม สงกรานต์, 2539)	21
1.3	รูปแบบและข้อกำหนดของการบินสำรวจและเครื่องมือสำรวจ Survey B & C (ดัดแปลงจาก บุญรวม สงกรานต์, 2539)	22
1.4	รูปแบบและข้อกำหนดของการบินสำรวจและเครื่องมือสำรวจ Follow up survey (ดัดแปลงจาก บุญรวม สงกรานต์, 2539)	23
1.5	Potassium Mineral (ดัดแปลงจาก IAEA, 2003)	23
1.6	Thorium mineral (ดัดแปลงจาก IAEA, 2003)	24
1.7	Uranium Mineral (ดัดแปลงจาก IAEA, 2003)	25
2.1	ตำแหน่งตามทิศตะวันออก, ตำแหน่งตามทิศเหนือ, และสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิง ปกติ (International Geomagnetic Reference Field) จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปี ค.ศ.1980	34
2.2	พารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการ Math Bandpass Filtering คือ ความถี่, ค่าแอมพลิจูด, และความยาวคลื่น (ดัดแปลงจาก Phillips, 2001)	39
2.3	ลักษณะ Source, ดัชนีโครงสร้างและโมเดลที่ใช้ในการคำนวณด้วยวิธี Analytic Signal (AS) (ดัดแปลงจาก Oasis Geosoft Montaj 7.5, Canada)	47
2.4	ตัวอย่างรูปแบบไฟล์ OBS.mag ที่ใช้ในการสร้างโมเดล 3 มิติ	53
2.5	ประสิทธิภาพการวัดรังสีแกมมาที่ค่าพลังงานรังสีแกมมาต่างๆ	56
3.1	แสดงค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินโผล่หรือหินหลุดลอยบริเวณที่เกิดค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก	67



## รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
3.1	แสดงค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินโผล่หรือหินหลุดลอยบริเวณที่ (ต่อ) เกิดค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก	68
3.2	แสดงค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสียูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียม ในตัวอย่าง หินที่ตัดผ่านแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย	81
3.3	แสดงค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสียูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียม ในตัวอย่าง หินที่ตัดผ่านแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย	82

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น น้ำท่วม ไฟป่า หรือแผ่นดินไหวได้สร้างความเสียหายเป็นวงกว้างไปทั่วโลก ทั้งด้านเศรษฐกิจ และสังคมของประชากรโลกอย่างเห็นได้ชัดในส่วนของประเทศไทยผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 เมื่อเวลา 00:58:53 UTC (07:58:53 ตามเวลาประเทศไทย) ตรงบริเวณ ละติจูด 3.316°N และ ลองจิจูด 95.854°E ส่งผลให้เกิดแผ่นดินไหวที่มีความแรงประมาณ 9.1 MW (USGS, 2004) และเกิดคลื่นสึนามิ (Tsunami) พัดถล่มชายฝั่งทางภาคใต้ฝั่งตะวันตก อันได้แก่ จังหวัดภูเก็ต พังงา ระนอง สตูล และตรัง ทำให้เกิดการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก บริเวณภาคใต้ของไทยมีรอยเลื่อนที่มีพลัง 2 รอยเลื่อนด้วยกัน คือ รอยเลื่อนระนอง (Ranong Fault Zone: RFZ) ที่มีความยาวประมาณ 300 กิโลเมตร และ รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (Khlung Marui Fault Zone: KMFZ) ที่มีความยาวประมาณ 150 กิโลเมตร (สุวิทย์ โควสุวรรณ และคณะ, 2555)

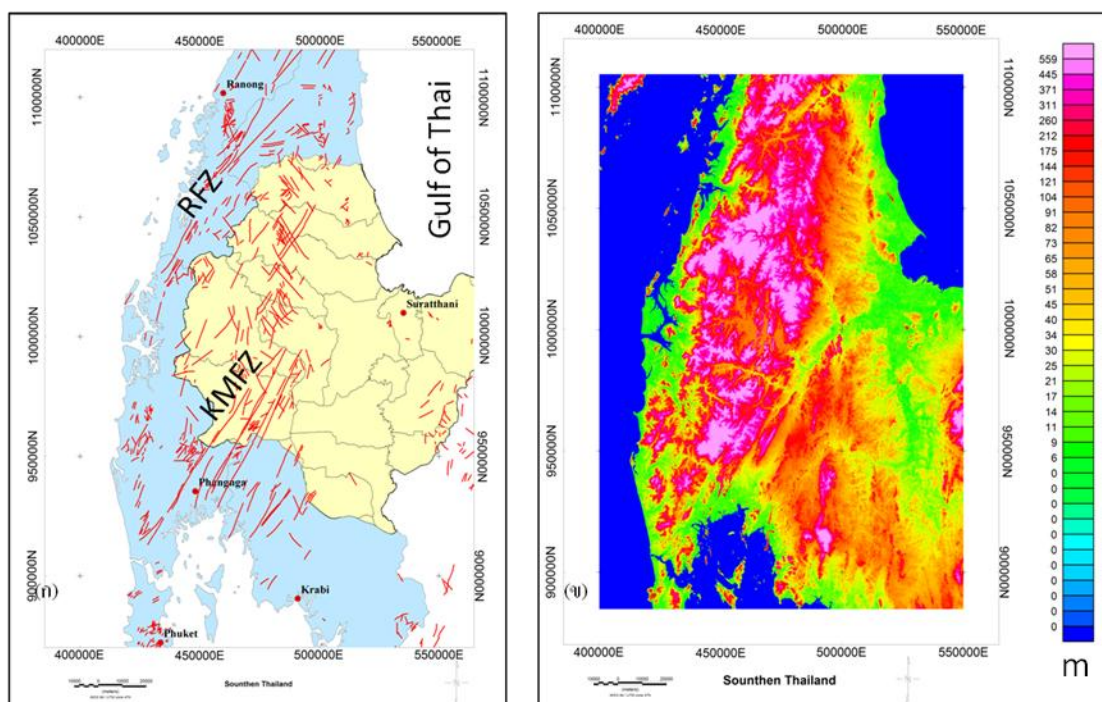
จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคใต้ฝั่งตะวันออก ตั้งอยู่บนฝั่งทะเลด้านตะวันตกของอ่าวไทย ที่ละติจูด 09° 07' N ลองจิจูด 99° 21' E ระยะห่างจากกรุงเทพมหานครไปทางทิศใต้ประมาณ 651 กิโลเมตร มีเนื้อที่ประมาณ 12,890 ตารางกิโลเมตร จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่มากเป็นอันดับที่ 6 ของประเทศไทย และมากที่สุดใภาคใต้ พื้นที่จังหวัดทั้งหมดอยู่ในคาบสมุทรที่เป็นแหลมยื่นออกไปในทะเล มีอาณาเขตติดต่อกับบริเวณใกล้เคียง ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	จังหวัดชุมพรและอ่าวไทย
ทิศใต้	ติดต่อกับ	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	อ่าวไทยและจังหวัดนครศรีธรรมราช
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	จังหวัดพังงาและจังหวัดระนอง

ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีลักษณะผสมผสานกันหลายแบบโดยจำแนกได้ดังนี้ พื้นที่ส่วนลึกเข้าไปด้านทิศตะวันตกเป็นที่สูง มีภูเขาน้อยใหญ่สลับกันวางตัวสลับซับซ้อน เป็นแหล่งต้นน้ำลำธารที่มีป่าไม้ทั้งป่าโปร่งและป่าดงดิบ ในส่วนพื้นที่ตอนกลางและริมทะเลเป็นบริเวณอ่าวไทยซึ่งเป็นที่ราบ ริมฝั่งทะเล มีภูเขา ป่าไม้เบญจพรรณ ป่าชายเลนและทุ่งหญ้า ในอำเภอเกาะสมุยและอำเภอเกาะพะงันเป็นที่ราบตามริมชายฝั่งพื้นที่ราบสูงทางทิศตะวันตก คือ

ส่วนที่เป็นสันเขาตะนาวศรี ซึ่งเป็นเส้นแบ่งเขตแดนระหว่างจังหวัดสุราษฎร์ธานีกับจังหวัดระนองและจังหวัดพังงา จะค่อยๆ ลาดเอียงไปทางทิศตะวันออกตลอดเขตจังหวัด

ลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีสภาพภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อนพอจะแบ่งได้ 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ระยะเวลานี้เป็นช่วงว่างของลมมรสุม ฤดูฝน ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคม ถึง กลางเดือนตุลาคมที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งเป็นลมร้อนและชื้น พัดพามาจากมหาสมุทรอินเดีย และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านอ่าวไทย จึงทำให้ช่วงฤดูฝนยาวนานและมีฝนตกมากในช่วงฤดูหนาว ในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนธันวาคม สาเหตุนี้จึงทำให้มีปริมาณฝนตลอดปีแปรผันค่อนข้างมากในพื้นที่ต่างๆ โดยเฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 1,280 ถึง 3,694 มิลลิเมตรต่อปี และมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 26.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ตลอดปี 83.0 และฤดูหนาว เริ่มต้นตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม ถึง กลางเดือนกุมภาพันธ์ ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่เย็นและแห้งจากประเทศจีนพัดผ่านอ่าวไทยปกคลุมประเทศไทยทำให้อุณหภูมิลดลงทั่วไปและมีอากาศหนาวเย็น



ภาพประกอบที่ 1.1 (ก) ขอบเขตจังหวัดสุราษฎร์ธานีและพื้นที่ใกล้เคียง เส้นที่สีแดงแสดงแนวรอยเลื่อนระนอง (RFZ) และแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (KMFZ) (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) และ (ข) แผนที่ข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข ASTER GDEM (USGS, 2014)

## 1.2. ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

### 1.2.1. ธรณีวิทยาทั่วไป

ลำดับชั้นหินสามารถแบ่งหินต่างๆ เรียงลำดับจากหน่วยหินที่แก่สุดจนถึงอ่อนสุด ดังนี้

หินอายุอโดวิเซียน (O) (488.3 ถึง 443.7 ล้านปี) ที่พบในบริเวณนี้ประกอบด้วย หินปูนเนื้อดิน หินปูนสีเทาและสีชมพู หินปูนเนื้อโดโลไมต์และหินอ่อน แทรกสลับด้วยหินดินดานเนื้อปูน ผสมหินดินดานปนทราย และหินอายุไซลูเรียนตีโวเนียน (SDC) (443.7 ถึง 416 ล้านปี) กระจายตัวอยู่บริเวณอำเภอคอนสัก อำเภอบ้านนาสาร และอำเภอวิียงสระ อยู่ในหมวดหินเขาติน (SDCtp) ประกอบด้วย หินเกรย์แกก หินทรายแป้ง หินหินชนวน และหินดินดานกึ่งชนวน

หินอายุคาร์บอนิเฟอรัส ถึง เพอร์เมียน (CPk) (359.2 ถึง 251.0 ล้านปี) กลุ่มหินที่พบในบริเวณนี้ประกอบด้วยกลุ่มหินแก่งกระจาน ประกอบด้วยหมวดหินต่างๆ ได้แก่ หมวดหินเขาเจ้า คือ หินทรายอาร์โกส และหมวดหินเขาพระ คือ หินโคลน หินทรายแป้ง หินโคลนปนกรวด หินทรายปนกรวด กระจายตัวเป็นเทือกเขาสูงทางด้านตะวันตกของจังหวัดและมีการกระจายตัวบางส่วนทั่วไปทางด้านตะวันออก นอกจากนี้ยังพบหมวดหินเกาะยาวน้อย คือ หินโคลนปนกรวด หินโคลน และหินทรายเนื้อควอตซ์ แทรกสลับหินทรายแป้ง ในบริเวณอำเภอพนมและอำเภอชัยบุรี

หินอายุเพอร์เมียน (Pr) (299.0 ถึง 251.0 ล้านปี) ที่พบในบริเวณนี้ประกอบด้วย หินปูน หินปูนเนื้อโดโลไมต์ มีลักษณะหินปูนสีเทาอ่อน ถึง สีเทาแก่ หรือสีดำ เนื้อแน่น โดยบางพื้นที่พบหินเชิร์ตสีดำแทรกตัวอยู่ หินปูนชุดนี้จัดอยู่ในกลุ่มหินปูนชุดราชบุรี (Ratburi Group) มีลักษณะเป็นภูเขาสูงต่ำสลับกันผสมผสานกับภูมิประเทศแบบคาสต์และบางแห่งมีหน้าผาสูงชันพบในพื้นที่อำเภอคีรีรัฐนิคม คือ เขาชันกะ เขาไคร เขาหลุง เขาติน เขาสิงขร และเขาน้อย และปรากฏลักษณะเป็นภูเขาโดดที่มีความสูงและชันมาก ในอำเภอกาญจนดิษฐ์ เช่น เขากุ่มแป เขานาพลับ เขาพุด และเขาพนมไพร นอกจากนี้บางพื้นที่มีลักษณะเป็นทิวเขาวางตัวแนวยาวต่อเนื่องจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้ เช่น บริเวณเขาชันกะ อำเภอคีรีรัฐนิคม คาดว่ากลุ่มหินปูนดังกล่าวอาจจะเป็นภูเขาหินปูนที่เกิดจากการถูกรอยเลื่อนตัดผ่าน

หินอายุไทรแอสซิก (Trl) (251.0 ถึง 199.6 ล้านปี) ที่พบในบริเวณนี้ประกอบด้วย หินกรวดมนฐานสีแดง เนื้อปูนผสมหินดินดานสีเทา แทรกสลับด้วยหินทรายแป้งและหินทราย บางแห่งพบหน่วยหินไสบอน (Sai Bon Formation, Trsb) หน่วยหินหน่วยนี้ประกอบด้วย หินทรายอาร์โกส หินทรายเนื้อทัฟฟ์ และหินดินดาน บางแห่งจะมีหินปูนเนื้อโดโลไมต์เป็นเลนส์แทรกอยู่ตรงกลาง

หินอายุจูแรสซิก ถึง ครีเทเชียส (JKL) (199.6 ถึง 65.6 ล้านปี) ประกอบด้วยหน่วย หินลำทับ (Lam Thap Formation) ที่พบประกอบด้วย หินทรายอาร์โกส หินโคลน หินทรายแป้ง สีน้ำตาลแดง การวางชั้นเฉียงกับแนวระดับ หินกรวดมน และหินทรายในตอนบนของการลำดับชั้น และหินอายุครีเทเชียส (Kp) (145.5 ถึง 65.5 ล้านปี) จัดอยู่ในหน่วยหินปูนหิน (Kp) คือ หินทรายแป้ง หินทรายอาร์โกสสีแดง หินโคลน และหินกรวดมนสีน้ำตาลแดง ประกอบด้วยแร่ควอตซ์และแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) บางชั้นมีแร่ไมกา (Mica) พบการกระจายตัวในอำเภอกีเขยง อำเภอยะนิง อำเภอยะลา และอำเภอท่าชนะ

หินอายุเทอร์เชียรี (Tkb) (65.6 ถึง 2.588 ล้านปี) ที่พบในบริเวณนี้ คือ กลุ่มหิน กระบี่ (Krabi group) ประกอบด้วย หินดินดาน หินทรายเนื้อปูนผสม หินทรายและหินทรายแป้ง สีน้ำตาล สีน้ำตาลเหลืองและขาว หินปูน ลิกไนต์ หินน้ำมัน และบางแห่งแทรกสลับด้วยยิปซัมบ้าง พบในบริเวณอำเภอคีเขยง

ตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Q) (2.588 ล้านปี ถึง 11,700 ปี) ประกอบด้วยหน่วย ตะกอนทรายและกรวดน้ำพา (Qa) เป็นตะกอนน้ำพาพวกกรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว สะสมตัวตามร่องน้ำ คันดินแม่น้ำ และแอ่งน้ำท่วมถึง ตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง (Qmc) เป็นตะกอนพวกดินเหนียว ทรายแป้ง และทรายละเอียดของที่ราบลุ่มน้ำขึ้นถึง ที่ลุ่มชื้นแฉะ ที่ลุ่มน้ำขังป่าชายเลน และชะวากทะเล ตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลคลื่น (Qms) เป็นตะกอนพวก ทราย และทรายปนกรวดของหาดสันดอน สันทรายและเนินทราย ตะกอนหน่วยนี้สะสมตัวเป็นแนว แคนยยาวต่อเนื่องกัน ตะกอนนี้ ประกอบด้วยทรายร่วนสีเทาอ่อนและสีน้ำตาลอ่อน ตะกอนเศษหิน เซิงเขาและตะกอนผูกอยู่กับที่ (Qc) เป็นตะกอนพวกกรวด ทราย ทรายแป้ง ศิลาแลงและเศษหิน พบตะกอนหน่วยนี้ตามเซิงเขาทั่วไป ตะกอนนี้ประกอบด้วยชั้นทรายละเอียดปนทรายแป้ง สีส้มแดง บางแห่งพบเศษหินหรือเม็ดเหล็กปนอยู่ในชั้นดินเหนียวด้วย และคาดว่าจะเกิดจากการ ผุพังของหินเดิมมากกว่าถูกพัดพามา และตะกอนทรายและชั้นกรวดตะกอนน้ำ (Qt) เป็นตะกอนพวก กรวด ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียวและศิลาแลง สีขาวขุ่น และเม็ดเล็ก

หินอัคนีที่พบในจังหวัดสุราษฎร์ธานีประกอบด้วย หินแกรนิตอายุครีเทเชียส (KGr) คือ หินไบโอไทต์ฮอร์นเบลนด์แกรนิต หินมีสโคไวต์แกรนิต มีผลึกขนาดเท่ากัน และผลึกเนื้อดอก พบบริเวณกิ่งอำเภอกาวิหวาด อำเภอยะนิง และอำเภอไชยา โดยวางตัวในแนวทิศเหนือสู่ทิศใต้ และ หินแกรนิตอายุไทรแอสซิก (TrGr) พบบริเวณทางด้านทิศตะวันตกบริเวณอำเภอบ้านนาเดิม และ อำเภอเกาะสมุย เป็นหินแกรนิต จำพวกหินไบโอไทต์แกรนิต ทัวมารินแกรนิต แกรโนไดโอไรต์ ไบโอ ไทต์ มีสโคไวต์แกรนิต มีสโคไวต์ทัวมารินแกรนิต ไบโอไทต์ทัวมารินแกรนิต และ หินไดโอไรต์ (Diorite) ในบริเวณเขาหัวควาย และเขาผีเสื้อในอำเภอยะนิง (สุวัฒน์ ตีระไพรัช และคณะ, 2532)



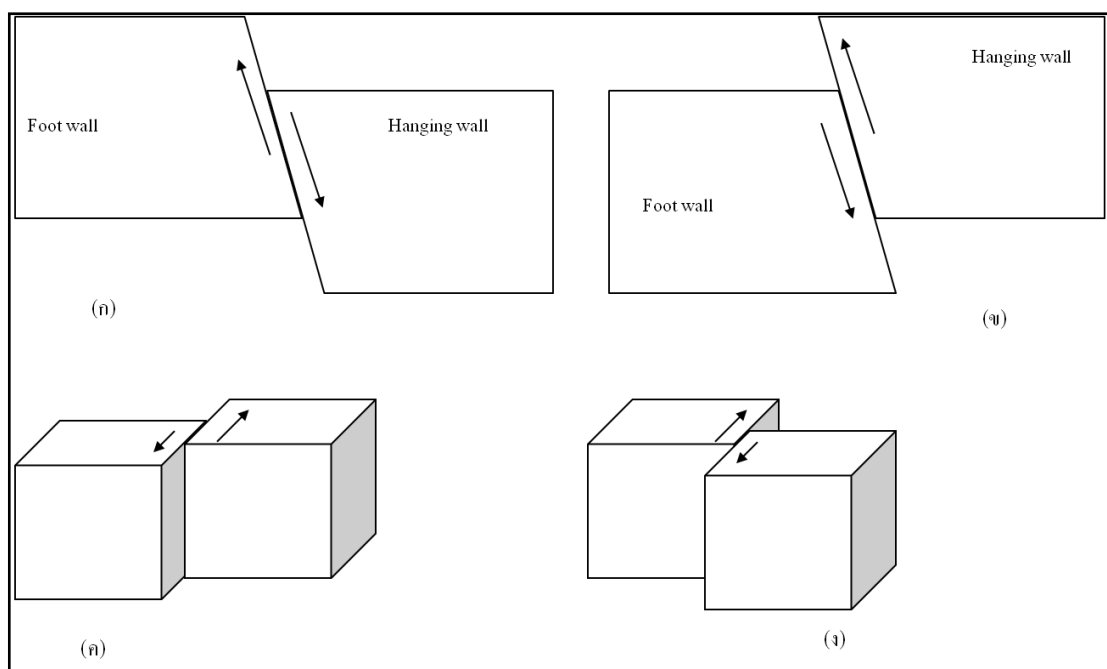
### 1.2.2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรอยเลื่อนมีพลังในภาคใต้ของประเทศไทย

รอยเลื่อน (Fault) “รอยแตกหรือแนวรอยแตกของหิน 2 พากซึ่งเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน และขนานไปกับรอยแตกนั้น” (ราชบัณฑิตยสถาน, 2544) เราสามารถจำแนกรอยเลื่อนอย่างกว้างโดยอาศัยทิศทางและการเคลื่อนไหวสัมพันธ์ของหินตามระนาบรอยเลื่อน (ภาพประกอบที่ 1.3) เช่น รอยเลื่อนปกติ (Normal fault) เกิดจากที่หินเพดานเคลื่อนที่ลงเมื่อเทียบกับหินพื้น รอยเลื่อนย้อน (Reverse fault) เกิดจากการที่หินเพดานเคลื่อนที่ขึ้นเมื่อเทียบกับหินพื้น รอยเลื่อนในแนวระดับ (Strike slip fault) เกิดจากการเคลื่อนที่ในแนวราบขนานกับระนาบรอยเลื่อนโดยทั่วไปแล้วรอยเลื่อนมักจะมีสาเหตุจากการเกิดแผ่นดินไหว ทฤษฎีการเกิดแผ่นดินไหวที่ยอมรับในปัจจุบัน มี 2 ทฤษฎี คือ

1. ทฤษฎีการขยายตัวของแผ่นเปลือกโลก กล่าวว่า แผ่นดินไหวเกิดจากการที่เปลือกโลกเกิดการคดโค้งอย่างฉับพลันและเมื่อวัตถุขาดออกจากกันจึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแผ่นดินไหว

2. ทฤษฎีการคืนตัวของวัตถุ กล่าวว่า แผ่นดินไหวเกิดจากการปลดปล่อยพลังงานความเครียดที่สะสมตัวไว้ใต้เปลือกโลกของแรงต้านทานเลื่อนตัวของรอยเลื่อนมีพลัง อันเนื่องมาจากแรงกดอัดหรือแรงดึงของอิทธิพลภายใต้เปลือกโลก เมื่อแรงต้านทานที่สะสมไว้สู้แรงการเลื่อนของรอยเลื่อนไม่ไหว พลังงานที่สะสมมาจึงถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของแผ่นดินไหวนั่นเอง จากนั้นเปลือกโลกบริเวณนั้นจะกลับคืนมาอยู่ในสภาพเดิม และจะเริ่มต้นการสะสมความเครียดใหม่อีกครั้ง (ปรีชา สายทอง และคณะ, 2551)

รอยเลื่อนมีพลัง (Active fault) ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วภาคใต้ของประเทศไทย ประกอบด้วยรอยเลื่อนที่มีพลัง 2 รอยเลื่อนด้วยกันคือ กลุ่มรอยเลื่อนระนอง (Ranong Fault Zone) วางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยเริ่มตั้งแต่ทะเลอันดามันขึ้นแผ่นดินที่อำเภอตะกั่วป่า อำเภอกระบุรี จังหวัดพังงา ต่อเนื่องมายังอำเภอสุขสำราญ อำเภอกะเปอร์ อำเภอเมืองระนอง อำเภอละอุ่น และอำเภอกระบุรี จังหวัดระนอง พาดผ่านพื้นที่ อำเภอพะโต๊ะ อำเภอสวี อำเภอเมืองชุมพร และอำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร ต่อเนื่องสู่อำเภอบางสะพานน้อย อำเภอบางสะพาน อำเภอทับสะแก อำเภอสามร้อยยอด อำเภอเมืองประจวบคีรีขันธ์ และลงสู่อ่าวไทย บริเวณ ทิศตะวันออกเฉียงของอำเภอสามร้อยยอด มีความยาวเฉพาะส่วนที่ปรากฏบนแผ่นดินประมาณ 300 กิโลเมตร ลักษณะหินต่าง ๆ ที่ผ่านรอยเลื่อนคือ หินโคลนปนกรวด หินทราย หินดินดาน หินปูน และหินแกรนิต (สุวิทย์ ดิยะไพรัช และคณะ, 2555)



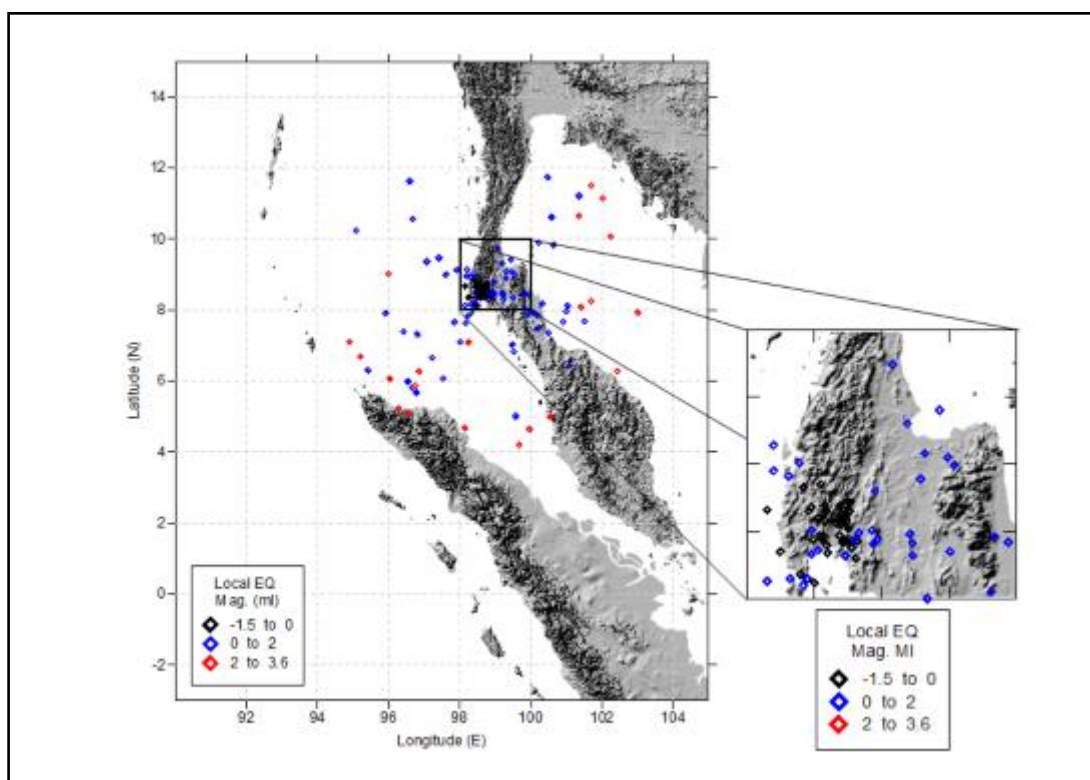
ภาพประกอบที่ 1.3 ลักษณะรอยเลื่อนประเภทต่างๆ คือ (ก) รอยเลื่อนปกติ (ข) รอยเลื่อนย้อนกลับ (ค) รอยเลื่อนตามแนวระดับแบบ Sinistral และ (ง) รอยเลื่อนตามแนวระดับแบบ Dextral ดัดแปลงจาก (دنوپل ต้นนโยภาส, 2550)

รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (Khlong Marui Fault Zone) เป็นกลุ่มรอยเลื่อนตามแนวราบที่วางตัวขนานกับรอยเลื่อนระนองและเลื่อนตัวแบบแนวตั้งและรอยเลื่อนย้อน วางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ทิศตะวันตกเฉียงใต้ แนวรอยเลื่อนปรากฏในทะเลอันดามันตามทิศตะวันออกเฉียงของเกาะภูเก็ตและเกาะยาว ในบริเวณอ่าวพังงา รอยเลื่อนยาวผ่านลำคลองมะรุ่ย ในอำเภอทับปุด อำเภอตะกั่วทุ่ง และอำเภอท้ายเหมือง ของจังหวัดพังงา พาดผ่านมายังอำเภอพนม อำเภอคีรีรัฐนิคม อำเภอบ้านตาขุน อำเภอท่าฉาง และอำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีความยาวเฉพาะส่วนแผ่นดินประมาณ 150 กิโลเมตร ในเขตอำเภอไชยาปรากฏมีแหล่งน้ำพุร้อนหลายแห่งไหลขึ้นตามแนวรอยเลื่อน รอยเลื่อนคลองมะรุ่ยตัดผ่านหินโคลนปนกรวด หินทราย หินดินดาน และหินแกรนิต (สุวิทย์ ดิยะไพรัช และคณะ, 2555)

รอยเลื่อนมีพลังทั้งสองรอยเลื่อนมีสาเหตุการเกิดแผ่นดินไหวดังเช่น การตรวจวัดแผ่นดินไหวในท้องถิ่น (Local earthquake) บริเวณแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยโดยมีการตรวจวัด ด้วยเครื่องมือ ที่เรียกว่า Seismometer ที่บันทึกคลื่นแผ่นดินไหวผลตรวจวัดข้อมูลและแปลความทางด้านแผ่นดินไหววิทยาพบว่า ตั้งแต่ 14 มกราคม ถึง 21 เมษายน 2550 บริเวณรอยเลื่อนคลอง



มระรุ่มีการเกิดแผ่นดินไหวทั้งหมด 135 ครั้ง (ภาพประกอบที่ 1.4) มีแผ่นดินไหวที่มีขนาดความแรง (MI) สูงสุด 4.5 ในวันที่ 3 มีนาคม 2548 (โสภณา แดงเหมือน และคณะ, 2548)



ภาพประกอบที่ 1.4 ตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหวท้องถิ่นที่โดยแบ่งตามระดับความลึกต่างๆ บริเวณแนวรอยเลื่อนมีพลังในภาคใต้ของประเทศไทย บันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 14 มกราคม ถึง 21 เมษายน 2550 (Bhongsuwan et al, 2011)

### 1.3. ทฤษฎีพื้นฐาน

#### 1.3.1. ทฤษฎีพื้นฐานทางด้านแม่เหล็ก

##### 1. สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Magnetic susceptibility, $k$ )

สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Magnetic susceptibility,  $k$ ) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุ (Butler, 1992) ซึ่งสามารถใช้ในจำแนกชนิดของแร่แม่เหล็ก (Magnetic minerals) ที่มีอยู่ในหินหรือดิน สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในที่นี้นิยามได้โดย

$$\vec{M} = k\vec{H}$$

สมการที่ 1.1

เมื่อ  $M$  คือ ผลรวมของโมเมนต์ไดโพลแม่เหล็กต่อมวลหรือปริมาตรของตัวอย่าง

$H$  คือ สนามแม่เหล็ก (Magnetic field)

$k$  คือ สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Magnetic susceptibility)

ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสามารถแยกออกได้เป็นสองชนิดคือ

Volume susceptibility,  $k$  ในการวัดค่าจะมีการกำหนดให้ปริมาตรของตัวอย่างที่จะวัดมีค่าคงที่ทั้งหมด สามารถนิยามด้วยสมการ

เมื่อ

$$M_V = kH$$

สมการที่ 1.2

$M_V$  คือ Volume magnetization ( $\text{Am}^{-1}$ ) คือ ผลรวมของโมเมนต์ไดโพลแม่เหล็กต่อปริมาตรตัวอย่าง

$H$  คือ Applied field ( $\text{Am}^{-1}$ ) คือ สนามแม่เหล็ก

Mass susceptibility ( $\chi$ ) ในการวัดค่าจะมีการกำหนดให้มวลของตัวอย่างที่จะวัดมีค่าคงที่ทั้งหมด สามารถนิยามด้วยสมการ

เมื่อ

$$J = \chi H = \frac{\chi}{\mu} B$$

สมการที่ 1.3

$J$  คือ Mass magnetization ( $\text{Am}^2\text{kg}^{-1}$ ) คือ ผลรวมของโมเมนต์ไดโพลแม่เหล็กต่อมวลของตัวอย่าง

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

$\mu$  คือ สภาพซึมซาบทางแม่เหล็ก (Magnetic permeability)

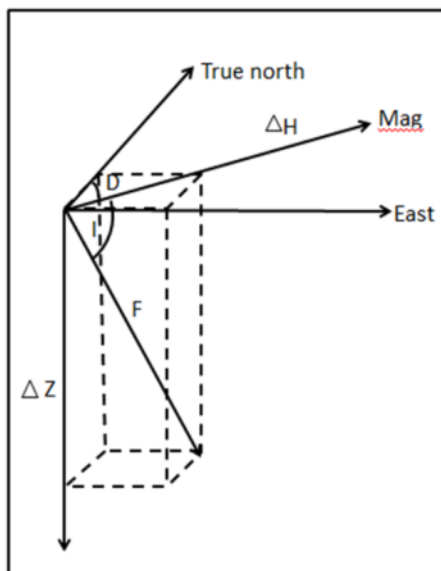
ค่า  $k$  จะไม่มีหน่วยในระบบ SI แต่ค่า  $\chi$  มีหน่วยเป็น  $\text{m}^3\text{kg}^{-1}$

**ตารางที่ 1.1** สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหิน (ดัดแปลงจาก Telford et al, 1998)

ชนิด	สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก [ $SI \times 10^{-3}$ ]	
	ช่วง	เฉลี่ย
<b>Sedimentary</b>		
Dolomite	0-0.9	0.1
Limestone	0-3	0.3
Sandstone	0-20	0.4
Shales	0.01-15	0.6
<b>Metamorphic</b>		
Amphibolites		0.7
Schist	0.3-3	1.4
Phyllite		1.5
Quartzite		4
<b>Igneous</b>		
Granite	0-50	2.5
Rhyolite	0.2-35	
Gabbro	1-90	70
Basalt	0.2-175	70

## 2. สนามแม่เหล็กโลก (The Earth's magnetic field)

สนามแม่เหล็กโลก (The Earth's magnetic field) เป็นปริมาณเวกเตอร์ซึ่งใช้ปริมาณสามตัวในการกำหนดขนาดและทิศทาง ณ จุดใดๆ ปริมาณทั้งสามประกอบด้วย องค์ประกอบแนวตั้งและองค์ประกอบของแนวนอน ตลอดจนมุมระหว่างองค์ประกอบตามแนวนอนกับทิศที่ชี้ไปยังขั้วโลกเหนือทางภูมิศาสตร์ ซึ่งเรียกว่า มุมบ่ายเบน (Declination) และมุมระหว่างสนามแม่เหล็กโลกกับองค์ประกอบตามแนวนอนซึ่งเรียกว่ามุมเท (Inclination) โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล่านี้ได้ตั้งภาพประกอบที่ 1.5



ภาพประกอบที่ 1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางแม่เหล็กของโลก (ดัดแปลงจาก Telford et al, 1998)

จะได้ว่า 
$$F = \sqrt{(X^2 + Y^2 + Z^2)} = \sqrt{H^2 + Z^2} \quad \text{สมการที่ 1.4}$$

$$\tan I = \frac{Z}{H}$$

$$X = H \cos D$$

$$Y = H \sin D$$

$$Z = F \sin I$$

เมื่อ F คือ สนามแม่เหล็กโลก ณ จุดใด ๆ

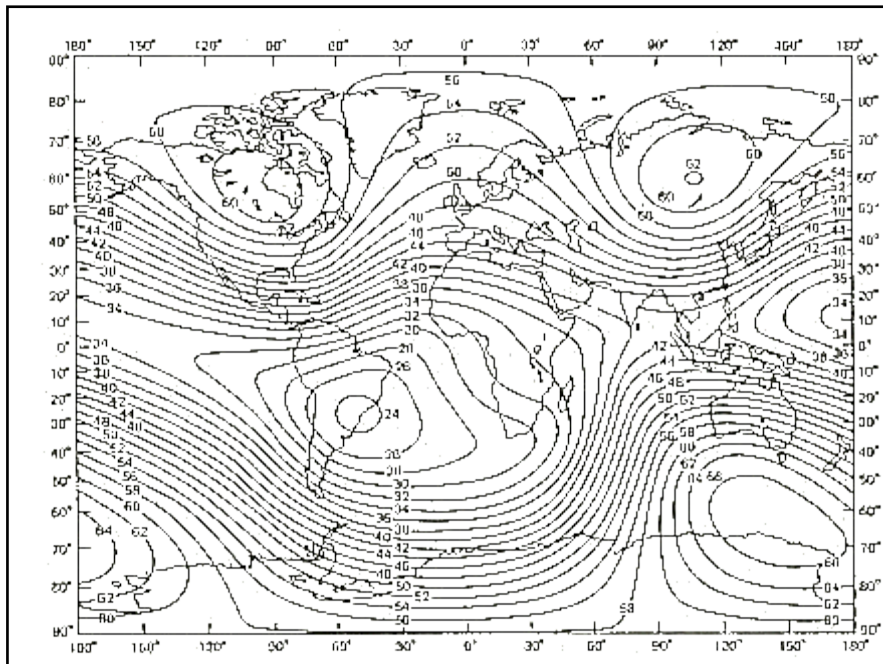
H คือ องค์ประกอบตามแนวนอน

Z คือ องค์ประกอบตามแนวตั้ง

I คือ มุมเท (Inclination)

D คือ มุมบ่ายเบน (Declination)

สนามแม่เหล็กโลกนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆตลอดเวลา โดยมีการสร้างโมเดลจำลองเพื่อทำการเปรียบเทียบทุก 5 ปี โดยการเริ่มคำนวณครั้งแรก เรียกว่า IGRF 1<sup>th</sup> Generation หรือ IGRF-1 โดยโมเดลนี้ ได้กำหนดให้มีการใช้ค่า IGRF ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1945-1955 จนกระทั่งปัจจุบัน มีจำนวนโมเดล 11 โมเดล เรียกว่า IGRF 11<sup>th</sup> Generation (Finlay et al, 2010)



ภาพประกอบที่ 1.6 สนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงปี ค.ศ.1980 โมเดลที่เรียกว่า IGRF 5<sup>th</sup> Generation หรือ IGRF-5 ที่มา ([http://erdmagnetfeld.pimath.de/complete\\_field.html](http://erdmagnetfeld.pimath.de/complete_field.html))

ค่า IGRF เป็นการสร้างโมเดลจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็กโลกที่เปลี่ยนแปลงไปกับตำแหน่งบนผิวโลกและเปลี่ยนแปลงกับเวลาทั้งขนาดและทิศทาง ปริมาณต่างๆ ของสนามแม่เหล็กโลกจะถูกอ้างอิง โดยสมการ

$$v(r, \theta, \phi, t) = a \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} [g_n^m(t) \cos m\phi + h_n^m(t) \sin m\phi] x P_n^m(\cos\theta) \quad \text{สมการที่ 1.5}$$

โดยที่  $r$  คือ ระยะห่างรัศมีจากศูนย์กลางของโลก หน่วย กิโลเมตร

$a$  คือ รัศมีเฉลี่ยของโลก (6,371.2 กิโลเมตร)

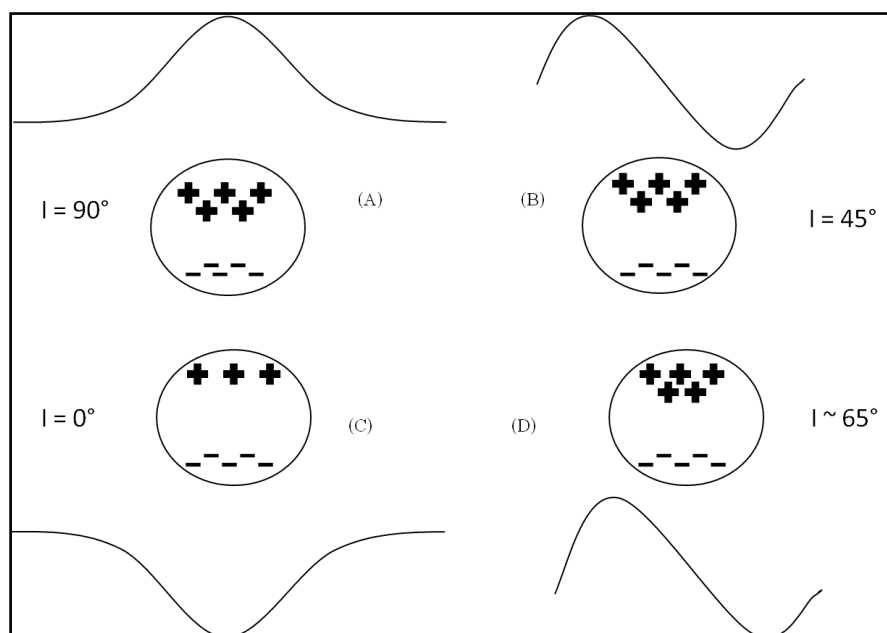
$\theta$  คือ ละติจูดร่วม (Co-latitude)

