การศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคในจังหวัดสตูลและจังหวัดสงขลา ด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์

A Regional Study of Geological Structure in Changwat Satun and Changwat Songkhla with Geophysical Method

สุรศักดิ์ แก้วอ่อน

Surasak Kaew-on

ฉ

เลขหมู่ QE48.T52S68 ส74ก 2539 ฉ.2

Bib Key 95419

/ 19 ธ.ค. 2543 /

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Physics

Prince of Songkla University

2539

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคในจังหวัดสตูลและจังหวัดสงขลา ด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์
ผู้เขียน	นายสุรศักดิ์ แก้วอ่อน
สาขาวิชา	ฟิสิกส์

คณะกรรมการที่ปรึกษา	คณะกรรมการสอบ
------------------------ประธานกรรมการ	------------------------ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวุฒิ โลหะวิจารณ์)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวุฒิ โลหะวิจารณ์)
------------------------กรรมการ	------------------------กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ธงชัย พึ่งรัศมี)	(รองศาสตราจารย์ ธงชัย พึ่งรัศมี)
------------------------กรรมการ	------------------------กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัช ชิตตระการ)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัช ชิตตระการ)
	------------------------กรรมการ
	(รองศาสตราจารย์ ดร. กิตติชัย วัฒนานิกร)
	------------------------กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล อารีย์กุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

(ดร. ไพรัตน์ สงวนไทร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

หอสมุด คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่
ได้รับจาก บัณฑิตวิทยาลัย มอ.
วันที่ เดือน 1 9 ธ.ค. พ.ศ. 2543

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงภูมิภาค ในจังหวัดสตูลและจังหวัดสงขลา ด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์

ผู้เขียน นายสุรศักดิ์ แก้วอ่อน

สาขาวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ได้ทำการศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคในพื้นที่จังหวัดสตูลและจังหวัดสงขลาโดยวิธีการวัดค่าความถ่วงของโลก การวิเคราะห์ค่าสนามแม่เหล็กโลกและความเข้มกัมมันตภาพรังสีที่ได้จากการบินสำรวจในพื้นที่ของอำเภอหาดใหญ่ อำเภอสะเดา อำเภอรัตภูมิ อำเภอควนเนียง กิ่งอำเภอบางกล่ำและกิ่งอำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา และพื้นที่ทั้งหมดของจังหวัดสตูล ประกอบด้วยอำเภอเมืองสตูล อำเภอควนกาหลง อำเภอละงู อำเภอควนโดน อำเภอท่าแพ และอำเภอทุ่งหว้า(ไม่รวมหมู่เกาะนอกชายฝั่ง) หรือระหว่างละติจูด 6°30′ N - 7°15′ N และลองจิจูด 99°45′ E - 100°30′ E โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดขอบเขตของลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคในพื้นที่ศึกษา

ผลจากการศึกษาพบว่าค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าต่ำ มีแนวประมาณ N15W และ N-S ในบริเวณที่เป็นเทือกเขาแกรนิตตอนกลางของพื้นที่และค่าผิดปกติด้านความถ่วงจะมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในบริเวณที่ปกคลุมด้วยหินตะกอนทั้งทางด้านตะวันออกและด้านตะวันตกของแนวเทือกเขาแกรนิต ผลจากการวิเคราะห์ภาคตัดขวางด้านความถ่วง สนามแม่เหล็กโลกที่ได้จากการบินสำรวจด้วยโปรแกรม GMM พบว่าหินแกรนิต(2620 kg/m^3)วางอยู่บนหินฐาน ซึ่งกำหนดเป็นหินที่อยู่ในชั้นเปลือกโลก(2800 kg/m^3) แต่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กน้อยกว่าหินแกรนิต โดยหินแกรนิตจะมีความหนามากที่สุดในบริเวณแนวเทือกเขาหินแกรนิตซึ่งมีรากลึกประมาณ 15 กิโลเมตร โดยความหนาของหินแกรนิตจะลดลงในบริเวณที่ปกคลุมด้วยหินตะกอนทั้งทางด้านตะวันออกและด้านตะวันตกของเทือกเขาหินแกรนิต และหินแกรนิตสามารถจำแนกเป็น 2 ชุด โดยทั้งสองชุดมีความหนาแน่นเท่ากันแต่ชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูงกว่าชุดที่วางตัวอยู่ด้านล่าง

นอกจากนั้นยังพบว่าขอบเขตในแนวระนาบของหินโผล่แกรนิตยังสามารถกำหนดได้ชัดเจนจากค่าผิดปกติที่มีค่าสูงของกัมมันตภาพรังสี K,eU และ eTh

Thesis Title	A Regional Study of Geological Structure in Changwat Satun and Changwat Songkhla with Geophysical Method
Author	Mr.Surasak Kaew-on
Major Program	Physics
Academic Year	1995

Abstract

Regional gravity was measured and the gravity map, aero-magnetic map and aero-radioactivity map were analyzed in an area covering Changwat Satun and Changwat Songkhla,i.e. between latitudes $6^{\circ}30'$N-$7^{\circ}15'$N and longitudes $99^{\circ}45'$E-$100^{\circ}30'$E. The objective of this study was to determine the geological structures of the area.

The results showed that minimum Bouguer anomaly approximately N15W and N-S trendings was observed above granitic ranges in central part of the study area. The Bouguer anomalies gradually increase on the west and on the east of the study area. The regional geological evidence obtained from the present gravity and magnetic modelling with the GMM program shows that the granite(2620 kg/m^3) is underlain by a crustal rock of greater density (2800 kg/m^3) but lower in susceptibility. Moreover, granite comprises two parts. Both of them have the same density. The upper part is higher susceptibility than the lower one. The granite is very thick along the granitic ranges (maximum depth about 15 km.) and gradually thin on the east and the west .The aero-radioactivity anomalies are very good for delineate of horizontal boundary of granitic outcrops in the study area.

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและได้รับความอนุเคราะห์จากหลายๆ ฝ่าย จึงขอขอบคุณหน่วยงานต่างๆดังต่อไปนี้ คือ โรงเรียนอุดมวิทยายน อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง สำนักงานสามัญศึกษาจังหวัดพัทลุง ที่อนุญาตให้ลาศึกษาต่อ กรมสามัญศึกษา กระทรวงศึกษาธิการที่สนับสนุนด้านทุนการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัยและภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งสนับสนุนด้านทุนวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับการใช้เครื่องมือบดหินตัวอย่าง กรมทรัพยากรธรณีสำหรับข้อมูลการบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศและให้การอบรมการใช้โปรแกรมจีโอซอฟท์ และสถาบัน IPPS มหาวิทยาลัย Uppsala ประเทศสวีเดนสำหรับเครื่องมือวิจัย

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.วรวุฒิ โลหะวิจารณ์ ผศ.ดร.ธวัช ชิตตระการ รศ.ธงชัย พึ่งรัศมี อาจารย์ไตรภพ ผ่องสุวรรณ ครูสมยศ วิชชุวลัญช์ ครูแฉล้ม พรหมพัฒน์ คุณเดชา ปัตรวรรณ คุณสุวิทย์ เพชรห้วยลึก คุณเทิดทูน ทองเจิม สำหรับคำแนะนำทางวิชาการ งานสนามและงานในห้องปฏิบัติการ

ขอกราบขอบพระคุณท่านพ่อ ท่านแม่ ขอขอบคุณพี่และน้องๆครอบครัว "แก้วอ่อน" ทุกท่านรวมทั้งคุณสายใจ จินา ตลอดจนคณะครู-อาจารย์โรงเรียนอุดมวิทยายน ที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

สุรศักดิ์ แก้วอ่อน

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบาญ	(6)
รายการตาราง	(7)
รายการภาพประกอบ	(8)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	2
การตรวจเอกสาร	6
วัตถุประสงค์	24
2. วิธีการวิจัย	25
วัสดุ	25
อุปกรณ์	26
วิธีดำเนินการ	35
3. ผลและการอภิปรายผล	58
4. บทวิจารณ์และสรุป	112
บรรณานุกรม	117
ภาคผนวก	123
ประวัติผู้เขียน	189

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1. ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลความถ่วงและความสูงในภาคสนาม	37
2. ตัวอย่างการปรับแก้ค่าดริฟท์ของความสูง	43
3. ตัวอย่างการปรับแก้ค่าดริฟท์ของความถ่วง	45
4. ค่าปรับแก้ภูมิประเทศของแผนภูมิแฮมเมอร์	50
5. ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา	60
6. ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา	74
7. ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กและค่าความหนาแน่นเฉลี่ย ที่ได้ปรับปรุงและนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง	78
8. ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและ ทอเรียมสมมูล ในหินแกรนิต ยุคไทรแอสซิก	103
9. ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและ ทอเรียมสมมูล ในหมู่หินทราย ยุคไทรแอสซิก	104
10. ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและ ทอเรียมสมมูล ในหมู่หินดินดาน ยุคคาร์บอนิเฟอรัส	105
11. ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและ ทอเรียมสมมูล ในหมู่หินปูน ยุคออร์โดวิเชียน	106
12. ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและ ทอเรียมสมมูล ในหมู่หินปูน ยุคเพอร์เมียน	107