$\phi$  คือ ลองจิจูด (Longitude)

$P_n^m \cos\theta$  คือ ฟังก์ชันเลขชี้ของสมทบ ระดับ  $n$  อันดับ  $m$

### 3. การแปลความแม่เหล็กทางอากาศเบื้องต้น

การแปลความข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศ ในปัจจุบันมีหลายเทคนิคที่นิยมใช้ด้วยกัน เช่น เทคนิค Horizontal Gradient Magnitude (HGM), เทคนิค Analytic Signal (AS) หรือ Total Gradient (TG), เทคนิค Math Band Pass Filtering (MBFW), เทคนิค Local wave number (LW) หรือ เทคนิค Euler Deconvolution ซึ่งเทคนิคทั้งหมดนี้ช่วยในการระบุตำแหน่งและการประมาณความลึกของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก ในการพิจารณาข้อมูลสนามแม่เหล็กเรานิยมพิจารณาวัตถุที่เกิดค่าผิดปกติจากแมกนีไทเซชันเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว (Induced magnetization) ไม่พิจารณาแมกนีไทเซชันตกค้าง (Remanent magnetization) โดยทั่วไป ลักษณะของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุผิดปกติและบริเวณที่เกิดแมกนีไทเซชันเหนี่ยวนำ เพื่อสะดวกในการคำนวณจึงแทนด้วยรูปทรงเรขาคณิต (ภาพประกอบที่ 1.7) เช่น ทรงกระบอกแนวตั้งที่ลึกลงแทนด้วยผนังบางหรือบริเวณที่เกิดรอยแตกรอยแยก (Thin dike or Shear zone), หรือผนังหนาแทรกลักษณะเป็นปริซึม (Dipping dike prism) จะแทนด้วย หินจำพวก Intrusions, Flow, หรือ Iron-rich sedimentary horizon, ทรงกลมแทนลักษณะเป็นขั้วไดโพล ที่แทนด้วยวัตถุใต้ผิวดินชนิดที่มีขอบเขตชัดเจน



ภาพประกอบที่ 1.7 แผนภาพแสดงค่าผิดปกติที่มุม Inclination ต่างๆ จากวัตถุผิดปกติแบบทรงกลม (A)  $I = 90^\circ$ , (B)  $I = 45^\circ$ , (C)  $I = 0^\circ$  และ (D)  $I = -45^\circ$  (ดัดแปลงจาก Telford et al, 1998)

#### 4. หน่วยสำหรับวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก

ความเข้มสนามแม่เหล็กโลกมีหน่วยเป็น Oersted ในระบบ CGS มีหน่วยเป็น Gamma, ซึ่งมีค่าดังนี้

$$1 \text{ gamma} = 10^{-5} \text{ Oersted}$$

ต่อมาเพื่อความสะดวกในการใช้งานจึงมีการลดให้เล็กลงเรียกว่า Nanotesla มีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} 1 \text{ Nanotesla} &= 10^{-9} \text{ Tesla} \\ &= 1 \text{ gamma} \end{aligned}$$

#### 1.3.2. ทฤษฎีพื้นฐานทางด้านกัมมันตภาพรังสี

##### 1. กฎการสลายตัวของนิวไคลด์

เมื่อนิวเคลียสของนิวไคลด์กัมมันตรังสีมีการเปลี่ยนแปลงสภาพ เป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ การปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปรังสีต่างๆ เช่น แอลฟา บีตา แกมมา โดยอัตราการสลายตัวของนิวเคลียสกัมมันตรังสีจะเป็นแบบสุ่ม ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนนิวเคลียสหรือจำนวนอะตอมที่มีอยู่เดิม หากกำหนดให้  $N$  คือ จำนวนอะตอมที่มีอยู่ ณ ขณะใดขณะหนึ่งจะมีอัตราการสลายตัวตามสมการ คือ

$$\begin{aligned} \frac{dN}{dt} &\propto N \\ -\frac{dN}{dt} &= -\lambda N \end{aligned}$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{dt} = -\lambda \int_{t_0}^t dt$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

สมการที่ 1.6

เมื่อ  $\lambda$  คือ ค่าคงที่การสลายตัว (Decay constant) มีหน่วยเป็น  $S^{-1}$

$N_0$  คือ จำนวนอะตอมที่มีอยู่เดิม ณ เวลาที่เริ่มต้น  $t = 0$

## 2. กัมมันตภาพรังสี, ครึ่งชีวิตและครึ่งชีวิตเฉลี่ย

กัมมันตภาพรังสีหรือความแรงรังสี (Activity,  $A$ ) ของธาตุกัมมันตรังสีหมายถึง อัตราการสลายตัวของกัมมันตภาพรังสี หรือ จำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่สลายตัวต่อหน่วยเวลาโดยเขียนเป็นความสัมพันธ์ (นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2545) ได้ดังนี้

$$A \propto \frac{dN}{dt}$$

$$A = \lambda N$$

คูณตลอดด้วย  $\lambda$  จะได้

$$\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

สมการที่ 1.7

เมื่อ  $A_0$  คือ กัมมันตภาพรังสีที่เวลาเริ่มต้น ( $t=0$  วินาที)

$A$  คือ กัมมันตภาพรังสีที่เวลา  $t$  ใดๆ มีหน่วยเป็นครั้งต่อวินาที (Disintegration per second, dps) หรือ คูรี (Curies; Ci) ในปัจจุบันใช้หน่วยตามระบบ SI คือ เบ็กเคอเรล (Becquerel; Bq) โดยที่

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps}$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps}$$

ครึ่งชีวิต (Half life,  $t_{1/2}$ ) หมายถึงระยะเวลาที่นิวไคลด์ของธาตุกัมมันตรังสีสลายตัวเหลือครึ่งหนึ่งจากจำนวนนิวไคลด์ที่มีอยู่ในเริ่มต้น นั่นคือ เมื่อเวลาผ่านไป  $t = t_{1/2}$  จำนวนอะตอมของธาตุกัมมันตรังสี  $N$  จะเหลือเท่ากับ  $N_0/2$  ซึ่งหากแทนค่าลงในสมการที่ (1.7) ก็จะได้ว่า

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

เมื่อ เวลา  $t = t_{1/2}$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}}$$



$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda t_{\frac{1}{2}}$$

$$-0.693 = -\lambda t_{\frac{1}{2}}$$

$$0.693 = \lambda t_{\frac{1}{2}}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda}$$

สมการที่ 1.8

เนื่องจากสมการที่ 1.8 เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าครึ่งชีวิต ( $t_{1/2}$ ) และค่าคงที่ของการสลายตัว (แต่เนื่องจากอะตอมในนิวไคลด์ของกัมมันตภาพรังสีมีช่วงชีวิตที่ไม่เท่ากัน ค่าเฉลี่ยของช่วงชีวิต เรียกว่า ชีวิตเฉลี่ย (meanlife,  $\tau$ ) ซึ่งหาได้จากการรวมชีวิตของอะตอมทั้งหมด แล้วหารด้วยจำนวนอะตอมที่มีอยู่

กำหนดให้  $dN_n$  มีช่วงชีวิต  $t_n$  โดย  $n = 1, 2, 3, \dots$  จะได้

$$\tau = \frac{dN_1 t_1 + dN_2 t_2 + dN_3 t_3 + \dots}{dN_1 + dN_2 + dN_3 + \dots}$$

$$\tau = \frac{\int_0^{N_0} t dN}{N_0}$$

$$\tau = \frac{\int_0^{N_0} t dN}{\int_0^{N_0} dN}$$

เมื่อ

$$dN = -\lambda N dt$$

$$dN = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} dt$$

จะได้

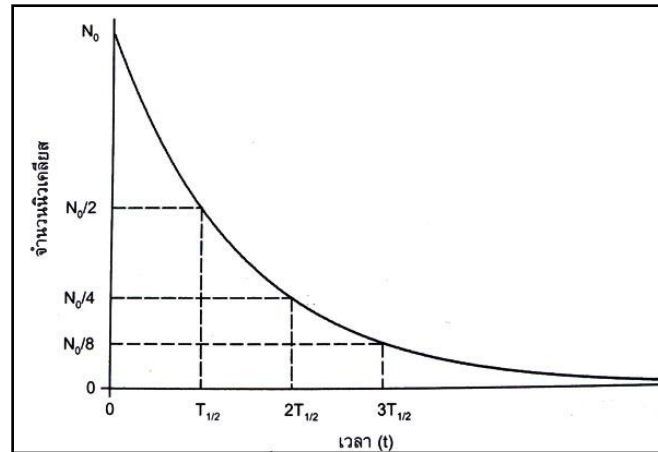
$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} \lambda t N_0 e^{-\lambda t} dt}{N_0}$$

$$\tau = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-t} dt$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

สมการที่ 1.9

สมการที่ 1.9 แสดง ชีวิตเฉลี่ย ( $\tau$ ) มีค่าแปรผกผันกับค่าคงที่ของการสลายตัว (ภาพประกอบที่ 1.8)



ภาพประกอบที่ 1.8 กราฟการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี (ดัดแปลงจาก นวลณี รุ่งทวีเกียรติ, 2545)

### 3. สมดุลกัมมันตรังสี (Radioactive Equilibrium)

เนื่องจากสารกัมมันตรังสีมันตรังสีหลายตัวเมื่อมีการสลายตัวจะทำให้ได้นิวเคลียสของตัวลูกที่ยังคงเป็นสารกัมมันตรังสี ซึ่งจะสลายตัวต่อไปพร้อมกับก่อให้เกิดลูกของกัมมันตรังสีใหม่ โดยตัวของมันเองก็จะเปลี่ยนสถานะเป็นพ่อแม่ โดยประกอบด้วยกัน 2 กรณีคือ สมดุลชั่วคราว (Transient equilibrium) และ สมดุลถาวร (Secular equilibrium)

สมดุลชั่วคราว (Transient equilibrium) เป็นสมดุลที่เกิดขึ้นเมื่อครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่มากกว่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์ลูกประมาณ 3-10 เท่า กล่าวคือ  $\lambda_1 < \lambda_2$

เมื่อ  $\lambda_1$  แทนค่าคงที่ของการสลายตัวของนิวไคลด์แม่

$\lambda_2$  แทนค่าคงที่ของการสลายตัวของนิวไคลด์ลูก

โดยถ้าเริ่มต้นที่เวลา  $t=0$  ไม่มีนิวไคลด์ลูกอยู่เลย

จะได้

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_0 \left( e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} \right)$$

สมการที่ 1.10

เมื่อการสลายตัวไปนาน ค่า  $e^{-\lambda_2 t}$  จะมีค่าน้อยกว่า  $e^{-\lambda_1 t}$  มาก จนสามารถตัดทิ้งไปได้

$$\text{จะได้} \quad \frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad \text{สมการที่ 1.11}$$

สมดุลถาวร (Secular Equilibrium) สมดุลกัมมันตภาพรังสีถาวรเกิดขึ้นเมื่อ ครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่มีค่ามากกว่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์ลูกมาก ประมาณ  $10^4$  เท่า หรือมากกว่านั้น ดังนั้นค่าความแรงรังสีของพ่อแม่จะไม่เปลี่ยนแปลงมากแต่ในขณะที่ค่าความแรงรังสีของลูกเปลี่ยนแปลงไปหลายช่วงครึ่งชีวิต ( $\lambda_1 \ll \lambda_2$ )

$$\text{จะได้} \quad \lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots = \lambda_{n-1} N_{n-1} = \lambda_n N_n \quad \text{สมการที่ 1.12}$$

#### 4. อนุกรมกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ

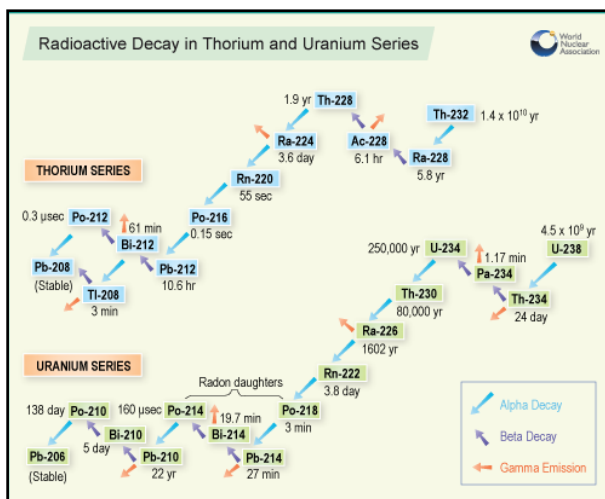
อนุกรมรังสีธรรมชาติประกอบด้วยกัน 4 อนุกรม ดังนี้

อนุกรมรังสีทอเรียม (Thorium series,  $4n$  series) ธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้คือ  $^{232}\text{Th}$  ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต  $1.41 \times 10^{10}$  ปี สลายตัวต่อเนื่อง จนกระทั่งได้นิวไคลด์เสถียร คือ  $^{208}\text{Pb}$  ธาตุกัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ มีเลขเชิงมวลที่หาร 4 ลงตัว

อนุกรมเนปทูเนียม (Neptunium series,  $4n+1$ ) มีธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้ คือ  $^{241}\text{Pu}$  มีครึ่งชีวิตเพียง 14.4 ปี และส่วนใหญ่ของนิวไคลด์ที่เกิดจากการสลายในอนุกรมนี้มีครึ่งชีวิตที่ไม่ยาวมากนัก ปัจจุบัน จึงไม่พบอนุกรมชุดนี้

อนุกรมยูเรเนียม (Uranium series,  $4n+2$  series) ธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้คือ  $^{238}\text{U}$  มีค่าครึ่งชีวิต  $4.47 \times 10^9$  ปี สลายตัวต่อเนื่อง จนกระทั่งได้นิวไคลด์เสถียร คือ  $^{206}\text{Pb}$  ธาตุกัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้

อนุกรมแอกทิเนียม (Actinium series,  $4n+3$  series) ธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้คือ  $^{238}\text{U}$  ที่มีค่าครึ่งชีวิต  $7.04 \times 10^9$  ปี สลายตัวต่อเนื่อง จนกระทั่งได้นิวไคลด์เสถียร คือ  $^{207}\text{Pb}$  นิวไคลด์กัมมันตรังสีชุดนี้ มีเลขเชิงมวล (A) ที่หารด้วย 4 แล้วเหลือเศษ 3 จึงเรียกอนุกรมชุดนี้ว่า  $4n+3$



ภาพประกอบที่ 1.9 แผนผังการสลายตัวของกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ ที่มา (<http://world-nuclear.org/info/Safety-and-Security/Radiation-and-Health/Naturally-Occurring-Radioactive-Materials-NORM>)

## 5. หน่วยในการวัดปริมาณทางรังสี

หน่วยในการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีมีหลายชนิดแต่ละชนิดมีจุดประสงค์ในการวัดไม่เหมือนกัน เช่น หน่วยวัดความแรง หน่วยวัดอำนาจการดูดซับ หรือหน่วยวัดความเข้ม เป็นต้น ซึ่งหน่วยต่างๆ มีดังต่อไปนี้

Curies (Ci) หน่วยนี้ตั้งเพื่อให้เกียรติ แก่ Madam Curie เป็นผู้ค้นพบธาตุ Radium เป็นหน่วยที่ใช้วัดความแรง (Strength) ซึ่งกำหนดว่า 1 Ci เท่ากับ  $3.7 \times 10^{10}$  ของจำนวนการสลายตัวใน 1 วินาที

Roentgen (R) เป็นหน่วยที่ใช้วัดจำนวนรังสีที่ถูกดูดซับ (Absorbed) ในหนึ่งหน่วยปริมาตรหรือหนึ่งหน่วยน้ำหนักของวัสดุ ค่าของ 1 R หมายถึง ปริมาณของรังสีที่ทำให้เกิด Ion pairs จำนวน  $1.6 \times 10^{12}$  คู่ ในอากาศ 1 กรัม

Electron volts (eV) เป็นหน่วยวัดพลังงาน (Energy) ของรังสีแกมมาโดยกำหนดให้ 1 eV มีค่าเท่ากับพลังงานที่ได้จากการที่อิเล็กตรอนซึ่งถูกเร่งในสนามไฟฟ้ามีความต่างศักย์ 1 Volt ซึ่ง มีค่าเท่ากับ 1 eV เท่ากับ  $1.605 \times 10^{-19}$  Joules

Count per unit time เป็นหน่วยวัดจำนวนครั้งของรังสีที่ตกกระทบใน 1 หน่วยเวลาโดยทั่วไปแล้วใช้เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจจะวัดค่ากัมมันตภาพรังสีออกมาเป็นจำนวนครั้งของรังสีที่ตกกระทบ Detector ต่อ 1 หน่วยเวลา เช่น Count per second (cps)

Equivalent Uranium (eU) และ Equivalent Thorium (eTh) เป็นหน่วยวัดความเข้มข้น (Concentration) เนื่องจากการวัดค่ารังสีแกมมาที่ได้จากการสลายตัวของธาตุยูเรเนียมและทอเรียมซึ่งแสดงไว้ในอนุกรมการสลายตัว (Decay Series) (ภาพประกอบที่ 1.9) นั้น จะต้องวัดในสภาวะสมดุล (Equilibrium) จึงจะทำให้ได้ค่าที่ถูกต้อง แต่ในความเป็นจริงเราไม่สามารถทราบได้ จึงใช้คำว่า Equivalent นำหน้าค่าของยูเรเนียมและทอเรียม ส่วนค่าโพแทสเซียมใช้ Percentage (K%)

Unit of radiation concentration (ur) ทบวงการปรมาณูระหว่างประเทศ IAEA ได้กำหนดหน่วยที่ใช้กับ Total counts คือหน่วย Ur ซึ่ง 1 Ur เท่ากับจำนวน Total count ที่ได้จาก Uranium 1 ppm ในสภาวะสมดุล

### 1.3.3. การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในประเทศไทย

การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในประเทศไทยได้เกิดขึ้นโดยรัฐบาลไทยภายใต้การดำเนินงานของกรมทรัพยากรธรณี ว่าจ้างบริษัท Kenting Earth Sciences International Ltd., Ottawa, Canada ทำการบินสำรวจในระหว่างปี พ.ศ.2527 ถึง พ.ศ.2532 ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 444,000 ตารางกิโลเมตร ทำการบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ 3 วิธีด้วยกัน ซึ่งแบ่งตามการสำรวจคือ Survey A เป็นการสำรวจการวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก Survey-B&C สำรวจวัดความเข้มสนามไฟฟ้ารังสีและ Follow-Up Survey เป็นการสำรวจความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (สงกรานต์ บุญรวม, 2539) ซึ่งจะประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

1. Survey A การสำรวจแม่เหล็กทางอากาศ (Airborne magnetic) เนื่องจากพื้นที่ทั่วประเทศไทยมีลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันมากบางส่วนเป็นที่ราบและบางส่วนเป็นภูเขาซึ่งมีความสูงที่แตกต่างกันไปหลายระดับ จึงจำเป็นต้องแบ่งพื้นที่เพื่อกำหนดระดับความสูงของการบินสำรวจ คือ พื้นที่ภูเขาบินตามความสูงที่กำหนดเหนือระดับน้ำทะเลเฉลี่ย (ASL) ตั้งแต่ความสูง 1,500 ฟุต ถึง 7,500 ฟุต ทำการบินสำรวจตั้งแต่เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2527 ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2528 ได้ระยะทางการบิน รวม 439,588 แนวบิน-กม. ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 44,000 ตารางกิโลเมตร โดยมีข้อกำหนดการบินสำรวจดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ข้อกำหนดของการบินสำรวจและเครื่องมือสำรวจ ชนิด Survey A (ดัดแปลงจาก บัญรวม สงกรานต์, 2539)

เครื่องมือสำรวจ	ข้อกำหนดของการบินสำรวจ
เครื่องบินปีกแข็ง	ชนิด 2 เครื่องยนต์ แบบ Cessna 404 Titans
Line spacing	1 กิโลเมตร จะต้องไม่กว้างเกิน 2 กิโลเมตร หรือแคบกว่า 0.5 กิโลเมตร และถ้ามีส่วนใดกว้างเกิน 1.5 กิโลเมตร เป็นระยะทางมากกว่า 10 กิโลเมตร ต้องทำการบินใหม่
Control line spacing	14 กิโลเมตร
ความสูงของการบินสำรวจ	ที่ระดับ 1000 ฟุต (MTC) ผิดได้ไม่เกิน $\pm 100$ ฟุต
ทิศทางการบินสำรวจ	บินสำรวจในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้
Magnetometer	ชนิด Proton free- precession หรือ optical absorption -Resolution $\leq 0.25$ gamma -Noise envelops $\leq 0.25$ gamma -F.O.M. $\leq 4$ gamma (4nT)
Positioning equipment	Tracking camera และ Doppler
Altimeter	Barometric and Radar altimeters
Sampling rate	0.25 gamma
Diurnal variation	$\leq 3$ gamma per minute
Tests and Calibrations	Magnetometer calibration, altimeter calibration and lag test

2. Survey B&C การสำรวจสเปกตรัมรังสีแกมมาทางอากาศ (Airborne gamma-ray spectrometric) เป็นการสำรวจโดยใช้เครื่องบินปีกแข็งชนิด Briten Norman Islander (Survey B) และเครื่องบินปีกหมุน ชนิด Bell 412 (Survey C) เพื่อวัดความเข้มสนามแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดย Survey B ใช้สำรวจพื้นที่ราบ และ Survey C ใช้ในการสำรวจพื้นที่ภูเขาสูงชัน เริ่มทำการบินในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2528 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2530 ครอบคลุมพื้นที่ 300,000 แนวบิน-กม. ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 430,000 ตารางกิโลเมตร มีรูปแบบและข้อกำหนดการบินสำรวจดังตารางที่ 1.3

**ตารางที่ 1.3** รูปแบบและข้อกำหนดทางเทคนิคในการสำรวจ Survey B&C (ดัดแปลงจาก บัญชีรวมสงกรานต์, 2539)

เครื่องมือสำรวจ	ข้อกำหนดของการบินสำรวจ
เครื่องบิน	เครื่องบินปีกแข็งชนิด Briten Norman Islander และ เครื่องบินปีกหมุน ชนิด Bell 412
Line spacing	1, 2, และ 5 กิโลเมตร
Control line spacing	14 กิโลเมตร
Flight altitude	ที่ระดับ 400 ฟุต (MTC) ผิดได้ไม่เกิน $\pm 30$ ฟุต
Line direction	บินสำรวจในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก
Gamma ray spectrometer	256 channel, 12 NaI Crystals, 50.30 liters 4 energy windows (TC-windows=0.40-2.82 MeV, K-window=1.36-1.56 MeV, U-window=1.66-1.86 MeV, Th-window=2.42-2.82 MeV)
Magnetometer	เหมือน Survey A
VLF-EM	TOTEM-IIA วัด 2 สถานี NDT (ortho) ความถี่ 17.4 MHz. และ NWC (line) ความถี่ 22.3 MHz
Positioning equipment	Tracking camera และ Doppler
Altimeter	Barometric และ Radar altimeter
Sampling	1 second

3. Follow-Up Survey เป็นการสำรวจด้วยการวัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic survey) ทำการบินสำรวจด้วยเครื่องบินปีกหมุนชนิด Bell 412 ติดตั้งเครื่องมือ Frequency Domain EM ที่ประกอบด้วย 3 ความถี่ คือ 436 Hz, 912 Hz, และ 4,200 Hz และมี Coil configuration ชนิด Vertical coaxial, Horizontal Coplanar 2 ความถี่ ตามลำดับโดย Coli ทั้งหมดติดตั้งไว้ที่เครื่องบิน ยาวประมาณ 8 เมตร มีสายเคเบิลโยงมาจากลำตัวเครื่องบิน เหนือ Bird จะติดตั้งเครื่อง Magnetometer เพื่อวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก โดยบินที่ระดับความสูงประมาณ 30 เมตร เหนือระดับภูมิประเทศเฉลี่ย (Mean Terrain clearance, MTC) ทำการบินสำรวจในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2530 ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2531 ได้ระยะทางบินสำรวจรวม 45,257 แนวบิน-กม. คลอบคลุมพื้นที่ประมาณ 18,000 ตารางกิโลเมตร โดยมีข้อกำหนดการบินสำรวจตามตารางที่ 1.4

**ตารางที่ 1.4** รูปแบบและข้อกำหนดทางเทคนิคการบินและเครื่องมือสำรวจ Follow up Survey (ดัดแปลงจาก บุญรวม สงกรานต์, 2539)

เครื่องมือสำรวจ	ข้อกำหนดของการบินสำรวจ
เครื่องบิน	เครื่องบินปีกหมุนชนิด Bell 412
Line spacing	400 เมตร
Control line spacing	5 กิโลเมตร
Flight altitude	ที่ระดับ 100 ฟุต (MTC) ผิดได้ไม่เกิน $\pm 100$ ฟุต
Line direction	บินสำรวจในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก
Magnetometer	ชนิด Proton free- precession หรือ optical absorption

#### 1.4. ธรณีเคมีของธาตุกัมมันตรังสีธรรมชาติ

##### 1.4.1. ธาตุโพแทสเซียม (Potassium)

องค์ประกอบธรณีทางเคมีของธาตุกัมมันตรังสีโพแทสเซียม โพแทสเซียมเป็นธาตุที่สามารถระเหยเป็นไอได้เร็วที่สุด ปกติโพแทสเซียมที่อยู่ในชั้นผิวโลกประมาณธรรมชาติประมาณ 2.33 น้ำหนัก %K. ในทางเคมีโพแทสเซียมสามารถละลายในน้ำได้ดี และเกิดจากการสลายตัวของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) และ ไมกา (Mica) ส่งผลให้แร่เคลย์ที่เกิดขึ้นที่ทำการตรวจพบจะมีค่าโพแทสเซียมที่สูง (ดัดแปลงจาก Chan et al, 2007)

**ตารางที่ 1.5** Potassium Mineral (ดัดแปลงจาก IAEA, 2003)

Potassium Mineral	Chemical Formula	%K
Rock forming silicate mineral		
Feldspars	$(K,Na)AlSi_3O_8;(Na_x, Ca_{1-x})Al_{2-x}Si_{2+x}O_{8(x=0-1)}$	13
Alkali-feldspar	$(K,Na)AlSi_3O_8$	13
Microcline	$KAlSi_3O_8$	13
Orthoclase	$KAlSi_3O_8$	13
Sanidine	$KAlSi_3O_8$	13
Leucite	$KAlSi_2O_6$	17
Biotite	$K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$	8



### 1.4.2. ธาตุทอเรียม (Thorium)

ธาตุทอเรียมในธรรมชาติพบว่ามีทอเรียมบริเวณชั้นแผ่นเปลือกโลกในปริมาณค่อนข้างต่ำ โดยเฉลี่ยมีประมาณ 12 ppm ทอเรียมสามารถละลายได้ดีในสารละลายคลอไรต์ (Chlorite) ฟลูออไรต์ (Fluorite) ทอเรียมประกอบด้วยแร่ที่สำคัญ คือ เซอร์คอน (Zircon), โมนาไซต์ (Monazite), อลูไนต์ (Allunite) และ สฟีน (Sphene) ดังตารางที่ 1.6

ตารางที่ 1.6 Thorium mineral (ดัดแปลงจาก IAEA, 2003)

Thorium Mineral	Chemical Formula	%ThO <sub>2</sub>
Mineral with Th as Major constituent		
Huttonite	ThSiO <sub>4</sub>	80
Thorite, Uranothorite	ThSiO <sub>4</sub> , (Th,U)SiO <sub>4</sub>	50, <50
Cheralite	(Th,Ce,Ca)(SiO <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> )	30
Thorianite, Uranothorianite	ThO <sub>2</sub> , (Th,U)O <sub>2</sub>	80, <80
Common accessory minerals		
Monazite	(REE,Th)PO <sub>4</sub>	10
Xenotime	YPO <sub>4</sub>	0.4-1
Zircon	ZrSiO <sub>4</sub>	0.001-1

### 1.4.3. ธาตุยูเรเนียม (Uranium)

ยูเรเนียมเป็นธาตุประกอบในแร่ต่างๆ ได้ โดยเฉพาะในแร่หนักต่างๆ ซึ่งเป็นแร่รอง เช่น เซอร์คอน (Zircon), ซีโนไทม์ (Xenotime), และ โมนาไซต์ (Monazite) สำหรับในแร่ประกอบหิน จะประกอบด้วยแร่ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ (Feldspar) และ มัสโคไวต์ (Muscovite) จะมียูเรเนียมน้อยกว่าในแร่ ไปโอไทต์ (Biotite) หินฮอร์นเฟลส์ (Hornfels) และ ฮอร์นเบลนด์ และ ไพรอกซีน (Pyroxene) โดยทั่วไปแล้วกัมมันตรังสียูเรเนียมมักจะสลายตัวโดยจะถูกชะล้างแล้วปนเปื้อนกับน้ำบาดาล ทำให้บริเวณนั้นมีค่ากัมมันภาพรังสีที่ปริมาณที่สูง (Chan et al, 2007)

ตารางที่ 1.8 Uranium Mineral (ดัดแปลงจาก IAEA, 2003)

Uranium Mineral	Chemical Formula	% UO <sub>2</sub> / ppm U
Mineral with U as Major constituent		
Uraninite, (Pitchblende)	UO <sub>2</sub>	
Betafite	(U,Ca)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> .nH <sub>2</sub> O	
Huttonite	ThSiO <sub>4</sub>	100-20000 ppm
Uranospherite	(BiO)(UO <sub>2</sub> )(OH) <sub>3</sub>	
Thorite,Uranothorite	ThSiO <sub>4</sub> , (Th,U)SiO <sub>4</sub>	1-35%
Common accessory rock forming mineral		
Zircon	ZrSiO <sub>4</sub>	5%
Xenotime	YPO <sub>4</sub>	5%
Monazite	(REE,Th)PO <sub>4</sub>	100-20000 ppm
Allanite	(Ca,Al,Fe,Mg)silicate	10-2000 ppm
Sphene	CaTiSiO <sub>5</sub>	10-500 m

### 1.5. การตรวจเอกสาร

Bournas et al. (2002) ได้ศึกษาแปลความข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศเพื่ออธิบายลักษณะโครงสร้างใต้พื้นดินและระบุรอยต่อทางธรณีวิทยาของรอยเลื่อนโดยทำการศึกษาบริเวณเมือง Eastern Hoggar ประเทศแอลจีเรีย โดยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลความทางแม่เหล็ก ด้วยกัน 3 เทคนิค คือ Euler deconvolution, Analytic Signal (AS) และ Local Wave number (LW) โดยสร้างโมเดลจำลอง 2 แบบ คือแบบแรกคือ ปริซึมฐานสามเหลี่ยมวางแนวตั้ง มีสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของแม่เหล็กเหนี่ยวนำ เท่ากับ 0.0002 [S.I.] โดยปริซึมนี้มีความลึกมาก และส่วนบนของปริซึมอยู่ต่ำกว่าผิวดิน 500 เมตร โมเดลนี้แทนโครงสร้าง รอยต่อทางธรณีวิทยา รอยเลื่อนและโครงสร้างทางแม่เหล็กขนาดใหญ่ และแบบที่สอง ทรงกระบอกตันวางตัวในแนวตั้งซึ่งมีสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของแม่เหล็กเหนี่ยวนำ เท่ากับ 0.002 [S.I.] โดยสมมติให้เป็นทรงกระบอกตันนี้ลึกมาก และส่วนบนของทรงกระบอกตันอยู่ต่ำกว่าผิวดิน 1 กิโลเมตร การสร้างโมเดลมีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ ต่าง คือ Analytic signal มีค่า Minimum detector (L) = 3 กระบวนการ Local Wavenumber เลือก Structural Index (SI) =0 และ กระบวนการ Euler deconvolution เลือกใช้

ค่า Threshold tolerance (TZ) = 0.75, Window size = 7x7 และ Structural Index SI = 0.25 ซึ่งผลการทดสอบกับโมเดลทั้ง 2 ชนิด ว่าพารามิเตอร์ต่างๆมีความเหมาะสมและสามารถระบุตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็กหรือขอบเขตทางแม่เหล็กได้อย่างแม่นยำ จึงนำพารามิเตอร์ต่างๆ มาประยุกต์ใช้กับพื้นที่บริเวณ Eastern Hoggar ประเทศแอลจีเรีย ผลการทดลองเปรียบเทียบแม่นยำและความไวต่อสัญญาณรบกวนต่อพบว่าการ Euler deconvolution เหมาะสมที่สุดในด้านความแม่นยำ และมีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด สำหรับการระบุตำแหน่งรอยเลื่อนหรือรอยต่อทางแม่เหล็กหรือลักษณะรอยต่อทางธรณีวิทยาโครงสร้าง แต่กระบวนการนี้ต้องเลือกอาศัยใช้พารามิเตอร์ที่ถูกต้อง คือ Structural index, Window size, และ The tolerance ในขณะที่กระบวนการ Analytic Signal (AS) และ Local wavenumber (LW) ก็มีความแม่นยำต่อการระบุตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็กแต่ทั้งสองกระบวนการพบว่ามีสัญญาณรบกวนมาก จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการลดทอนสัญญาณรบกวน (Filtering) ก่อน

Debeglia et al (2006) ได้ศึกษาและอธิบายถึงการวิเคราะห์ข้อมูลแม่เหล็กและข้อมูลกัมมันตภาพรังสีแกมมาทางอากาศโดยสร้างโมเดลจำลองลักษณะของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็ก โดยได้กำหนดรูปแบบต่างๆไว้ 7 ชนิด ผลที่ได้ก็นำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลแม่เหล็กและข้อมูลกัมมันตรังสีทางอากาศบริเวณทางตะวันตกของเมืองเอาส์โจ (Outjo) ประเทศนามิเบีย การสำรวจข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศมีระยะห่างระหว่างแนวสำรวจ (Line spacing) คือ 200 เมตร และระยะห่างของแนวตัดขวางแนวสำรวจ (Tie line) คือ ระยะ 2500 เมตร และบินที่ความสูง 80 เมตร ถึง 100 เมตร การบินสำรวจกัมมันตภาพรังสีแกมมาทางอากาศโดยทำการวัดช่วงพลังงานรังสี eU, eTh และ K ในช่วงพลังงานรังสี 0.4 MeV ถึง 2.8 MeV

กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลด้านสนามแม่เหล็ก ประกอบด้วย เทคนิค Horizontal Gradient Magnitude (HGM), เทคนิค Various order of the analytic signal แบบที่ใช้การลดทอนสู่ขั้วและไม่ใช้กระบวนการลดทอนสู่ขั้ว นอกจากนั้นยังมีเทคนิคพิเศษ 2 เทคนิค คือ Enhanced Horizontal Gradient (EHD) และเทคนิค Composite Analytic Signal (CAS) เทคนิคนี้จะช่วยลดสัญญาณรบกวนซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการ Analytic Signal (AS) ในส่วนข้อมูลที่ได้จากการสำรวจค่ากัมมันตภาพรังสีของ Equivalent Uranium, Equivalent Thorium, Potassium ในการสร้างคอนทัวร์ข้อมูลขนาด 50x50 เมตร ด้วยโปรแกรม Golden software Surfer<sup>TM</sup> จากนั้นจึงใช้กระบวนการวิเคราะห์แบบ Horizontal Gradient Magnitude (HGM) ซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการ Reduce To The Pole (RTP) และเทคนิค Upward Continue ที่ระยะ 100 เมตร กระบวนการแปลความพบว่าไว้ว่าบริเวณค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก สามารถระบุตำแหน่งกลุ่มรอยต่อผืนหิน (Dyke network) หรือ รอยต่อทางแม่เหล็ก (Magnetic contact)

Mac et al. (1993) เสนอใช้การแก้ปัญหาการแปลความของข้อมูลสนามแม่เหล็ก บริเวณละติจูดที่ต่ำ เนื่องจากบริเวณละติจูดต่ำ จะไปเพิ่มเวกเตอร์เหนียวทำให้เกิดความซับซ้อนของค่าผิดปกติแม่เหล็กซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของสนามแม่เหล็กนี้จึงมีการแก้ปัญหาที่ใช้นิยามเทคนิคที่เรียกว่า Reduce To The Pole (RTP) มีหลักการคือใช้ในการอธิบายลักษณะของวัตถุผิดปกติที่มีค่าแมกเนไทเซชัน (Magnetization) โดยไม่คำนึงถึงค่า แมกเนไทเซชันตกค้าง (Remnant magnetization) และแอนไอโซโทรปี (Anisotropy) ของรูปร่างวัตถุแม่เหล็ก การระบุตำแหน่งของวัตถุผิดปกติที่มีเทคนิคลดทอนสู่ขั้ว (Reduce to The Pole) ช่วยเพิ่มความแม่นยำของกระบวนการ Analytic Signal (AS)

Philips (2001) อธิบายการกระบวนการ Math Bandpass Filtering ที่ใช้ในการแยกสนามศักดิ์ตามแหล่งผิดปกติตามบริเวณและรูปแบบของแหล่งผิดปกติทางแม่เหล็ก ผลการกรองด้วยวิธี Math Bandpass Filtering ช่วยในการแยกวัตถุผิดปกติที่มีความยาวคลื่นสั้นในระดับต้นออกจากวัตถุผิดปกติที่มีความยาวคลื่นยาวและอยู่ระดับที่ลึกกว่า โดยประยุกต์ใช้เทคนิคนี้กับข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศ บริเวณ แอ่ง Albuquerque มลรัฐ New Mexico ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าสามารถแยกความยาวที่เป็นความลึกได้ที่ความลึก 123 เมตร ออกจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวดินและสัญญาณรบกวนในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตกตามแนวการบินสำรวจ

Phillips. (2002) ได้ทำการศึกษาเรื่อง กระบวนการแปลความและตีความข้อมูลการสำรวจแม่เหล็กทางอากาศบริเวณแอ่งซานตาครูส (Santa Cruz Basin) ภูเขาพาตาโกเนีย (Patagonia Mountains) ตอนกลางของรัฐอริโซนา ประเทศสหรัฐอเมริกา ข้อมูลในการสำรวจมีแนวสำรวจตามทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก ซึ่งมีระยะห่างระหว่างแนวบินสำรวจที่ระยะ 250 และมีแนวสำรวจตามขวาง (Tie line) ตามทิศเหนือ-ทิศใต้โดยข้อมูลที่ได้หลังจากการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการบินสำรวจ (Decorrugation) จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเพื่อระบุตำแหน่งรอบต่อและความลึกโดยการเปรียบเทียบเทคนิคด้วยกัน 3 เทคนิค คือ เทคนิค Horizontal Gradient Magnitude (HGM), Analytic Signal (AS) และ Local wave number (LW) ผลที่ได้เพื่อเป็นการเปรียบเทียบของความต่างทั้ง 3 เทคนิคโดยแสดงให้เห็นที่ความลึก 200 เมตร ผลที่สรุปได้คือ ค่าความลึกพบว่าการใช้เทคนิค Horizontal Gradient Magnitude (HGM) และ Analytic signal (AS) เหมาะสมที่สุดที่สุดในความลึกน้อยที่สุดของแหล่งกำเนิดวัตถุแม่เหล็กในสวนเทคนิค Local wave number นี้จะมีลักษณะเฉพาะตัวคือความลึกที่ปรากฏมักจะไม่เป็นความลึกที่น้อยที่สุด

Philips et al. (2007) ได้ประยุกต์ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศในบริเวณ Albuquerque Basin มลรัฐ New Mexico ประเทศ สหรัฐอเมริกา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุตำแหน่งแนวรอยเลื่อน (Faults) กระบวนการต่างๆ ประกอบด้วยขั้นตอน คือ ขั้น Pre - Processing คือ การหาค่าสนามแม่เหล็กผิดปกติออกจากสนามแม่เหล็กภูมิภาค (IGRF) / การลบ

สัญญาณรบกวนอันเกิดการบินสำรวจ (Decorugation) / กระบวนการลดทอนสู่ขั้วของสนามแม่เหล็ก (The reduce-to-pole total magnetic intensity) / เทคนิค Upward Continues ที่ความสูง 100 เมตร และ ชั้น Processing ประกอบด้วย เทคนิค Horizontal Gradient Magnitude (HGM) / เทคนิค Analytic Signal (AS) หรือ Total Gradient (TG) และ เทคนิค Local Wavenumber (LW) ผลที่ได้คือ เทคนิค HGM และ เทคนิค AS ซึ่งมีดรชนีโครงสร้างเท่ากับ 0 และ เทคนิค LW ที่มีดรชนีโครงสร้าง เท่ากับ 0.5 โดยสมมติให้ค่าวัตถุติดปกติเป็นแบบรอยต่อแนวตั้ง (Vertical contact) ผลที่ได้แสดงตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็กที่สอดคล้องกับลักษณะที่ใกล้เคียงกับผลรอยต่อทางแม่เหล็กที่ได้จากเทคนิค HGM และผลจากการหาความลึกด้วยกระบวนการนี้ ยังสอดคล้องกับเทคนิค HGM ด้วยที่ระดับความลึกค่อนข้างลึกกว่าวิธีอื่น