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1. ตำแหน่งของพื้นที่ศึกษา	3
2. ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา	5
3. แผ่นอนุทวีปของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	7
4. คาบสมุทรไทย	9
5. แนวหินแกรนิตของประเทศไทย	10
6. แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	15
7. แผนที่โครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	19
8. ตำแหน่งแหล่งแร่ต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา	20
9. แกรวิติมิเตอร์แบบลาคอสท์และรอมเบิร์ก รุ่น G-565	27
10. ภาคตัดขวางแสดงเค้าโครงของแกรวิติมิเตอร์แบบลาคอสท์และรอมเบิร์ก	27
11. หลักการทำงานของแกรวิติมิเตอร์แบบลาคอสท์และรอมเบิร์ก	28
12 เครื่องมืออ่านพิกัดทางภูมิศาสตร์(GPS) รุ่น Basic Pathfinder	29
13. มาตรระดับความสูงชนิดความดัน รุ่น MDM-5	30
14. แคปปามิเตอร์ รุ่น KT-5	31
15 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ รุ่น BB 3000	32
16. เค้าโครงหัววัดเยอมาเนียมบริสุทธ์สูง(HPGe)	33
17. ตำแหน่งของจุดวัดค่าความถ่วงและความสูง	36
18. ตัวอย่างวงรอบของการวัดค่าความถ่วงและความสูง	38
19. หน้าปัทม์แคปปามิเตอร์ รุ่น KT-5	39
20 การจัดอุปกรณ์วัดค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่าง	41
21. การปรับแก้บูเกอร์ที่จุดวัด	48
22. ลักษณะภูมิประเทศที่มีผลต่อค่าความถ่วง	49
23. แผนภูมิแฮมเมอร์	50
24. องค์ประกอบของสนามแม่เหล็กโลก	53

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
25. การต่ออุปกรณ์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพรังสี	56
26. ตำแหน่งเก็บหินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา	59
27. ความหนาแน่นของหินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา	62
28. การกระจายค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา	63
29. การกระจายค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินแกรนิต เปรียบเทียบกับ หินตะกอนของพื้นที่ศึกษา	64
30. แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ของพื้นที่ศึกษา ในหน่วย gu	66
31. คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ในหน่วย gu ซ้อนทับบน แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	67
32. คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ในหน่วย gu ซ้อนทับบน แผนที่ความหนาแน่นของหินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา	68
33. คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ในหน่วย gu ซ้อนทับบน แผนที่ธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา	69
34. แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลกรวม (Survey B&C) ของพื้นที่ศึกษา ในหน่วย nT	72
35. คอนทัวร์ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลกรวม(Survey B&C) ในหน่วย nT ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	73
36. ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา	75
37. การศึกษาแรงโน้มถ่วงเชิงภูมิภาคในประเทศพม่าและอินเดีย	77
38. ภาคตัดขวางทางธรณีวิทยาในแนว DE	80
39. ภาคตัดขวางทางธรณีวิทยาในแนว BC	80
40. แบบจำลอง " โครงสร้างทางธรณีวิทยา " ในแนว D1_E1	82
41. แบบจำลอง " โครงสร้างทางธรณีวิทยา " ในแนว D2_E2	84
42. แบบจำลอง " โครงสร้างทางธรณีวิทยา " ในแนว D3_E3	86

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

43. แบบจำลอง " โครงสร้างทางธรณีวิทยา " ในแนว D4_E4 88
44. แบบจำลอง " โครงสร้างทางธรณีวิทยา " ในแนว D5_E5 90
45. แบบจำลอง " โครงสร้างทางธรณีวิทยา " ในแนว D6_E6 92
46. แบบจำลอง " โครงสร้างทางธรณีวิทยา " ในแนว BC 94
47. คอนทัวร์ความลึกของแกรนิตตอนบน ในหน่วยเมตร ซ้อนทับบน แผนที่ธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา 96
48. คอนทัวร์ความลึกของแกรนิตตอนล่าง ในหน่วยเมตร ซ้อนทับบน แผนที่ธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา 97
49. คอนทัวร์โพแทสเซียม (K) ในหน่วยร้อยละ ซ้อนทับบน แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา 100
50. คอนทัวร์ยูเรเนียมสมมูล (eU) ในหน่วย ppm ซ้อนทับบน แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา 101
51. คอนทัวร์ทอเรียมสมมูล (eTh) ในหน่วย ppm ซ้อนทับบน แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา 102
52. ค่าความเข้มข้นของ K ในหินตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์ ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา 108
53. ค่าความเข้มข้นของ eU ในหินตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์ ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา 109
54. ค่าความเข้มข้นของ eTh ในหินตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์ ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา 110
55. แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ K ,eU และ eTh ในหินตัวอย่าง ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา 111

บทที่ 1

บทนำ

ธรณีวิทยา (geology) คือ วิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับโลกที่เราอาศัยอยู่ซึ่งว่าด้วย หิน แร่ กระบวนการต่างๆ ทางธรรมชาติ ซึ่งเกิดขึ้นบนผิวโลกและภายในโลกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของแผ่นดินโครงสร้างและปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ และกลายมาเป็นปัญหาทำให้นักวิทยาศาสตร์และผู้สนใจธรรมชาติเกิดความพยายามที่จะศึกษาถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นการเกิดขึ้นเป็นการชั่วคราว เช่น วาตภัย อุทกภัย แผ่นดินไหว และภูเขาไฟระเบิด และการเกิดขึ้นที่ต้องใช้ระยะเวลาอันยาวนานเป็นหลาย ๆ ล้านปี เช่น การเกิดหินอัคนีแทรกซอน หินตะกอน หินแปร และการเกิดภูเขา จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้นักธรณีวิทยาพยายามที่จะศึกษาส่วนประกอบของชั้นเปลือกโลกเพื่อที่จะเข้าใจธรรมชาติของโลกมากยิ่งขึ้น

การสำรวจธรณีฟิสิกส์ (geophysical exploration) จัดเป็นวิทยาศาสตร์ประยุกต์แขนงหนึ่งซึ่งรวมความรู้มูลฐานของวิชาฟิสิกส์และธรณีวิทยามาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อใช้เป็นสื่อในการศึกษาและเสาะแสวงหาวัตถุที่อยู่ใต้ผิวดิน เช่น สภาพธรณีโครงสร้าง สินแร่ ตลอดจนสมบัติของหินฐานราก การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ประกอบด้วยการวัดปริมาณอันเนื่องมาจากสมบัติทางฟิสิกส์ใต้ผิวดิน ณ บริเวณที่สำรวจ โดยอาศัยความแตกต่างกันในคุณสมบัติทางฟิสิกส์อย่างใดอย่างหนึ่งของหินและแร่ใต้ผิวดินเช่น ความยืดหยุ่น(elasticity) ความหนาแน่น (density) สภาพความเป็นแม่เหล็ก (magnetization) ลักษณะทางไฟฟ้า (electrical characteristic) ระดับกัมมันตภาพรังสี (radioactivity levels)

การศึกษาโครงสร้างธรณีวิทยา (geologic structures) ระดับใต้ผิวดินสามารถใช้การสำรวจธรณีฟิสิกส์กำหนดและหาแหล่งแร่ต่างๆที่มีค่าทางเศรษฐกิจรวมทั้งแหล่งปิโตรเลียมและแก๊สธรรมชาติตลอดจนสามารถคาดการณ์เกี่ยวกับรอยเลื่อนที่ยังเคลื่อนไหวได้ ซึ่งการเข้าใจถึงโครงสร้างธรณีวิทยา จะเป็นประโยชน์ต่อธรณีวิทยาประยุกต์ในด้านแหล่งแร่ ทรัพยากร พลังงาน วิศวกรรมและการวางแผนเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม

สำหรับการศึกษาโครงสร้างธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคของจังหวัดสตูลและจังหวัดสงขลาโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของสนามโน้มถ่วงของโลก การเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็กโลก และการเปลี่ยนแปลงกัมมันตภาพรังสี เพื่ออธิบายลักษณะโครงสร้างธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา อันจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าด้านธรณีวิทยาต่อไป