Sharon et al. (2005) ได้ศึกษาการใช้ข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศในการตีความลักษณะทางธรณีวิทยา เมือง Grenville รัฐ Quebec ประเทศแคนาดา ใช้เทคนิคการหาอนุพันธ์ในแนวราบและแนวตั้ง (Horizontal and Vertical Gradient) และการวิเคราะห์สัญญาณแอมพลิจูดด้วยวิธี Analytic Signal (AS) ในการระบุตำแหน่งของหินต่างชนิดกัน อีกทั้งกระบวนการวิเคราะห์สัญญาณยังเป็นการช่วยแสดงบริเวณทิศทางมุมเอียงของลักษณะทางธรณีวิทยาขนาดใหญ่

Tourlié et al. (2003) ใช้ข้อมูลรังสีแกมมาทางอากาศเพื่อระบุแหล่งแร่ดินขาว (Kaolin) โดยมีหลักการพื้นฐานคือ Kaolinite และ Aluminosilicate ที่มีแร่เคลย์เป็นองค์ประกอบก่อให้เกิดแร่ดินขาวเป็นผลมาจากการละลายของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) ในธาตุโพแทสเซียม วิธีการทดลองคือทำการแบ่งหน่วยหินเป็นหน่วยย่อยๆและเปรียบเทียบกับค่าโพแทสเซียมจากค่าที่วัดได้กับค่าเฉลี่ย จะได้หน่วยทางธรณีวิทยาที่เกิดขึ้นผลการทดลองพบว่าใน 150 หน่วยหิน มี 115 ที่มีแหล่งศักยภาพดินขาว ในจำนวนนี้ 36 แหล่งพบการปนเปื้อนของดินขาว (21 เป็นแหล่งค้นพบใหม่)

Wakinson et al. (2008) ทำการศึกษารอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (KMF) และ รอยเลื่อนระนอง (RF) ซึ่งลักษณะเป็นรอยเลื่อนในแนวระดับตามทิศ NNE-Trending ที่คล้ายคลึงกับแนวรอยเลื่อน NW-Trending คือ รอยเลื่อนเจดิสามองค์ (TPF) และ รอยเลื่อนแม่ปิง (MPF) ในทางภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งเกิดจากการชนกันแบบย้อนกลับ (Reversal in shear sense) ของแผ่นเปลือกโลก India-Eurasia และคาดว่าจะเป็นเวลาเดียวกับรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (KMF) และ รอยเลื่อนระนอง (RF) ที่เกิดการชนกันแบบ Shear Sense Slip Sense ผลจากการศึกษาหินแกรนิตในบริเวณ KMF และ RF ได้สร้างโมเดลการเกิดของหินแกรนิต และประเมินแนวรอยเลื่อนทั้งสองเกิดการขยับตัวแบบ Slike-Slip 4 ช่วง ดังนี้ คือ ก่อน 87 ล้านปี, ระหว่าง 72-56 ล้านปี, ในช่วง 52 ล้านปี และ 23 ล้านปี ตามลำดับ

ชัยนะ เจะสะอิ (2554) ได้ตรวจวัดไอโซโทปกัมมันตรังสีเรเดียม-226( $^{226}\text{Ra}$ ) และการแพร่กระจายในบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนของจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยทำการเก็บตัวอย่างผกพื้นบ้าน และตรวจวัดบ่อน้ำต้นและน้ำบาดาล เพื่อวิเคราะห์หาโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ที่สะสมในน้ำพุร้อนและการตรวจวัดกัมมันตรังสีในพื้นที่แหล่งน้ำพุร้อน ผลการทดลองพบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 สูงกว่า 185 mBq/L ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานของทบวงการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีด้วยเครื่อง Gamma Spectrometer รุ่น GS-512 บริเวณแหล่งน้ำพุร้อน บ้านน้ำพุร้อน (SR1) พิกัด 0521107 E และ 1034879 N แหล่งน้ำพุร้อนวัดธารน้ำร้อน (SR3) พิกัด UTM 0522397 E และ 1031520 N แหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสัย (SR7) พิกัด UTM 0529419 E และ 0999204 N และแหล่งน้ำพุร้อนสวนโมกข์นานาชาติ (SR10) พิกัด UTM 0520556 E และ 1033894 N พบค่าความเข้มข้นธาตุกัมมันตรังสีที่ผิวดินของ U, Th, และ K มีค่าดังนี้ คือ ยูเรเนียมอยู่ในช่วง 2.3 ถึง 722.5 ppm (มัธยฐาน 65), ทอเรียมอยู่ในช่วง 3.9 ถึง 102.4 ppm (มัธยฐาน 13.7) และ โพแทสเซียม มีค่าอยู่ในช่วง 0.0 ถึง 10.9 % (มัธยฐาน 1.5) ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานในดินทั่วโลก สาเหตุแหล่งน้ำพุร้อนมีค่าปริมาณรังสีค่อนข้างสูง น่าจะเกิดมาจากหินแกรนิตผุ โดยหินแกรนิตเหล่านี้ผุพังกลายเป็นดินและทรายในพื้นที่ และอาจจะเกิดจากแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยและรอยเลื่อนระนอง

ไวยพจน์ วรณก (2536) ศึกษาการใช้ข้อมูลกัมมันตรังสีทางอากาศ สำหรับการทำให้แผนที่ธรณีวิทยาและการสำรวจหาแหล่งแร่ โดยการใช้เทคนิคต่าง ๆ ดังนี้คือ การแปลความหมายจากแผนที่เส้นชั้นกัมมันตรังสี / การแปลความหมายข้อมูลกัมมันตรังสีจากแผนที่ภาพผสม 3 สี / การแปลความด้วยเทคนิค Computer Classification / การแปลความกัมมันตรังสีด้วยเทคนิค Stacked Profile / การแปลความกัมมันตรังสีทางอากาศเพื่อการปรับปรุงแผนที่ธรณีวิทยา ผลที่ได้เพื่อระบุตำแหน่งแหล่งสะสมตัวของแร่เศรษฐกิจ เปรียบเทียบบริเวณที่มีการสะสมตัวของแร่ต่างๆ กับแผนที่ธรณีวิทยาจำลองจากข้อมูลกัมมันตภาพรังสี กำหนดค่าภูมิหลัง (Back Ground) ของหน่วยกัมมันตรังสีที่มีการสะสมของแหล่งแร่ และใช้ข้อมูลกัมมันตรังสีกับวิชาทางธรณีเคมี เช่น ผลของการเปลี่ยนแปลงของค่ากัมมันตรังสีที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างผิดปกติของบริเวณนั้นๆ มักจะสรุปว่าเกิดมาจากสายน้ำแร่ร้อน (Alteration)

โสภณา แดงเหมือน และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาการเกิดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (Local Earthquakes) บริเวณแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยโดยการติดตั้งเครื่องวัดแผ่นดินไหว ประเภท Shot period จำนวน 4 สถานีที่คาดว่าจะครอบคลุมแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ตามพิกัด WGS 1984 คือ 8.43°N และ 98.51°E / 8.56° และ 98.66°E / 8.39°N และ 98.74°E และ 7.89°N และ 98.35°E โดยเริ่มการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่วันที่ 14 มกราคม 2548 ถึง 30 มิถุนายน 2548

ผลตรวจวัดและบันทึกคลื่นแผ่นดินไหวได้จำนวน 162 เหตุการณ์ พบว่าเกิดแผ่นดินไหวส่วนใหญ่มีค่าแมกนิจูดอยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.5 และจะมีค่าน้อยลงเมื่อมีค่าแมกนิจูดสูงขึ้น และมีหนึ่งเหตุการณ์ที่มีขนาดความแรง (ML) สูงสุดคือ 4.5 ในวันที่ 3 มีนาคม 2548 จากผลการศึกษาพบว่าบริเวณการเกิดแผ่นดินไหวสัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (KMFZ) แนวรอยเลื่อนระนอง (RF) และแนวรอยเลื่อนอื่นๆ ที่วางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้

## 1.6 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาดำแหน่งรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยในจังหวัดสุราษฎร์ธานีโดยกระบวนการตีความข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศและวิธีอื่นๆที่เกี่ยวข้อง
2. เพื่อศึกษาขอบเขตของรอยเลื่อนมะรุ่ย (Khlung Marui Faults Zone) ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

## บทที่ 2

### วิธีการวิจัย

ในการศึกษาและวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วยการศึกษาดังนี้ คือ การวิเคราะห์ตัวอย่าง หินหรือดินทางด้านแม่เหล็กและการวิเคราะห์ตัวอย่างหินหรือดินทางด้านกัมมันตภาพรังสีซึ่งการวิเคราะห์ทั้ง 2 ประกอบด้วย การปฏิบัติงานด้านภาคสนามและการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ งานด้านภาคสนาม ทำการสำรวจเก็บตัวอย่างหินและดินที่เกี่ยวข้องกับการเกิดค่าความผิดปกติทางแม่เหล็กและค่าผิดปกติทางกัมมันตภาพรังสีในพื้นที่ศึกษาแล การทดลองในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย การวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กและแอนไอโซโทรปีของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Magnetic susceptibility,  $k$  and anisotropy of magnetic susceptibility, AMS) การวัดความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีในตัวอย่างดินและหิน การวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา การวิเคราะห์องค์ประกอบตัวอย่างหินด้วยวิธี X-Ray Diffraction (XRD) นอกจากนี้การสร้างแบบจำลอง 3 มิติทางแม่เหล็ก สำหรับการศึกษาระบบวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการดังต่อไปนี้

#### 2.1. วัสดุและอุปกรณ์

##### 2.1.1. วัสดุและอุปกรณ์ทางแม่เหล็ก, แม่เหล็กตรวจวัดทางอากาศ

1. แผนที่แม่เหล็กทางอากาศ (Airborne magnetic map) สเกล 1:50000 ตามระวางแผนที่ 4826IV, 4827I, 4827II, 4827III, 4827IV, 4926IV, 4927III และ 4927IV
2. เครื่องเจาะเก็บตัวอย่างหินแบบเก็บแกน (Portable core drilling machine)
3. เครื่องวัดสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก ยี่ห้อ AGICO รุ่น KLY-3S Kappabridges ประเทศสาธารณรัฐเช็ก
4. เครื่องตัดหินทรงกระบอก / เข็มทิศแม่เหล็ก (Magnetic compass)
5. เข็มทิศสุริยะ (Sun compass) / เครื่องวัดการวางตัว (Orienting fixture)
6. เครื่องวัด X-Ray Diffractometer, X'Pert MPD, PHILIPS, Netherlands



### 2.1.2. วัสดุและอุปกรณ์สเปกตรัมรังสีแกมมา, สเปกตรัมรังสีแกมมาทางอากาศ

1. เครื่องสเปกโทมิเตอร์รังสีแกมมา (Gamma ray spectrometer) แบบหัววัด HPGe รุ่น Canberra Model GC 1319 ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. สารมาตรฐาน WWPT-CU-2010 Sample 06
3. แผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศ (Airborne gamma ray spectrometric maps) ประกอบด้วย ยูเรเนียมสมมูล (Equivalent Uranium), ทอเรียมสมมูล (Equivalent Thorium) และโพแทสเซียม (Potassium, K) โดยแผนที่กัมมันตรังสีทั้ง 3 ชนิด มีมาตราส่วนแผนที่ 1:250000 ประกอบด้วยระวางแผนที่ คือ NC 47-10, NC47-11, NC47-14, NC47-15
4. ตะแกรงร่อนแยกทราย (Analy seniseb testsieve)
5. เครื่องบดหินละเอียด (Ball mill machine) / เตาอบแห้ง (Dry oven)

### 2.1.3. วัสดุและอุปกรณ์อื่นๆ

1. เครื่องระบุพิกัดทางอากาศ (GPS) ยี่ห้อ GARMIN รุ่น eTrex Legend
2. เครื่องสแกน ยี่ห้อ Canon รุ่น Lide 210
3. เครื่องชั่งมวล (Balance)
4. แผนที่ภูมิประเทศจังหวัดสุราษฎร์ธานี (Topography map) มาตราส่วนแผนที่ 1:50000 ตามระวางแผนที่ซึ่งประกอบด้วย ระวาง 4826IV, 4827I, 4827II, 4827III, 4827IV, 4926IV, 4927III และระวาง 4927IV
5. แผนที่ธรณีวิทยากระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปี 2550 มาตราส่วนแผนที่ 1:250000
6. ปากกาสีเมจิก จำนวน 36 สี / กระดาษฟอยด์ / กระดาษทอ / ซ้อนดักสาร / ภาชนะอลูมิเนียม / กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 10 %

### 2.1.4. โปรแกรมคอมพิวเตอร์

1. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Geosoft Oasis Montaj 7.5 ประเทศแคนาดา
2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Golden Software Surfer 8.0 ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Golden Software Didger 3.0 ประเทศสหรัฐอเมริกา

4. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Mag 3D inversion ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Arc Gis 9.2 ศูนย์ GIS มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
6. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Anisoft 4.2 ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Gamma Acquisition & Analysis Genie 2000  
ประเทศสหรัฐอเมริกา

## 2.2. หลักการดำเนินการข้อมูล

### 2.2.1. การเตรียมการข้อมูลด้านเข็มสนามแม่เหล็กทางอากาศ

การวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ (Aeromagnetic data) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ 1. ขั้นเตรียมการประมวลผลข้อมูล หรือ Pre-Processing ประกอบด้วย การเปลี่ยนข้อมูลในรูปข้อมูลนาฬิกาหรือข้อมูลคอนทัวร์ในแผนที่ให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข, การหาค่าสนามแม่เหล็กภูมิภาคออกจากสนามแม่เหล็กโลกที่ตรวจวัดได้, การกรองสัญญาณด้วยเทคนิค Math Bandpass Filtering, การลดสัญญาณรบกวนด้วยเทคนิค Decorrugation และการเลือกพื้นที่ศึกษาเพื่อทำการวิเคราะห์ทางแม่เหล็กและ 2. ประมวลผลข้อมูล หรือ ขั้น Processing เป็นการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางด้านธรณีฟิสิกส์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ตำแหน่งรอยต่อความผิดปกติทางแม่เหล็กและความลึกของวัตถุด้วยเทคนิคดังต่อไปนี้คือ เทคนิค Horizontal Gradient Magnitude (HGM), และเทคนิค Analytic Signal (AS) หรือ Total Gradient (TG) นอกจากนี้ประกอบด้วย การสร้างแบบจำลอง 3 มิติของพื้นที่ศึกษาเพื่อระบุรูปทรงของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กใต้ผิวดินซึ่งเทคนิคทั้งหมด อธิบายได้ดังนี้

#### ขั้น Pre – Processing

##### 1). การแปลงข้อมูลนาฬิกาเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขจากแผนที่ความเข้มแม่เหล็กทางอากาศ

แผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ (Aeromagnetic map) มาตรฐานส่วนแผนที่ 1:50000 แสดงอยู่ในรูปแผนที่คอนทัวร์ (Contour) ทำการเปลี่ยนข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในข้อมูลเชิง

ตัวเลขโดยการประยุกต์ใช้โปรแกรม Digger 3.0 (Golden Software Digger 3.0, USA) โดยการดิจิไทซ์ (Digitize) ข้อมูล ซึ่งอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- สแกนแผนที่แม่เหล็กทางอากาศ โดยทำการแบ่งพื้นที่เป็นบล็อกเล็กๆ ในการสแกนเพื่อจะทำให้สะดวกต่อการดิจิไทซ์ทำการบันทึกเป็นไฟล์รูปภาพ (\*.Jpeg)

- เปิดโปรแกรม Golden software Digger 3.0 เปิดไฟล์ (\*.Jpeg) โดยทำการเลือกคำสั่ง ดังนี้ คือ File / Import Bitmap / Import Raster Project / เลือกคำสั่ง Initial Calibration Setting โดยเปลี่ยนพารามิเตอร์ ดังนี้ Projected Coordinates / Category: UTM / System: Zone 47N (96E to 102E) / Datum: Indian 1975 Thailand / Calibration Unit: Lat/Long (Dec Deg) / Display Unit: Meters.

- กำหนดพิกัดอ้างอิงทั้ง 4 จุด โดยแทนค่า World X คือ ลองจิจูด และ World Y คือ ค่าละติจูด เปลี่ยนค่ามุลิปดาเป็นทศนิยม (60 ลิปดา มีค่าเท่ากับ 100) เริ่มทำการ ดิจิไทซ์ได้ โดยเลือกคำสั่ง Polyline เพื่อสร้างข้อมูลเชิงเส้น คลิกลากทับข้อมูลที่ได้จากการสแกนจนครบตามค่าที่ตั้งไว้เช่น ที่เส้น 41100 nT คลิกเมาส์ลากทับเส้น 41100 nT ไปจนกว่าจะสิ้นสุด (ข้อควรระวัง ห้ามดิจิไทซ์เส้นทับกันเพราะค่าคอนทัวร์ที่ได้จะไม่ตรงกับแผนที่แม่เหล็กทางอากาศเดิม)

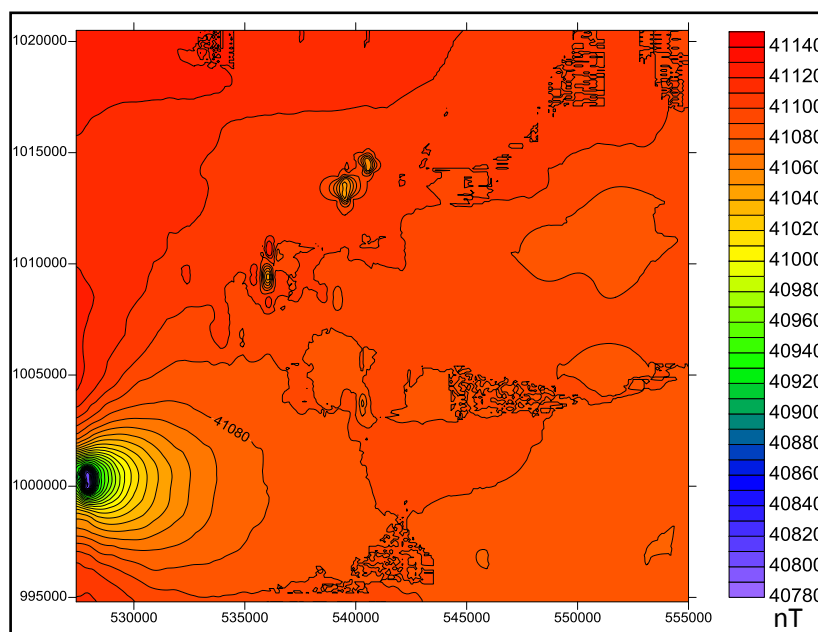
- การ Export ไฟล์ข้อมูลทำการ Export ให้บันทึกเป็นไฟล์ (\*.Dat) จากนั้นทำการตรวจสอบข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel 2007, USA โดยการเช็คค่าต่างๆ ว่าถูกต้องหรือไม่ โดยค่าแกน X คือ มุมลองจิจูดหรือทิศตะวันออก แกน Y คือ มุมละติจูดหรือทิศเหนือ และค่าแกน Z คือ ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก หน่วยนาโนเทสลา (nT) ตามตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** ตำแหน่งตามทิศตะวันออก, ตำแหน่งตามทิศเหนือและ สนามแม่เหล็กโลกอ้างอิง (International Geomagnetic Reference Field) จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปี ค.ศ. 1980

ทิศตะวันออก (E)	ทิศเหนือ (E)	สนามแม่เหล็กโลก (Total magnetic field) nT
481655	958004	41039.0
496333	958000	41038.9
510001	958002	41038.8
472467	958009	41038.6
481665	958004	41038.4
490832	958001	41038.1

- สร้างแผนที่คอนทัวร์แม่เหล็กทางอากาศด้วยโปรแกรม Surfer8.0 (Golden Software Surfer 8.0, USA) โดยเลือกคำสั่ง Grid: data / Gridding method: Krigging Method /

ใช้ Spacing: 500 เมตร จากนั้นทำการแสดงแผนที่คอนทัวร์ด้วยคำสั่ง Map / New: Contour Map เปรียบเทียบคอนทัวร์ที่ได้จากการสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Surfer 8.0 กับแผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ (Aeromagnetic map) จริง

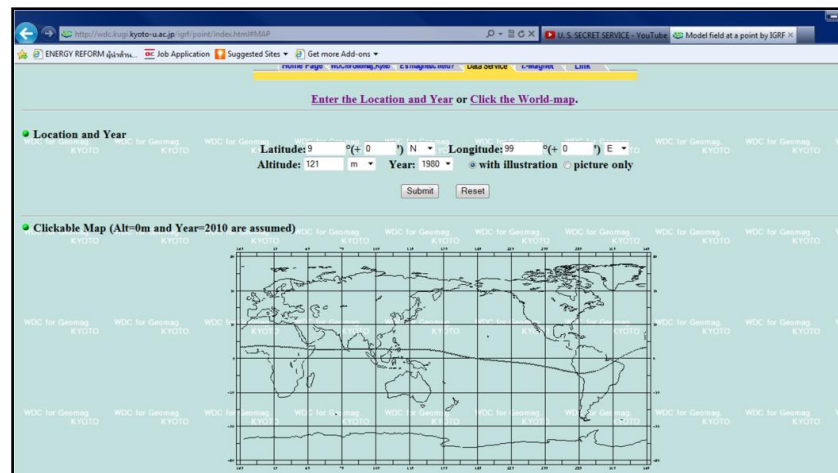


ภาพประกอบที่ 2.1 ตัวอย่างเส้นคอนทัวร์ของแผนที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ระวังแผนที่ 4827II ด้วยโปรแกรม Golden Software Surfer 8.0 ระยะห่างระหว่างกริด 500 x 500 เมตร

## 2). การหาค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงปกติ (International Geomagnetic Reference Field, IGRF)

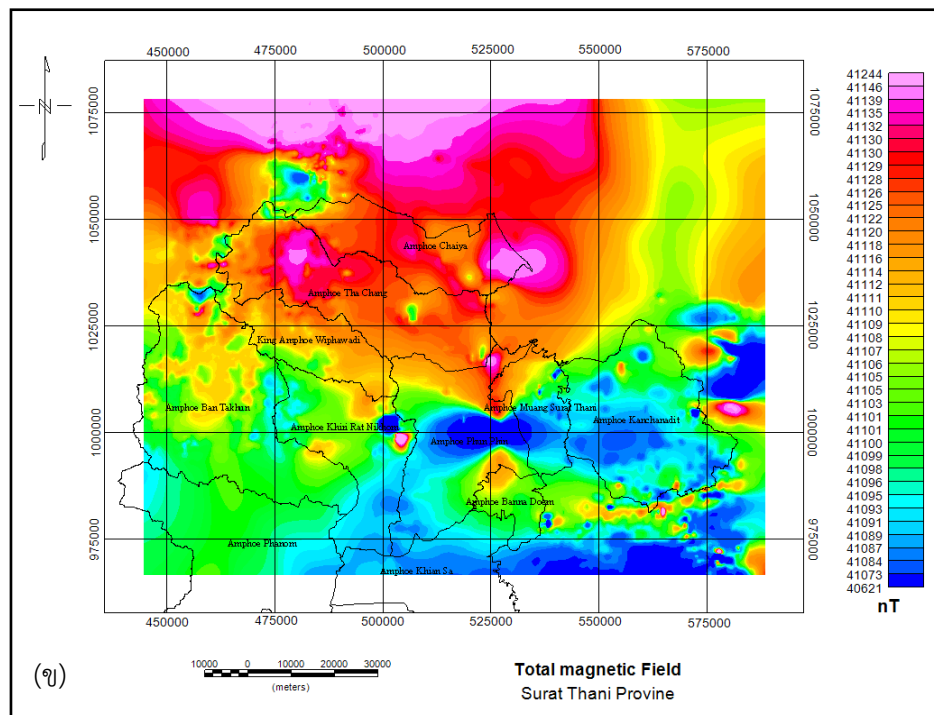
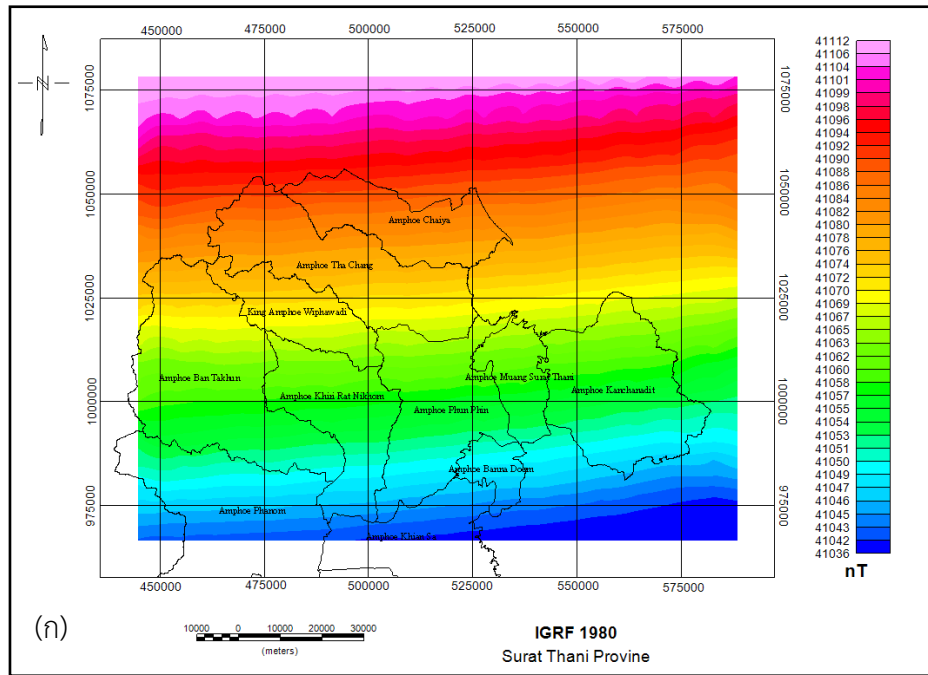
ค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากลหรือ International Geomagnetic Reference Field (IGRF) เป็นแบบจำลองค่าสนามแม่เหล็กโลกปกติ โดยเป็นค่าสนามแม่เหล็กปกติเฉพาะที่บริเวณนั้นๆ มีจุดประสงค์เพื่อต้องการหาค่าสนามแม่เหล็กโลกปกติในช่วงเวลาที่มีการสำรวจความเข้มแม่เหล็กทางอากาศของบริเวณนั้นๆ (Finlay et al., 2010) การหาค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงปกติ (IGRF) เป็นกระบวนการเริ่มต้นของการหาค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลกที่เกิดขึ้นกับวัตถุผิดปกติที่อยู่ใต้ผิวดิน โดยแบบจำลองนี้มีการปรับปรุงทุกๆ 5 ปี ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- การหาค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงสากลสามารถสืบค้นได้จากหลายแหล่ง เช่น อาศัยการสร้างแบบจำลองที่อ้างอิงจาก Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism Graduate School of Science, Kyoto University, ประเทศญี่ปุ่น ที่มา (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html>)

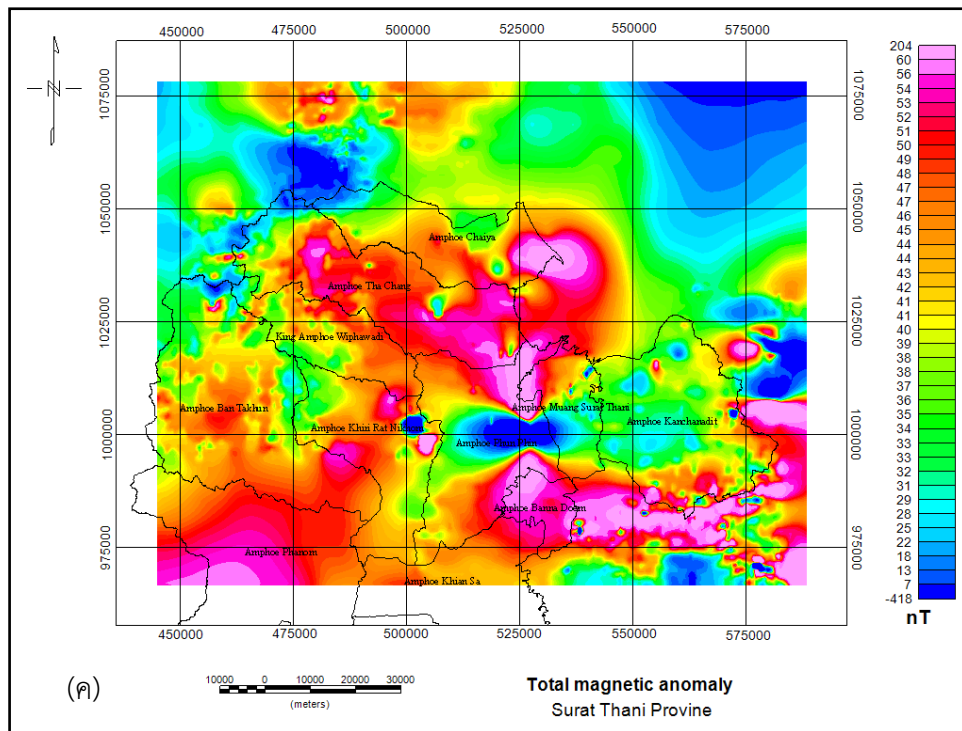


ภาพประกอบที่ 2.2 ตัวอย่างการคำนวณค่า International Geomagnetic Reference Field Model 5 (IGRF-5) ในปีค.ศ. 1980 ที่มา (<http://wdc.kugi.kyotou.ac.jp/igrf/point/index.html>)

- กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ คือ มุมละติจูด / ลองจิจูด เปลี่ยนค่ามุมจากลิปดา เป็นหน่วยทศนิยม กำหนดความสูงของการสำรวจ คือ 122 เมตร (400 ฟุต) กำหนดปีที่ทำการสำรวจ คือ ค.ศ. 1980
- บันทึกค่า ละติจูด และ ลองจิจูด โดยค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิงปกติที่คำนวณ ได้ทั้งหมดลงในตาราง Excel จัดเรียงให้เป็นระเบียบโดย แกน X คือ พิกัดตามทิศตะวันออก (E) แกน Y คือ พิกัดตามทิศเหนือ (N) และค่า Z คือ ค่าสนามแม่เหล็ก (Magnetic field) ณ บริเวณนั้น บันทึกไฟล์เป็นนามสกุล (\*.Dat)
- สร้างกริดข้อมูลด้วยโปรแกรม Golden Software Surfer 8.0 (USA) ด้วยกริด ขนาด 500x500 เมตร ด้วยการสร้างกริดแบบ Krigging Method สร้างแผนที่และคอนทัวร์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและทำการบันทึกเป็นนามสกุล (\*.Grd)
- หักลบค่าสนามแม่เหล็กโดย ประยุกต์ใช้โปรแกรม Geosoft Oasis Montaj 7.5 (Canada) กำหนดให้ค่าสนามแม่เหล็กโลกอ้างอิง (IGRF) แทนด้วย  $B_0$  และค่าสนามแม่เหล็กโลกที่ได้ จากการสำรวจ แทนด้วย  $B_{obs}$  และค่าสนามแม่เหล็กผิดปกติ แทนด้วย  $B_a$  แสดงด้วยความสัมพันธ์คือ  $B_a = B_{obs} - B_0$
- ตรวจสอบความถูกต้องโดยการสร้างแผนที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก อ้างอิง (IGRF-5), ค่าสนามแม่เหล็กโลกที่ได้จากการสำรวจ (ภาพประกอบที่ 2.3 (ก) และ (ข)) และค่า ความเข้มสนามแม่เหล็กผิดปกติ (ภาพประกอบที่ 2.3 (ค))



ภาพประกอบที่ 2.3 (ก) แผนที่ International Geomagnetic Reference Field (IGRF) Model-5 ปี ค.ศ.1980 และ (ข) ความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศจังหวัดสุราษฎร์ธานี มาตรฐานแผนที่ 1:1000000



ภาพประกอบที่ 2.4 (ค) แผนที่สนามแม่เหล็กโลกผิดปกติจังหวัดสุราษฎร์ธานี ระยะห่างระหว่างกริดข้อมูล 500x500 เมตร มาตรฐานแผนที่ 1:1000000

### 3). การกรองสัญญาณด้วยเทคนิค Math Bandpass Filtering

เทคนิค Match Bandpass Filtering (Phillips, 2001) ของข้อมูลสนามศักย์มีพื้นฐานมาจากการสร้างโมเดลหลายๆ ชั้นที่ใช้ในการแยกแยะระหว่างความผิดปกติของความยาวคลื่นสั้นที่เกิดจากวัตถุแม่เหล็กขนาดเล็กและอยู่ในความลึกน้อยๆ ออกจากค่าความผิดปกติของความยาวคลื่นยาวซึ่งเกิดจากวัตถุขนาดใหญ่ที่อยู่ในระดับลึกมากกว่า match azimuthal filtering ถือเป็นแนวความคิดใหม่ในการลดสัญญาณรบกวนและเป็นการเพิ่มสัญญาณดี Math filtering ที่ได้จากข้อมูลฟูเรียร์สเปกตรัมแอมพลิจูดของสนามศักย์

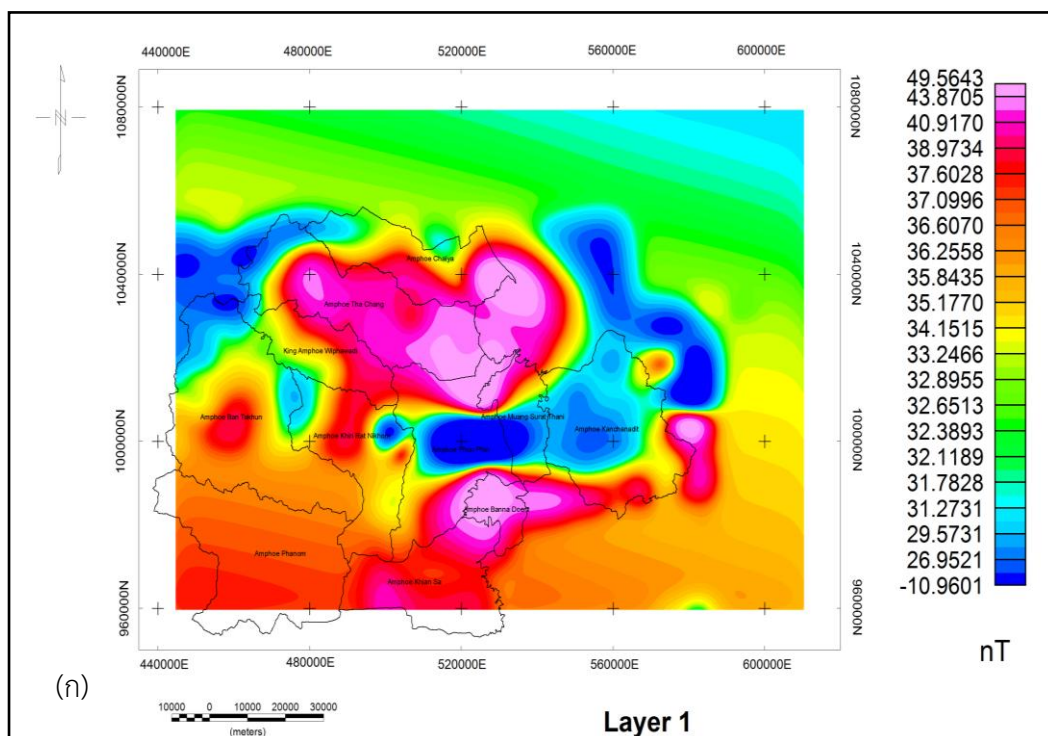
Spector and Grant, 1970 (2002) อธิบายฟูเรียร์แอมพลิจูดของสนามศักย์ที่ทำการวัดพื้นผิวในแนวราบและจะทำให้เกิดชั้นแนวราบที่ปรากฏสัญญาณรบกวนน้อยมากที่ความลึก Z กำหนดได้โดย

ตามสมการ 
$$|F(K_x, K_y)| = |F(k)| = B|k|^n \exp(|k|z)$$
 สมการที่ 2.1

โดยที่  $K_x$  และ  $K_y$  เป็นเลขคลื่น (wave number) ในทิศตะวันออกและทิศเหนือ  
 $|k| = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$  เป็นรัศมีของเลขคลื่น  $B$  คือค่าคงที่ที่แบ่งตามสัดส่วนแอมพลิจูดของการเกิด  
 แม่เหล็กหรือค่าความแตกต่างของชั้นต่างๆ กรณี ที่  $n = 1$  กรณี Magnetic dipole layer;  $n = 0$   
 กรณี Magnetic half-space;  $n = -1$  กรณี Density half-space

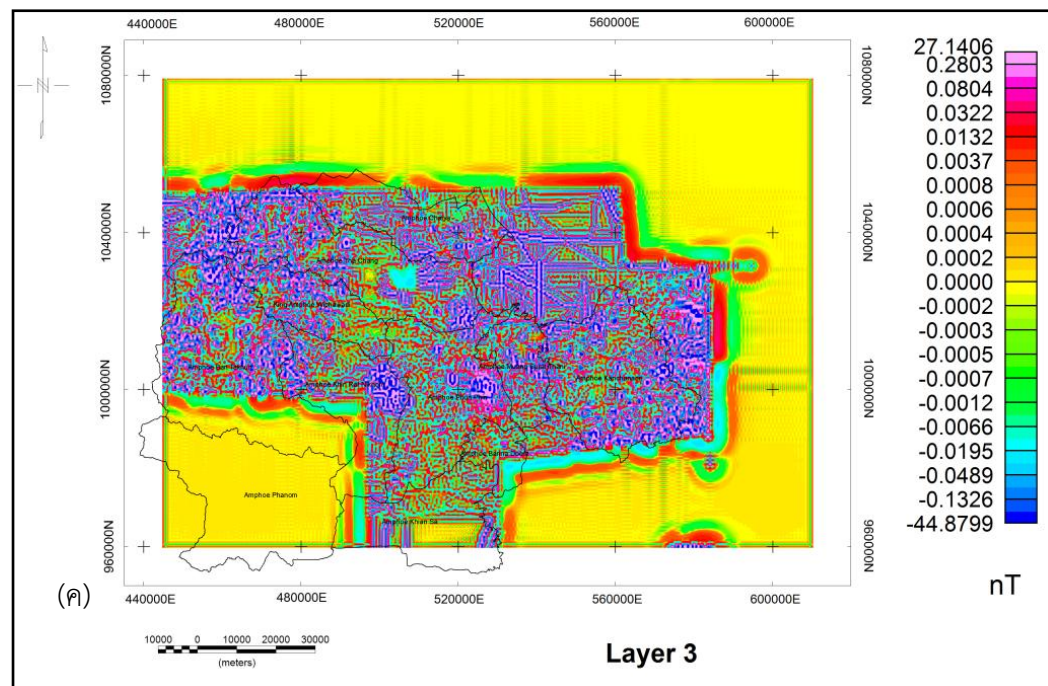
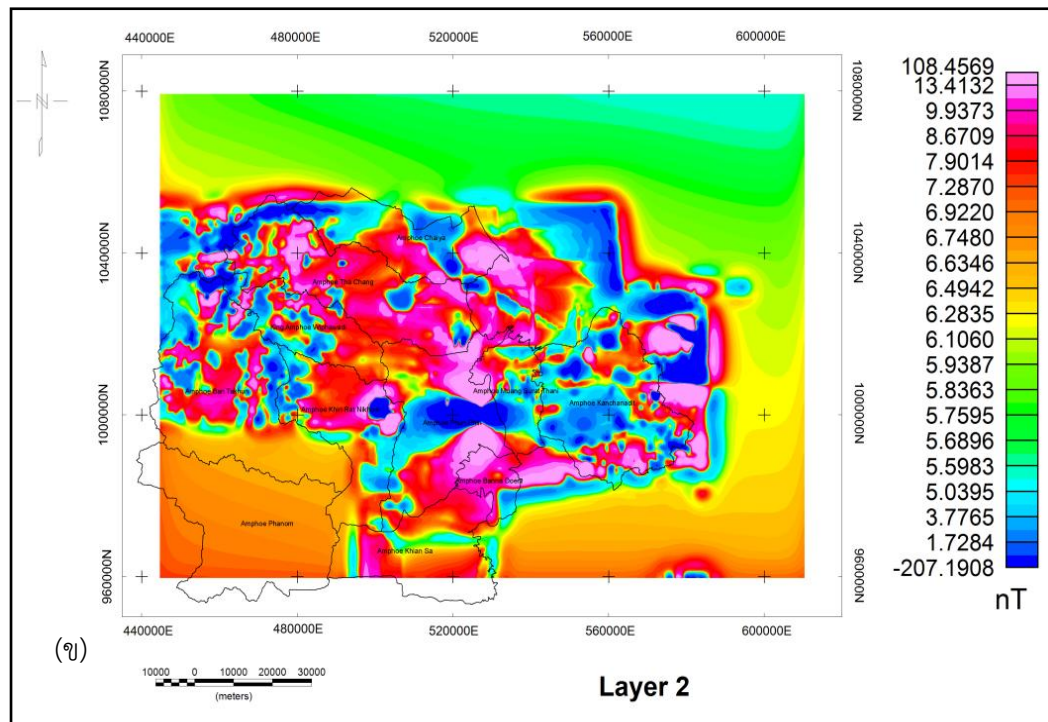
**ตารางที่ 2.2** พารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการ Math Bandpass Filtering คือ ความลึก,  
 แอมพลิจูด, และความยาวคลื่น ดัดแปลงจาก (Phillips, 2001)