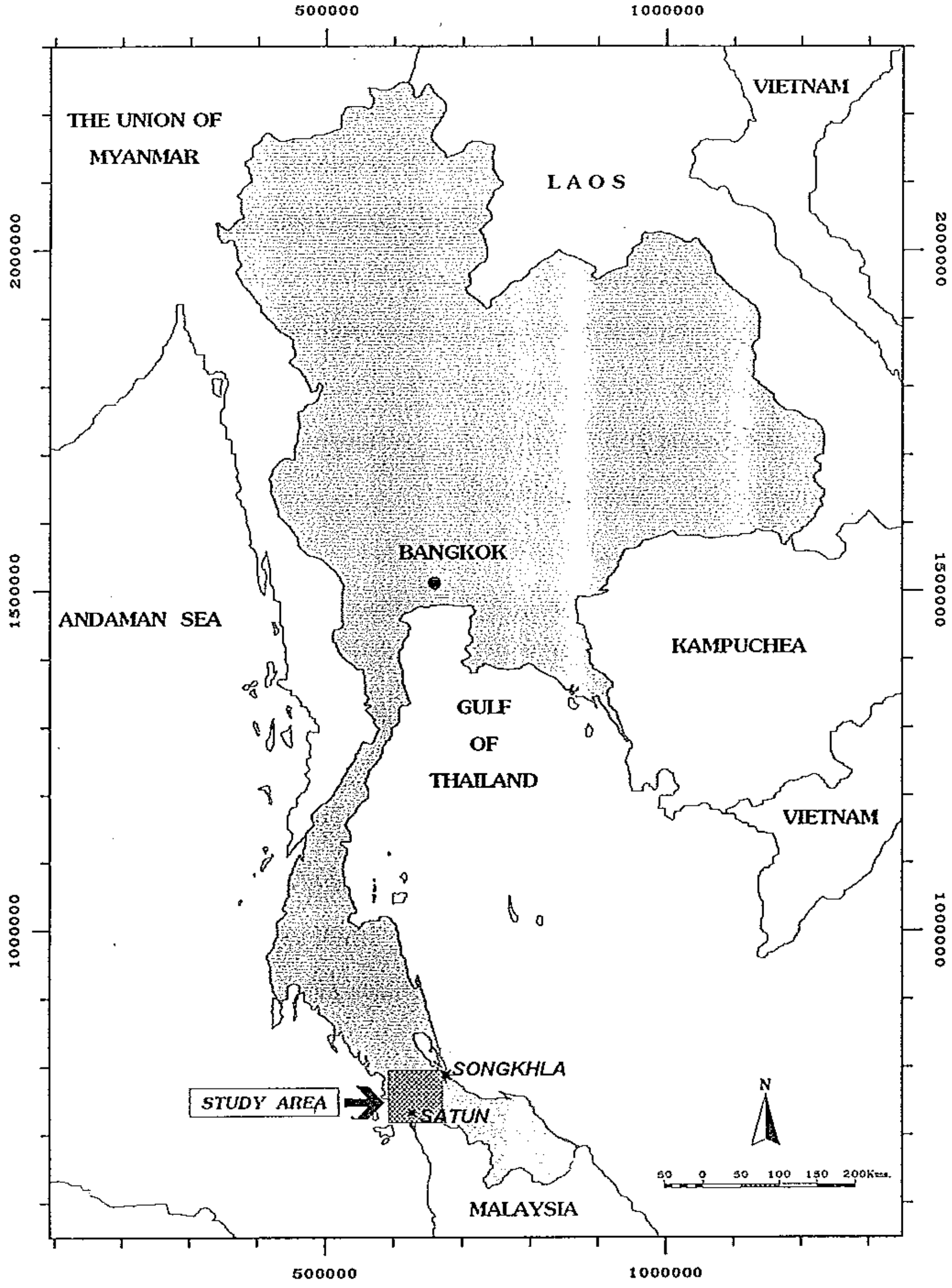
บทนำต้นเรื่อง

สตูลและสงขลาเป็นจังหวัดที่อยู่ทางภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทยโดยจังหวัดสตูลอยู่ทางฝั่งตะวันตกด้านทะเลอันดามัน มีพื้นที่ประมาณ 2,700 ตารางกิโลเมตร มีอาณาเขตด้านเหนือจรดกับจังหวัดตรังและพัทลุง ด้านใต้จรดประเทศมาเลเซียและทะเลอันดามัน ด้านตะวันออกจรดจังหวัดสงขลา และด้านตะวันตกจรดทะเลอันดามัน ส่วนจังหวัดสงขลาจะอยู่ทางฝั่งตะวันออกติดทะเลทางด้านอ่าวไทย มีพื้นที่ประมาณ 7,500 ตารางกิโลเมตร มีอาณาเขตด้านเหนือจรดกับจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดพัทลุง ด้านใต้จรดจังหวัดยะลา,ปัตตานีและมาเลเซีย ด้านตะวันตกจรดกับจังหวัดพัทลุงและสตูล ซึ่งทั้ง 2 จังหวัดกำลังได้รับการพัฒนาในหลายๆด้าน เช่น ด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม การท่องเที่ยว และโครงการก่อสร้างต่างๆ เช่น โครงการพัฒนาแหล่งน้ำ โครงการนิคมอุตสาหกรรม โครงการสร้างท่าเรือน้ำลึก โครงการขุดคอกอดกระจากฝั่งทะเลด้านตะวันตกไปยังฝั่งทะเลด้านตะวันออก ซึ่งการที่จะพัฒนาสิ่งเหล่านั้นขึ้นมาจำเป็นต้องมีการวางแผนที่ดี เพื่อผลที่จะเกิดขึ้นมาในอนาคต

ข้อมูลด้านธรณีวิทยาจึงเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จะตอบสนองการพัฒนาเหล่านั้นได้อันจะเป็นประโยชน์ในการพิจารณาวางแผน กำหนดนโยบายในการพัฒนาอย่างสอดคล้องและได้ผลเต็มที่

พื้นที่ศึกษาประกอบไปด้วยพื้นที่ทุกอำเภอของจังหวัดสตูล(ไม่รวมหมู่เกาะนอกชายฝั่ง)ซึ่งประกอบไปด้วยอำเภอควนกาหลง อำเภอละงู อำเภอควนโดน อำเภอท่าแพ อำเภอทุ่งหว้าและอำเภอเมืองสตูล และพื้นที่ทางด้านตะวันตกของจังหวัดสงขลาซึ่งประกอบด้วยอำเภอหาดใหญ่ อำเภอสะเดา อำเภอรัตภูมิ อำเภอควนเนียง กิ่งอำเภอบางกล่ำและกิ่งอำเภอคลองหอยโข่ง หรือระหว่างละติจูด $6^{\circ}30'$N - $7^{\circ}15'$ N และลองจิจูด $99^{\circ}45'$E - $100^{\circ}30'$E ครอบคลุมเนื้อที่ประมาณ 5,600 ตารางกิโลเมตร (ภาพประกอบ 1)