ความลึก (เมตร)	แอมพลิจูด (nT/m)	ความยาวคลื่น (min) นาโนเมตร	ความยาวคลื่น (max) นาโนเมตร	ชนิด*
326	1.7840	1000	1912	0
1318	0.1537	1912	0.2106E+05	1
7140	0.8555	0.216E+05	0.000	2



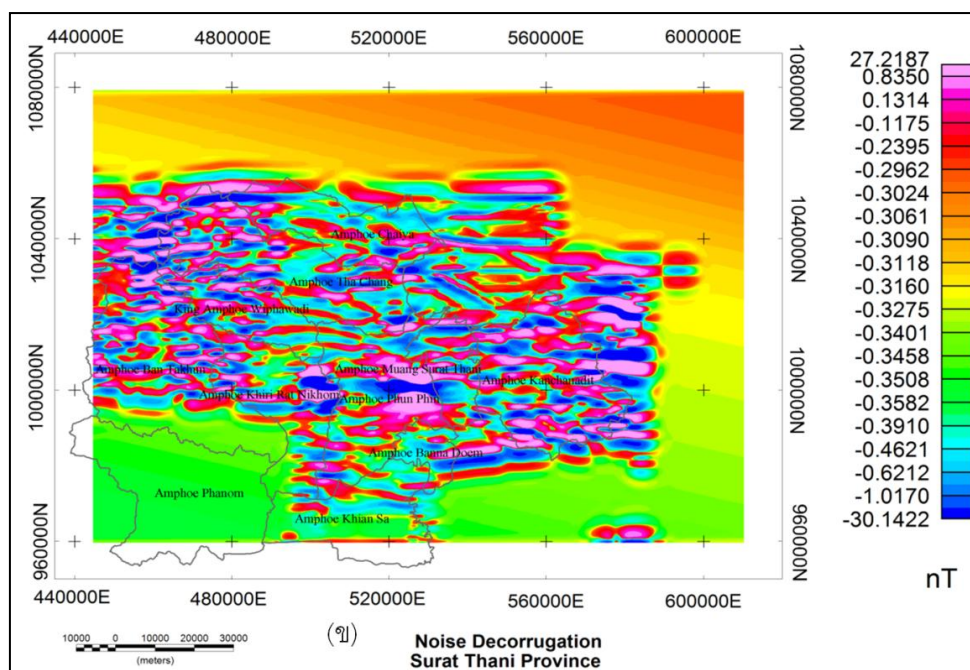
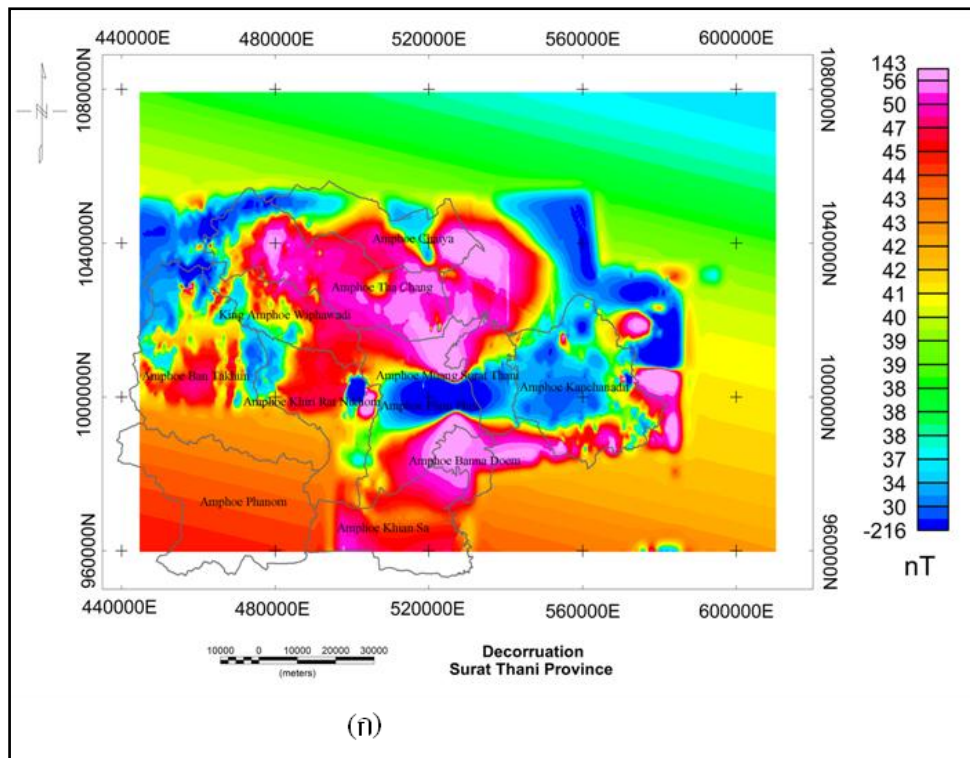
**ภาพประกอบที่ 2.5** แผนที่เทคนิค Math Bandpass Filtering ที่ระดับความลึกต่างๆ คือ (ก)  
 ชั้นที่ 1 ความลึกมากกว่า 7,140 เมตร เส้นทึบสีดำแสดงขอบเขตอำเภอในจังหวัดสุราษฎร์ธานี  
 มาตรฐานส่วนแผนที่ 1:1000000





ภาพประกอบที่ 2.6 แผนที่เทคนิค Math Bandpass Filtering ที่ระดับความลึก คือ (จ) ชั้นที่ 2 ตั้งแต่ 326 ถึง 1,318 เมตร และ (ค) ชั้นที่ 3 ตั้งแต่ 0 ถึง 326 เมตร เส้นทึบสีดำแสดงขอบเขตอำเภอในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มาตรฐานแผนที่ 1:1000000





ภาพประกอบที่ 2.8 (ก) แผนที่สนามแม่เหล็กผิดปกติ (Magnetic anomaly map) ซ้อนทับขอบเขตอำเภอในจังหวัดสุราษฎร์ธานีที่ได้จากเทคนิคการลดทอนสัญญาณรบกวน (Decorrugation) และ (ข) Noise ที่ได้จากการรบกวนการ Decorrugation มาตรฐานแผนที่ 1:1000000

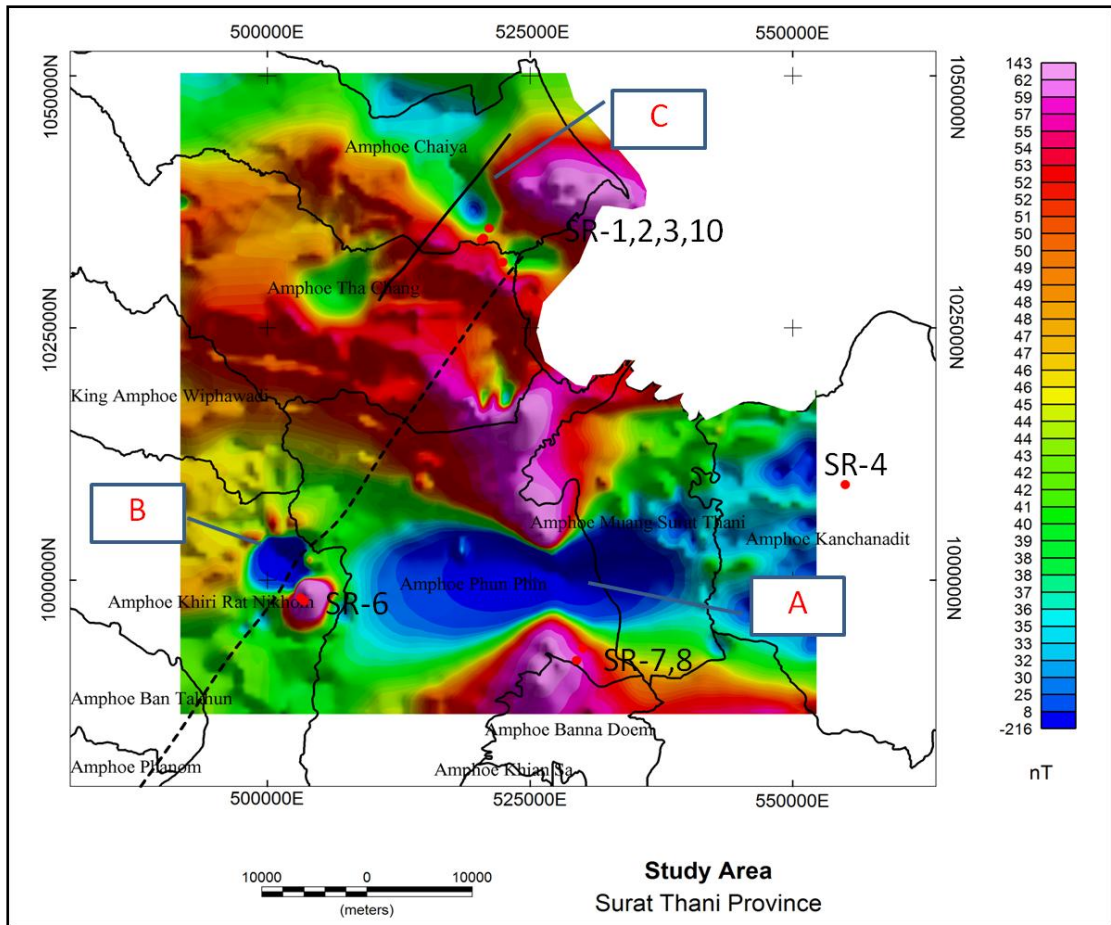
ผลจากกระบวนการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการบินสำรวจ (Decorrugation) ที่มีแนวบินสำรวจตามทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก โดยการบินสำรวจชนิด Survey C ที่ครอบคลุมจังหวัดสุราษฎร์ธานี (ภาพประกอบที่ 2.8) มีค่าความเข้มสนามแม่เหล็กอยู่ในช่วง -216 ถึง 143 นาโนเทสลา นอกจากนี้จากการลดสัญญาณรบกวน (Noise decorrugation) สามารถลดค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการบินในทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก อยู่ในช่วง -30 ถึง 27 นาโนเทสลา (ภาพประกอบที่ 2.8 ก และ ข)

### 5. การเลือกพื้นที่ทำการแปลความความทางด้านแม่เหล็ก (Study Area)

ข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศที่ผ่านกระบวนการ Math Bandpass Filtering และการลดสัญญาณรบกวน (Decorrugation Removal) อันเนื่องมาจากการบินสำรวจ (ภาพประกอบที่ 2.8) ทำการเลือกพื้นที่ศึกษาที่ปรากฏค่าความเข้มสนามแม่เหล็กผิดปกติ (Magnetic anomaly) โดยอาศัยข้อมูลเพิ่มเติมคือ แนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยเดิม (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) และแนวคาดว่าจะเป็นแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) และตำแหน่งบ่อน้ำพุร้อนเป็นตัวกำหนดในการเลือกพื้นที่ทำการศึกษาในครั้งนี้

แผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กผิดปกติทางอากาศ (Aeromagnetic anomaly map) มีค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่น่าสนใจคือ บริเวณอำเภอพุนพินติดต่อบริเวณอำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี (พื้นที่ A), อำเภอคีรีรัฐนิคม (พื้นที่ B) และอำเภอท่าฉางติดต่อบริเวณอำเภอไชยา (พื้นที่ C) ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กผิดปกติอยู่ในช่วงระหว่าง -216 ถึง 143 นาโนเทสลา นอกจากนี้ประกอบด้วยข้อมูลอื่น ๆ ที่ช่วยในการพิจารณาพื้นที่ศึกษา เช่น ตำแหน่งวงกลมสีแดง (SR) คือ ตำแหน่งน้ำพุร้อน, เส้นที่บสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยเดิม (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) และเส้นประสีดำแสดงแนวที่คาดว่าจะแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) มาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับแผนที่แม่เหล็กทางอากาศ (ภาพประกอบที่ 2.9)





ภาพประกอบที่ 2.9 แผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กผิดปกติ (Magnetic anomaly map) ที่ใช้ในการแปลความทางด้านแม่เหล็กทางอากาศ ซ้อนทับขอบเขตอำเภอในจังหวัดสุราษฎร์ธานี เส้นทึบสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) และเส้นประสีดำแสดงเส้นคาดว่าจะเป็นแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) มาตรฐานแผนที่ 1:1000000

## 2. ขั้นตอน Processing

กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศทำได้โดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Geosoft Oasis Montaj version 7.5 การวิเคราะห์ดังกล่าวจะทำการระบุตำแหน่งรอยต่อความผิดปกติทางแม่เหล็กและความลึกของวัตถุผิดปกติโดยประกอบด้วยเทคนิคดังต่อไปนี้ คือ

### 1). เทคนิค Horizontal Gradient Magnitude (HGM)

หลักการ Horizontal Gradient Magnitude (HGM) เป็นเทคนิคการประมาณค่าความลึกและตำแหน่งรอยต่อของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กซึ่งอาศัยหลักการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งในแนวราบ (Two first-order horizontal derivative) ซึ่งจะช่วยให้ขอบเขตของค่าสนามแม่เหล็กมีความชัดเจนมากขึ้น

ถ้า  $M(x, y)$  คือ สนามแม่เหล็กจะได้ว่าเทคนิค Horizontal Gradient Magnitude (HGM) คำนวณได้จาก

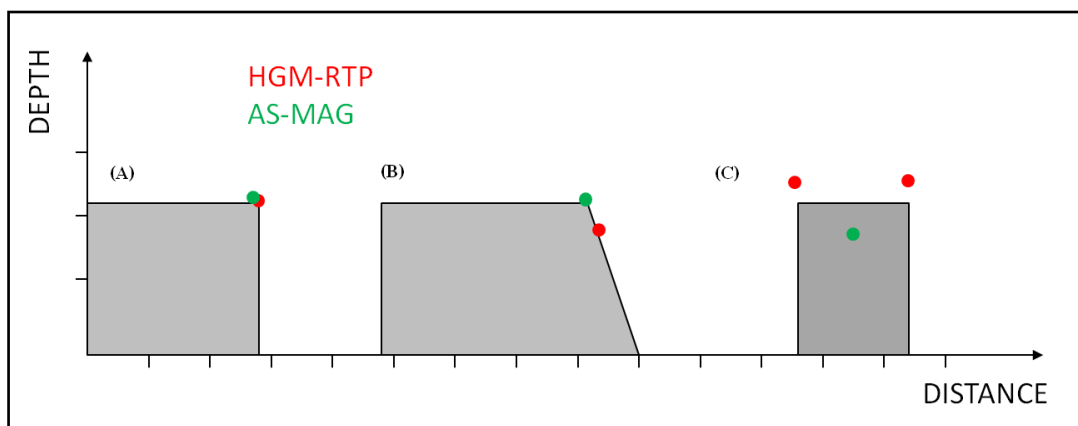
$$\text{ตามสมการ} \quad |H(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2} \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

โดยที่  $M$  เป็นค่าสนามแม่เหล็กที่ผ่านกระบวนการลดทอนสู่ขั้ว (Reduce to Pole) หรือจากกระบวนการสนามโน้มถ่วงเทียม (Pseudo gravity) ของสนามแม่เหล็กสำหรับกระบวนการสนามโน้มถ่วงเทียม (Roest and Pilkington, 1993) แสดงให้เห็นว่าถ้า  $M$  เป็นค่าสนามโน้มถ่วงเทียม (Pseudo gravity) ของขอบรอยต่อชั้นบาง ๆ ที่วางตัวเป็นแผ่นตามแนวราบ

$$\text{ตามสมการ} \quad |H(h)| = \frac{K_H}{(h-h_0)^2 + Z_0^2} \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

จะได้ว่า ค่า  $k$  จะเป็นค่าความแตกต่างของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก  $F$  คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กโลก ซึ่งผลของสมการนี้จะสอดคล้องกันถ้า  $M$  ซึ่งเป็นรอยต่อแนวตั้งของวัตถุที่มีความลึกขนาดใหญ่ (Vertical contact) ดังนั้น เทคนิค HGM จะมีความแม่นยำมากที่ใช้ในการระบุตำแหน่งรอยต่อของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กที่วางตัวในแนวตั้งหลังจากการทำกระบวนการลดทอนสู่ขั้ว (RTP) ของสนามแม่เหล็กหรือระบุตำแหน่งขอบปลายของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กที่แทรกตัวในแนวราบจากกระบวนการสนามโน้มถ่วงเทียม (Pseudo gravity) แม้ว่าการหาตำแหน่งรอยต่อและความลึกของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กด้วยเทคนิค (HGM) มีข้อดีแต่วิธีนี้ยังมีข้อจำกัดคือสนามแม่เหล็กภูมิภาคต้องเป็นสนามทางตั้งบริสุทธิ์เท่านั้น วัตถุที่เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กต้องอยู่ในแนวตั้งและรอยต่อระหว่างวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กต้องเป็นแนวตั้ง ตำแหน่งรอยต่อของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กต้องปรากฏอยู่อย่างชัดเจนหรือโดดเด่นและแหล่งกำเนิดวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กต้องมีความหนาแน่น เช่น ภาพประกอบที่ 2.10 แสดงผลจากเทคนิค HGM และ AS แสดงตำแหน่งความลึกแม่เหล็กที่เกิดขึ้น โมเดล Vertical contact เทคนิค HGM และ AS แสดงตำแหน่งลักษณะรอยต่อทางแม่เหล็ก

เหนือบริเวณรอยต่อความผิดปกติ ในขณะที่โมเดล Dipping contact แสดงตำแหน่งความลึกด้วยวิธี AS ตรงตำแหน่งรอยต่อพอดีแต่ผลจากเทคนิค HGM แสดงความลึกมากกว่าความลึกจริงที่ปรากฏ



ภาพประกอบที่ 2.10 แผนภาพโมเดล (A) Vertical Contact (B) Dipping Contact และ (C) Thick Dike (ดัดแปลงจาก Phillips, 2000)

## 2). เทคนิค Analytic Signal (AS) หรือ Total Gradient (TG)

เทคนิค Analytic Signal (AS) หรือ Total Gradient (TG) เป็นฟังก์ชันที่ใช้หลักการวิเคราะห์สัญญาณแอมพลิจูดของสัญญาณที่ได้จากการสำรวจค่าสนามแม่เหล็ก (Phillips 2000) สามารถอธิบายเป็นสมการ ได้คือ

$$|A(x)|^2 = \left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2 \quad \text{สมการที่ 2.4}$$

สำหรับ ข้อมูล โปรไฟล์

$$|A(x, y)|^2 = \left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2 \quad \text{สมการที่ 2.5}$$

สำหรับ ข้อมูลแบบกริด (Grid data)

โดยที่ M คือ สนามแม่เหล็กผิดปกติ คำนวณอนุพันธ์ในแนวราบจาก Space domain โดยการใช้ Differential และอนุพันธ์ในแนวตั้ง คำนวณมาจาก Wave number domain โดยใช้การแปลงด้วย Fourier Transforms ซึ่งโดยทั่วไปการวิเคราะห์สัญญาณแอมพลิจูดของเทคนิค AS จะมีเงื่อนไขอยู่เกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์คือ Window size กรณี AS ที่มีขนาด Window size มีขนาดเล็กเกินไปอาจทำให้เกิดความแม่นยำน้อย ตามภาพประกอบที่ 2.10 (ค)

เทคนิค AS มีความไวต่อสัญญาณรบกวนมากกว่ากระบวนการ HGM เนื่องจากต้องคำนวณหาอนุพันธ์ในแนวราบและแนวตั้ง การลดสัญญาณรบกวนอาจทำได้โดยการ ใช้เทคนิคอื่นประกอบเช่น เทคนิค Decorrugation, เทคนิค Upward continuation หรือ Downward continuation

**ตารางที่ 2.3** ลักษณะ Source, ดัชนีโครงสร้างและโมเดลที่ใช้ในการคำนวณด้วยวิธี Analytic Signal (AS) (ดัดแปลงจาก Oaisa Geosoft Montaj 7.5 Canada)

Assumed_Source_Type	SI Transform	Model-Specific Special Function
Vertical_Magnetic_Contact	0 RTP	HGM of RTP magnetic field
Vertical Magnetic Sheet	1 RTP	ABS of RTP magnetic field
Horizontal Magnetic Sheet	1 RTP+VI	HGM of VI of RTP magnetic field
Horizontal Magnetic Line	2 RTP+VI	ABS of VI of RTP magnetic field
Vertical Magnetic Line	2 RTP+VI	ABS of VI of RTP magnetic field
Magnetic Dipole	3 RTP+VI	ABS of VI of RTP magnetic field
Vertical Density Contact	-1 VD	HGM of VD of gravity field
Vertical Density Sheet	0 VD	ABS of VD of gravity field

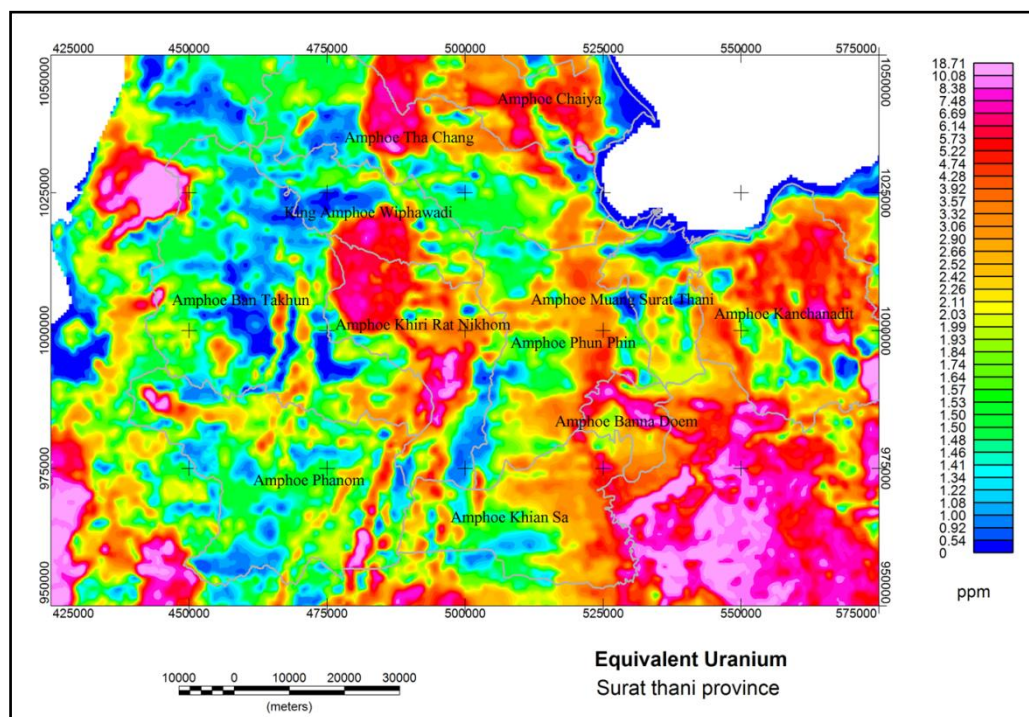
### 2.2.1. การเตรียมข้อมูลสเปกตรัมรังสีแกมมาทางอากาศ (Airborne gamma ray spectrometry)

การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาทางอากาศสามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ 1.ขั้น Pre-Processing ซึ่งประกอบด้วย การแปลงข้อมูลแผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข และ 2. ขั้น Processing คือ การสร้างแผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศอันประกอบด้วยค่ากัมมันตภาพรังสีจากโพแทสเซียม-40 (K) ยูเรเนียมสมมูล (eU) ทอเรียมสมมูล (eTh) และ แผนที่กัมมันตภาพรังสีผสม 3 สี (Ternary map)

การนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยแผนที่กัมมันตภาพรังสี K, eU, และ eTh ที่แสดงในมาตราส่วนแผนที่ 1:250000 ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงอนาล็อกทำการเปลี่ยนเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขได้โดยการดิจิทัล ด้วยโปรแกรม Golden Software Digger3.0, (USA) จากนั้นสร้างกริดข้อมูลขนาด 500X500 เมตร ด้วยโปรแกรม Geosoft Oasis Montaj 7.5 (Canada) โดยกระบวนการขั้นตอนการ



เปลี่ยนข้อมูลจะเป็นขั้นตอนเดียวกับการแปลงข้อมูลนาฬิกาเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขจากแผนที่ความเข้มแม่เหล็กทางอากาศ (Aeromagnetic map)



ภาพประกอบที่ 2.11 ตัวอย่างแผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศของยูเรเนียมสมมูล (eU) ซ้อนทับขอบเขตอำเภอในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มาตรฐานแผนที่ 1:1000000

### 2.2.3. การวิเคราะห์สมบัติแม่เหล็กในหิน

การวิเคราะห์แม่เหล็กในหินสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามซึ่งประกอบด้วย การสำรวจเก็บตัวอย่างหินแบบเจาะเก็บแกนและตัวอย่างหินโผล่และการทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งทำการทดสอบ 2 แบบด้วยกัน คือ การวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Magnetic susceptibility,  $k$ ) และแอนไอโซทรอปีของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Anisotropy of magnetic susceptibility, AMS) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

#### 1). การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม

การสำรวจและการเก็บตัวอย่างหินในภาคสนามทำได้โดยอาศัยผลวิเคราะห์ข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศซึ่งพบว่าค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก (ภาพประกอบที่ 2.9) บริเวณที่น่าสนใจ 3

บริเวณด้วยกันคือ (1) บริเวณอำเภอท่าฉางติดต่ออำเภอไชยา (2) บริเวณอำเภอพุนพินติดต่ออำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี และ(3) บริเวณอำเภอคีรีรัฐนิคม การเก็บข้อมูลภาคสนามอาศัยแผนที่ภูมิประเทศควบคู่กับแผนที่ธรณีวิทยา เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งของหินท้องที่ (Bed rock) และจะทำการเก็บข้อมูลด้วยกัน 2 แบบ คือการเก็บตัวอย่างหินแบบเจาะเก็บแกน ชนิดวัดการวางตัว และการเก็บตัวอย่างหินโผล่หรือหินหลุดลอย การเก็บตัวอย่างด้วยการเจาะเก็บตัวอย่างหินชนิดวัดการวางตัวอธิบายขั้นตอนการเก็บตัวอย่างได้ดังนี้

- เลือกพื้นที่คาดว่าจะเป็หินท้องที่ (Bed rock) ทำการเจาะเก็บแกนด้วยเครื่องเจาะแบบเก็บแกน (Portable core-drilling machine) ทำการเจาะให้ลึกประมาณ 3-5 นิ้ว โดยขณะที่เจาะต้องมีการปั้มน้ำเลี้ยงหัวเจาะตลอดเวลาเพื่อป้องกันหัวเจาะและตัวอย่างหินเกิดความร้อนและเสียหายได้
- วัดการวางตัวของตัวอย่างหิน ด้วยเครื่องวัดการวางตัว (Orienting fixture) ตั้งระดับลูกน้ำให้อยู่ในแนวระนาบอ่านและบันทึกค่ามุมเท (Dip) ของตัวอย่างหินจากนั้นใช้เข็มทิศแม่เหล็ก (Magnetic compass) และ เข็มทิศสุริยะ (Sun compass) วัดและบันทึกค่ามุม Strike
- ชีตมาร์คแกนตัวอย่างหินด้วยปากกาสีเมจิกเพื่อระบุทิศทางการวางตัวของแท่งตัวอย่าง บันทึกวัน เวลา พร้อมทั้งตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ ในบริเวณที่ทำการเจาะเก็บตัวอย่างและสเก็ตภาพตำแหน่งการเจาะ



ภาพประกอบที่ 2.12 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างหินด้วยเครื่องเจาะแบบเก็บแกน ชนิดวัดการวางตัว, การวัดค่ามุม Dip และ มุม Strike

## 2). การทดสอบวัดค่าทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินที่ได้จากการการสำรวจในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินที่ได้จากการสำรวจข้อมูลภาคสนามได้ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการวิจัยอำนาจแม่เหล็กของหินและอำนาจของแม่เหล็กบรรพกาล ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยศึกษาสมบัติแม่เหล็กของหิน ได้แก่ การวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Magnetic susceptibility,  $k$ ) และแอนไอโซทรอปีของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Anisotropy of Magnetic Susceptibility, AMS) และการส่งวิเคราะห์ตัวอย่างหินเพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างหิน การศึกษาทั้ง 2 ชนิดสามารถอธิบายได้ดังนี้

1). การวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Magnetic susceptibility,  $k$ ) และแอนไอโซทรอปีของสภาพรับไว้ได้ (Anisotropy of Magnetic Susceptibility, AMS)

การวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Magnetic susceptibility,  $k$ ) โดยทำการวัดด้วยเครื่อง Spinning Specimen Magnetic Susceptibility Anisotropy Meter ยี่ห้อ AGICO รุ่น KLY-3S Kappabridge ประเทศสาธารณรัฐเชค (ภาพประกอบที่ 2.13) ตัวเครื่องมีความถี่ 870 เฮิรตซ์ ใช้ความเข้มของสนามแม่เหล็กเท่ากับ 300 แอมแปร์ต่อเมตร ช่วงการวัด 0.1 [SI] ความไว  $3 \times 10^{-8}$  SI ความถูกต้อง  $\pm 3\%$  โดยอธิบายขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการวัดได้ดังนี้

- ตัดแบ่งตัวอย่างหินให้ได้ตามขนาดมาตรฐานคือ (สูง 2.2 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร) ด้วยเครื่องตัดหิน

- โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SUSAM สำหรับวัดตัวอย่าง (Holder) โดยทำการวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง และทำการวัดเปรียบเทียบเครื่อง (Calibration) โดยทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง วางตัวอย่างหินในภาชนะพลาสติกที่ใช้สำหรับการวัดค่าทางแม่เหล็กเท่านั้น ปรับเปลี่ยนการวัดเรียงตามแนวการวัด 15 ทิศทางจนครบ

- การวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินโพล์ทำได้โดยการย่อยหินให้มีขนาดเล็กเป็นลูกบาศก์ขนาดประมาณ 1.5 เซนติเมตร แล้วนำตัวอย่างหินใส่ภาชนะพลาสติกทรงกระบอก โดยทำการวัดตัวอย่างหินจำนวน 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยและนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กเปรียบเทียบกับปริมาตรของตัวอย่าง สามารถคำนวณได้โดย

$$V_{\text{sample}} = \frac{W_{\text{air}} - W_{\text{water}}}{\rho_{\text{water}}} \quad \text{สมการที่ 2.6}$$

เมื่อ  $V_{\text{sample}}$  คือ แขนปริมาตรของตัวอย่างหินในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร

$W_{\text{air}}$  คือ น้ำหนักของตัวอย่างหินที่ชั่งในอากาศในหน่วยกรัม

$W_{\text{water}}$  คือ น้ำหนักของตัวอย่างหินที่ชั่งในน้ำในหน่วยกรัม

$\rho_{\text{water}}$  คือ แทนความหนาแน่น ของน้ำหนักให้มีค่าเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อได้ปริมาตรของตัวอย่างแล้วนำมาเปรียบเทียบกับปริมาตรของตัวอย่างสารมาตรฐาน ที่เท่ากับ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งคำนวณได้

$$K_{\text{correction}} = \frac{K_{\text{measure}} \times 10}{V_{\text{sample}}} \quad \text{สมการที่ 2.7}$$

เมื่อ  $K_{\text{correction}}$  แทนค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ทำการปรับแก้เรียบร้อยแล้ว

$K_{\text{measure}}$  แทนค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ได้จากการวัด



ภาพประกอบที่ 2.13 เครื่องวัดสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก ยี่ห้อ AGICO รุ่น KLY-3S Kappabridges ประเทศสาธารณรัฐเชค

2). การวิเคราะห์หาล่องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer ทำการส่งตัวหินและดินวิเคราะห์ด้วยวิธี X-Ray Diffraction (XRD) ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์กลาง (Scientific Equipment Center) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เพื่อวิเคราะห์หาแร่ล่องค์ประกอบทางเคมี ที่อาจจะบ่งบอกถึงสาเหตุของการเกิดค่าความผิดปกติทางแม่เหล็ก



ภาพประกอบที่ 2.14 เครื่อง X-Ray Diffractometer ณ ศูนย์เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

#### 2.2.4. การสร้างแบบจำลองของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแบบ 3 มิติ

แบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กเป็นการสร้างโมเดลย้อนกลับ (Inversion model) ของสนามแม่เหล็กโลกโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างไฟล์ Mash ทำการเลือกใช้รูปแบบตามไฟล์ Obs.mag (ภาคผนวก ก) ซึ่งต้องมีการกำหนด พารามิเตอร์ ต่างๆ คือ ชนิดของวัตถุผิดปกติ, บริเวณที่ทำการสำรวจ, Standard deviation โดยจัดเรียงไฟล์ข้อมูล แสดงในตารางที่ 2.4 จากนั้นจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์ (\*.Dat)
2. ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลตรงตามข้อมูลตาม File / Obs.mag หรือไม่ เปิดโปรแกรม MAG3D User Interface / Mag observation file / View data.
3. สร้าง Mash ไฟล์ข้อมูล / Create mash / กำหนดความกว้างของเซลล์ที่ขนาด 500 เมตร / บันทึกรูปแบบการบันทึก แบบ MAG mash file
4. บันทึกไฟล์ MAG3D เป็นแบบ MAG 3D (\*Inv) / สั่ง Run ข้อมูล

## ตารางประกอบที่ 2.4 ตัวอย่างรูปแบบไฟล์ Obs.mag ที่ใช้ในสร้างโมเดล 3 มิติ

!!

0.915	-0.614	41118.8		
0.195	-0.614	1		
3626				
496000	999000	121	42.54538727	4.127269363
496500	999000	121	42.48835754	4.124417877
497000	999000	121	42.43782806	4.121891403
497500	999000	121	42.60569763	4.130284882

### 2.2.5. กระบวนการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยสเปกโทมิเตอร์รังสีแกมมาชนิด HPGe

การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างดินและหินปูน ทำได้โดยเครื่องแกมมาสเปกโทมิเตอร์ (Gamma ray spectrometer) ชนิดหัววัดแบบ HPGe (High Purity Germanium) (Canberra model GC7020, USA) โดยหัววัดอยู่ภายในถ้ำตะกั่วกำบังรังสีกัมมันตภาพรังสี (Canberra, 747, USA) โดยหัววัดจะเชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (MCA 16000 ช่อง Canberra model DSA 1000, USA) และวิเคราะห์ยอดพลังงานรังสีแกมมาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Genies 2000 Software Version 2.1 (USA) ซึ่งหัววัดรังสีแกมมาจะมีประสิทธิภาพสัมพัทธ์  $\geq 80\%$  มีค่า FWHM เท่ากับ 1.767 keV ที่พลังงาน 1332 keV ( $^{60}\text{Co}$ ) และมีอัตราส่วนระหว่างยอดพลังงานต่อฐานคอมพ์ตันเท่ากับ 90.7:1

การตรวจวัดค่ากัมมันตรังสี ของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ในตัวอย่างหินและดินทำได้โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Gamma Acquisition & Analysis Genie 2000 (USA) โดยมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและกระบวนการวิเคราะห์ดังนี้

#### การเตรียมตัวอย่างหินและดิน

- ตัวอย่างหินและดินที่ได้จากการเก็บสำรวจได้นำกลับมาย่อยในห้องปฏิบัติการธรณีฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยการทุบย่อยให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการบดละเอียดด้วยเครื่อง Ball mill ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์



มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียดแล้วนำมาอบด้วยเตาอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้นออกจากตัวอย่างหินหรือดิน

- ชั่งตัวอย่างด้วยกระบอกตวงให้มีปริมาตรเท่ากับ 100 มิลลิลิตร นำมาบรรจุใส่ กระปุกพลาสติกที่มีขนาดและความสูงเท่ากับสารมาตรฐานที่จะทำการเปรียบเทียบในที่นี้คือ WWPT IAEA-Soil-06 (ภาพประกอบที่ 2.15 ) จากนั้นชั่งน้ำหนักและปิดผนึกตัวอย่างกระปุกให้สนิทด้วยเทปกาวสีดำ

- ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ 30 วัน เพื่อให้กัมมันตภาพรังสี eU, eTh และลูกหลานอยู่ในสภาวะสมดุลทางกัมมันตภาพรังสี ทำการวิเคราะห์รังสีแกมมาของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ตามลำดับ ด้วยกระบวนการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อไป



ภาพประกอบที่ 2.15 เครื่องร่อนแยกหินและดิน สารมาตรฐาน IAEA Soil 6 และ ตัวอย่างหินที่ผ่านการอบความร้อนและบดละเอียดด้วยเครื่อง Ball mill

### การวัดตัวอย่างด้วยเครื่องแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ชนิดหัววัด HPGe

ตัวอย่างหินและดินที่ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน และให้อยู่ในสภาวะสมดุลทางรังสีนำมาวัดค่าสเปกตรัมรังสีแกมมาด้วยเครื่องแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ ชนิดหัววัด HPGe สามารถอธิบายขั้นตอนการวัดตัวอย่าง ดังนี้

- เปิดคอมพิวเตอร์พร้อมเปิด Multi Chanel Analyzer (MCA) โดยการวัดตัวอย่างต้องทำในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิที่เย็นคงที่ประมาณ 22 องศาเซลเซียส

- เปิดโปรแกรม Genie 2000 เลือก Detector: DET 01 / MCA / Adjust / HVPS / On รอจนกว่า คำว่า Wait หายไป แล้ว Exit

- เลือก MCA / Acquire setup ตั้งเวลาในการวัดตัวอย่างนาน 7200 วินาที
- วางตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในกระปุกซึ่งปิดผนึกไว้ภายในถ้ำตะกั่วกำบังรังสีภูมิหลัง โดยให้อยู่ตรงกึ่งกลางหัววัดของรังสีแกมมา



ภาพประกอบที่ 2.16 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา (Gamma Ray Spectrometer) หัววัดแบบ HPGe ชนิด NaI

ในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของ  $^{226}\text{Ra}$  และ  $^{232}\text{Th}$  ใช้วิธีการตรวจวัดพลังงานรังสีแกมมาจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีรุ่นลูกที่อยู่ในอนุกรมเดียวกันและเกิดสมดุลกัมมันตรังสี โดยที่ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ  $^{226}\text{Ra}$  สามารถคำนวณจากพื้นที่ใต้พลังงานรังสีแกมมาที่ 295.2, 351.9 keV ( $^{214}\text{Pb}$ ), 609.3, 1120.3 และ 1764.3 keV ( $^{214}\text{Bi}$ ) ตามลำดับ ขณะที่ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของ  $^{232}\text{Th}$  คำนวณจากพื้นที่ใต้พีคของพลังงานรังสีแกมมาที่ 338.3, 911.6 และ 969.1 keV ( $^{228}\text{Ac}$ ) ตามลำดับ และกัมมันตภาพจำเพาะของ  $^{40}\text{K}$  คำนวณจากพื้นที่ใต้พีค (Net area) ของพลังงานรังสีแกมมาที่พลังงาน 1460.8 keV



**ตารางที่ 2.5** ประสิทธิภาพการวัดรังสีแกมมาที่ค่าพลังงานรังสีแกมมาต่างๆ

Nuclide	Energy (KeV)	Yeild (%)	Activity (Bq)	Net area	Efficiency
<sup>214</sup> Pb	295.224	19.30	1840.611	151714	0.059316
<sup>214</sup> Pb	351.932	37.60	1840.611	259522	0.052083
<sup>214</sup> Bi	609.312	46.10	1840.611	195422	0.031987
<sup>214</sup> Bi	768.356	4.94	1840.611	16826	0.025702
<sup>214</sup> Bi	1120.287	15.10	1840.611	43033	0.021505
<sup>214</sup> Bi	1377.700	4.11	1840.611	5685	0.021453
<sup>214</sup> Bi	1764.500	15.40	1840.611	38318	0.018775