ภาพประกอบ 1 ตำแหน่งของพื้นที่ศึกษา

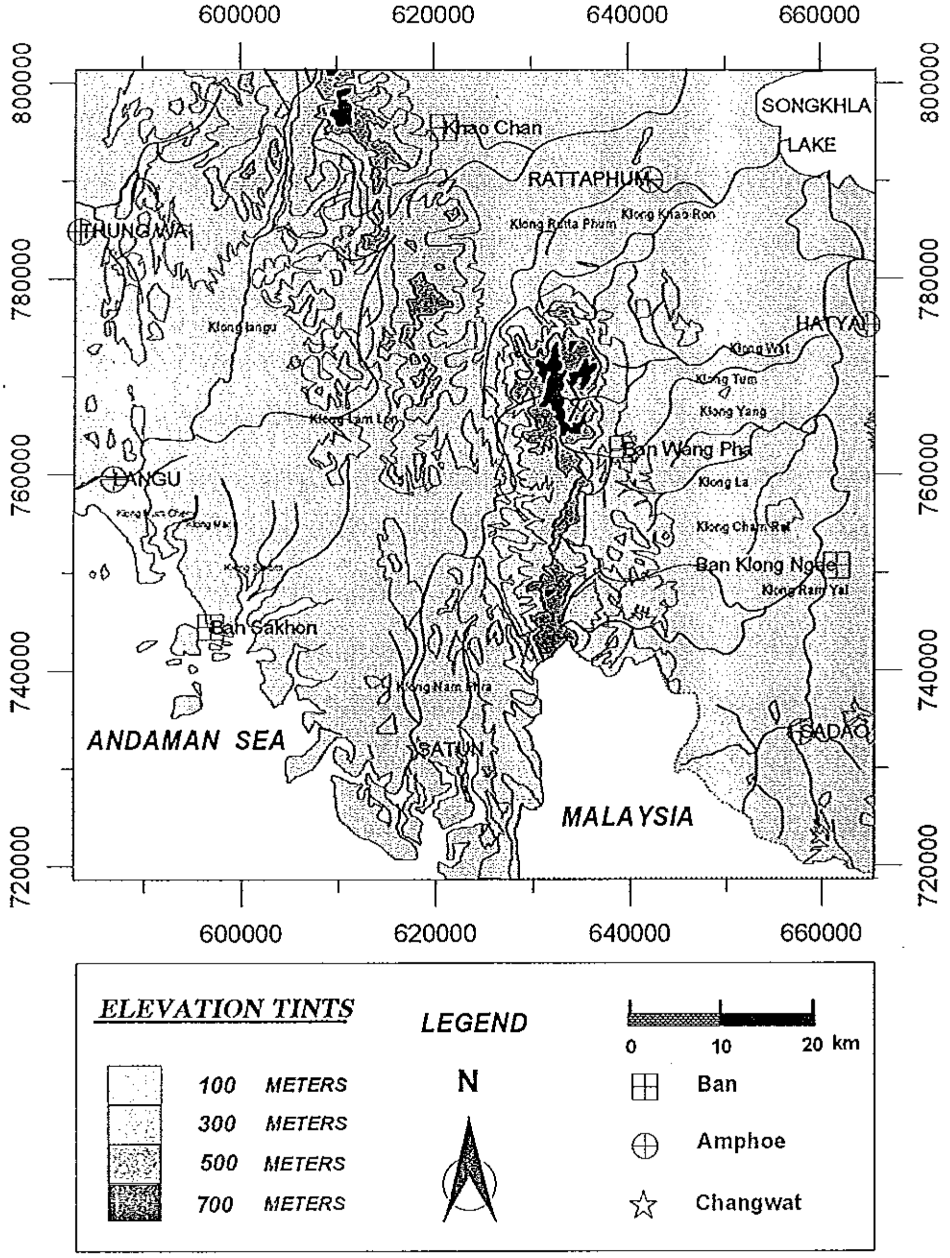


ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่เป็นภูเขาสูงและเนินเขา กับส่วนที่เป็นที่ราบหุบเขา ที่ราบและที่ราบชายฝั่งทะเล

ส่วนที่เป็นภูเขาสูงและเนินเขา ได้แก่ บริเวณที่เป็นภูเขาสูงและเทือกเขาต่อเนื่องกันไปเป็นแนวครอบคลุมพื้นที่สำรวจประมาณ 60 % ครอบคลุมเนื้อที่ประมาณ 3,400 ตารางกิโลเมตร พบอยู่กลางพื้นที่ศึกษามียอดเขาสูงที่สุดประมาณ 780 เมตร ซึ่งประกอบด้วยเทือกเขาแกรนิต 2 เทือกใหญ่ๆคือ เทือกเขาแก้ว เขาโตนงาช้าง เขาวังพา (เขตจังหวัดสตูล-สงขลา) วางตัวเป็นแนวยาวในแนวเหนือ-ใต้ โดยด้านเหนือ-ตะวันออกของเทือกเขาเริ่มตั้งแต่ตอนใต้ของอำเภอรัตภูมิ ผ่านเขตอำเภอหาดใหญ่ลงไปถึงบริเวณอำเภอสะเดาจรดชายแดนมาเลเซียส่วนด้านตะวันตกของเทือกเขาผ่านอำเภอควนกาหลง อำเภอเมืองสตูล จังหวัดสตูลจรดชายแดนมาเลเซียมีความยาวประมาณ 38 กิโลเมตร กว้าง 8-10 กิโลเมตร และเทือกเขากระช่องหรือเทือกเขาพับผ้า (เขตจังหวัดสตูล-สงขลา-พัทลุง-ตรัง) วางตัวเป็นแนวยาวเริ่มตั้งแต่ด้านตะวันตกของอำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา และด้านทิศเหนือของอำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูลต่อเนื่องไปยังจังหวัดตรังและจังหวัดพัทลุง ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ ยาวประมาณ 100 กิโลเมตร กว้างประมาณ 5 - 10 กิโลเมตร

ส่วนที่เป็นที่ราบหุบเขา ที่ราบ ที่ราบชายฝั่งทะเล ประกอบด้วยที่ราบหุบเขา ที่ราบ ที่ราบน้ำขึ้นถึง ที่ราบริมฝั่งแม่น้ำ และป่าชายเลน ครอบคลุมเนื้อที่ประมาณ 2,200 ตารางกิโลเมตร ซึ่งประกอบด้วยทางน้ำใหญ่และเล็กมากมาย ลักษณะทางน้ำทั่วไปเป็นลำธารสายสั้นๆ ไหลจากเทือกเขาลงสู่ที่ราบ ทางน้ำที่สำคัญ ได้แก่ คลองละงู คลองลำโลนโดยไหลมาจากลำห้วยในบริเวณหุบเขาตอนเหนือของบริเวณสำรวจแล้วไหลสู่ทางใต้ผ่านที่ราบลุ่มของอำเภอละงู ลงสู่ทะเลบ้านปากบาราฝั่งทะเลอันดามัน ส่วนพื้นที่ทางด้านตะวันออกของแนวเทือกเขาแกรนิต มีแม่น้ำหลายสายที่ไหลจากหุบเขา ที่ราบหุบเขาลงสู่ที่ราบและไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา ทางน้ำสายสำคัญ ได้แก่ คลองอู่ตะเภา คลองรัตภูมิ คลองบางกล่ำ คลองเขาร้อน คลองต่ำ คลองลา เป็นต้น (ภาพประกอบ 2)

ภาพประกอบ 2 ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา



ลักษณะภูมิอากาศ (Climate) บริเวณที่ทำการสำรวจประกอบด้วยพื้นที่ชายฝั่งด้านตะวันออกและชายฝั่งด้านตะวันตกโดยจังหวัดสตูลเป็นส่วนหนึ่งของชายฝั่งทะเลด้านตะวันตกของแหลมไทยตอนใต้ จึงมีภูมิอากาศป่ามรสุมในเขตร้อน (Tropical monsoon forest) อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกและมีฝนตกชุก ลมมรสุมที่พัดผ่านบริเวณนี้ ได้แก่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งพัดจากทะเลอันดามันผ่านไปยังอ่าวไทย เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม ส่วนมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่านตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคม ซึ่งเป็นหน้าแล้งหรือเป็นช่วงที่มีฝนตกน้อยที่สุด ในบริเวณนี้ปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดผ่านประมาณ 2,000 มิลลิเมตรต่อปี(ธวัชชัย เอี่ยมไพโรจน์,2522)

ส่วนจังหวัดสงขลา เป็นจังหวัดที่อยู่ชายฝั่งด้านตะวันออกของแหลมไทยตอนใต้จึงมีภูมิ-อากาศในเขตร้อนชื้น มีเพียง 2 ฤดูเท่านั้น คือ ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน มีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดจากทะเลอันดามันผ่านไปยังอ่าวไทย ทำให้มีภูมิอากาศแห้งแล้ง อุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อยเฉลี่ยประมาณ 26.6 องศาเซลเซียส ในเดือนเมษายนซึ่งร้อนจัดที่สุดมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 35 องศาเซลเซียส มีลมอ่อนเฉลี่ย 5.5 น็อต ทะเลเรียบถึงมีคลื่นเล็กน้อย ส่วนฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคม มีมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันออก ซึ่งมีความกดอากาศสูงพัดเข้ามา โดยนำไอน้ำเข้ามาเป็นปริมาณมากและตลอดเวลา ทำให้ฝนตกและตกชุกในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม และค่อยๆน้อยลงในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคมตามลำดับ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 123.7 มม.ต่อเดือน อุณหภูมิลดลงโดยเฉพาะในช่วงอากาศเย็นในเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคมมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดประมาณ 23.0 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์สูง (Chaimanee and Tiyapirach , 1983)