การวิเคราะห์สเปกตรัมที่ได้จากหัววัดรังสีแกมมาได้โดยการวิเคราะห์ยอดพลังงานแต่ละยอดพลังงานรังสีแกมมาโดยแต่ละยอดพลังงานมาจากนิวไคลด์ตัวใด การวิเคราะห์นิวไคลด์กัมมันตภาพรังสีทำได้โดยใช้พื้นที่ใต้สเปกตรัม (Net area) ซึ่งจะสัมพันธ์โดยตรงเชิงเส้นกับความเข้มข้น

ค่ากัมมันตภาพของ <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th และ <sup>40</sup>K ของตัวอย่างสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 เมื่อนำค่าน้ำหนักของตัวอย่างไปหารค่ากัมมันตภาพจะได้ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Specific activity)

$$\text{Activity(Bq)} = \frac{\text{Net Area}}{(\text{Livetime}) (\text{Efficiency}) (\text{Yield})} \quad \text{สมการที่ 2.8}$$

$$\text{ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ} \left( \frac{\text{Bq}}{\text{Kg}} = \frac{\text{Activity (Bq)}}{\text{Weight (Kg)}} \right) \quad \text{สมการที่ 2.9}$$

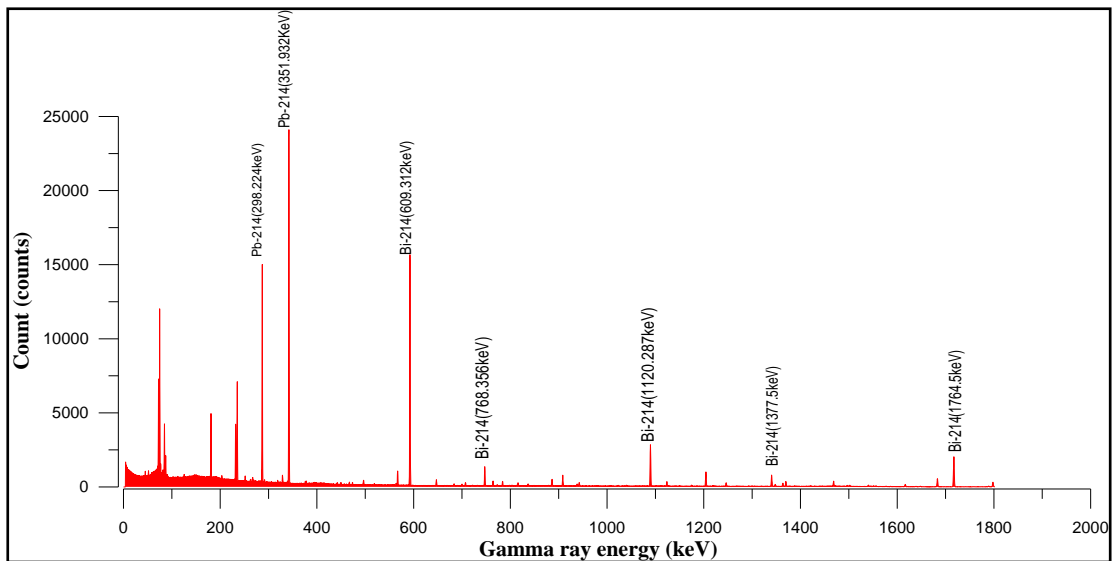
Activity คือ ค่ากัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีมีหน่วยเป็น Bq ของ สารมาตรฐานที่พลังงานรังสีเฉพาะ

Yield คือ branching ratio fraction

Live time คือ the actual ADC live time มีหน่วยเป็นวินาที (s)

Efficiency คือ ค่าประสิทธิภาพของหัววัด ณ พลังงานรังสีแกมมา ในหน่วย cps/Bq

Net area คือ พื้นที่ยอดสเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมาที่วิเคราะห์ได้



ภาพประกอบที่ 2.17 ตัวอย่างสเปกตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่าง Standard Soil 6

ค่ากัมมันตภาพต่ำสุดของระบบวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา หัววัดแบบ HPGe (Minimal Detectable Activity, MDA)

ในการคำนวณค่ากัมมันตภาพต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ของนิวไคลด์ใดๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ใช้สมการของ Currie's Derivation (Currie, 1968) หนึ่งในกลุ่มสมการชุดดังกล่าว คือ

$$\text{MDA (Bq)} = \frac{2.706 + 4.653\sigma}{(\text{LiveTime})(\text{Efficiency})(\text{Yield})} \quad \text{สมการที่ 2.10}$$

เมื่อ  $\sigma$  คือ SD ของ Background พลังงานที่สนใจ

Live Time คือ The actual ADC live time มีหน่วยเป็นวินาที (s)

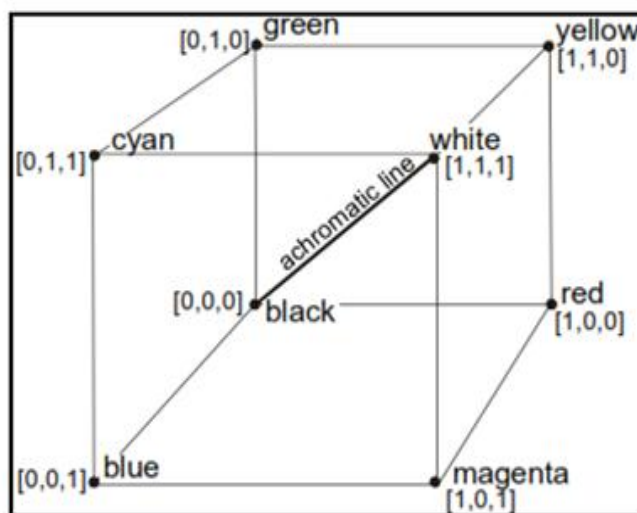
Efficiency คือ เป็นประสิทธิภาพของหัววัดที่พลังงานที่สนใจ ( $\text{count} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ )

Yield คือ เป็นสัดส่วนการปลดปล่อยรังสีแกมมาพลังงานดังกล่าว

ผลการวัดค่ารังสีกัมมันตภาพหลังซึ่งเตรียมจากกระปุกเปล่า โดยใช้เวลาวัดรังสี 7200 วินาที ซึ่งได้ทำการรวมจำนวนนับรังสีเฉพาะยอดพลังงานของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  และ  $^{40}\text{K}$  จากคำนวณค่า MDA จากสมการที่ 2.10พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.015, 0.0209 และ 0.061 Bq ตามลำดับ

## 2.2.6. การสร้างแผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศเพื่อระบุตำแหน่งขอบเขตรอยต่อหินแกรนิต

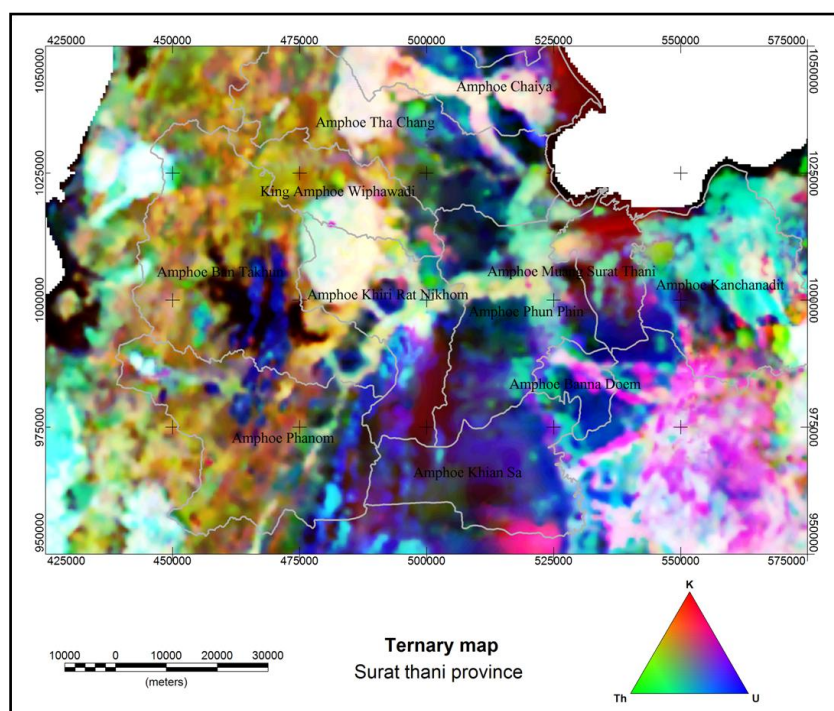
หลักการสร้างแผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศ (Airborne gamma ray spectrometric map) เป็นการนำข้อมูลมาเสนอ 2 มิติ ประกอบด้วย ตำแหน่งข้อมูลในพิกัดตามทิศตะวันออก (X) และพิกัดตามทิศเหนือ (Y) และ ค่ากัมมันตรังสี (Z) แผนที่กัมมันตรังสีที่ใช้ในการแปลความหมายครั้งนี้ประกอบด้วย แผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศชนิด โพแทสเซียม (K) ยูเรเนียมสมมูล (eU) ทอเรียมสมมูล (eTh) และแผนที่กัมมันตภาพรังสีผสม 3 สี (Ternary map) ในการวิเคราะห์ด้วย แผนที่ทำได้โดยใช้เทคนิคการผสมสี ที่เรียกว่า Colour Space Technique (IAEA, 2003) ซึ่งคือการสร้างโมเดลที่ช่วยให้เห็นรายละเอียดได้ดีขึ้นโดยอาศัยการผสมสีของแม่สีหลักซึ่งประกอบด้วย สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และ สีน้ำเงิน (Blue) โดยเทคนิคที่เรียกว่า RGB หรือ Red, Green, Blue โดยกำหนดให้ สีแดงเป็นข้อมูลจากธาตุโพแทสเซียม (K) สีเขียวเป็นข้อมูลธาตุทอเรียม (Th) และสีน้ำเงินเป็นข้อมูลจากธาตุยูเรเนียม (U) การสร้างแผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศ อธิบายขั้นตอนได้ดังนี้



ภาพประกอบที่ 2.18 แผนที่แสดงอัตราส่วนการเรืองแสงผสมสี แบบเทคนิค Color Coding ชนิด Red Green Blue (RGB) (IAEA, 2003)

การจัดทำแผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล ทอเรียมสมมูล และแผนที่ภาพผสม 3 สี (Ternary map) ทำได้โดยการใช้โปรแกรม Geosoft Oasis Montaj 7.5 อธิบายได้ดังนี้

- เปิดโปรแกรม Geosoft Oasis Montaj 7.5 / สร้างไฟล์ (\*Gdb) โดยคำสั่ง Data / Database / New data base name: Ternary map
- นำข้อมูลที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนข้อมูลนาล็อคเป็นตัวเลขมาใช้โดยคำสั่ง Data / Import / Geosoft XYZ (กรณี ไฟล์ \*XYZ)
- ข้อมูลที่ได้จัดเก็บใน Database file (\*Gdb) สร้างกริดข้อมูลโดยใช้คำสั่ง Grid / Gridding / Minimum curvature / Dialog control / Channel to grid: Z / Name of new grid / Grid cell size: 500 meters หรือ ในกรณีที่ข้อมูลจัดอยู่ในรูปแบบ (\*.Grd) สามารถแสดงข้อมูลโดยคำสั่ง Grid / Display grid / Single grid / Grid name: Ternary map
- สร้างแผนที่โดยแสดงแผนที่ ด้วยคำสั่ง Mapping / Base map / Draw base map / Map scale: 1:1000000 / Figure title: Ternary map
- ในส่วนแผนที่ที่กัมมันตรังสีผสม 3 สี มีเทคนิคเฉพาะ คือ Grid / Display grid / Ternary image / Colour model: RGB / R:Potassium, G:Thorium, B:Uranium



ภาพประกอบที่ 2.19 ตัวอย่างแผนที่การผสมภาพ 3 สี (Ternary map) ด้วยเทคนิค Red Green Blue (RGB) ซ้อนทับขอบเขตอำเภอในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี มาตรฐานแผนที่ 1:1000000

## บทที่ 3

### ผลและการอภิปรายผล

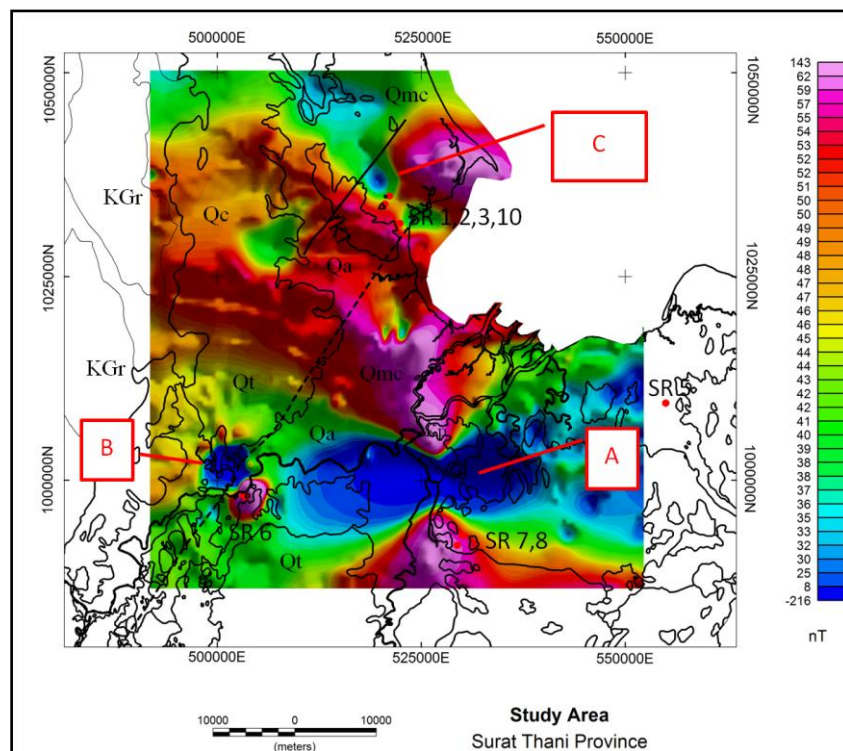
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านสนามแม่เหล็กตรวจวัดทางอากาศและความเข้มกัมมันตภาพรังสีทางอากาศ ประกอบด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านแม่เหล็กเพื่อระบุตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็กและความลึกด้วยเทคนิค Horizontal Gradient Magnitude (HGM) และเทคนิค Analytic Signal (AS) หรือ Total Gradient (TG), ผลความสอดคล้องของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินและแบบจำลอง 3 มิติ (Mag 3D Inversion), ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบตัวอย่างหินด้วยวิธี X-Ray Diffraction (XRD), ผลการสร้างแผนที่ความเข้มกัมมันตภาพรังสีทางอากาศเพื่อตำแหน่งรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยจากแผนที่กัมมันตภาพรังสีโพแทสเซียม (K) ยูเรเนียมสมมูล (eU) ทอเรียมสมมูล (eTh) และกัมมันตภาพรังสีผสม 3 สี (Ternary map), ผลการประยุกต์ใช้แผนที่กัมมันตภาพรังสีในการวิเคราะห์ความสอดคล้องของหน่วยหินในบริเวณแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยและผลการวิเคราะห์ความเข้มของธาตุกัมมันตรังสีด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาด้วยหัววัด HPGe ในตัวอย่างดินและหิน

#### 3.1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศ

##### 3.1.1. ผลการประเมินเพื่อระบุตำแหน่งรอยต่อและความลึกทางแม่เหล็กด้วยเทคนิค Horizontal Gradient Magnitude (HGM) และเทคนิค Analytic Signal (AS) หรือ Total Gradient (TG)

การแปลความแม่เหล็กทางอากาศในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีที่ตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 8° 30'N ลองจิจูดที่ 100°E ถึง ละติจูดที่ 9°45'N ลองจิจูดที่ 100°E พบว่า ค่าสนามแม่เหล็กโลกปกติมีค่าระหว่าง 41036 ถึง 41120 นาโนเทสลา มุม Inclination (Inc) เท่ากับ 0.540° และมุม Declination (Dec) เท่ากับ 2.612° ข้อมูลแผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กผิดปกติ (Magnetic anomaly map) ซึ่งซ้อนทับขอบเขตพื้นที่ธรณีวิทยาที่แสดงให้เห็นถึงตะกอนน้ำพา (Qa), กรวดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวสะสมตัวตามร่องน้ำ (Qt) ตะกอนตะกัปลำน้ำ ปกคลุมตลอดพื้นที่อีก

ทั้งยังมีหินปูนหรือหินปูนเนื้อโดโลไมต์ยุคเพอร์เมียน (Pr) ตำแหน่งบริเวณที่เกิดค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก แสดงพื้นที่ 3 บริเวณ คือ พื้นที่ A คือ บริเวณเขาหัวควาย พิกัด UTM 526000 E และ 1001000 N อำเภอพนมพิณติดต่อกับอำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี พื้นที่ B คือ บริเวณเขาชันกะ เขาดิน และ เขาหลง พิกัด UTM 501000 E และ 1004000 N บริเวณอำเภอคีรีรัฐนิคม และ พื้นที่ C คือ บ้านเขาน้ำร้อน พิกัด UTM 525000 E และ 1035000 N ในบริเวณอำเภอไชยาติดต่อกับอำเภอท่าฉาง (ภาพประกอบที่ 3.1) ค่าผิดปกติทางแม่เหล็กบริเวณพื้นที่ A พบว่า มีลักษณะทั่วไปเป็นแม่เหล็กผิดปกติแบบคู่ขั้ว (Magnetic dipole) เป็นค่าผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีขนาดใหญ่และครอบคลุมพื้นที่กว้างโดยมีค่าผิดปกติทางแม่เหล็กมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -216 ถึง 143 นาโนเทสลา ในบริเวณพื้นที่ B และ C ค่าความผิดปกติมีลักษณะเป็นแบบคู่ขั้ว (Magnetic dipole) ความเข้มสนามแม่เหล็กบริเวณค่าผิดปกติอยู่ในช่วงระหว่าง -70 ถึง 140 นาโนเทสลา และในช่วงระหว่าง -50 ถึง 25 นาโนเทสลา ตามลำดับ

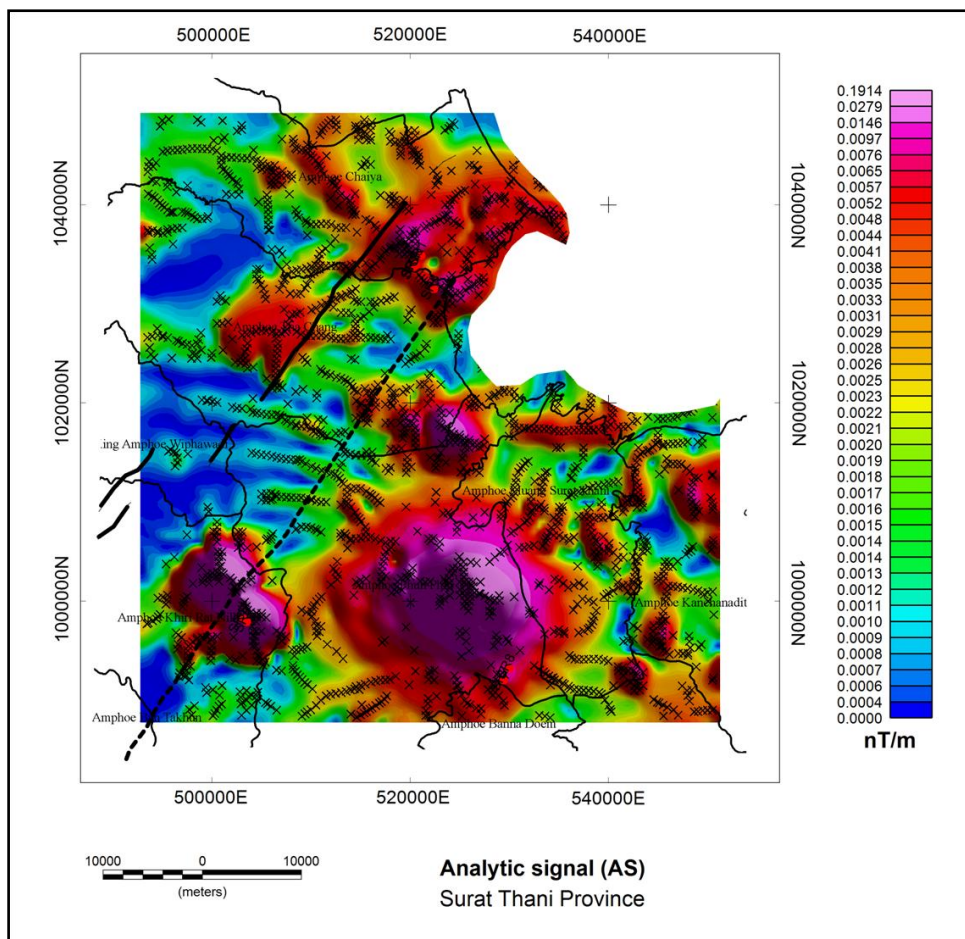


ภาพประกอบที่ 3.1 แผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กผิดปกติซ้อนทับขอบเขตทางธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) เส้นทึบสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) เส้นประสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) และจุดสีแดงแสดงตำแหน่งน้ำพุร้อน มาตราส่วนแผนที่ 1:1000000

เทคนิค Analytic Signal (AS) หรือ Total Gradient (TG) เปรียบเทียบกับเทคนิค Horizontal Gradient Magnitude (HGM) (ภาพประกอบที่ ข-1) ช่วยในการกำหนดรอยต่อโครงสร้างแม่เหล็กขนาดใหญ่แบบแนวตั้ง (Vertical magnetic contact + RTP, 0) ดังตารางที่ 2.3 พบว่ากระบวนการ Reduce to The Pole หรือ RTP ที่ช่วยในการกำหนดลักษณะโครงสร้างของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กที่มีขอบเขตที่รูปร่างที่เป็นทรงกลมสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจน (ภาพประกอบที่ 1.7) เหมาะสำหรับพื้นที่ซึ่งมีค่าสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางเดียวกับทิศทางของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ กล่าวคือ มีมุม Inclination ที่ 90 องศา แต่ในขณะที่พื้นที่ทำการสำรวจตั้งอยู่บริเวณตำแหน่งที่ 8 องศาเหนือ จึงได้ละเว้นเทคนิคนี้ออกไป (MacLeod et al, 1993)

ผลการหาดำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็ก (x) (ภาพประกอบที่ 3.2) โดยเลือกพิจารณา ค่าความเข้มแอมพลิจูดตั้งแต่ 0.001 nT/m มีค่าความเข้มแอมพลิจูดตั้งแต่ 0.0000 ถึง 0.1914 nT/m บริเวณสูงสุดของวัตถุผิดปกติ ทั้ง 3 บริเวณแสดงตำแหน่งสัน (Ridge) ทั้ง 3 บริเวณ คือ บริเวณอำเภอพุนพิน (A) อำเภอคีรีรัฐนิคม (B) และอำเภอไชยา (C) โดยบริเวณนี้แสดงตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็กใกล้เคียงกับแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) นอกจากนี้ยังพบความต่อเนื่องของแนวรอยต่อทางแม่เหล็กที่มีความต่อเนื่องไปในทิศทางอื่น เช่น ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตกเฉียงใต้ ในบริเวณกิ่งอำเภอวิภาวดีปรากฏอยู่ด้วย



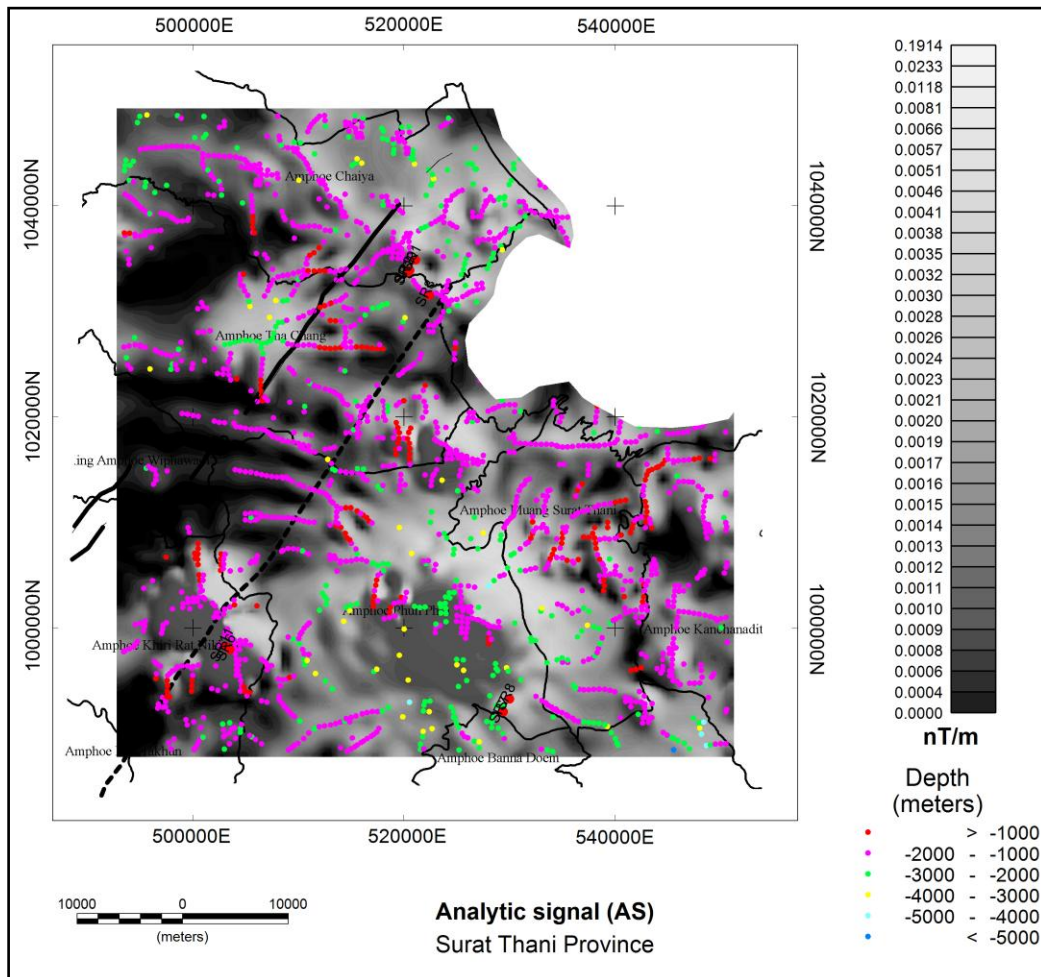


**ภาพประกอบที่ 3.2** ผลการหาตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็กจากเทคนิค Analytic Signal (AS) บริเวณพื้นที่ศึกษาซ้อนทับขอบเขตอำเภอ เส้นทึบสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553), เส้นประสีดำแสดงแนวเขตรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) และวงกลมสีแดงแสดงตำแหน่งน้ำพุร้อน มาตราส่วนแผนที่ 1:1000000

ผลการประมาณความลึกด้วยเทคนิค AS เปรียบเทียบด้วยวิธี HGM (ภาพประกอบที่ ข-2) โดยการแสดงภาพแบบเฉดสีเทาที่เพิ่มความเข้มสี 10 % โดยมีค่าความเข้มแอมพลิจูดตั้งแต่ 0.0000 ถึง 0.1914 nT/m (ภาพประกอบที่ 3.3) ได้แสดงตำแหน่งความลึกที่ความลึกต่างกันไป คือ ในส่วนบริเวณอำเภอพุนพิน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีวัตถุผิดปกติขนาดใหญ่ แสดงความลึกของวัตถุผิดปกติ ตั้งแต่ 1,000 เมตร เหนือบริเวณสูงสุด (วงกลมสีชมพู) ต่อเนื่องไปจนถึงความลึกที่มากกว่า 5,000 เมตร (วงกลมสีน้ำเงิน) ในบริเวณอำเภอคีรีรัฐนิคม พบว่าวัตถุผิดปกติแสดงความลึก ตั้งแต่ 1,000 ถึง 2,000 เมตร (วงกลมสีชมพู) ในบริเวณสัน (Ridge) ของวัตถุผิดปกติ และในบริเวณอำเภอไชยา



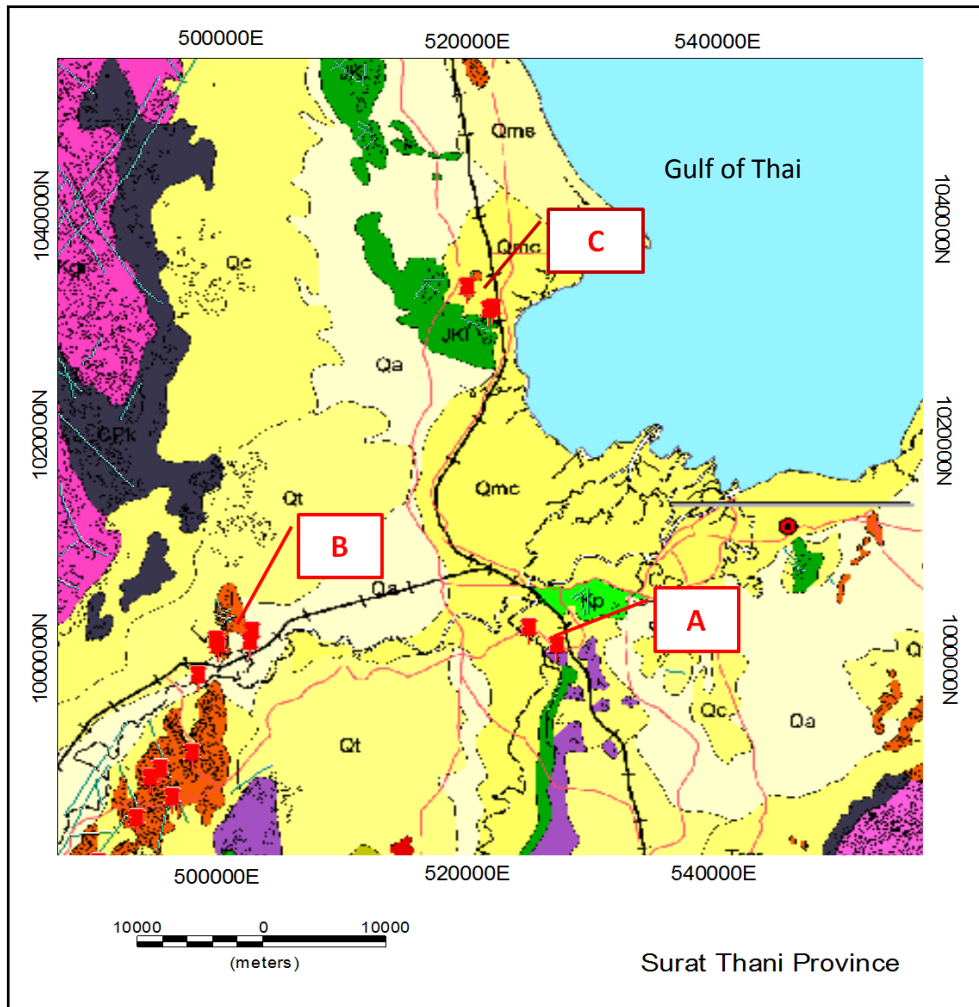
บริเวณเหนือค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก พบว่ามีความลึกอยู่ในช่วงระหว่าง 1,000 ถึง 2,000 เมตร (วงกลมสีชมพู) และลึกลงสู่จนถึง 3000 เมตร (วงกลมสีเขียว)



ภาพประกอบที่ 3.3 ผลการประมาณความลึกด้วยเทคนิค AS ซ้อนทับขอบเขตอำเภอ แนวเส้นที่บสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยบริเวณอำเภอไชยา (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) เส้นประสีดำแสดงแนวเขตรอยเลื่อนที่คาดว่าจะเป็แนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) และ วงกลมสีแดงแสดงตำแหน่งน้ำพุร้อน มาตรฐานแผนที่ 1:1000000

### 3.1.2. ผลการวัดค่าสภาพรับไว้ทางแม่เหล็ก (Magnetic susceptibility, k)

ผลการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Magnetic susceptibility, k) ของตัวอย่างหินตามตำแหน่งแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดสุราษฎร์ธานี (ภาพประกอบที่ 3.4) โดยหมุดสีแดงแสดงตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างหิน ครอบคลุมอำเภอคีรีรัฐนิคม อำเภอท่าฉาง อำเภอไชยา อำเภอพนมดิน อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี และ บางพื้นที่ของอำเภอบ้านตาขุน พบว่าธรณีวิทยาพื้นที่ดังกล่าวเป็นดินตะกอนน้ำพา (Qt) ที่หนาปกคลุมตลอดพื้นที่และมีภูเขาหินปูนราชบุรี (Pr) ผลการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินปูน พบว่า บริเวณเขาดิน พิกัด UTM 0499794 E และ 1002527 N ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กมีค่าประมาณ  $12.026 \pm 2.30 \times 10^{-6}$  และบริเวณเขาชันกะ พิกัด UTM 0499794 E และ 1001601 N ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก มีค่าประมาณ  $-10.150 \pm 0.90 \times 10^{-6}$  นอกจากนี้พบว่าค่าสภาพรับไว้ทางแม่เหล็กมีค่ามากที่สุด คือ บริเวณเหมืองหินสุราษฎร์ ผาทอง พิกัด UTM 0996390 N และ 0987385 E คือ  $-43.656 \pm 6.55 \times 10^{-6}$  และบริเวณเหมืองหินสุราษฎร์เรื่องกิจประมาณ  $-3.69 \pm 0.57 \times 10^{-6}$  สอดคล้องกับกับค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของบริเวณ อำเภอไชยาติดต่อกับอำเภอท่าฉาง บริเวณเขานางซี ภูเขาหินปูน พิกัด UTM 0520055 E และ 1033787 N ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก มีค่าประมาณ  $24.5 \pm 5.20 \times 10^{-6}$  และบ้านธารน้ำร้อน บริเวณสำนักสงฆ์ธารน้ำร้อน (สาขาวัดบรมธาตุไชยา) พิกัด UTM 0522125 E และ 1031848 N ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กมีค่าประมาณ  $-1.4 \pm 3.6 \times 10^{-6}$  โดยที่ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินปูนทุกบริเวณจัดอยู่ในพวกวัตถุที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กแบบ ไดอะแมกเนติก (Diamagnetic) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัตถุแม่เหล็กที่มีค่าน้อยในทางบวกน้อยๆ หรือมีค่าเป็นลบน้อยๆ ในส่วนบริเวณเขาหัวควายซึ่งมีค่าผิดปกติทางแม่เหล็กสูงสุด พิกัด UTM 0527249 E และ 1001257 N พบว่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กค่าสูงสุดประมาณ  $273.90 \pm 3.98 \times 10^{-6}$  สำหรับตัวอย่างหินที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่มีค่าสูงได้ทำการส่งตัวอย่างหินเพื่อวิเคราะห์หาล่องค์ประกอบทางเคมีของหินต่อไป ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (Scientific Equipment Center)



ภาพประกอบที่ 3.4 แผนที่ธรณีวิทยาแสดงบริเวณที่ทำการวัดเก็บตัวอย่าง หินที่แสดงด้วยตัวอย่างหินที่ได้จากบริเวณพื้นที่มีค่าผิดปกติทางแม่เหล็กเกิดขึ้น โดยที่ Qt คือ ตะกอนตะกักลำน้ำ, Qc คือ ตะกอนหินเชิงเขาและตะกอนผุอยู่กับที่, Qa คือ ตะกอนธารน้ำพา, Kp คือ หินทรายแป้ง, JKL คือ หินทรายอาร์โกส, Pr คือ หินปูน / หินปูนเนื้อโดโลไมต์, KGr คือ หินไบโอไทต์ฮอร์นแบลนด์แกรนิต มัสโคไวต์แกรนิต มาตรฐานแผนที่ 1:1000000 (ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

ตารางที่ 3.1 ค่าสภาพปรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินโผล่หรือหินหลุดลอยบริเวณที่เกิดค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก

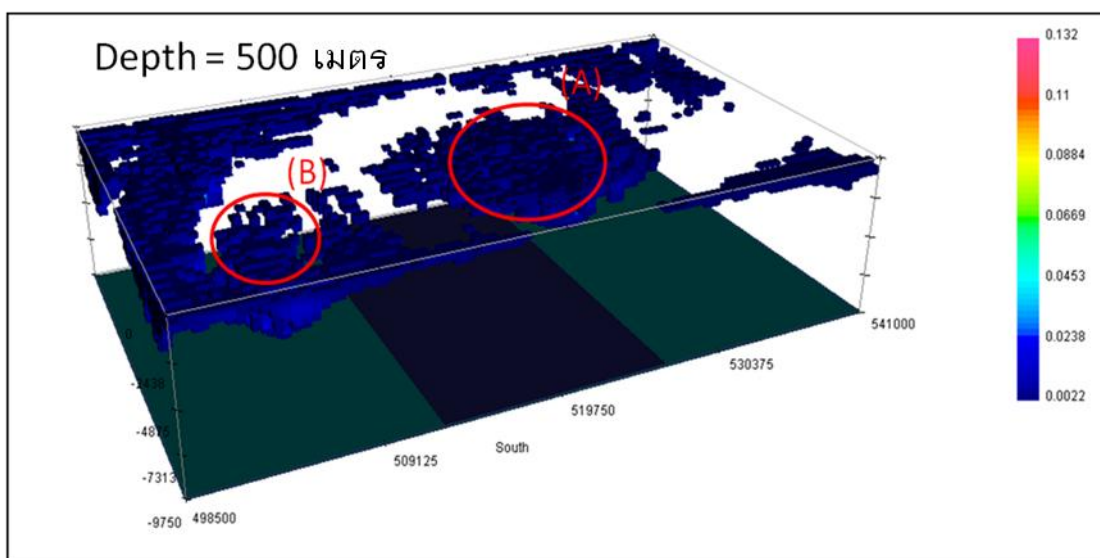
ตำแหน่ง	UTM		ตัวอย่าง	Susceptibility ( $\times 10^{-6}$ [SI])	ชนิดหิน	หมายเหตุ
	E	N				
อำเภอไชยา	0520055	1033787	CH2	$24.50 \pm 5.20$	Limestone	เขานางซี / บ่อดินดินแดงสีน้ำตาล
	0520055	1033787	CH3	$-12.30 \pm 1.51$	Limestone	บ่อดิน มี limestone แทรก
	0522125	1031848	CH6	$-1.40 \pm 3.16$	Limestone	สำนักสงฆ์ธารน้ำร้อน หินปูนสีดำ
	0521824	1031652	CH7	$37.10 \pm 8.36$	Sandstone	บ่อดิน มีเม็ดเกรนละเอียด
อำเภอพุนพิน	0525021	1002824	CH9	$0.27 \pm 0.10$	Sandstone	บ่อดินหน้าเขาหัวควาย
	0525021	1002824	CH9_1	$-12.40 \pm 0.01$	Limestone	บ่อดินหน้าเขาหัวควาย
	0525021	1002824	HU1	$29.00 \pm 1.14$	Sandstone	บ่อดินหน้าเขาหัวควาย
	0527249	1001257	SU01	$173.10 \pm 2.25$	Hornfel	หลังวัดเขาหัวควาย
	0527249	1001257	SU02	$273.90 \pm 3.98$	Hornfel	หลังวัดเขาหัวควาย
	0527249	1001257	SU03	$240.4 \pm 6.56$	Hornfel	หลังวัดเขาหัวควาย
อำเภอ คีรีรัฐนิคม	0499944	1001163	KR1	$-12.10 \pm 0.42$	Limestone	เขาชันกะ ลักษณะภูเขาหินปูน
	0499794	1001601	KR3	$-10.15 \pm 0.90$	Limestone	เขาชันกะ
	0502661	1002527	KR4	$12.26 \pm 2.30$	Limestone	เขาดิน ลักษณะภูเขาหินปูน
	0502600	1001576	KR7	$-5.99 \pm 1.60$	Limestone	เขาดิน วัดถ้ำสมิงพราย

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) แสดงค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินโผล่หรือหินหลุดลอยบริเวณที่เกิดค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก

ตำแหน่ง	UTM		ตัวอย่าง	Susceptibility ( $\times 10^{-6}$ SI)	ชนิดหิน	หมายเหตุ
	E	N				
อำเภอ คีรีรัฐนิคม	0495283	0989878	KR11	$-4.10 \pm 0.11$	Limestone	ภูเขาหินปูน
	0493417	0985440	KR12	$-14.70 \pm 0.47$	Limestone	บ่อดิน
	0490350	0981489	KR13	$-14.80 \pm 0.69$	Limestone	บ่อดิน
	0491110	0973327	KR14	$-13.60 \pm 1.51$	Limestone	ภูเขาหินปูน
	0495210	0968995	KR15	$-10.86 \pm 0.51$	Limestone	สำนักสงฆ์นาใน ภูเขาหินปูน
	0494552	0989123	KR10	$-9.52 \pm 1.66$	Limestone	ภูเขาหินปูน
	0497967	0991454	KR8	$-4.14 \pm 1.33$	Limestone	ศาลเจ้าพ่อเสือใหญ่
	0498387	0998472	KR8_1	$-43.20 \pm 6.55$	Limestone	บริษัทเหมืองผาทองสุราษฎร์
	0496390	0987385	KR9	$-3.69 \pm 0.57$	Limestone	เหมืองหินสุราษฎร์เรืองกิจ

### 3.1.3. ผลการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ (Mag 3D Inversion)

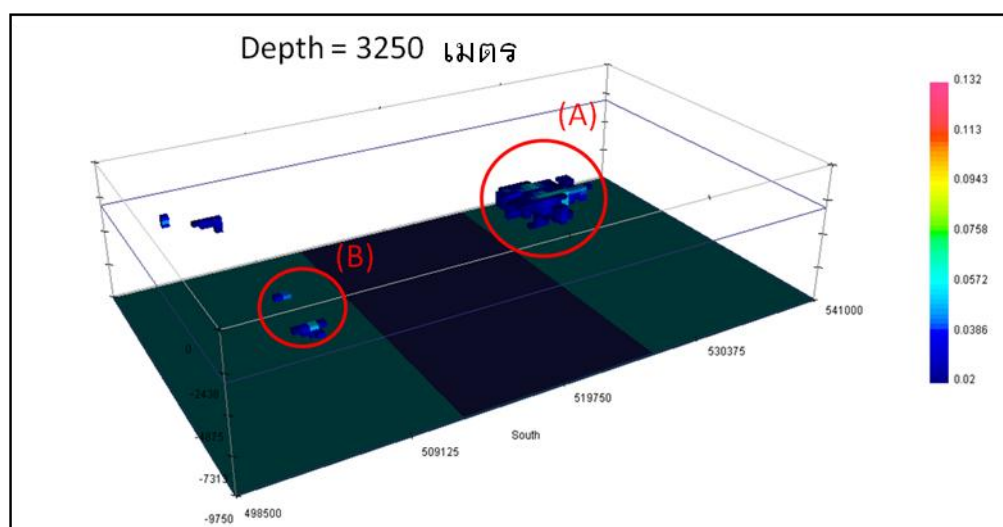
โมเดลย้อนกลับแบบ 3 มิติ (Mag 3D Inversion) ชนิดค่าสนามแม่เหล็กผิดปกติ (Obs.mag) ดังตารางที่ 2.4 ได้แสดงค่าผิดปกติที่อยู่ในช่วง 0.000 ถึง 0.132 [SI] (ภาพประกอบที่ 3.5) สอดคล้องกับการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างหินโผล่หรือหินท้องที่จากห้องปฏิบัติการธรณีฟิสิกส์ โดยพบว่าพื้นที่ศึกษาในอำเภอพุนพินและอำเภอคีรีรัฐนิคม (A) แทนด้วยวงกลมสีแดงซึ่งแสดงขอบเขตจากเทคนิค Analytic Signal (AS) สำหรับค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0022 [SI] แทนด้วยสีน้ำเงิน ที่ระดับความลึก 500 เมตร



ภาพประกอบที่ 3.5 โมเดล 3 มิติ ที่ระดับความลึก 500 เมตร ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในช่วง 0.0022 [SI] ; วงกลมสีแดงแสดงผลจากเทคนิค Analytic Signal (AS) บริเวณอำเภอพุนพิน (A) และอำเภอคีรีรัฐนิคม (B)

หากพิจารณาค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (ภาพประกอบที่ 3.5) บริเวณแกนกลางของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กบริเวณอำเภอพุนพิน (A) พบว่ามีความลึกมากกว่า 3,250 เมตร โดยมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กประมาณ 0.02 [SI] (ภาพประกอบที่ 3.6) และบริเวณอำเภอคีรีรัฐนิคม (B) ไม่พบลักษณะความผิดปกติทางแม่เหล็กที่ระดับความลึกนี้ และสอดคล้องกับผลการประเมินความลึกด้วยเทคนิค Analytic Signal (AS) บริเวณอำเภอพุนพิน (A) มีค่าความลึกสูงสุดอยู่ในช่วง 3,000 ถึง

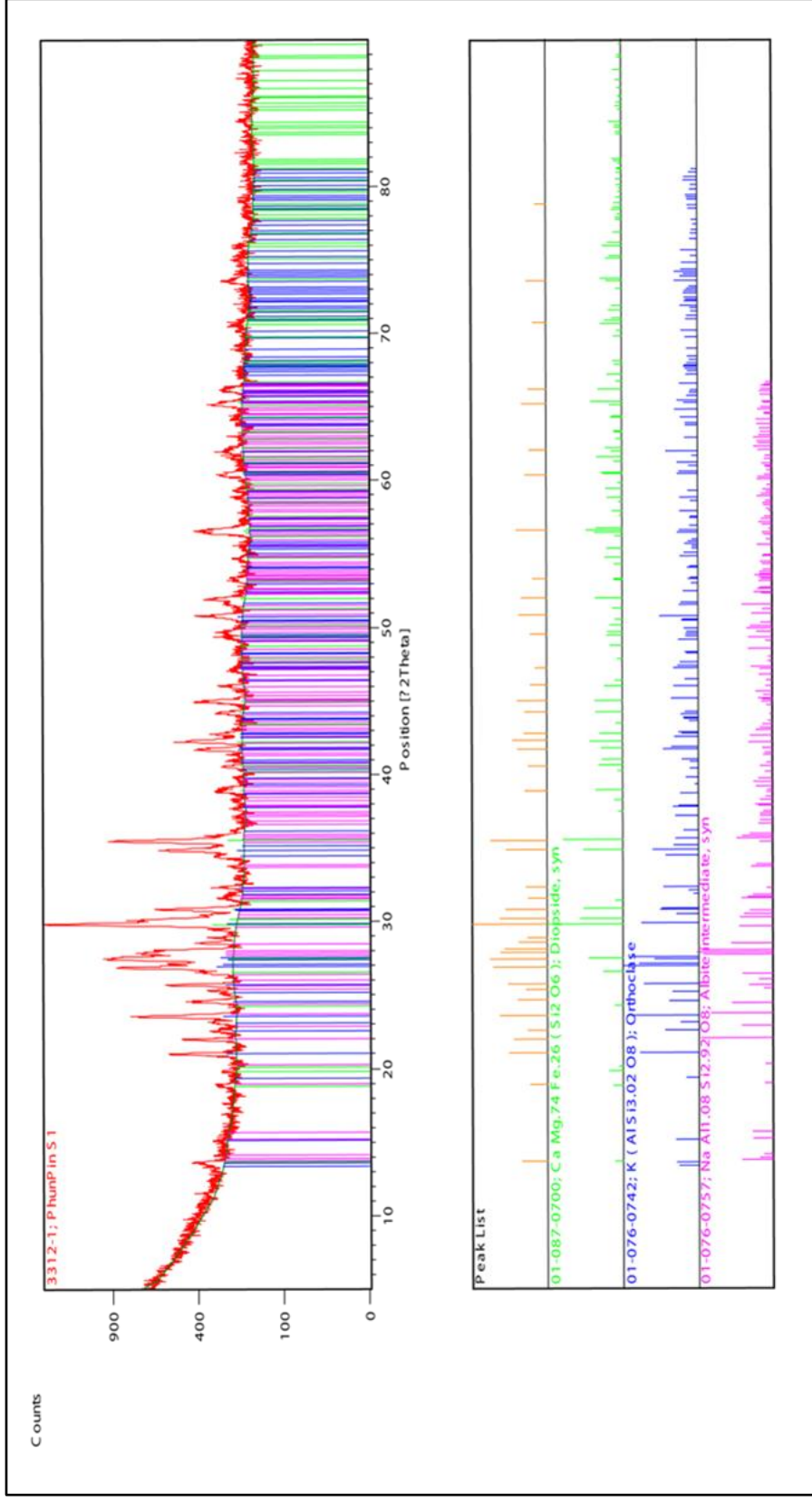
4,000 เมตร และในบริเวณอำเภอคีรีรัฐนิคมค่าประเมินความลึกด้วยเทคนิค Analytic Signal (AS) ระดับความลึก 2,000 เมตร สอดคล้องกับโมเดล 3 มิติ



ภาพประกอบที่ 3.6 โมเดลจำลอง 3 มิติ ที่ระดับความลึก 3250 เมตร ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก 0.02 [SI] วงกลมสีแดงผลจากเทคนิค Analytic Signal (AS) บริเวณอำเภอพุนพิน (A) และ อำเภอคีรีรัฐนิคม (B)

#### 3.1.4. ผลการวัดตัวอย่างหินด้วยวิธี X-Ray Diffraction (XRD)

ผลการตรวจวัดตัวอย่างหินเพื่อหาธาตุองค์ประกอบทางเคมี ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างบริเวณหลังวัดเขาหัวควาย อำเภอพุนพินติดต่อเขตอำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี พิกัด UTM 0527249 E และ 1001257 N พบว่าตัวอย่างหินมีลักษณะเป็นเนื้อละเอียดสีเขียว, สีเขียวอ่อน เมื่อผ่าจะมีลักษณะสีน้ำตาลอ่อนหรือแดง ผลการวิเคราะห์หาแร่องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี XRD พบว่ามีแร่องค์ประกอบหลักคือ Diopside ( $\text{CaMgFeSi}_2\text{O}_6$ ), Orthoclase ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) และ Albite intermediate  $\text{NaAl}_{1.08}\text{Si}_{2.92}\text{O}_8$  ซึ่งเป็นกลุ่มแร่ในกลุ่มเฟลด์สปาร์ และผลการศึกษาด้วยแผ่นบาง (Thin section) พบว่าบริเวณนี้เป็นหินแปรจำพวก Calc-Silicate hornfels, Hornblende-Quartz Hornfels, Zoisite-Quartz Hornfels, Epidote rock ที่ประกอบด้วยแร่ต่างๆ เช่น Quartz, Feldspars, Epidote Garnet, Zoisite, Iron oxide, และ Amphibol สาเหตุที่หินบริเวณนี้แปรสภาพเนื่องจากมี stock ของหิน หินอัคนีแทรกซอน (Diorite) ดันแทรกเข้ามาในบริเวณนี้ (สุวัฒน์ ตียะไพรัช และคณะ, 2532)



ภาพประกอบที่ 3.7 กราฟแสดงผลจากการส่งตัวอย่างด้วย เครื่อง x-ray diffractometer



## 3.2. ผลการวัดข้อมูลกัมมันตภาพรังสีทางอากาศ

### 3.2.1. การสร้างแผนที่กัมมันตรังสีแกมมาทางอากาศ ยูเรเนียมสมมูล, ทอเรียมสมมูล โพแทสเซียม และกัมมันตรังสีผสม 3 สี เพื่อระบุตำแหน่งรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย

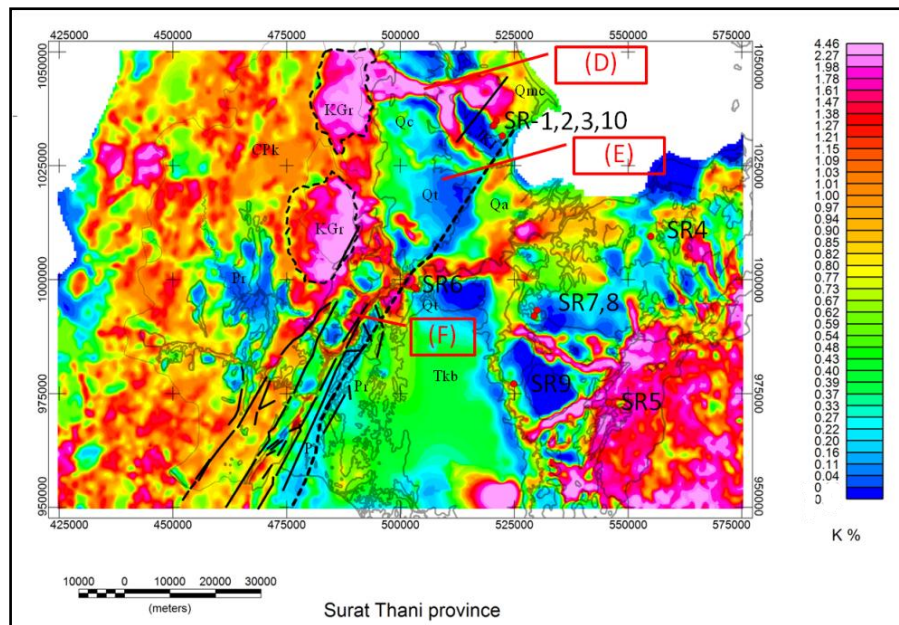
แผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศโพแทสเซียม (K) ที่ซ้อนทับขอบเขตทางธรณีวิทยา (ภาพประกอบที่ 3.8) ซึ่งมีค่าสูงบริเวณเทือกเขาหินแกรนิต (KGr) (เส้นประสีดำ) เนื่องมาจากการสลายตัวของแร่ประกอบหินแกรนิตชนิด โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) ไปเป็นแร่เคลย์ (Clay) ที่มีขนาดเล็กทำให้เคลื่อนที่ไปได้ไกลจากภูเขาหินแกรนิต ส่งผลให้บริเวณตะกอนต่างๆ เช่น ตะกอนผุพังเชิงเขา (Qc), ตะกอนชายฝั่ง (Qmc) และตะกอนทรายกรวดน้ำพา (Qa) มีค่ากัมมันตภาพรังสีโพแทสเซียมสูง และพบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีโพแทสเซียมยังมีค่าสูงตามแนวเส้นรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) เป็นแนวยาวต่อเนื่องในบริเวณภูเขาหินปูนราชบุรี (Pr) สอดคล้องกับแผนที่ 3 มิติ (ภาพประกอบที่ 3.11) ซึ่งแสดงปริมาณกัมมันตภาพรังสีโพแทสเซียมซ้อนทับข้อมูลความสูงเชิงเลขคณิต ASTER GDEM ที่ช่วยสนับสนุนว่าค่ากัมมันตภาพรังสีโพแทสเซียมที่มีค่าสูงบริเวณแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยมาจากการสลายตัวของภูเขาหินแกรนิต (KGr) (พื้นที่ F) และเส้น Potassium-lineament (เส้นประสีดำ) แสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยใหม่ที่ได้พาดผ่านบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนอำเภอคีรีรัฐนิคมไปสู่อำเภอไชยา (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556)

แผนที่กัมมันตภาพรังสียูเรเนียมสมมูล (eU) มีค่าสูง (ภาพประกอบที่ 3.9) ในบริเวณภูเขาหินแกรนิต (KGr) พบว่าการสลายตัวผุพังของภูเขาหินแกรนิตได้เคลื่อนที่ปกคลุมตะกอนเศษหินเชิงเขาผุพังอยู่กับที่ (Qc) (พื้นที่ D) และเคลื่อนที่กระจายไปทั่วบริเวณตะกอนน้ำพา (Qa) ต่อเนื่องไปยังตะกอนชายฝั่ง (Qmc) และตะกอนน้ำพาตามแนวแม่น้ำ (Qt) ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวมีค่ากัมมันตภาพรังสีสูง เนื่องมาจากการสลายตัวของยูเรเนียม-238 เป็น เรเดียม-226 ซึ่งสลายได้ดีในน้ำ จึงสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลจากแหล่งกำเนิด (ภูเขาหินแกรนิต) และค่าปริมาณกัมมันตรังสียูเรเนียมสมมูลยังมีค่าสูงในบริเวณอำเภอคีรีรัฐนิคม (พื้นที่ F) เป็นหน่วยหินปูนชุดราชบุรี (Pr) และบริเวณนี้มีแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (ด้วยเส้นทึบสีดำ) ปรากฏอยู่ด้วย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) สำหรับเส้น Uranium-lineament (เส้นประสีดำ) แสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยใหม่ (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) ลากผ่านบริเวณแนวหินปูนที่มีค่ากัมมันตภาพรังสียูเรเนียมสมมูลสูง และแหล่งน้ำพุร้อน

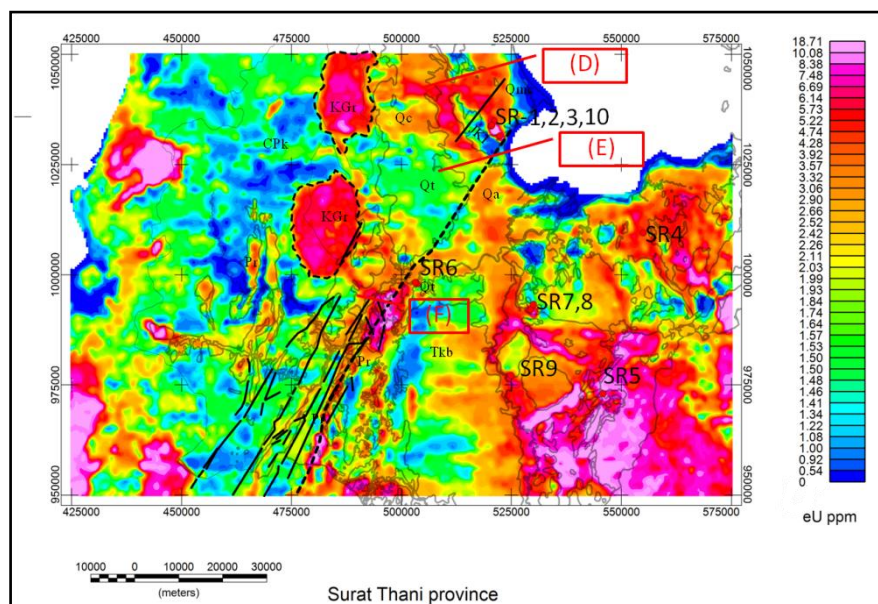
บริเวณคีรีรัฐนิคม (SR-6) ไปสู่แหล่งน้ำพุร้อนอำเภอไชยา (SR-1, 2, 3 และ 10) เช่นเดียวกับแผนที่  
 กัมมันตภาพรังสี 3 มิติ ซ้อนทับข้อมูลความสูงเชิงเลขคณิต ASTER GDEM ช่วยสนับสนุนว่า  
 กัมมันตภาพรังสียูเรเนียมสมมูลที่มีค่าสูงน่าจะมาจากการสลายตัวของภูเขาหินแกรนิต (KGr)  
 (ภาพประกอบที่ 3.13)

แผนที่กัมมันตภาพรังสี 3 มิติ (ภาพประกอบที่ 3.12) ซึ่งแสดงระดับปริมาณทอเรียม  
 สมมูล (eTh) ซ้อนทับข้อมูลความสูงเชิงเลขคณิต ASTER GDEM และแผนที่กัมมันตภาพรังสีทอเรียม  
 สมมูล (eTh) ที่ซ้อนทับขอบเขตทางธรณีวิทยา (ภาพประกอบที่ 3.10) แสดงบริเวณค่า  
 กัมมันตภาพรังสีที่มีค่าสูงบริเวณภูเขาหินแกรนิต (KGr) ที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีสูงบริเวณภูเขา  
 หินแกรนิต (KGr) (เส้นประสีดำ) ที่เกิดจากการผุพังและเคลื่อนที่มายังบริเวณตะกอนเชิงเขา (Qc)  
 (พื้นที่ D), ตะกอนชายฝั่ง (Qmc) และตะกอนน้ำพา (Qt) ตามลำดับ และ เส้นThorium-lineament  
 (ไทรภาพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) แสดงความต่อเนื่องบนหินปูนราชบุรี (Pr) และบริเวณนี้ยัง  
 พบว่ามีแหล่งน้ำพุร้อนบริเวณอำเภอคีรีรัฐนิคม และอำเภอไชยา

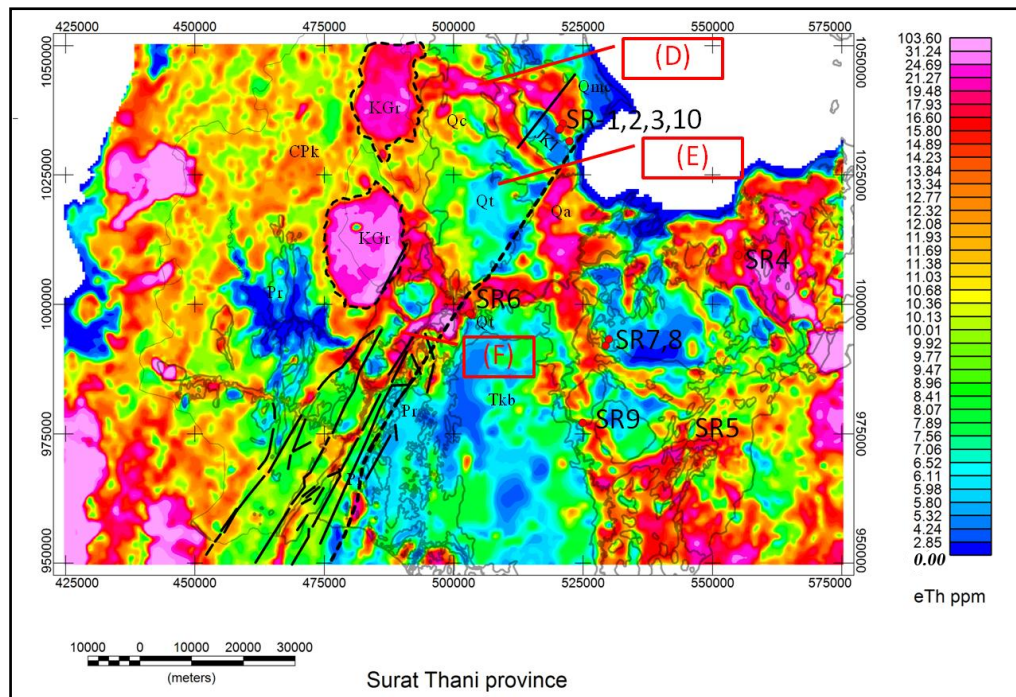
แผนที่กัมมันตภาพรังสีผสม 3 สี หรือแผนที่เทอร์นารี (Ternary map) แสดง  
 อัตราส่วนปริมาณกัมมันตรังสี โดยสีขาวแสดงอัตราส่วน K, eTh, eU สูงสุด ตรงข้ามกับสีดำที่ K,  
 eTh, eU ในปริมาณที่ต่ำทั้ง 3 ชนิด สำหรับบริเวณภูเขาหินแกรนิต (เส้นประสีดำ) มีปริมาณของธาตุ  
 ทั้ง 3 ชนิดในปริมาณที่สูง นอกจากนี้ยังปรากฏ ในตะกอนต่างๆ เช่น Qa, Qc, และ Qmc ซึ่งน่าจะมา  
 จากการสลายตัวของภูเขาหินแกรนิต บริเวณหินปูนกลุ่มราชบุรี (Pr) บริเวณแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย  
 พบว่าจะมีปริมาณโพแทสเซียมค่อนข้างสูงจะปรากฏสีค่อนข้างแดง แตกต่างจากบริเวณหินปูนซึ่งอยู่  
 นอกแนวรอยเลื่อนที่มีสีค่อนข้างสีน้ำเงิน หรือมีปริมาณยูเรเนียมมากกว่านั่นเอง แนวเส้น Ternary-  
 lineament (ไทรภาพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) ยังแสดงผ่านตะกอนทรายและน้ำพา (Qa)  
 ปรากฏยังบริเวณอำเภอไชยาติดต่อกับอำเภอท่าฉาง ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีบ่อน้ำพุร้อนปรากฏอยู่ด้วย



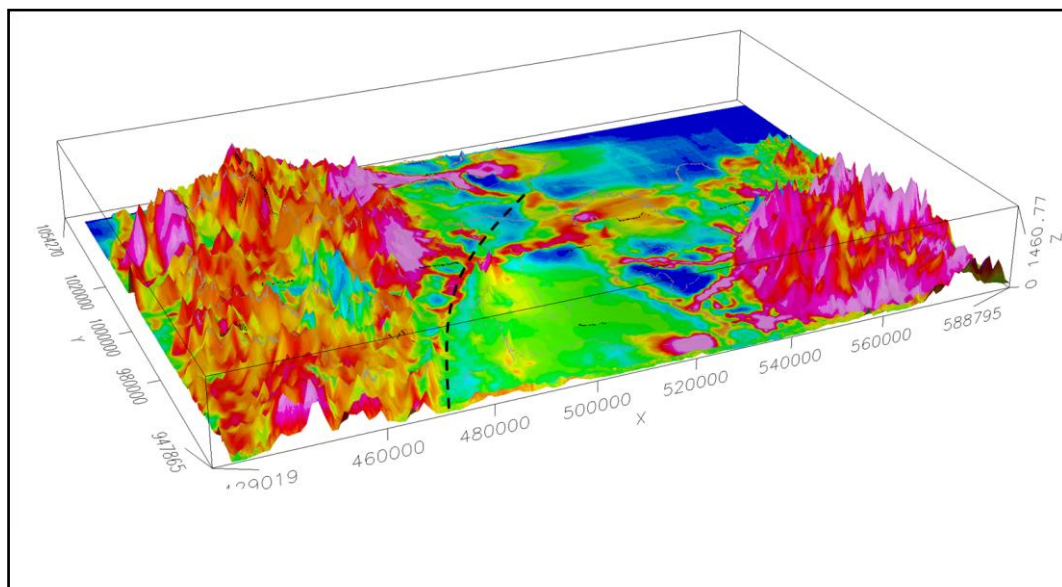
ภาพประกอบที่ 3.8 แผนที่กัมมันตรังสีทางอากาศโพแทสเซียม (K) ชั้นทับขอบเขตทางธรณีวิทยา วงกลมสีแดงแสดงตำแหน่งน้ำพุร้อน เส้นทึบสีดำแสดงรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) และเส้นประสีดำแสดง Potassium lineament (ไทรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) มาตรฐานส่วนแผนที่ 1:1000000



ภาพประกอบที่ 3.9 แผนที่กัมมันตรังสีทางอากาศยูเรเนียมสมมูล (eU) ชั้นทับขอบเขตทางธรณีวิทยา วงกลมสีแดงแสดงตำแหน่งน้ำพุร้อน เส้นทึบสีดำแสดงแนวรอยคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) และเส้นประสีดำแสดง Uranium-lineament (ไทรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) มาตรฐานส่วนแผนที่ 1:1000000

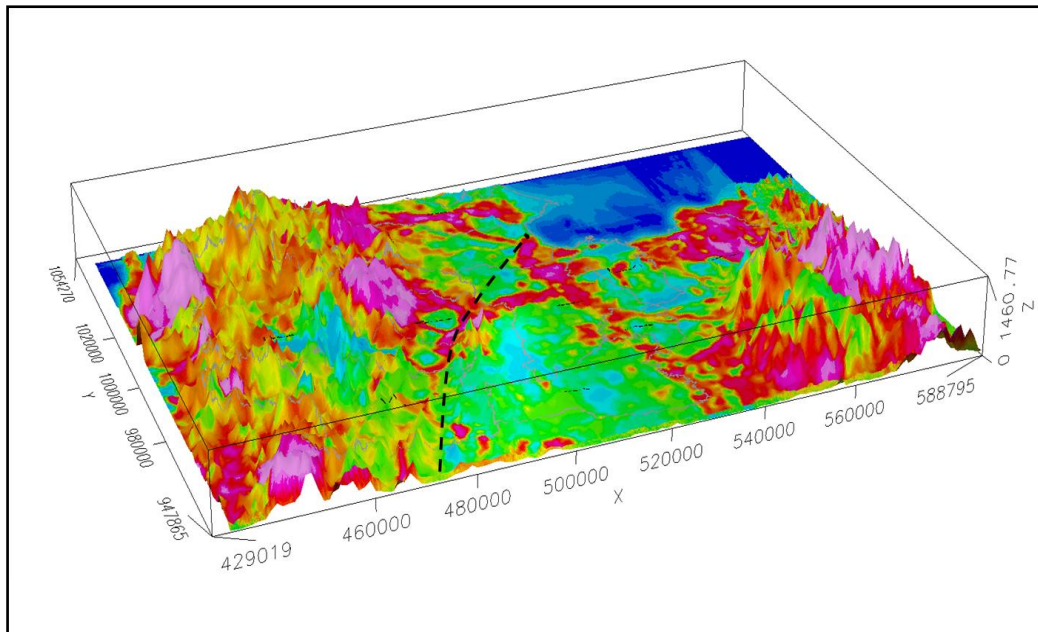


ภาพประกอบที่ 3.10 แผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศทอเรียมสมมูล (eTh) ซ้อนทับขอบเขตธรณีวิทยา วงกลมสีแดงตำแหน่งน้ำพุร้อน เส้นทึบสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) และเส้นประสีดำแสดงเส้น Thorium-lineament (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) มาตรฐานแผนที่ 1:1000000

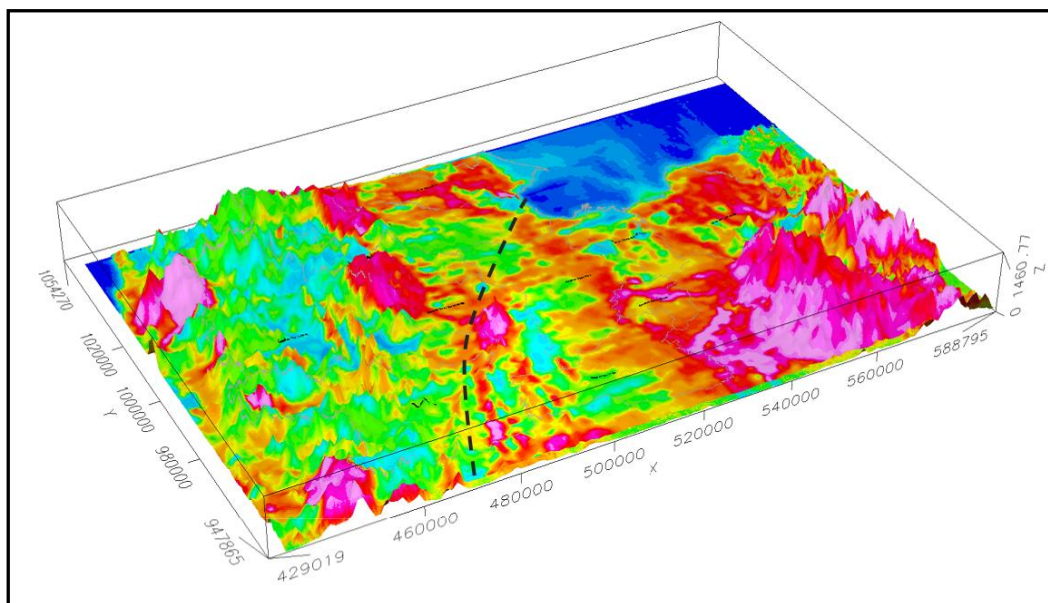


ภาพประกอบที่ 3.11 แผนที่ 3 มิติแสดงระดับสีค่ากัมมันตภาพรังสีโพแทสเซียม (K) ซ้อนทับข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข ASTER GDEM โดยมีอัตราส่วน X:Y:Z เท่ากับ 1:1:10 เส้นประสีดำแสดงเส้น Potassium-Lineament (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) มาตรฐานแผนที่ 1:100000

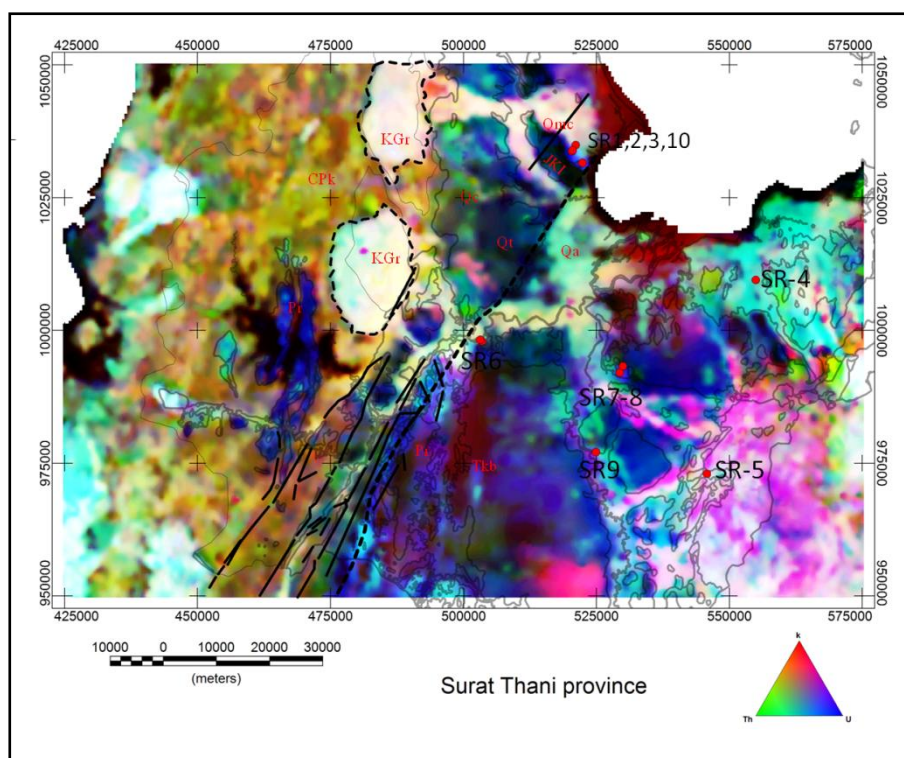




ภาพประกอบที่ 3.12 แผนที่ 3 มิติแสดงระดับสีค่ากัมมันตภาพรังสีทอเรียมสมมูล (eTh) ซ้อนทับข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข ASTER GDEM โดยมีอัตราส่วน X:Y:Z เท่ากับ 1:1:10 และเส้นประสีดำแสดงแนวเส้น Thorium-Lineament (ไตรภพ ฟ่องสุวรรณ และคณะ, 2556)



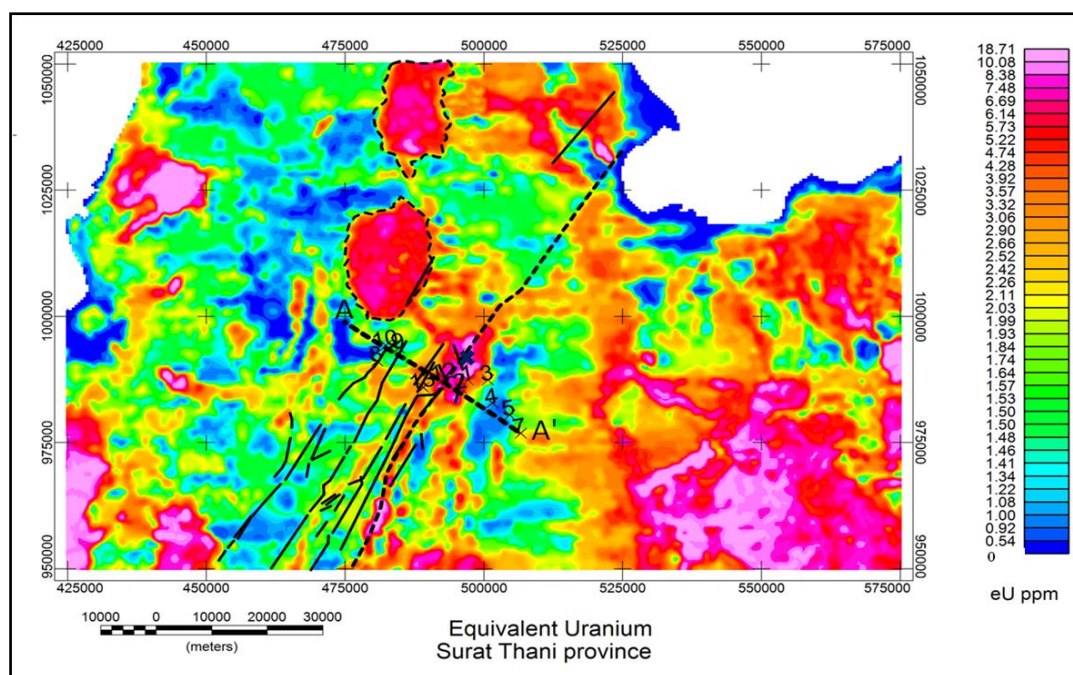
ภาพประกอบที่ 3.13 แผนที่ 3 มิติแสดงระดับสีค่ากัมมันตภาพรังสียูเรเนียมสมมูล (eU) ซ้อนทับข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข ASTER GDEM โดยมีอัตราส่วน X:Y:Z เท่ากับ 1:1:10 และเส้นประสีดำแสดงแนวเส้น Uranium-Lineament (ไตรภพ ฟ่องสุวรรณ และคณะ, 2556)



ภาพประกอบที่ 3.14 แผนที่น้ำมันตภาพรังสีทางอากาศผสม 3 สี (Ternary map) ซ้อนทับขอบเขตธรณีวิทยา วงกลมสีแดงแสดงตำแหน่งน้ำพุร้อน เส้นทึบสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) เส้นประสีดำแสดงเส้น Ternary Lineament (ไทรภาพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) มาตรฐานแผนที่ 1:1000000

### 3.2.2. การวัดตัวอย่างหินด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาด้วยหัวชนิด HPGe แบบ NaI

การวัดตัวอย่างหินปูนบริเวณเหมืองหินบริษัท สุราษฎร์ผาทอง จำกัด พิกัด UTM 0498387 E และ 0998472 N อำเภอคีรีรัฐนิคม เป็นผลมาจากการวิเคราะห์แผนที่ค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก (ภาพประกอบที่ 3.1) โดยตั้งข้อสังเกตว่าหินปูนของเหมืองหินแห่งนี้ น่าจะเป็นสาเหตุของการเกิดค่าผิดปกติทางด้านแม่เหล็กและผลจากการตรวจสอบในห้องปฏิบัติการธรณีฟิสิกส์ พบว่าแผนที่น้ำมันตภาพรังสียูเรเนียมสมมูลมีค่าสูงบริเวณหินปูนราชบุรียุคเพอร์เมียน ทั้งบริเวณนี้ปรากฏแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) จึงทำการเก็บตัวอย่างและวัดตัวอย่างด้วย สเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาด้วยหัววัด HPGe โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 วิธี คือ การวิเคราะห์ตัวอย่างหินปูนบริเวณเหมืองหิน สุราษฎร์ผาทอง จำกัด และการวัดตัวอย่างหินปูนที่มีแนวพาดผ่านรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาอธิบายได้ ดังนี้



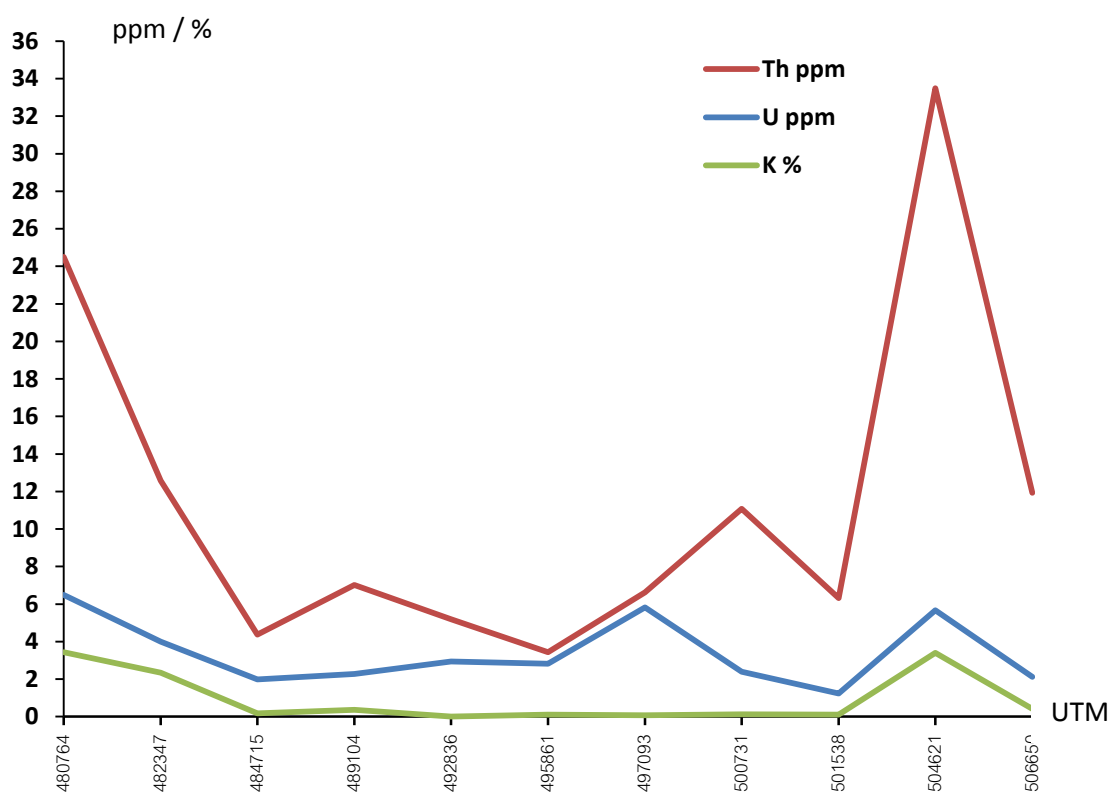
ภาพประกอบที่ 3.15 แผนที่กัมมันตภาพรังสียูเรเนียมสมมูล (eU) แสดงบริเวณเหมืองหินและตำแหน่งการเก็บตัวอย่างหินที่ลากผ่านแนวรอยเลื่อน เส้นที่บสีดำแสดงรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) เส้นประสีดำเส้น Uranium-Lineament แนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (ไตรภพ ฝั่งสุวรรณ และคณะ, 2556) มาตรฐานส่วนแผนที่ 1:1000000