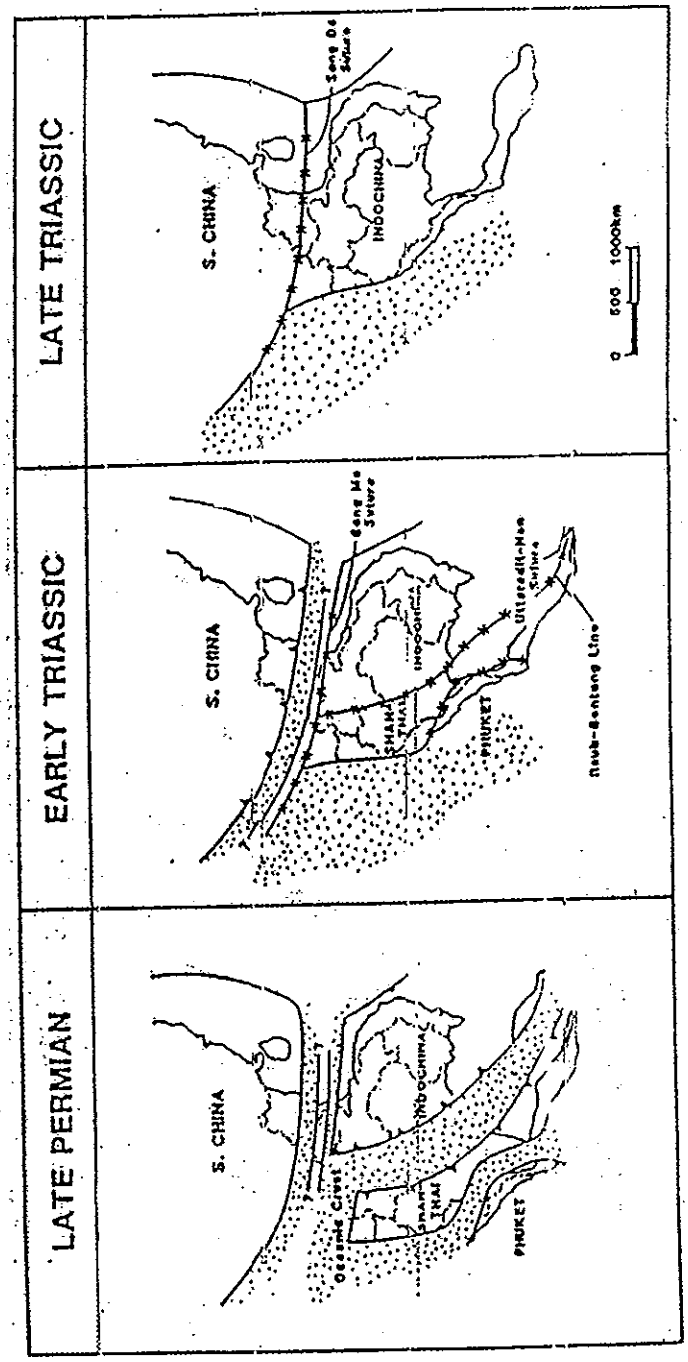
การตรวจเอกสาร

ธารา เล็กอุทัย (2537) กล่าวว่า แผ่นอนุทวีป หรือ Tectonic framework ของเอเชียตะวัน-ออกเฉียงใต้สามารถแบ่งออกเป็นแผ่นอนุทวีปเล็กๆ 3 แผ่น คือ (1) แผ่นอนุทวีป South china block ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือ (2) แผ่นอนุทวีป Indochina block ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันออก โดยประกอบด้วยหินตะกอนของ Khorat mega sequence มีอายุอยู่ในช่วงมหายุคมีโซโซอิก และลานหินคาร์บอเนต ซึ่งมีอายุในช่วงยุคเพอร์เมียนและตะกอนเศษหินน้ำลึก และ (3) แผ่นอนุทวีป Shan-Thai block ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันตกประกอบด้วยดินแดนของพม่าทางฝั่งตะวันออกรวมทั้งฝั่งตะวันตกของประเทศไทยและแหลมมาลายูด้านตะวันตก ประกอบด้วยหินพวก Granitiods และ Gneiss มีอายุอยู่ในช่วงมหายุคพาลีโอโซอิกและมหายุคมีโซโซอิก (ภาพประกอบ 3)

ภาพประกอบ 3 แผ่นอนุทวีปของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

(The Plate Tectonic reconstruction for Southeast Asia)

(ที่มา : ธารา เล็กอุทัย,2537)



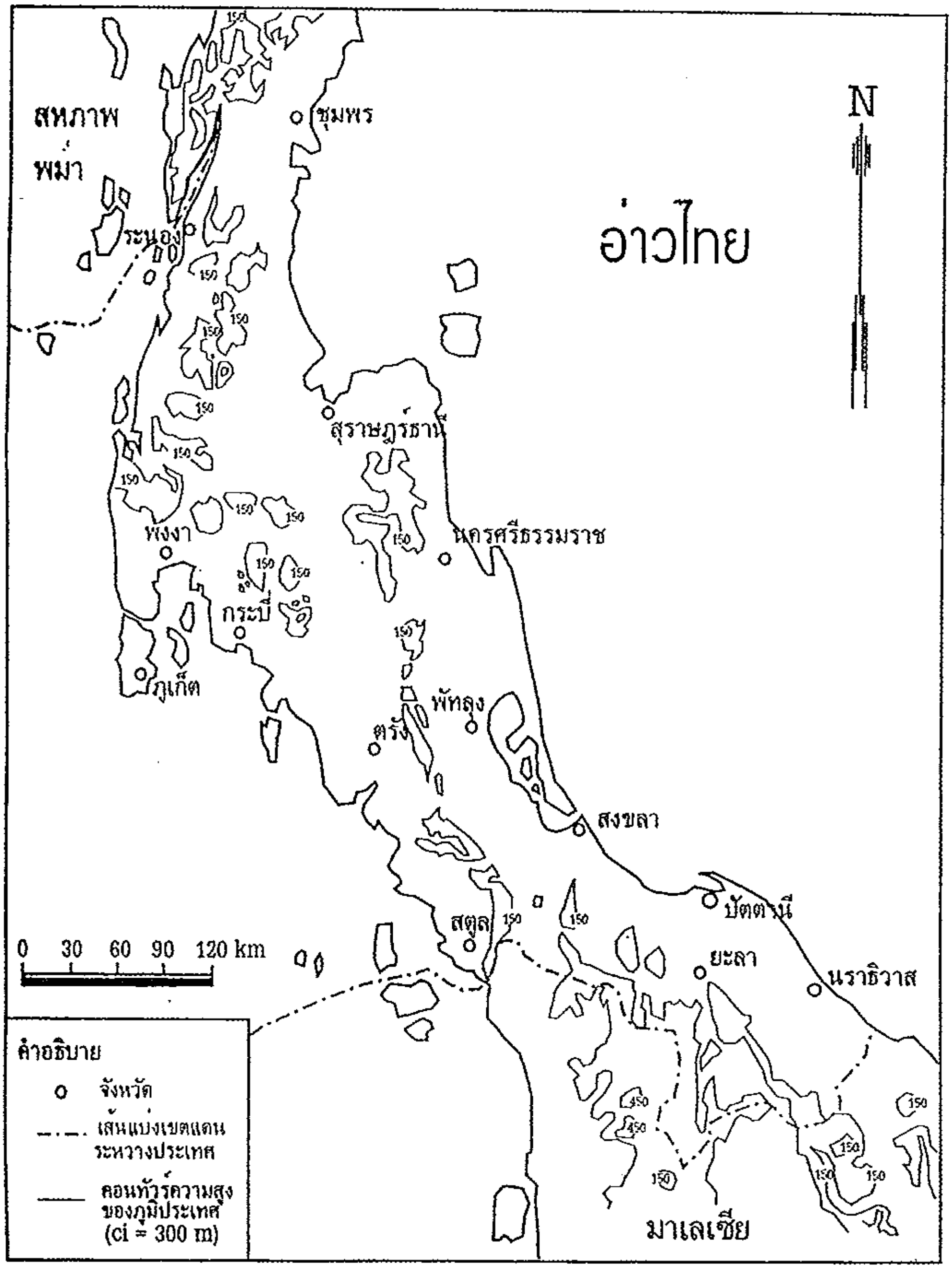
แสงอาทิตย์ เชื้อวิโรจน์ (2534) กล่าวว่า ธรณีวิทยาของประเทศไทยมีสภาพธรณีวิทยาต่อเนื่องมาจากรัฐฉานในประเทศพม่า ผ่านประเทศไทยต่อไปยังแหลมมาลายูด้านตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศมาเลเซีย โดยมีธรณีวิทยาโครงสร้างประกอบด้วยหินฐานธรณีฉานไทย และหินฐานธรณีอินโดไชนา (Shan-thai and Indochina Cratons) ซึ่งสองทวีปเชื่อมต่อกันที่รอยต่อน่าน (Nan Suture)การวิวัฒนาการของธรณีวิทยาแปรสัณฐาน (Tectonic revolution) มีประวัติมาตั้งแต่มหายุคพรีแคมเบรียนถึงมหายุคพาลีโอโซอิกตอนต้นที่สลับซับซ้อนจากทฤษฎีธรณีวิทยาแปรสัณฐาน(plate tectonics) อธิบายได้ว่า ประเทศไทยปัจจุบันเกิดจากการปะทะกันของหินฐานธรณีฉานไทยกับหินฐานธรณีอินโดไชนาในยุคไทรแอสซิก(Bunopas,1982) ผลจากการปะทะกันทำให้เกิดเทือกเขาตามแนวรอยต่อระหว่างสองทวีปโดยเฉพาะอย่างยิ่งขอบของธรณีฉานไทยที่ถูกดันจนเกิดรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ(thrust fault)ในขณะเดียวกันหินแกรนิตจะแทรกดันตัวขึ้นมาสูงในชั้นเปลือกโลกและหินไรโอไลต์จะแทรกตัดผ่านขึ้นมาด้วย

Bunopas(1982) รายงานว่าจากการศึกษาทางด้านธรณีวิทยาของประเทศไทย ในระหว่างปี พ.ศ. 2483-2494 พบว่าลำหินอัคนี (stock) ปรากฏอยู่ทางตอนเหนือ ตอนกลางของไทย และอ่าวไทยด้านตะวันออก ซึ่งหินอัคนีมวลไพศาล (batholiths) ปรากฏอยู่บริเวณภูเขาทางตะวันตกและคาบสมุทรไทย โดยคาบสมุทรไทยมีรูปร่างแคบมีความยาวประมาณ 1,000 กิโลเมตรจากคอคอดกระถึงคาบสมุทรมาเลเซียตั้งแต่คอคอดกระลงมาตอนใต้ได้แบ่งคาบสมุทรโดยอาศัยสมบัติทางภูมิศาสตร์และธรณีวิทยาออกเป็นคาบสมุทรไทยตอนกลางและคาบสมุทรไทยตอนใต้ คาบสมุทรไทยตอนกลางมีรูปร่างเป็นครึ่งหนึ่งของสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนซึ่งมีจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี กระบี่ และระนอง ประกอบเป็นมุมทั้งสี่ ส่วนคาบสมุทรไทยตอนใต้หมายรวมถึงตั้งแต่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของกระบี่และสุราษฎร์ธานีไปจนถึงมาเลเซียซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของสงขลาและนราธิวาส (ภาพประกอบ 4)

ปัญญา จารุศิริ และคณะ (2534) ได้รายงานไว้ว่าหินแกรนิตมีอยู่เกือบทั่วประเทศไทย ยกเว้นบริเวณที่ราบสูงโคราช แนวหินแกรนิตแถบภูมิภาคนี้เป็นส่วนหนึ่งของแนวแกรนิตที่พาดผ่านเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งมีความยาวประมาณ 2,500 กิโลเมตร และมีขนาดความกว้างประมาณ 600 กิโลเมตร ที่ทราบกันดีว่าเป็นถิ่นกำเนิดแหล่งแร่โลหะที่ใหญ่ที่สุดและสำคัญที่สุดแห่งหนึ่งของโลก ประมาณว่าแร่ดีบุกที่ผลิตได้จากภูมิภาคนี้มีประมาณสามในสี่ของการผลิตจากทั่วโลก โดยลักษณะของการวางตัวของแนวแกรนิตอยู่ในทิศเหนือ - ใต้ โดยประมาณมีลักษณะไม่ใช่แนวตรงๆ แต่จะโค้งไปมาเล็กน้อย โดยเริ่มต้นจากบริเวณรัฐยูนานทางตอนใต้ของจีนและเข้ามาทางตอนเหนือของพม่าแถบรัฐฉานและทางตะวันตก

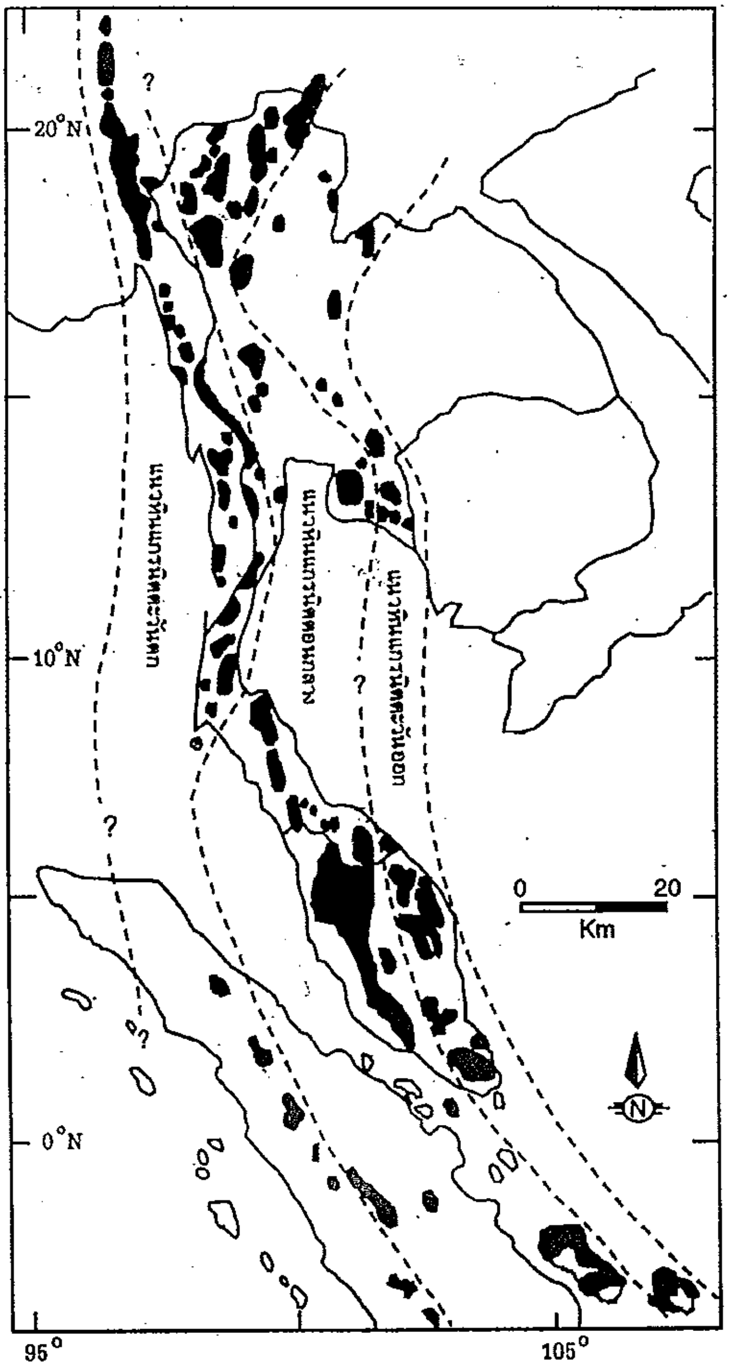
ภาพประกอบ 4 คาบสมุทรไทย

(ที่มา : Lohawijarn,1992)



ภาพประกอบ 5 แนวหินแกรนิตของประเทศไทย

(ที่มา : ปัญญา จารุศิริ และคณะ,2534)



ของหลวงพระบางประเทศลาวแล้วพาดผ่านภาคเหนือของประเทศไทยทั้งหมดและต่อเนื่องลงมาทางใต้ในทางตะวันตกและทางใต้ของประเทศไทยครอบคลุมคาบสมุทรไทย-มาเลเซีย ทั้งหมดและสิ้นสุดบริเวณตะวันตกของประเทศอินโดนีเซียแถบเกาะสุมาตรา(ภาพประกอบ 5)

แนวหินแกรนิตของประเทศไทยและของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แนวโดยอาศัยความแตกต่างของสภาวะแวดล้อมทางธรณีวิทยา ลักษณะสภาพหินแกรนิต และอายุหินแกรนิต ซึ่งได้แก่แนวตะวันตก แนวตะวันออกและแนวกลาง

หินแกรนิตแนวตะวันออก หินแกรนิตในแนวนี้เริ่มต้นจากเกาะบิลลิตัน ประเทศอินโดนีเซียผ่านภาคตะวันออกของมาเลเซีย ไปยังภาคตะวันออกของไทยขนานไปตามขอบของที่ราบสูงโคราชไปสิ้นสุดที่ลาวและทางตอนใต้ของประเทศจีน หินแกรนิตในแนวนี้แทรกซอนขึ้นมาในหินตะกอนและหินตะกอนภูเขาไฟ การแทรกซอนของหินแกรนิตนี้เกิดขึ้นพร้อมๆกับการระเบิดของภูเขาไฟในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ยุคไทรแอสซิก บริเวณที่มีหินแกรนิตแนวนี้อยู่มากคือที่จังหวัดตาก แพร่ น่าน ลำปาง เลย จันทบุรีและจังหวัดนราธิวาส

หินแกรนิตที่กระจายตัวอยู่ในแนวตะวันออกนี้มักแสดงการเปลี่ยนแปลงของหินเป็นแนวๆ (zones) มีตั้งแต่หินแกรนิต "จริงๆ" (true granites) ซึ่งมักอยู่ส่วนกลางของมวลหินอัคนีระดับลึก (plutons) ไปจนถึงพวกที่มีแร่เมฟิก(mafic) มากกว่าซึ่งอยู่ติดกับขอบของมวลหิน เช่น หินควอรตซ์ไดโอไรต์ (Quartzdiorite) และหินแกรโนไดโอไรต์ (Granodiorite)จากการศึกษาทางธรณีเคมีของหินแกรนิตในแนวนี้พบว่าหินพวกนี้จัดอยู่ในประเภทที่เกิดจากการตกผลึกลำดับส่วนหรือการหลอมละลายบางส่วนจากหินหนืด(Magma) ซึ่งเรียกว่า I-type และจัดอยู่ในหินแกรนิตประเภทที่มีแร่แมกนีไทต์อยู่ ที่เรียกว่า Magnetite-Series อายุของหินแกรนิตในแนวตะวันออกนี้พบว่ามีอายุอยู่ระหว่าง 210-245 ล้านปี (ยุคไทรแอสซิก-ยุคเพอร์เมียน)

ปัจจุบัน เชื่อว่าการเกิดหินแกรนิตในแนวนี้มีผลมาจากการที่ ณ ชั่วเวลาประมาณต้นยุคไทรแอสซิก(Triassic) จุลทวีป (microcontinents) อันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของประเทศไทยอันได้แก่ ฉานไทยและอินโดจีน ยังอยู่ห่างกันและแยกออกจากกันด้วยแผ่นเปลือกโลกส่วนที่เป็นมหาสมุทร โดยแผ่นเปลือกโลกส่วนนี้เกิดการมุดตัวลงไปใต้จุลทวีปทั้งสอง ผลของการมุดตัวทางด้านตะวันตกลงไปใต้จุลทวีปฉานไทยและทางตะวันออกใต้จุลทวีปอินโดจีนทำให้เกิดการหลอมละลายบางส่วนของบริเวณเนื้อโลกแถบนั้นและในที่สุดเกิดการดันตัวของหินแกรนิตทำให้เกิดเป็นแนวหินแกรนิตด้านตะวันออก