### 1. ผลการวัดค่ากัมมันตรังสีในตัวอย่างหินที่พาดผ่านบริเวณแนวพาดผ่านรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย

ผลการวัดค่ากัมมันตรังสีในตัวอย่างหิน จำนวน 11 ตัวอย่าง (ตารางที่ 3.1) พบว่ามีตัวอย่างหินปูน (Limestone) จำนวน 6 ตัวอย่าง ค่ากัมมันตภาพรังสียูเรเนียมมีค่าในระหว่าง 1.79 ถึง 5.74 ppm มีค่าเฉลี่ยคือ 2.89 ppm และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.47 ppm สำหรับกัมมันตภาพรังสีทอเรียมมีค่าในระหว่าง 0.62 ถึง 27.82 ppm มีค่าเฉลี่ย 6.44 ppm และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 8.28 ppm และค่ากัมมันตภาพรังสีโพแทสเซียมพบว่ามีค่าในระหว่าง 0.00 ถึง 3.40% มีค่าเฉลี่ย 0.69% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ 1.33% ตามลำดับ

ตัวอย่างหินทราย (Sandstone) จำนวน 3 ตัวอย่าง พบว่ามีค่ากัมมันตภาพรังสียูเรเนียมค่าในช่วงระหว่าง 1.12 ถึง 1.68 ppm มีค่าเฉลี่ย 1.48 ppm และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

0.31 ppm มีค่ากัมมันตภาพรังสีทอเรียมระหว่าง 5.07 ถึง 9.82 ppm มีค่าเฉลี่ยคือ 10.37 ppm และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ 2.46 ppm ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างหินดินดาน (Shale) มีปริมาณกัมมันตภาพรังสียูเรเนียม คือ 3.04 ppm, กัมมันตภาพรังสีทอเรียม คือ 18.02 ppm และมีค่ากัมมันตภาพรังสีโพแทสเซียม 3.43%



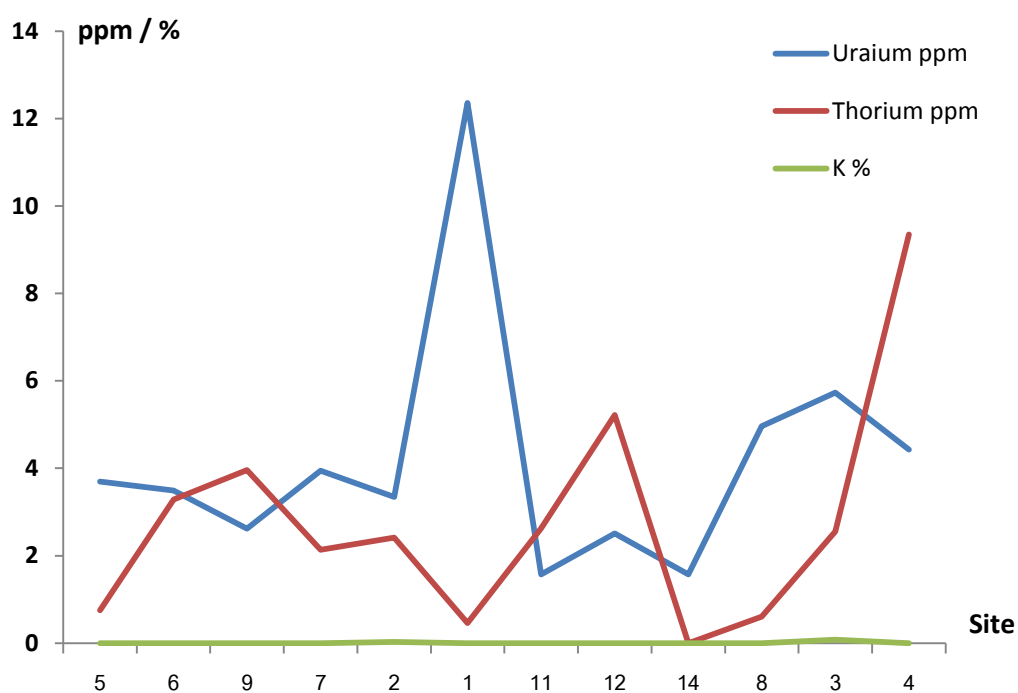
ภาพประกอบที่ 3.16. กราฟเส้นแสดงความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีทั้ง 3 ชนิดของหินต่างๆ บริเวณที่คาดว่าจะมีแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยพาดผ่าน

แผนที่กัมมันตรังสียูเรเนียมสมมูล (eU) (ภาพประกอบที่ 3.15) แสดงตำแหน่งพิกัดตามทิศตะวันออก (E) เรียงตามลำดับตัวอย่างในพื้นที่ กับค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสี K, Th และ U ในหน่วย %, ppm และ ppm ตามลำดับ ตัวอย่างหินแนวสำรวจ A-A' ที่ตั้งฉากกับแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย กัมมันตรังสียูเรเนียมบริเวณดังกล่าวพบว่าค่าสัมพันธ์กับแผนที่กัมมันตรังสียูเรเนียม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบริเวณแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยจะมีค่าสูงกว่าปกติทำให้บริเวณนี้พบค่ากัมมันตรังสีค่อนข้างสูง ทั้ง 3 ชนิด (ภาพประกอบที่ 3.16) เช่นตัวอย่างหินปูน พิกัด UTM 0504621E และ 980500 N



## 2. ผลการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีบริเวณเหมืองหินบริษัทสุราษฎร์ผาทอง จำกัด

แผนที่กัมมันตภาพรังสียูเรเนียมมีค่าสูงในบริเวณเหมืองหินปูน สุราษฎร์ผาทอง จำกัด ตามตารางที่ 3.2 แสดงความเข้มข้นแร่ธาตุ K, Th และ U ของตัวอย่างหินปูน โดยจำแนกหินปูน ดังนี้ ตัวอย่างหินปูน (Limestone) จำนวน 4 ตัวอย่าง คือ 1, 6, 7, 12 และ 14 ตัวอย่างหินปูนปนดิน (Limestone / Clay) จำนวน 3 ตัวอย่าง คือ 2, 8 และ 9 ตัวอย่างหินปูนที่มีปริมาณแคลไซต์ (Calcite) จำนวน 4 ตัวอย่าง คือ 3, 4, 5 และ 11



ภาพประกอบที่ 3.17 กราฟเส้นแสดงความเข้มข้นแร่ธาตุ K, U และ Th บริเวณเหมืองหินปูน สุราษฎร์ผาทอง จำกัด

ตัวอย่างหินปูนบริเวณเหมืองหินพบว่า เหมืองหินผาทอง พบค่ากัมมันตรังสียูเรเนียม สมมูล เฉลี่ย 3.51 ppm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.27 ppm มีค่าระหว่าง 1.57 ถึง 5.73 ppm กัมมันตรังสีทอเรียมสมมูล มีค่าในช่วง 0.00 ถึง 9.34 ppm มีค่าเฉลี่ย 2.78 ppm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.58 ppm และกัมมันตรังสีโพแทสเซียมมีค่าในช่วง 0.00 ถึง 0.07 % มีค่าเฉลี่ย 0.008% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.02%

ตารางที่ 3.1 ค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสียูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียม ในตัวอย่างหินที่ตัดผ่านแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย

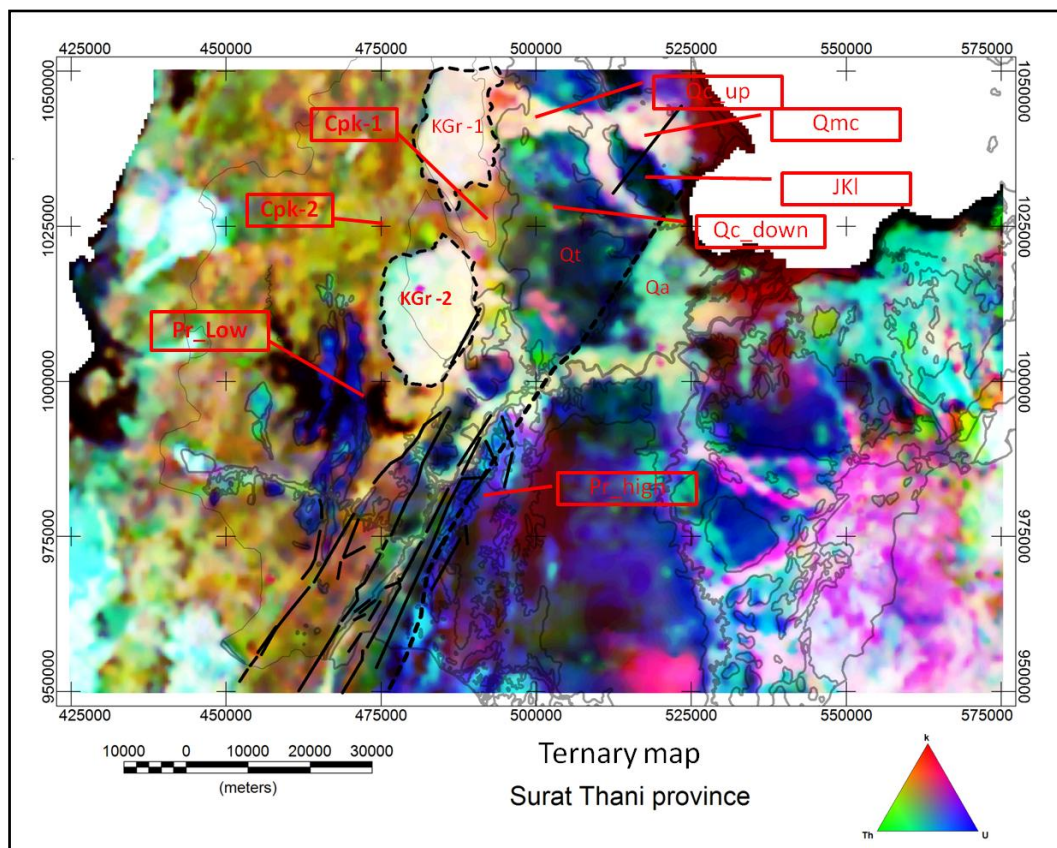
E	N	ชนิดหิน	ตำแหน่ง	Ra-226 (Bq/kg)		Equivalent Thorium (Bq/Kg)		Potassium-40 (Bq/kg)		Uranium [ppm]	Thorium [ppm]	Potassium [%]
				Activity	Error	Activity	Error	Activity	Error			
497093	987397	Limestone	1	71.00	±11	3.26	±1	23.37	±5	5.74	0.80	0.07
495861	985727	Limestone	2	33.32	±4	2.53	±0.5	36.27	±3	2.69	0.62	0.11
500731	987406	Sillstone	3	28.00	±4	35.23	±11	39.11	±2	2.26	8.67	0.12
501538	982854	Sandstone	4	13.866	±2	20.59	±6	36.65	±3	1.12	5.07	0.11
504621	980500	Limestone	5	28.10	±4	112.95	±14	1065.07	±23	2.27	27.82	3.4
506650	976876	Sandstone	7	20.91	±3	39.87	±8	131.87	±3	1.69	9.82	0.42
480764	991136	Shale	8	37.60	±4	73.17	±18	1075.86	±23	3.04	18.02	3.43
484715	993730	Limestone /Clay	9	22.12	±3	9.71	±4	57.82	±4	1.79	2.39	0.18
482347	994209	Sandstone	10	20.39	±3	34.84	±7	734	±18	1.65	8.58	2.34
492836	987690	Limestone	12	36.24	±5	9.18	±2	0.00	0	2.93	2.26	0.00
489104	985919	Limestone /Clay	13	23.40	±3	19.25	±7	116	±6	1.89	4.74	0.37

ตารางที่ 3.2. ค่าความเข้มข้นกัมมันตรังสียูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียม ในตัวอย่างหินปูนในเหมืองหิน สุราษฎร์ธานี จำกัด

ชนิดหิน	ชื่อตัวอย่าง	ตำแหน่ง	Ra-226 (Bq/kg)		Equivalent Thorium (Bq/Kg)		Potassium-40 (Bq/kg)		Uranium [ppm]	Thorium [ppm]	Potassium [%]
			Activity	Error	Activity	Error	Activity	Error			
Limestone	PT-01	1	152.57	±16	1.860	±0.7	0.00		12.35	4.58	0.00
Fracture	PT-02	2	54.73	±6	37.94	±7	0.00		4.43	9.34	0.00
Calcite	PT-03	3	45.61	±5	3.070	±1	0.46	0.1	3.69	0.75	0.0014
Calcite	PT-04	4	43.07	±5	13.34	±3	0.00		3.48	3.28	0.00
Calcite	PT-05	5	48.69	±3	8.670	±3	0.00		3.94	2.13	0.00
Limestone	PT-06-unfracture	6	61.28	±8	2.460	±0.4	0.00		4.96	0.60	0.00
Limestone / Clay	PT-06-fracture	9	70.82	±8	10.36	±4	24.56	±2	5.73	2.55	0.07
Limestone	PT-07	7	31.04	±4	21.19	±9	0.00		2.51	5.21	0.00
Limestone / Clay	PT-08	8	41.33	±5	9.790	±2	8.56	±0.6	3.34	2.41	0.027
Calcite	PT-11-calcite	11	32.33	±4	16.09	±4	0.00		2.61	3.96	0.00
Limestone	PT-11-uncalcite	12	19.47	±2	0.000		0.00		1.57	0.00	0.00
Limestone	PT-14	14	19.46	±2	10.68	±3	0.00		1.57	2.63	0.00

### 3.3. สมบัติเชิงกัมมันตภาพรังสีของหน่วยหินชนิดต่างๆ

การวิเคราะห์สมบัติเชิงกัมมันตภาพรังสีของหน่วยหินได้ทำการจัดแบ่งหน่วยหินจากแผนที่กัมมันตภาพรังสีผสม 3 สี โดยทำการแบ่งหน่วยหินดังนี้คือ หน่วยหินปูนยุคเพอร์เมียน (Pr\_high และ Pr\_low) ที่อยู่ในแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยและที่อยู่นอกแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย หน่วยหินแกรนิตยุคครีเทเชียส (KGr-1 และ KGr-2) หน่วยหินโคลนปนกรวด (Cpk-1 และ Cpk-2) และหน่วยตะกอนไม่แข็งตัวยุคควอเทอร์นารี (Qc\_up, Qc\_down, Qmc, และ Qa) ตามลำดับ (ภาพประกอบที่ 3.18)

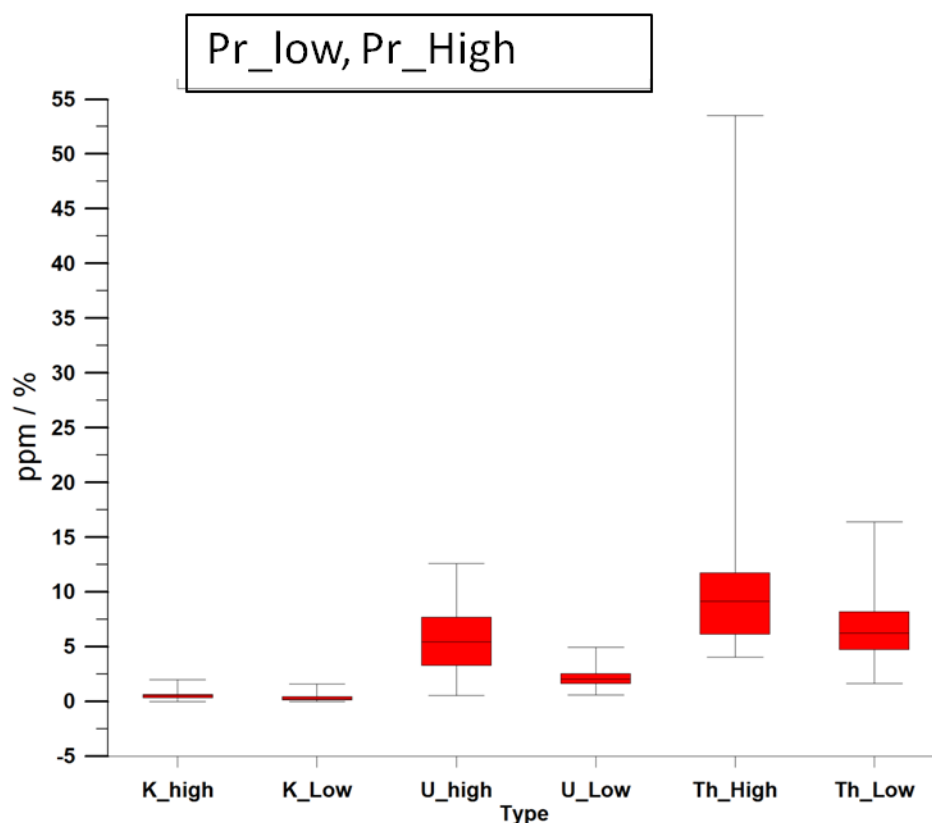


ภาพประกอบที่ 3.18 การจัดแบ่งหน่วยหินตามแผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศผสม 3 สี (Ternary map) วงกลมสีแดงแสดงตำแหน่งบ่อน้ำร้อน (SR) ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี เส้นทึบสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) เส้นประสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) มาตราส่วนแผนที่ 1:1000000

### 3.3.1. สมบัติเชิงกัมมันตภาพรังสีหน่วยธรณีวิทยาหน่วยหินปูนยุคเพอร์เมียน (Pr)

การจำแนกหน่วยหินปูน (Limestone) ตามแผนที่ธรณีวิทยาจัดเป็นหินปูนชุดราชบุรีอายุอยู่ในช่วงเพอร์เมียน (251 ถึง 299 ล้านปี) จำแนกหน่วยหินปูนไว้ 2 หน่วยหินโดยแบ่งตามแผนที่ค่ากัมมันตภาพรังสีทางอากาศผสม 3 สี (Ternary map) (ภาพประกอบที่ 3.18) ซึ่งมีปริมาณที่สูงในแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย คือ บริเวณหินปูนที่ปรากฏอยู่ในแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (เส้นทึบสีดำ) (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) คือ Pr\_High มีลักษณะสีน้ำเงินแกมแดง และบริเวณด้านนอกแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย คือ Pr\_Low มีลักษณะสีน้ำเงินเข้ม ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพร้อมทั้งแสดงผลเป็นแผนภูมิ Whisker box plot (ภาพประกอบที่ 3.19) พบว่ากัมมันตรังสีโพแทสเซียมบริเวณ Pr\_High และ Pr\_Low มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.008 ถึง 1.986% และ 0.000 ถึง 1.566% ตามลำดับ มีค่ามัธยฐาน คือ 0.54 และ 0.22% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 0.37 และ 0.25% สำหรับทอเรียมในบริเวณ Th\_high อยู่ในระหว่าง 4.00 ถึง 53.50 และ 1.65 ถึง 16.41 ppm มีค่ามัธยฐานอยู่ที่ 9.12 และ 6.22 ppm มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 7.88 และ 3.01 ppm

กัมมันตรังสียูเรเนียมบริเวณ U\_high มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 12.57 ppm มีค่ามัธยฐานคือ 5.41 ppm และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.66 ppm มีค่าสูงกว่าบริเวณ U\_low ที่มีปริมาณในช่วงระหว่าง 0.59 ถึง 4.93 ppm มีค่ามัธยฐานคือ 2.04 ppm และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 0.77 ppm สาเหตุที่ค่ากัมมันตภาพรังสียูเรเนียมสูงในบริเวณ U\_high อันเนื่องมาจากปริมาณกัมมันตภาพรังสียูเรเนียมสมมูลที่มีค่าสูงในภูเขาหินแกรนิต (ภาพประกอบที่ 3.8) เกิดการผุพังและเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางเป็นน้ำที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีเอาไว้เมื่อน้ำได้ทำปฏิกิริยาเคมีทำให้หินปูนบริเวณนี้ดังกล่าวเกิดตกตะกอนและการตกผลึกใหม่โดยมีน้ำพุร้อนเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาให้หินปูนบริเวณนี้เกิดการตกผลึกใหม่เร็วขึ้นซึ่งสอดคล้องผลการตรวจวัดน้ำพุร้อนในอำเภอศรีรัตนนิคม (SR6) พบค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 มีค่าที่เฉลี่ย  $2,593 \pm 296$  (mBq/L) ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ปลอดภัยที่ระดับ 185 mBq/L (ชัยนะ เจาะสะอิ, 2554)

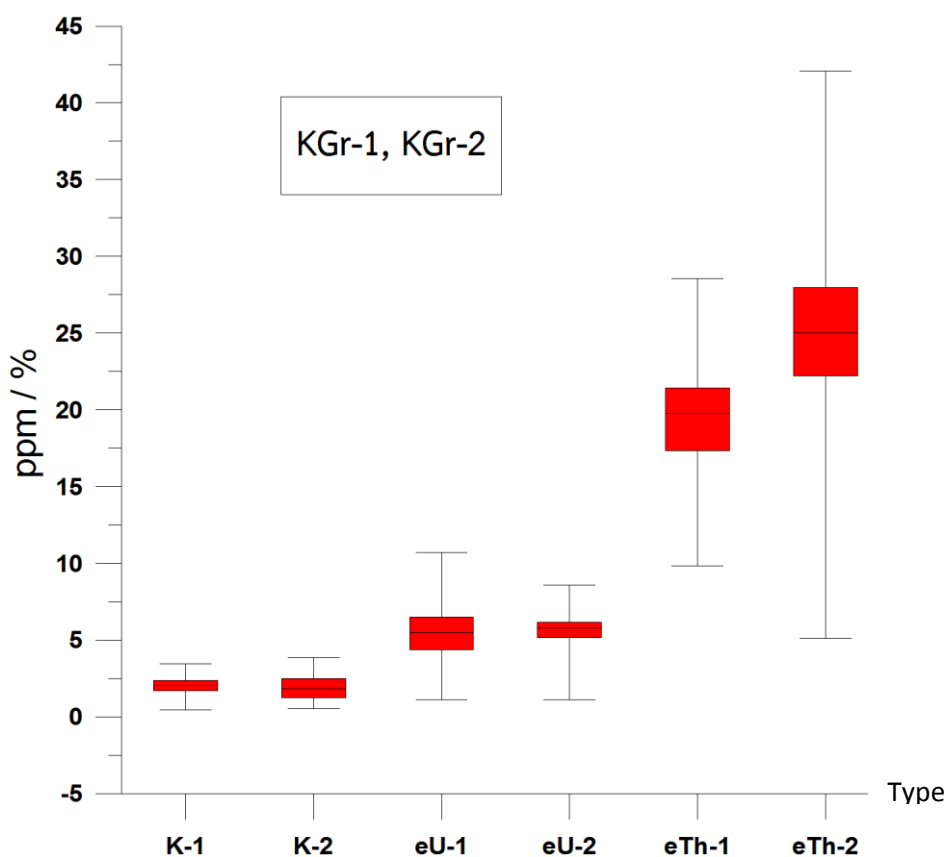


ภาพประกอบที่ 3.19 แผนภูมิ Whisker box plot ของตัวอย่างหน่วยหินปูน Pr\_High และ Pr\_Low

### 3.3.2. สมบัติเชิงกัมมันตภาพรังสีหน่วยธรณีวิทยาหน่วยหินแกรนิตยุคครีเทเชียส (KGr)

แผนที่กัมมันตภาพรังสีผสม 3 สี (ภาพประกอบที่ 3.18) พบความไม่ต่อเนื่องของหน่วยหินแกรนิต 2 หน่วยหิน คือ หน่วยหิน KGr-1 และหน่วยหิน KGr-2 พบว่ามีค่ากัมมันตรังสีโพแทสเซียมระหว่าง 0.44 ถึง 3.44% และ 0.55 ถึง 3.85% ตามลำดับ ค่ามัธยฐาน คือ 2.04% และ 1.81% มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.52 และ 0.74% สำหรับยูเรเนียมมีค่าระหว่าง 1.13 ถึง 10.71 ppm และ 1.11 ถึง 8.57 ppm ตามลำดับ มีค่ามัธยฐาน 5.48 และ 5.77 ppm ตามลำดับ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 1.63 และ 1.13 ppm ตามลำดับ สำหรับทอเรียมมีค่าระหว่าง 9.84 ถึง 28.55 ppm และ 5.13 ถึง 42.05 ppm ตามลำดับ มีค่ามัธยฐาน คือ 19.76 และ 25.02 ppm ตามลำดับ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 3.53 ppm และ 5.47 ppm ตามลำดับ (ภาพประกอบที่ 3.20) ผลจากการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่าง K, Th, และ U ด้วยการสร้างแผนภูมิชนิด Whisker box plot ซึ่งแสดงผลว่าบริเวณขอบเขตหินแกรนิตทั้งสองชนิด (เส้นประสีดำ) (ภาพประกอบที่ 3.18) มีค่าใกล้เคียงกันทั้งค่ามัธยฐานและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประกอบกับค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของข้อมูล กัมมันตรังสีโพแทสเซียมและยูเรเนียมในส่วนของกัมมันตรังสีทอเรียม ซึ่งพบว่าบริเวณ KGr-1 ของชุดข้อมูลดังกล่าว

อยู่ในช่วงเดียวกัน และแผนที่ทางธรณีวิทยาซึ่งแสดงว่าบริเวณภูเขาทั้งสองชนิดเป็นหินแกรนิตยุค ครีเทเชียส (KGr) (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) สอดคล้องกันซึ่งสรุปได้ว่าหน่วยหินแกรนิตทั้งสอง หน่วยนี้เป็นหน่วยหินชุดเดียวกัน



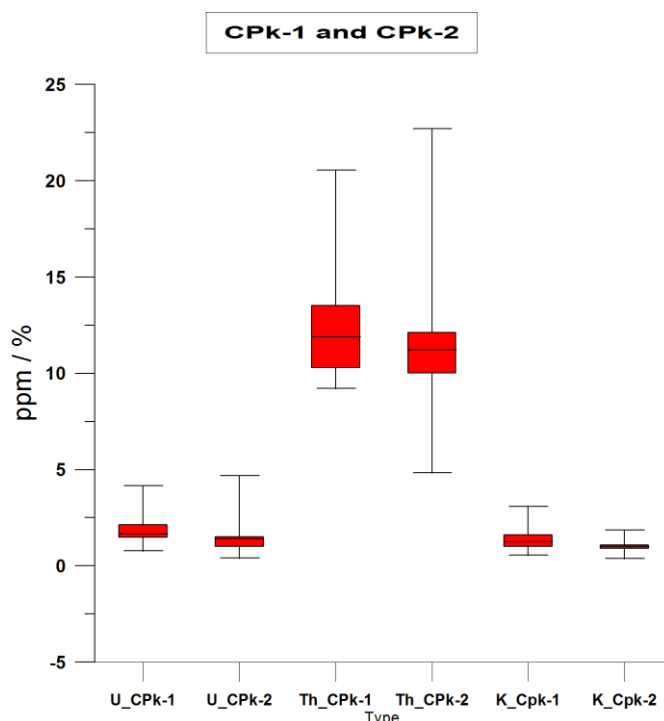
ภาพประกอบที่ 3.20 แผนภูมิ Whisker box plot ของตัวอย่างหน่วยหินแกรนิต ยุคครีเทเชียส KGr-1 และ KGr-2

### 3.3.3. สมบัติเชิงกัมมันตรังสีของหน่วยธรณีวิทยาหน่วยหินยุคคาร์บอนิเฟอรัส ถึง เพอร์เมียน (CPk-1 และ CPk-2)

แผนที่กัมมันตรังสีผสม 3 สี ของหน่วยหิน CPk-1 และ CPk-2 (ภาพประกอบที่ 3.18) ซึ่งลักษณะเป็นสีเหลือง อันเนื่องมาจากปริมาณค่ากัมมันตรังสีโพแทสเซียมและทอเรียมมีค่าสูง การจำแนกหน่วยหิน CPk-1 และ CPk-2 ของกัมมันตรังสีโพแทสเซียม พบว่ามีค่าระหว่าง 0.55 ถึง 3.07% และ 0.37 ถึง 1.86% ตามลำดับ มีค่ามัธยฐานคือ 1.24 และ 0.99% ตามลำดับ มีค่า

เบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ 0.45 และ 0.17% ตามลำดับ กัมมันตรังสีทอเรียม มีค่าระหว่าง 9.20 ถึง 20.54 ppm และ 4.83 ถึง 22.70 ppm ตามลำดับ มีค่ามัธยฐาน คือ 11.88 และ 11.21 ppm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 2.15 และ 1.65 ppm และกัมมันตรังสียูเรเนียม มีค่าระหว่าง 0.77 ถึง 4.15 ppm และ 0.40 ถึง 4.68 ppm มีค่ามัธยฐาน คือ 1.66 และ 1.66 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ 0.67 และ 0.39 ppm

แผนภูมิ Whisker box plot แสดงอัตราส่วนกัมมันตภาพรังสี ของบริเวณ CPk-1 และ CPk-2 (ภาพประกอบที่ 3.21) มีค่ากัมมันตรังสี K, U, และ Th ที่ใกล้เคียงกันทำให้สรุปได้ว่า หน่วยหินโคลนปนทราย ยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงเพอร์เมียน ที่มีอายุ 359.2 ถึง 251 ล้านปี บริเวณ CPk-2 อาจเกิดการเคลื่อนตัวมาปกคลุมหน่วยหินแกรนิตยุคครีเทเชียสที่มีอายุอ่อนกว่า (251.0 ถึง 290.3 ล้านปี) ซึ่งอยู่ด้านล่างและเคลื่อนตัวลงสู่บริเวณ CPk-1 ลงไปสู่บริเวณตะกอนต่างๆ และน่าจะเป็นผลมาจากการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอดีต ทำให้บริเวณแอ่งตะกอนด้านล่าง มีค่ากัมมันตรังสีที่ต่ำสอดคล้องกับบริเวณ CPk-2 ปกคลุมอยู่ด้วย



ภาพประกอบที่ 3.21 แผนภูมิ Whisker box plot ของหินโคลนปนกรวด ยุคคาร์บอนิเฟอรัส เพอร์เมียน (CPk-1 และ CPk-2)

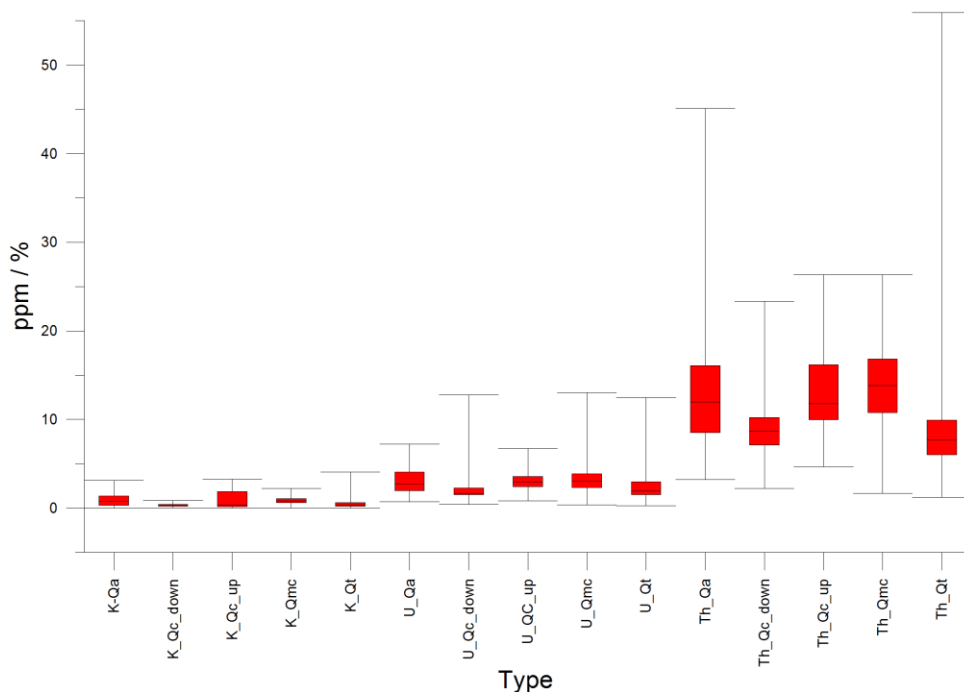


### 3.3.4. สมบัติเชิงกัมมันตรังสีของหน่วยธรณีวิทยาหน่วยตะกอนยุคเทอร์นารีไม่แข็งตัว

การแบ่งตัวอย่างตะกอนได้ทำการแบ่งดังนี้ คือ Qa, Qc\_down, Qc\_up, Qmc, และ Qt, ตามลำดับ พบว่ากัมมันตรังสีโพแทสเซียมมีค่าระหว่าง 0.00 ถึง 3.11%, 0.00 ถึง 0.877%, 0.00 ถึง 3.25%, 0.03 ถึง 2.22% และ 0.00 ถึง 4.06% ตามลำดับ มีค่ามัธยฐานคือ 0.78, 0.30, 0.37, 0.81 และ 0.37% ตามลำดับ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 0.72, 0.14, 0.96, 0.39 และ 0.47% ตามลำดับ กัมมันตรังสียูเรเนียมมีค่าระหว่าง 0.73 ถึง 7.22, 0.43 ถึง 12.76, 0.82 ถึง 6.71, 0.38 ถึง 13.04, และ 0.24 ถึง 12.46 ppm ตามลำดับ มีค่ามัธยฐานคือ 2.74, 1.66, 2.98, 3.01, และ 1.93 ppm ตามลำดับ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ 1.47, 2.09, 1.22, 1.56 และ 1.70 ppm ตามลำดับ กัมมันตรังสีทอเรียมมีค่าระหว่าง 3.20 ถึง 45.08, 2.23 ถึง 23.31, 5.40 ถึง 26.36, 1.68 ถึง 26.32 และ 1.23 ถึง 55.9 ppm ตามลำดับ มีค่ามัธยฐาน คือ 11.99, 8.69, 11.76, 13.85 และ 7.67 ppm และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 5.29, 2.96, 4.66, 4.62, และ 4.61 ppm ตามลำดับ

แผนภูมิ Whisker box plot แสดงตัวอย่างการจัดแยกตะกอนชนิดตะกอนต่างๆ เช่น ผลการแยกหน่วยหินตามกลุ่มพบว่า การสลายตัวของ โพแทสเซียม ยูเรเนียมและทอเรียมบริเวณ ตะกอน Qa, Qc\_up และ Qmc ตามลำดับ มีค่ามัธยฐาน โพแทสเซียม คือ 0.78 และ 0.30 และ 0.81%, ยูเรเนียมคือ 2.74, 2.98 และ 3.01 ppm และทอเรียมคือ 11.99, 11.76 และ 13.85 ppm ในส่วนตะกอน Qc\_down และ Qt มี ค่ามัธยฐานคือ มีโพแทสเซียมคือ 0.30 และ 0.37%, ยูเรเนียม คือ 1.66 และ 1.93 ppm ตามลำดับ และทอเรียมคือ 8.69 และ 7.67 ppm ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า บริเวณตะกอน Qc\_up และ Qc\_down ควรจะมีการจัดกลุ่มแยกกันตามแผนที่กัมมันตรังสีผสม (ภาพประกอบที่ 3.18) เนื่องจากค่ามัธยฐานต่างกัน ชัดเจน และบริเวณค่ามัธยฐานของข้อมูลในชุด Qc\_up มีค่าสอดคล้องกับ ตะกอน Qa และตะกอน Qmc ในส่วนของตะกอน Qc\_down และ Qt หากพิจารณา ถือได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่ากัมมันตรังสีทอเรียมของตะกอน Qt (ตะกอนตะกักลำน้ำ) มีค่าสูงและต่ำที่แตกต่างกันมากอาจเป็น เพราะอิทธิพลของสายน้ำซึ่งพัดพากรวดที่ทราย ที่มีขนาดใหญ่ มารวมกันบริเวณใกล้แม่น้ำ



ภาพประกอบที่ 3.22. แผนภูมิ Whisker box plot ของหน่วยตะกอนไม่แข็งตัวควอเทอร์นารี (Q)

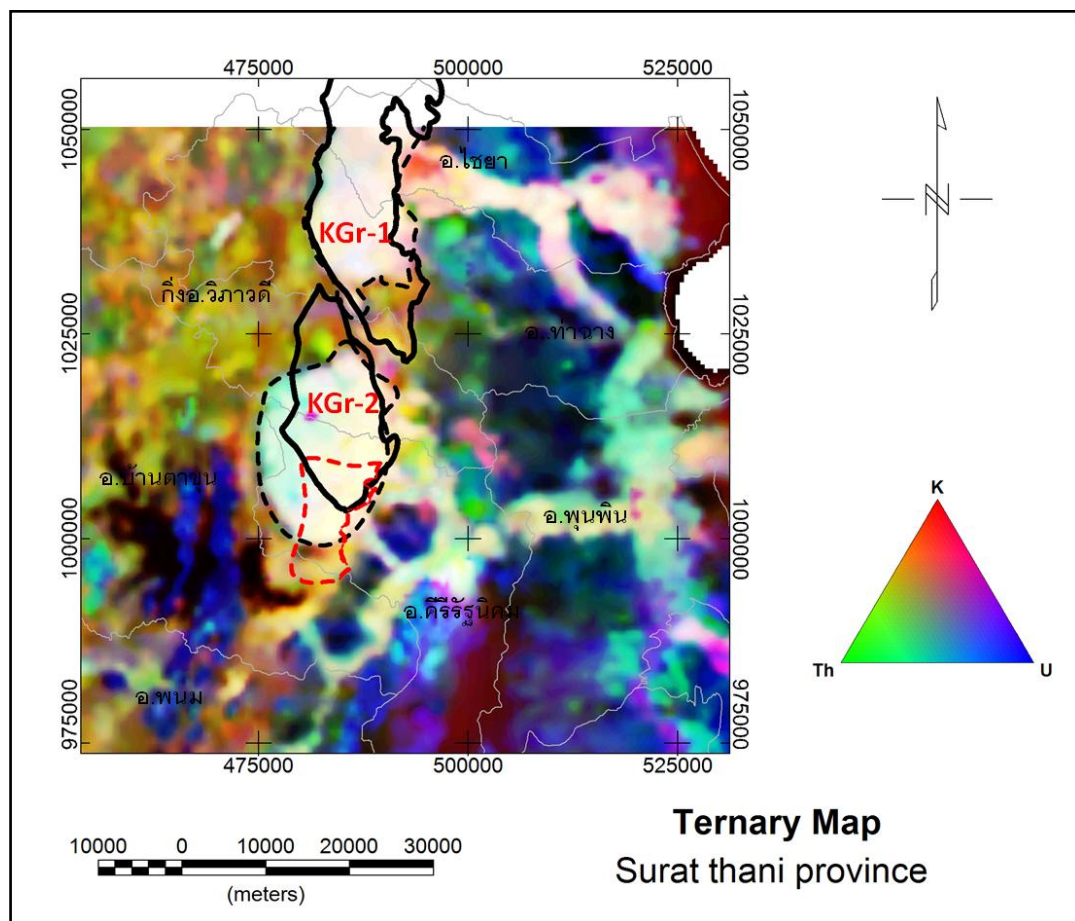
### 3.4. สมบัติเชิงกัมมันตรังสีของหินแกรนิต

การวิเคราะห์สมบัติเชิงกัมมันตรังสีเพื่อระบุขอบเขตหินแกรนิตและการวิเคราะห์พื้นที่แหล่งแร่ดินขาว (Kaolin) ทำได้โดยการสร้างแผนที่กัมมันตรังสีผสม 3 สี ด้วยเทคนิค RGB ประกอบด้วยธาตุกัมมันตรังสีโพแทสเซียมแทนด้วยสีแดง (Red) ธาตุกัมมันตรังสีทอเรียมแทนด้วยสีเขียว (Green) และธาตุกัมมันตรังสียูเรเนียมแทนด้วยสีน้ำเงิน (Blue) ผลจากการสร้างแผนที่กัมมันตรังสีผสม 3 สี พบว่าบริเวณที่สีขาวที่เกิดจากปริมาณค่ากัมมันตรังสีมีค่าสูงสุด คือ K, Th และ U ในขณะที่บริเวณสีดำเกิดจากปริมาณค่ากัมมันตรังสีทั้ง 3 ชนิดต่ำสุด ผลการสร้างแผนที่กัมมันตรังสีผสม 3 สี อภิปรายผลได้ดังนี้