แนวหินแกรนิตตอนกลาง หินแกรนิตในแนวนี้วางตัวเกือบจะขนานกับแนวแรกและแผ่ปกคลุมประเทศไทยตั้งแต่เหนือจรดใต้ นับได้ว่าครอบคลุมเนื้อที่ประเทศไทยมากที่สุด โดยเริ่มตั้งแต่บริเวณภาคเหนือของประเทศเกือบทั้งหมด ยกเว้นทางทิศตะวันตกของภาคผ่านเรื่อยลงมา

ทางตอนกลางของประเทศ และต่อเลยไปจนถึงคาบสมุทรไทย-มาเลเซีย ผ่านภาคใต้ของประเทศไทยและทางตะวันตกของประเทศมาเลเซียและต่อไปจนสุดที่ตอนเหนือและตอนกลางของเกาะสุมาตรา ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง ลำพูน ชลบุรี ระยอง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี ยะลา และจังหวัดนราธิวาสในภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งแนวแกรนิตนี้แตกต่างจากแนวแกรนิตตะวันออกทั้งในแง่การเกิดและสภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยา กล่าวคือแกรนิตแนวนี้ดันตัวมาอยู่ในหินตะกอนเศษชิ้นซึ่งส่วนใหญ่มีอายุประมาณมหายุคพาลีโอโซอิก

หินแกรนิตในแนวนี้ประมาณมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์จะเป็นหินที่แสดงลักษณะและส่วนประกอบที่จัดว่าเป็นแกรนิตจริงๆ (true granites) ดังนั้นโดยทั่วไปจึงมีส่วนประกอบของแร่เมฟิก (Mafic) เช่น แร่ฮอร์นเบลนด์และแร่ไบโอไทต์อยู่ไม่มากนักเมื่อเทียบกับหินแกรนิตในแนวตะวันออกโดยเฉพาะฮอร์นเบลนด์แทบไม่พบเลย ส่วนแร่มัสโคไวต์จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาทางธรณีวิทยาของหินแกรนิตในแนวนี้พบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการหลอมละลายบางส่วนของหินที่สะสมตัวอยู่เดิมในเปลือกโลกหรือที่เรียกว่า S-type และจัดอยู่ในจำพวกหินแกรนิตที่มีแร่อิลเมไนต์(ilmenite series)ตามวิธีจำแนกของ Ishihara at al .(1979)

จากการศึกษาอายุของหินแกรนิตในแนวนี้ พบว่ามีอายุอยู่ระหว่าง 180-220 ล้านปี (ปลายยุคจูแรสซิก-กลางยุคไทรแอสซิก)

ปัจจุบัน เชื่อว่าแนวหินแกรนิตตอนกลางนี้เกิดจากการหลอมละลายบางส่วนของหินดั้งเดิมที่อยู่ในชั้นเปลือกโลกส่วนทวีปในช่วงอายุประมาณปลายยุคไทรแอสซิกถึงต้นยุคจูแรสซิก อันเป็นผลเนื่องมาจากการชนกันของจุลทวีปฉานไทยและอินโดจีน ทำให้เกิดมวลมหึมาของหินแกรนิตประเภท S-type ขึ้นทำให้เกิดบรรพตมาลา (mountain chains) ใหญ่น้อยในแนวเหนือ-ใต้ ส่วนการเกิดแกรนิตประเภท I-type เชื่อว่าน่าจะมาจากการคลายตัวของเปลือกโลกหลังจากเกิดการชนกัน

หินแกรนิตแนวตะวันตก หินแกรนิตในแนวนี้มีลักษณะการวางตัวอยู่ในทิศเหนือ-ใต้ และวางตัวเกือบขนานกับแกรนิตแนวอื่นๆ ในบริเวณแถบแม่ลามา จังหวัดแม่ฮ่องสอนทางตอนเหนือ แถบปิล๊อก จังหวัดกาญจนบุรี ทางตอนกลางในประเทศไทยและตั้งแต่ระนองถึงภูเก็ตทางตอนใต้ของประเทศ หินแกรนิตแนวนี้ในประเทศไทยจะดันตัวขึ้นมาอยู่กับหินข้างเคียงจำพวกหินตะกอนเศษชิ้นที่มีอายุประมาณยุคเพอร์เมียนถึงคาร์บอนิเฟอรัสและไม่พบปะปนอยู่กับหินภูเขาไฟหรือหินตะกอนภูเขาไฟซึ่งเหมือนกับแกรนิตในแนวกลางของประเทศ หินแกรนิตในแนวนี้เหมือนกับหินแกรนิตในแนวกลางคือ มีแร่ฮอร์นเบลนด์น้อยมากแต่จะพบแร่ไบโอไทต์และ

มัสโคไวต์มากมายปริมาณของแร่ควอรตซ์และแร่เฟลด์สปาร์ก็มากมายเช่นกัน จากการศึกษาทางธรณีเคมีของหินแกรนิตในแนวนี้พบว่า 98 เปอร์เซ็นต์ของหินแกรนิตในแนวนี้เป็นแกรนิตประเภท S-type หรือ ilmenite-series เป็นส่วนใหญ่

สำหรับอายุของหินแกรนิตในแนวนี้มีอายุประมาณ 80-55 ล้านปี(ปลายยุคครีเทเชียส-กลางยุคเทอร์เชียรี)

ปัจจุบัน เชื่อว่าการเกิดหินแกรนิตในแนวนี้โดยส่วนใหญ่มีผลเนื่องมาจากการหลอมละลายของหินดั้งเดิมในชั้นเปลือกโลกส่วนทวีป อันเป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลการชนกันระหว่างจุลทวีปฉานไทยและจุลทวีปพม่าตะวันตกทำให้เกิดการผลักดันของมวลหินแกรนิตประเภท S-type ส่วนแกรนิตประเภท I-type อาจมีผลมาจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกส่วนมหาสมุทรลงไปใต้จุลทวีปขณะมีการชนกัน

Tulyatid (1995) รายงานว่า แกรนิตเทือกเขาวังพาและเทือกเขากระช่องโดยทั่วไปจะมีผลึกของ K-เฟลด์สปาร์เป็นส่วนประกอบและเป็นแกรนิตประเภท S-type ซึ่งจะเป็นแหล่งรวมตัวของแร่ดีบุก(SnO_2) ลักษณะการรวมตัวของหินประกอบด้วยผลึกของ K-เฟลด์สปาร์ และมีการเรียงตัวกันเป็นสายเล็กๆของโอลิโกเคลส-แอนดีซีน,เฟลด์สปาร์,ไบโอไทต์,มัสโคไวต์ที่มีคลอไรต์แทรกอยู่, เพทาย(zircon), อะพาไทต์(apatite), แอลลาไนต์(allanite) และสฟีน(sphene) เป็นแร่ประกอบ โดยลักษณะของเนื้อหินแกรนิตจะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ส่วนที่เป็นผลึกเม็ดหยาบ (coarse-grained)มีเนื้อดอก(porphyritic)ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไบโอไทต์และมีมัสโคไวต์ปน (biotite+muscovite granite) และส่วนที่เป็นผลึกละเอียด-ขนาดกลาง(fine-to-medium-grained)ซึ่งส่วนใหญ่เป็นมัสโคไวต์และมีไบโอไทต์ปนมีลักษณะเป็น leucogranite สำหรับลักษณะการแผ่กระจายของ leucogranite จะเกิดขึ้นบริเวณแหล่งแร่และจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าลักษณะของหินแกรนิตเป็น S-type และ ilmenite-series เป็นส่วนใหญ่

Ishihara et al. (1979) รายงานว่าหินแกรนิตในภาคใต้ของประเทศไทยส่วนมากมีส่วนประกอบที่เป็นแร่อิลเมไนต์(ilmenite series) ถึง 91 % โดยจัดเป็นแกรนิตที่แทรกซอนขึ้นมาในระดับลึกส่วนใหญ่มีเนื้อดอก มีอายุจาก Carbo- Jurassic

Ishihara et al. (1980) รายงานว่าหินแกรนิตทางตอนใต้ของคาบสมุทรไทยจัดเป็นหินอัคนีแทรกซอนในระดับลึกมักจะโผล่เป็นพลูตอนเดี่ยวๆปะปนไปกับตะกอนของแร่ดีบุกและวุลแฟรม และส่วนใหญ่เป็นหินอัคนีมวลไพศาลครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 1,800 ตารางกิโลเมตร โดยจัดเป็นแกรนิตจริงๆ และไม่พบหินแกรโนไดโอไรต์ จากการศึกษาถึงสภาพความเป็นแม่เหล็กของแร่ พบว่าประกอบด้วยไบโอไทต์หรือไบโอไทต์-มัสโคไวต์เป็นส่วนใหญ่ แต่ไม่พบแมกนีไทต์