#### 3.4.1. การปรับปรุงแผนที่ขอบเขตหินแกรนิตใหม่

แผนที่กัมมันตรังสีผสม 3 สี (Ternary map) (ภาพประกอบที่ 3.18) มีค่าความเข้มของกัมมันตรังสีโพแทสเซียม ทอเรียม และยูเรเนียม ในปริมาณที่สูงสุด (สีขาว) แสดงบริเวณบนเทือกเขาหินแกรนิต ที่มีค่ากัมมันตรังสี 2 บริเวณคือ บริเวณหินแกรนิต KGr-1 และ KGr-2 แสดงขอบเขตด้วยเส้นประสีดำเป็นบริเวณที่มีขนาดใหญ่และกว้างกว่าส่วนที่เป็นเส้นทึบสีดำที่แสดงขอบเขตหินแกรนิตจากแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดสุราษฎร์ธานี มาตรฐานแผนที่ 1:250000 (ดัดแปลง

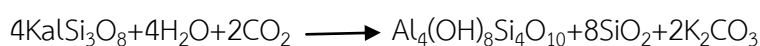
จาก กรมทรัพยากรธรณี, 2550) พบว่าบริเวณเส้นทึบบางส่วนไม่ครอบคลุมบริเวณที่มีค่ากัมมันตรังสีสูง (สีขาว) หากนำมาเปรียบเทียบกับบริเวณขอบเขตเส้นประสีแดงซึ่งแสดงตำแหน่งการสำรวจหินแกรนิตในพื้นที่อำเภอศีร์ษะบุรี (ธงชัย พึ่งรัมย์, 2538) พบว่าผลการสร้างแผนที่ขอบเขตหินแกรนิตจากกัมมันตรังสีผสม 3 สี แสดงขอบเขตหินแกรนิตในจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีความสอดคล้องกับแนวการเดินสำรวจธรณีวิทยาหินแกรนิตแต่แตกต่างจากขอบเขตหินแกรนิตจากกรมทรัพยากรธรณีอย่างชัดเจน



ภาพประกอบที่ 3.23 ภาพขยายแผนที่ความเข้มกัมมันตภาพรังสีผสม 3 สี (Ternary map) ของพื้นที่หินแกรนิต ซ้อนทับขอบเขตอำเภอในจังหวัดสุราษฎร์ธานี เส้นทึบสีดำแสดงแนวขอบเขตหินแกรนิตกรมทรัพยากรธรณี ปี 2553, เส้นประสีแดงแสดงแนวขอบเขตหินแกรนิตจากแผนที่กัมมันตรังสีผสม 3 สี และ เส้นประสีแดงขอบเขตหินแกรนิตโดยอาจารย์ธงชัย พึ่งรัมย์

### 3.4.2. การวิเคราะห์พื้นที่ศักยภาพดินขาว

ดินขาว (Kaolin) ประกอบด้วยแร่ดินชนิดต่างๆ ได้แก่ เคโอลิไนต์ (Kaolinite) อิลไลต์ (Illite) หรือ ดิกไคต์ (Dickite) และยังประกอบด้วยแร่ชนิดอื่นๆ ปะปนอยู่ เช่น ควอตซ์ (Quartz) ไมกา (Mica) และเฟลด์สปาร์ (Feldspar) สำหรับดินขาวในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นดินขาวที่เกิดจากการ Alteration / Weathering ของหินแกรนิตของแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ กระบวนการเกิดแร่ดินขาว (Kaolinite) บริเวณนี้เป็นไปตามปฏิกิริยาเคมี (Tourliere et al, 2003) คือ



โดยที่  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  คือ Potash feldspar,  $\text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$  คือ Kaolinite และ  $\text{K}_2\text{CO}_3$  คือ โพแทสเซียมคาร์บอเนตที่ละลายน้ำได้ดี

หากพิจารณาแผนที่กัมมันตรังสีผสม 3 สี (ภาพประกอบที่ 3.18) พบว่าบริเวณที่คือบริเวณที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีผสมที่มีค่าสูง (สีขาว) อันได้แก่ อำเภอกิ่วครุฑนิคม และบางส่วนของอำเภอยะยา น่าจะเป็นบริเวณที่มีศักยภาพแห่งแร่ดินขาว

## บทที่ 4

### สรุปผลและเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อต้องการระบุตำแหน่งรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (Khlong Marui Fault Zone) ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยใช้ข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศและข้อมูลกัมมันตรังสีทางอากาศ สรุปผลและเสนอแนะผลได้ดังนี้

#### 4.1. สรุปผลวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศเพื่อระบุตำแหน่งรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย

การวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กทางอากาศ (Airborne magnetic data) บริเวณจังหวัดสุราษฎร์ธานีด้วยโปรแกรม Geosoft Oasis Montaj 7.5 (Canada) เพื่อระบุตำแหน่งและการประเมินความลึกของรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย โดยเทคนิค Horizontal Gradient Magnitude (HGM) และ เทคนิค Analytic Signal (AS) ในการแปลความพบว่าเทคนิค Analytic Signal (AS) แสดงตำแหน่งและความลึกของวัตถุผิดปกติได้ดีที่สุด สามารถสรุปได้ดังนี้

บริเวณเขาหัวควายในอำเภอพุนพิน มีค่าผิดปกติทางแม่เหล็กขนาดใหญ่ลักษณะไดโพล (Dipole) ผลจากการประเมินความลึกพบว่าวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กน่าจะมี ความลึกมากกว่า 5,000 เมตร และค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กมีค่าในช่วง  $228 \times 10^{-6}$  SI โดยผลการวิเคราะห์ สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ XRD ที่พบว่าตัวอย่างหินบริเวณนี้ ที่ประกอบด้วย Diopside ( $\text{CaMgFeSi}_2\text{O}_6$ ), Orthoclase ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) และ Albite intermediate  $\text{NaAl}_{1.08}\text{Si}_{2.92}\text{O}_8$  ซึ่งเป็นกลุ่มแร่ในกลุ่มเฟลด์สปาร์ มีความสัมพันธ์ของแร่แม่เหล็ก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้บริเวณเขาหัวควายมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่สูงมาก

เช่นเดียวกับกับอำเภอพุนพิน ในพื้นที่บริเวณอำเภอไชยาติดต่อท่าฉาง และบริเวณอำเภอคีรีรัฐนิคม พบความต่อเนื่องของรอยต่อทางแม่เหล็กเหนือค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก โดยแสดงตรงตำแหน่งวัตถุผิดปกติทั้ง 2 บริเวณ และผลจากการประเมินความลึกด้วยวิธี AS พบว่ามีความลึกตั้งแต่ 1,000 ถึง 2,000 เมตร ทั้ง 2 บริเวณและต่อเนื่องไปยัง 2,000 ถึง 3,000 เมตร สอดคล้องกับ

แบบจำลอง 3 มิติ ของค่าสนามแม่เหล็กในพื้นที่อำเภอพุนพินและอำเภอคีรีรัฐนิคม ที่แสดงความลึกใกล้เคียงกับผลที่ได้จากเทคนิค Analytic Signal (AS)

สรุปการวิเคราะห์แผนที่แม่เหล็กทางอากาศในการระบุตำแหน่งรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยในบริเวณจังหวัดสุราษฎร์ธานี ในบริเวณเขาหัวควายไม่สามารถระบุตำแหน่งรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยได้ในบริเวณดังกล่าว แต่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของหินในบริเวณในระดับลึกมาก สำหรับบริเวณค่าผิดปกติทางแม่เหล็กในอำเภอคีรีรัฐนิคมซึ่ง อยู่ในแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย พบว่าค่าผิดปกติทางแม่เหล็กบริเวณดังกล่าวสามารถระบุตำแหน่งแนวรอยเลื่อน สอดคล้องกับพื้นที่อำเภอไชยาซึ่งค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก ที่แสดงค่าผิดปกติทางแม่เหล็กความสอดคล้องกับตำแหน่งน้ำพุร้อนคือ ในอำเภอไชยา (SR1, 2, 3 และ 10), อำเภอคีรีรัฐนิคม (SR 6), และอำเภอพุนพิน (SR 7 และ SR8) ตามลำดับ

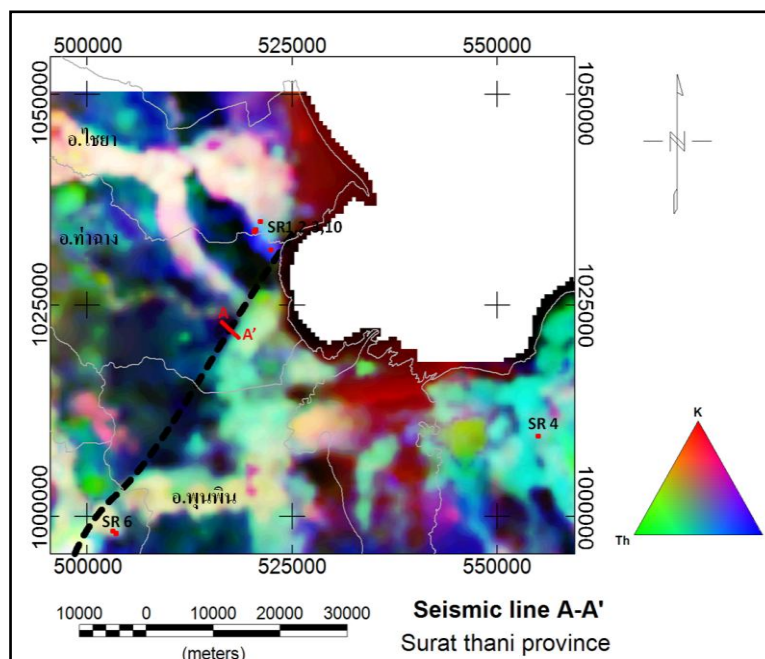
#### 4.2. สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มกัมมันตภาพรังสีทางอากาศ

การวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มกัมมันตภาพรังสี บริเวณแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สรุปผลการศึกษาดังนี้

##### 4.2.1. สรุปผลการวิเคราะห์แนวรอยเลื่อนจากแผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศ ด้วยแผนที่โพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล ทอเรียมสมมูล และกัมมันตรังสีผสม 3 สี

การวิเคราะห์ของแผนที่กัมมันตภาพรังสี K, eU, eTh และกัมมันตรังสีผสม 3 สี (ภาพประกอบที่ 3.8 ถึง 3.14) พบว่าแผนที่เส้น K-Lineament, เส้น U-Lineament, เส้น Th-Lineament และ เส้น Ternary-Lineament (ไตรภาพ ฟ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) มีเส้นที่ต่อเนื่องและใกล้ชิดกัน พิจารณาแผนที่กัมมันตรังสีผสม 3 สี พบว่าเส้น Ternary Lineament สามารถลากผ่านอำเภอพนม อำเภอคีรีรัฐนิคม แต่ได้มุดตัวลงสู่ดินชั้นตะกอน (Q) ที่หนามากในอำเภอท่าฉางต่อเนื่องไปสู่อำเภอไชยา โดยพบว่าบริเวณแนวเส้น Ternary linement มีตำแหน่งใกล้ชิดกับตำแหน่ง Geothermal คือ บ่อน้ำพุร้อน (SR6 และ SR 1, 2, 3 และ 10) ในอำเภอคีรีรัฐนิคม และอำเภอไชยา ทำให้สามารถลากแนวรอยเลื่อนที่ต่อเนื่องจากอำเภอคีรีรัฐนิคมได้ นอกจากนี้อาศัยเส้น Ternary Lineament ที่แสดงขอบเขตพื้นที่มีค่าความเข้มกัมมันตภาพรังสีสูง (สีขาว) ต่างจากพื้นที่มีค่าความเข้มกัมมันตภาพรังสีต่ำ (สีดำ) ในอำเภอท่าฉางทำให้ตรวจสอบหาแนวรอยเลื่อนด้วยวิธีเคลื่อนไหว

สะท้อนแบบสะท้อน (Seismic reflection) ตามแนวสำรวจ A-A' (ภาพประกอบที่ 3.18) ที่แสดงให้เห็น แนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยปรากฏชัดเจน ตรงพิกัด UTM 0518706 E และ 1020986 N ถึงบริเวณ 518706 E และ 1020986 N บริเวณอำเภอท่าฉาง จังหวัดสุราษฎร์ธานี (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556)

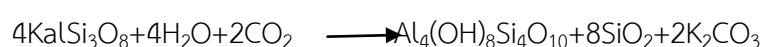


ภาพประกอบที่ 4.1 ภาพขยายแผนที่กัมมันตรังสี ผสม 3 สี (Ternary map) จากภาพประกอบที่ 3.14 ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี แสดงแนวสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน (Seismic reflection) แนวสำรวจ A-A' โดย วงกลมสีแดงแสดงตำแหน่งบ่อน้ำร้อน, เส้นทึบสีแดงเส้นทึบสีขาวแสดงขอบเขตอำเภอและเส้นประสีดำแสดงเส้น Ternary Lineament (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) มาตรฐานแผนที่ 1:1000000

#### 4.2.2. สรุปรายการวิเคราะห์ตัวอย่างหินปูนที่พาดผ่านแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยและตัวอย่างหินปูนบริเวณเหมืองหิน บริษัท ผาทองสุราษฎร์ จำกัด

การวิเคราะห์ตัวอย่างหินปูนที่พาดผ่านแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยบริเวณอำเภอคีรีรัฐนิคม และการวิเคราะห์หน่วยหิน บริเวณด้านในแนวรอยเลื่อน (Pr\_low) และตัวอย่างหินที่อยู่ด้านนอก

แนวรอยเลื่อน (Pr\_high) (ภาพประกอบที่ 3.19) แสดงให้เห็นปริมาณค่ากัมมันตภาพรังสี ที่ปรากฏในหินปูนยุคเพอร์เมียนมีค่าสูง ผลการวิเคราะห์แผนที่กัมมันตภาพรังสี ชนิด K, eU, eTh, และ Ternary map พบว่าหินปูนที่บริเวณแนวรอยเลื่อนจะมีค่ากัมมันตภาพรังสีที่สูง อันมีสาเหตุมาจากการฟุ้งจากหินแกรนิตที่มีอายุครีเทเชียส (KGr) จึงตั้งสมมุติฐานว่า หินปูนบริเวณนี้อาจเป็นหินปูนที่มีการตกผลึกใหม่และปิดทับหินปูนยุคเพอร์เมียนเดิม และการที่หินปูนนี้มีค่ากัมมันตภาพรังสี K, eU, eTh สูงน่าจะเกิดจากกระบวนการ Alteration / Weathering ของ Potash feldspar ที่มีค่าสูงในหินแกรนิตโดยกระบวนการนี้เป็น กระบวนการดินขาว (kaolinite) ตามปฏิกิริยา (Tourliere et al, 2003)



โดยที่  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  คือ Potash feldspar,  $\text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$  คือ Kaolinite และ  $\text{K}_2\text{CO}_3$  คือ โพแทสเซียมคาร์บอเนตที่ละลายน้ำได้ดีและอาจจะตกตะกอนร่วมกันกับ  $\text{CaCO}_3$  ซึ่งเป็นผลทำให้หินปูนบริเวณนี้ค่ากัมมันตภาพรังสี โพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียมที่สูงผิดปกติ

#### 4.2.3. สรุปการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนไม่แข็งตัวยุคควอเทอร์นารี (Q)

การวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนไม่แข็งตัวยุคควอเทอร์นารี (Q) ตะกอนที่เกิดที่มีกัมมันตภาพรังสีผสม 3 สี ที่ปริมาณสูง (ภาพประกอบที่ 3.18) จะแบ่งพื้นที่ตามปริมาณกัมมันตภาพรังสีได้คือ Qa, Qc\_up และ Qmc ที่มีปริมาณของกัมมันตภาพรังสีผสมที่สูง (สีขาว) น่าจะเป็นตะกอนที่มีอายุเดียวกันและชนิดเดียวกัน และในตะกอน Qc\_up และ Qc\_down ควรมีการจัดกลุ่มแยกกันตามแผนที่กัมมันตภาพรังสีผสม (ภาพประกอบที่ 3.18) เนื่องจากค่ามัธยฐานต่างกันชัดเจน

#### 4.2.4. สรุปการวิเคราะห์ขอบเขตหินแกรนิตยุคครีเทเชียส (KGr) ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

การแบ่งหน่วยหินเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องกันของเทือกเขาหินแกรนิต (KGr-1 และ KGr-2) (ภาพประกอบที่ 3.20) และการวิเคราะห์แผนที่กัมมันตภาพรังสีผสม 3สี (ภาพประกอบที่ 3.23) เพื่อระบุขอบเขตหินแกรนิตในจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยอาศัยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการผสมภาพ 3 สี หรือเทคนิค RGB ช่วยในการสร้างขอบเขตหินแกรนิตจากค่ากัมมันตภาพรังสีผสมที่มีค่าสูงสุด (สีขาว) เป็นตัวกำหนดขอบเขตและผลจากการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ Whisker Box Plot บริเวณเทือกเขาหินแกรนิต KGr-1 และ KGr-2 แสดงให้เห็นว่าบริเวณทั้ง 2 บริเวณมีปริมาณ



ค่ากัมมันตภาพทั้ง 3 ชนิด คือ โทแทสเซียม ทอเรียม และยูเรเนียมที่ใกล้เคียงกัน ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งสองบริเวณ สรุปได้ว่าบริเวณเทือกเขาหินแกรนิตทั้ง 2 บริเวณเป็นหินแกรนิตที่ต่อเนื่องกัน แต่โดนหินหินโคลนปนทรายในยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงเพอร์เมียน (CPK) มาปิดคลุมไว้

#### 4.2.5. สรุปการวิเคราะห์แหล่งศักยภาพแหล่งแร่ดินขาว

แหล่งแร่ดินขาวที่เกิดขึ้นในบริเวณจังหวัดสุราษฎร์ธานีและน่าจะมีศักยภาพในการเกิดแหล่งแร่ดินขาว พบว่ามีหลายๆ บริเวณด้วยกันคือ ในอำเภอคีรีรัฐนิคมและอำเภอไชยา ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของหินแกรนิต

#### 4.3. ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการปรับปรุงแผนที่ทางธรณีวิทยาของจังหวัดสุราษฎร์ธานี เช่นตะกอนในยุคควอเทอร์นารี หินโคลนปนกรวดยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงเพอร์เมียนและหินแกรนิตยุคครีเทเชียส
2. ควรมีการหา Weathering Index ของพื้นที่บริเวณที่เกิดการ Weathering ของหินแกรนิตในพื้นที่อำเภอคีรีรัฐนิคมและอำเภอไชยา เพื่อใช้ในการประเมินแหล่งแร่ดินขาว ต่อไป
3. การวิเคราะห์แหล่งแร่ดินขาวต้องมีการวิเคราะห์ทางเคมี จึงควรนำตัวอย่างดินบริเวณที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีผสม 3 สี่ ที่สูง ส่งวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาค่าองค์ประกอบทางเคมีบริเวณแหล่งแร่ดินขาวต่อไป

## บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี, 2550. “แผนที่ธรณีวิทยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี”
- กรมทรัพยากรธรณี, 2553. “แผนที่หมู่บ้านรอยเลื่อนมีพลังพาดผ่านจังหวัดสุราษฎร์ธานี”  
กองธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม กรมทรัพยากรธรณี
- دنوپل ต้นนโยภาส, 2550. “ธรณีวิทยาทั่วไป”. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,  
สงขลา, 144.
- ธงชัย พึ่งรัมย์, 2538. “รายงานการสำรวจธรณีวิทยา บริเวณอำเภอคีรีรัฐนิคม”. 1-9.
- นวลฉวี รุ่งชนเกียรติ, 2545. “วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์”. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร
- ปรีชา สายทอง, และ สุวิทย์ โคสุวรรณ, 2551. “แผ่นดินไหวกับประเทศไทย”. กรุงเทพมหานคร, 60.
- พล เชาว์ดำรง, ปรัชญา บำรุงสงฆ์, และ นิคม จึงอยู่สุข, 2540. “การประเมินศักยภาพแหล่งหินปูน  
ระวางบ้านปากน้ำท่าทอง (4827III) ตะวันออกของจังหวัดสุราษฎร์ธานี”, การประชุมเสนอ  
ผลงานทางวิชาการ กองธรณีวิทยา, 188-192.
- พุทธชาติ ทองแถม, 2549. “สีนามิภัยพิบัติทางธรรมชาติ”. สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร,  
กรุงเทพมหานคร, 139.
- ภาณุ ทองชิต, 2538. “การบินสำรวจความเข้มก้ำันตรงสี่ทางอากาศในประเทศไทย”,  
กรุงเทพมหานคร.
- ราชบัณฑิตยสถาน, 2544. พจนานุกรม ศัพท์ธรณีวิทยา ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. ราชบัณฑิตยสถาน,  
กรุงเทพมหานคร, 384
- วิสุทธิ์ โชติกเสถียร, และ ประมวล เกาะปิ่นะ, 2534. “การศึกษาธรณีวิทยาควอเทอร์นารีเบื้องต้น  
จากภาพถ่ายทางอากาศ ตามแนวชายฝั่งทะเลจังหวัดสุราษฎร์ธานีและใกล้เคียง”.  
กรุงเทพมหานคร, 31.
- สงกรานต์ บุญรวม, 2539. “การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ (Airborne Geophysical Surveys)”,  
รายงานกองพัฒนาทรัพยากรธรณี, กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพมหานคร, 1 2 9 .

สุวัฒน์ ตียะไพรัช, สันติ ศรีวรกุล, และ ทินกร มหาภูมิ, 2532. “ธรณีวิทยาและธรณีวิทยาควอเทอร์นารี ระวังจังหวัดสุราษฎร์ธานี (4827II) และระวังอำเภอพุนพิน (4827 III)”, กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพมหานคร, 44.

สุวิทย์ โคสุวรรณ, ปรีชา สายทอง, และ กิตติ ขาววิเศษ, 2555. “รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย”, หน้า 112–124.

ไตรภพ ผ่องสุวรรณ, Helmut Dürrast, สวัสดิ์ ยอดขยัน, ไพบุลย์ นवलนิล, กำแหง วัฒนเสน, สมหมาย ช่างเขียน, และ ธีรรัตน์ วิชัยดิษฐ, 2556. “การศึกษาธรณีฟิสิกส์แบบบูรณาการของรอยเลื่อนต่างๆ ในภาคใต้”, 293.

โสภณา แดงเหมือน, วรภูมิ โลหะวิจารณ์, เฮลมุท ดูราสต์, ไพบุลย์ นवलนิล, และ พะเยาว์ ยิ่งศิริวิทย์. ,2548. “แผ่นดินไหวในภาคใต้ของประเทศไทย ภายหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในทะเลอันดามัน เมื่อ 26 ธันวาคม 2547 ” การประชุมวิชาการเรื่อง “การจัดการภัยธรรมชาติ,” โรงแรม รอรัลภูเก็ตซิตี้ จังหวัดภูเก็ต, 212–223.

ไวยพจน์ วรกกน, 2536. “การประยุกต์ใช้ข้อมูลกัมมันตภาพรังสีทางอากาศสำหรับการทำแผนที่ธรณีวิทยาและการสำรวจแหล่งแร่”, การใช้ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศในการทำแผนที่และสำรวจทรัพยากรธรณี, 1–19.

Bhongsuwan, T., Pisapak, P., and Dürrast, H., 2011. “Result of alpha track detection of radon in soil gas in the Khlong Marui Fault Zone , Southern Thailand : A possible earthquake precursor.” Songklanakarin Journal of Science and technology, 33(5), 609–616.

Bishop, C., 2012. “Interpretation and Modelling of the Pedirka Basin (Central Australia) using Magnetism , Gravity , Well-log and Seismic data.” (February), 26–29.

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(3-4), 191–205.

- Butler, R.F., 1992. "Paleomagnetism." Blackwell Scientific, Cambridge, 319
- Chan, L. S., Wong, P. W., and Chen, Q. F., 2007. "Abundances of radioelements (K, U, Th) in weathered igneous rocks in Hong Kong." *Journal of Geophysics and Engineering*, 4(3), 285–292.
- Chotiksathein, W., and Kohpina, P., 1993. "Quaternary geology of costal area Surat Thani and vicinity, southern Thailand .pdf." *Journal of Southeast Asian Earth Science*, 8, 313–320.
- Debeglia, N., Martelet, G., Perrin, J., Truffert, C., Ledru, P., and Tourli., 2006. "Semi-automated structural analysis of high resolution magnetic and gamma-ray spectrometry airborne surveys." *Journal of applied Geophysics*, 58, 13–28.
- Duerrast, H., Dangmuan, S., and Lohawijarn, W., 2012. "KHLONG MARUI AND RANONG FAULT ZONES IN SOUTHERN RE-ACTIVITY BY 26 DECEMBER 2004 MW 9.3 SUMARTA-ANDAMAN EARTHQUAKE." *GEOTHAI'07 International Conference on Geology of Thailand*, 141–144.
- Finlay, C. C., Maus, S., Beggan, C. D., Bondar, T. N., Chambodut, a., Chernova, T. a., Chulliat, a., Golovkov, V. P., Hamilton, B., Hamoudi, M., Holme, R., Hulot, G., Kuang, W., Langlais, B., Lesur, V., Lowes, F. J., Lühr, H., Macmillan, S., Mande, M., McLean, S., Manoj, C., Menvielle, M., Michaelis, I., Olsen, N., Rauberg, J., Rother, M., Sabaka, T. J., Tangborn, a., Tøffner-Clausen, L., Thébaud, E., Thomson, a. W. P., Wardinski, I., Wei, Z., and Zvereva, T. I., 2010. "International Geomagnetic Reference Field: the eleventh generation." *Geophysical Journal International*, 183(3), 1216–1230.
- International atomic energy agency (IAEA), 2003. "Guideline for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data." 173.
- MacLeod, I. N., Jones, K., and Fan Dai, T., 1993. "3D analytic Signal in the Interpretation of Total Magnetic Field data at Low magnitude Latitude." *Exploration Geophysics*, 24, 679–688.

- Martelet, G., Truffert, C., Tourlière, B., Ledru, P., and Perrin, J., 2006. "Classifying airborne radiometry data with Agglomerative Hierarchical Clustering: A tool for geological mapping in context of rainforest (French Guiana)." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(3), 208–223.
- Phillips, J. D., 2000. "Locating magnetic contacts : a comparison of the horizontal gradient, analytic signal, and local wavenumber methods." *Society of exploration geophysicist*, 1, 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." ASEG 15 th geophysical Conferecncce and Exhibition, Brisbane.
- Phillips, J. D., 2002. "Processing and Interpretation of Aeromagnetic Data for the Santa Cruz basin-Petagonia area, Sounth-central Arizona." U.S. Geological Survey Open file report 02-98, 1–12.
- Phillips, J. D., Hansen, R. ., and Blakely, R. J., 2007. "The use of curvature in potential-field interpretation." *Exploration Geophysics*, 38, 111–119.
- Pisapak, P., Dürrast, H., and Bhongsuwan, T., 2010. "Soil-Gas Radon as a Possible Earthquake Precursor : A Case Study from the Khlong Marui Fault Zone , Southern Thailand." *Kasetsart Journal : Natural science*, 1093(44), 1079–1093.
- Reeves, C., 2005. "Aeromagnetic Surveys."
- Roest, W. R., and Pilkington, M., 1993. "Identifying remanant magnetization effects in magnetic data." *Sociesty of Exploration Geophysicists*, 58, 653–659.
- Survey, U. S. G., 1999. "U.S. Geological Survey, MS 964, Denver, CO 80225."
- Telford, W. ., Geldart, L. ., and Sheriff, R., 1998. *Applied Geophysics*, CAMBRIDGE UNIVERSITY, 751.

- Tourliere, B., Perrin, J., Leberre, P. L., and Pasquet, J., 2003. "Use of airborne gamma-ray spectrometry for kaolin exploration", *Journal of Applied Geophysics*, 53(2-3), 91–102.
- Urquhart, W. S. E. (ed. (N.D.), "Airborne Magnetic Data Compilation and Interpretation." *Geophysical airborne Survey Compilation and Interpretation*, 1–16.
- USGS, 2004. "Magnitude 9.1- OFF THE WEST COAST OF NORTHERN SUMATRA." <<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2004/us2004slav/#detail>>.
- USGS, 2014, "ASTER GDEM" (<http://earthexplorer.usgs.gov/>)
- Watkinson, I., Elders, C., and Hall, R., 2008. "The kinematic history of the Khlong Marui and Ranong Faults, southern Thailand", *Journal of Structural Geology*, Elsevier Ltd, 30(12), 1554–1571.
- Wilford, J., 2012. "A weathering intensity index for the Australian continent using airborne gamma-raspectrometry and digital terrain analysis", *Geoderma*, Elsevier B.V., 183-184, 124–142.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

รูปแบบไฟล์ข้อมูลและพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองสภาพรับไว้ได้แบบ 3 มิติ  
ในโปรแกรม MAG 3D

ตารางที่ ก-1 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก ด้วยโปรแกรม MAG 3D

inversion

!						
!						
Incl	Decl	geomag				
Aincl	Adecl	ldir				
ndat						
$E_1$	$N_1$	$Elev_1$	$[aincl_1$	$Adecl_1]$	$Mag_1$	$Err_1$
$E_2$	$N_2$	$Elev_2$	$[aincl_2$	$Adecl_2]$	$Mag_2$	$Err_2$
$E_3$	$N_3$	$Elev_3$	$[aincl_2$	$Adecl_3]$	$Mag_3$	$Err_3$
:	:	:			:	:
$E_{ndat}$	$N_{ndat}$	$Elev_{ndat}$	$[aincl_{ndat}$	$Adecl_{ndat}]$	$Mag_{ndat}$	$Err_{ndat}$
<i>! comment</i>	Topline beginning with ! are comments					
<i>Incl, Decl</i>	Inclination and declination of the inducing magnetic field. The declination is specified +east with respect to the northing used in the mesh, obs.loc, and obs.mag files.					
<i>geomag</i>	Strength of inducing field in nT.					
<i>Aincl, Adecl</i>	Inclination and declination of the anomaly projection.					

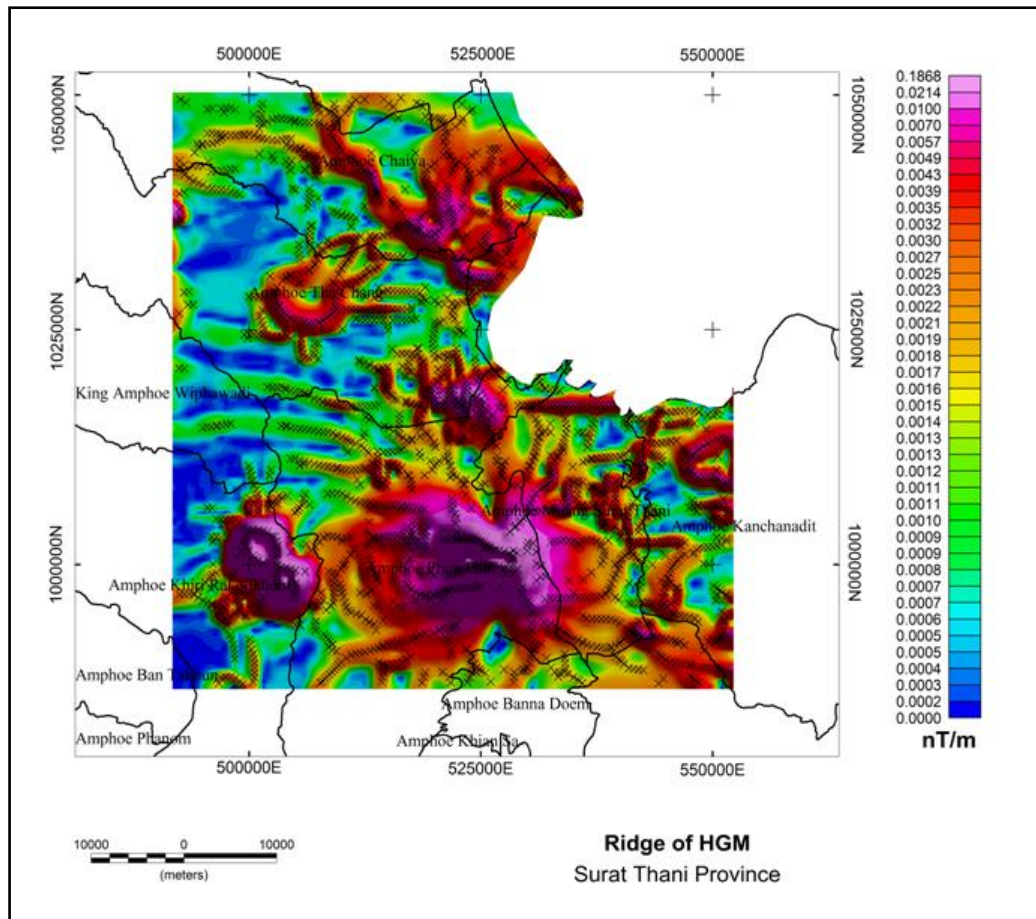


ตารางที่ ก-1(ต่อ) ตัวอย่างแบบจำลองสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก ด้วยโปรแกรม Mag 3D inversion

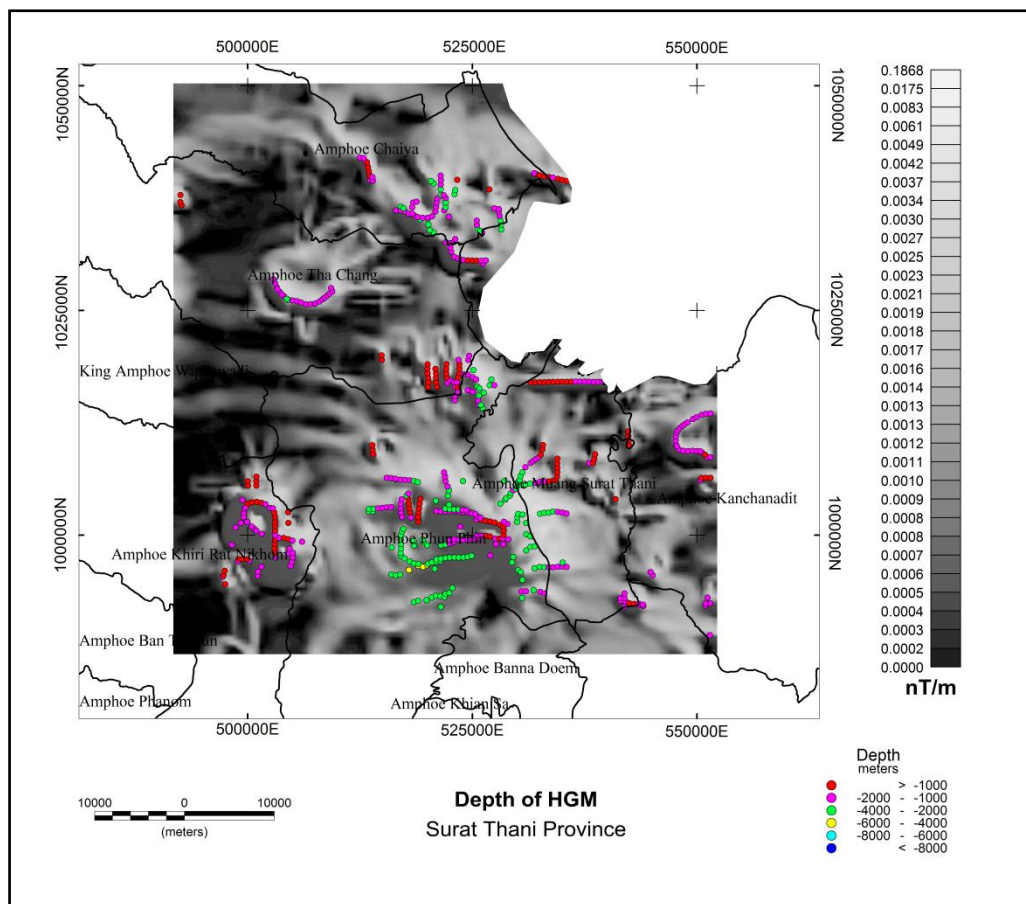
<i>idir</i>	<p>= 0: multi component data set. Observations have different inclinations and declinations, <math>Aincli_n</math> and <math>Adcel_n</math>, should be equal to <math>Incl</math> and <math>Decl</math>, respectively.</p> <p>= 1: single component data set. All observation have the same in clineation and declination of the anomaly projection: <math>Aincl</math>, <math>Adecl</math>.</p> <p>If <i>idir</i> is missing, it is assumed to be equal 1.</p>
<i>ndat</i>	Number of observation. When the single component data are specified. The number of observation is equal to the number of the data locations. When multi – component data are specified, the number of observation will exceed the number of the 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, norting, and elevation of the observation, measured in meters, Elevation should be above tomography for surface data, and below tomography for borehole data. The observation locations can be listed in any order.
$aincl_n, adecl_n$	Inclination and declination of the anomaly projection $n$ . Used only when <i>idir</i> = 0. The brackets “[...]” indicate that these two fields are optional and depend on the value of <i>idir</i> .
$Mag_n$	Magnetic anomaly data, measured in nT.
$Err_n$	Standard division of $Mag_n$ . This represents the absolute error. It can't be zero or negative.

## ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Horizontal Gradient Magnitud (HGM)



ภาพประกอบที่ ข-1 ผลการหาตำแหน่งรอยต่อแม่เหล็กด้วยวิธี Horizontal Gradient Magnitude (HGM) ซ้อนทับขอบเขตอำเภอ ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มาตรฐานแผนที่ 1:1000000



ภาพประกอบที่ ข-2 ผลการประเมินความลึกด้วยวิธี Horizontal Gradient Magnitude (HGM) ชั้นทับขอบเขตอำเภอในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มาตรฐานแผนที่ 1:1000000

## ภาคผนวก ค

## แสดงตารางเปรียบเทียบการเปลี่ยนค่ากัมมันตรังสีในหน่วย ppm

ตารางที่ ค-1 RADIOELEMENT CONTENT OF AUSTRALIAN ROCKS AND SOILS (AVERAGE VALUE IN BRACKETS) AFTER DICKSON AND SCOTT (1999) (ดัดแปลงจาก IAEA, 2003)

Rock type	Rock			Soil		
	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)	K%	U(ppm)	Th(ppm)
<b>intrusive</b>						
Quartz-feldspar	1-5 (2.9)	1.3-2.9 (1.7)	6-14 (13)			
Porphyry Intermediate	0.7-5.6 (2.7)	0.1-1.2 (0.8)	0.8-6.1 (2.4)	0.7-3.4 (1.6)	1.5-2.3 (1.9)	2.9-8.4 (5.6)
<b>Extrusive</b>						
Low-K andesites	0.7-0.9 (0.8)	1.0-2.5 (1.6)	3-8 (5)	0.8-1.5 (1.1)	1.2-1.5 (1.3)	4-6 (5)
Mafic volcanics	0.3- 1.3(0.9)	0.3-1.3( 0.7)	20.-5.0 (3.0)	0.2-1.4 (0.7)	0.6-2.5( 1.6)	3.3-13 (7.9)
Sedimentary rocks						
Other shale	0.1-4.0 (2.6)	1.6-3.8 (2.6)	10-55 (19)	0.7-3.0 (1.5)	1.2-5 (2.3)	6-19 (13)
Carbonates	0.00- 0.5(0.2)	0.4-2.9 (1.6)	0.-2.9 (1.4)			

**ตารางที่ ค-2** CONVERSION OF RADIOELEMENT CONCENTRATION TO SPECIFIC ACTIVITY  
(IAEA,1897) (ดัดแปลงจาก IAEA, 2003)

1% K	313	Bq/kg	$^{40}\text{K}$
1 ppm U in rock	12.35	Bq/kg	$^{238}\text{U}$ , or $^{226}\text{Ra}$
1 ppm Th in rock	4.06	Bq/kg	$^{232}\text{Th}$

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-ชื่อสกุล นายเอกลักษณ์ มอบพิจิต  
 รหัสนักศึกษา 5210220120

## วุฒิการศึกษา

วุฒิ	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ครุศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต	2006

## ทุนการศึกษา

2553	ทุนระดับบัณฑิตศึกษา ประเภททุนเชื่อมโยงกับบัณฑิต ประจำปีงบประมาณ 2553
2554	ทุนระดับบัณฑิตศึกษา ประเภททุนเชื่อมโยงกับบัณฑิต ประจำปีงบประมาณ 2554

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Moppijit, A., and Bhongsuwan, T., 2012 “Airborne Geophysical Data Interpretation of Khlong Marui Fault Zone in Surat Thani Province”, Processing of the conference on “Thai Physics Society on the Road to ASEAN community 21<sup>rd</sup>-23<sup>rd</sup> March 2012, Chiang Mai, Thailand