จึงจัดอยู่ในหินแกรนิตจำพวกอนุกรมอิลมีไนต์ลักษณะเป็นหินเนื้อดอกประกอบไปด้วยผลึกโพแทสเซียม เฟลด์สปาร์ เกิดเป็นเป็นริ้วขนานหรือปรากฏตามแนวรอยเลื่อนในแนว N-S เอียงไปทางตะวันออกเล็กน้อยตามทิศของขั้วแม่เหล็กโลก

Sano et al. (1985) ได้ทำการศึกษาหินแกรนิตบริเวณทางภาคใต้ของไทยพบว่ามีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กน้อยกว่า $6.3x10^{-4}$ SI ความหนาแน่นเฉลี่ยของหินแกรนิตบริเวณนี้ประมาณ $2.6x10^{3}$ kg/m^{3} และมีปริมาณกัมมันตภาพรังสีสูงซึ่งได้แก่ปริมาณโพแทสเซียม ยูเรเนียมและทอเรียมมีค่าเฉลี่ยเป็น 5.7% ,46 ppm และ 91 ppm ตามลำดับ

ปัญญา จารุศิริ และคณะ(2534) รายงานว่าการศึกษาอายุของแกรนิตในปัจจุบันโดยวิธี $^{40}Ar/^{39}Ar$ พบว่าหินแกรนิตตามแนวกลางมีอายุระหว่าง 180 - 220 ล้านปี

Pitakpaivan (1969) รายงานเกี่ยวกับการหาอายุของหินอัคนีที่เรียกว่า หินอะดาเมลไลต์ (adamellite) ที่เขารูปช้าง(678511E/788739N) และบ้านน้ำน้อย(669337E/779493N) ของแกรนิตสงขลา โดยใช้วิธี K/Ar จากแร่ไบโอไทต์ของหินทั้งสองบริเวณนี้ทำให้ทราบว่าแกรนิตในบริเวณดังกล่าว มีอายุระหว่าง 181± 6 และ 171± 5 ล้านปี ตามลำดับ

Asnachinda (1978) ได้มีการหาอายุของแกรนิตสงขลาโดยวิธี K/Ar ของแร่ไบโอไทต์ที่บ้านเก้าเส้ง ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมืองสงขลา พบว่ามีอายุตั้งแต่ 181± 6 ล้านปี และที่บ้านน้ำน้อย ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ พบว่ามีอายุตั้งแต่ 171± 5 ล้านปี ซึ่งหินแกรนิตดังกล่าวจัดอยู่ในต้นยุคจูแรสซิก

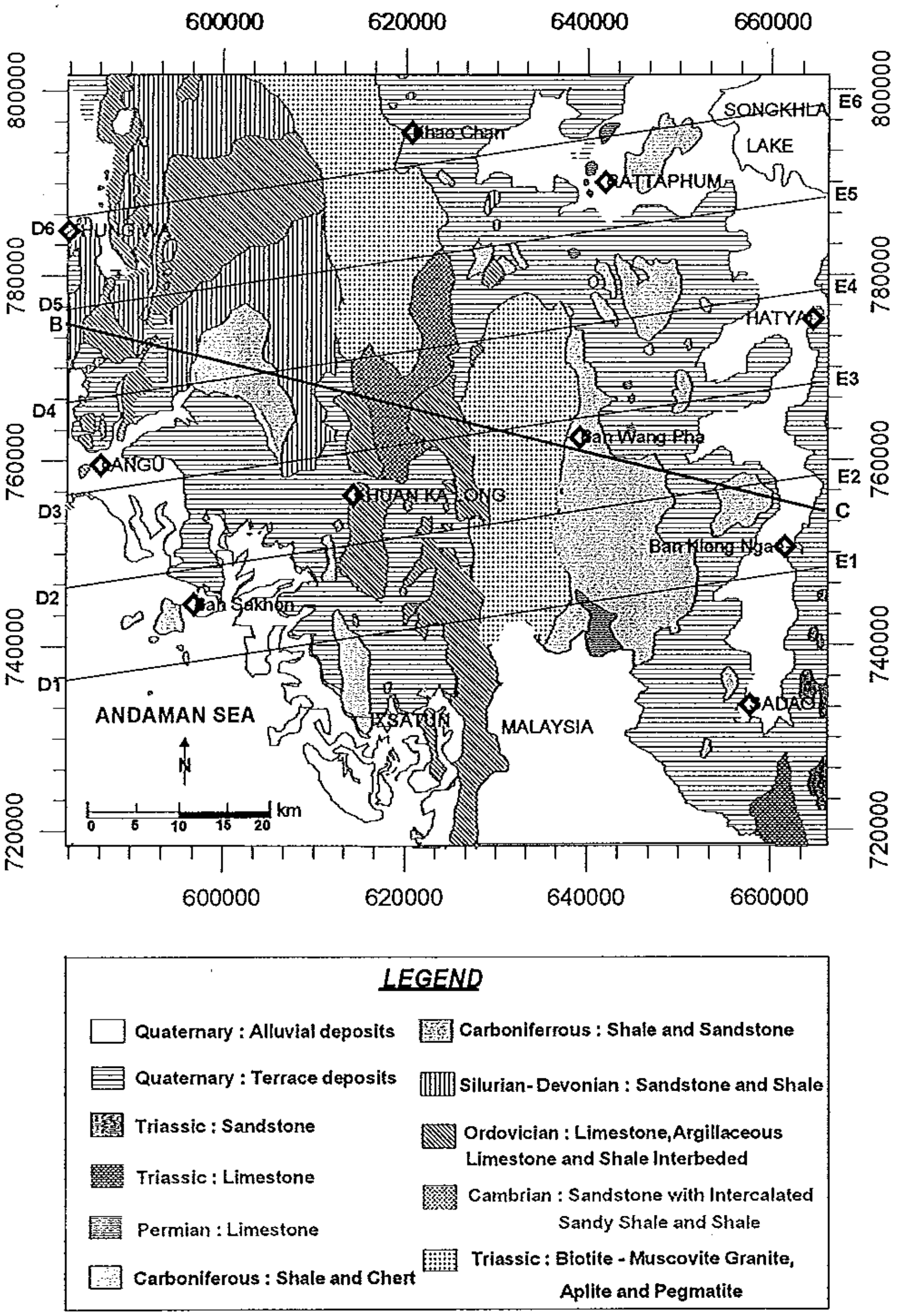
Ishihara at al. (1980) ได้ทำการศึกษาอายุหินโดยวิธี K-Ar ใน Corundum-bearing granite ซึ่งเป็นไบโอไทต์แกรนิตสีน้ำตาลอ่อน จากเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์(668314E/765668N)พบว่ามีอายุตั้งแต่ 191± 6 ล้านปี และใช้วิธีเดียวกันหาอายุของมัสโคไวต์ในทัวร์มาลีน-มัสโคไวต์และควอรตซ์ จากเหมืองวังพา (636652E/761835N) พบว่ามีอายุตั้งแต่ 187± 6 ล้านปี ซึ่งใกล้เคียงกับอายุของบริเวณที่พบซาก Daonella จึงสรุปว่าแกรนิตน่าจะแทรกตัวขึ้นมาในช่วงเวลาใกล้เคียงกับอายุของ K-Ar คือ ตอนปลายของยุคไทรแอสซิก - ต้นยุคจูแรสซิก

1.ธรณีวิทยา

ธรณีวิทยาโดยทั่วไปของจังหวัดสตูลและสงขลา ประกอบไปด้วยชั้นหินที่มีอายุแตกต่างกันตั้งแต่หินอายุมากที่สุดคือหินแคมเบรียนถึงตะกอนที่มีอายุอ่อนที่สุด คือ ตะกอนควาเทอร์นารี (กรมทรัพยากรธรณี,2528 และ ธงชัย พึ่งรัศมี,2532) (ภาพประกอบ 6)

ภาพประกอบ 6 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

(ที่มา : ดัดแปลงจากแผนที่ธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี,2528)



หินแคมเบรียน เป็นหินตะกอนที่สะสมตัวในยุคแคมเบรียน (570-500 ล้านปี) เรียกกันว่ากลุ่มหินตะรุเตา สีน้ำตาลแกมแดง น้ำตาลแกมเหลือง เป็นชั้นหนาถึงบาง มีไมกาปนได้แก่ หินทรายควอรตซ์เนื้อละเอียดถึงปานกลาง สีขาว การคัดขนาดชั้นเลว เป็นชั้นหนา หินทรายแป้ง สีเทาอ่อนแกมเขียว หินดินดาน สีน้ำตาลแกมแดง มีซากชิ้นส่วนไทรโลไบต์ แบรคิโอพอด หินทัฟฟ์ซึ่งมีควอรตซ์ขนาด 2 มม.ในเนื้อพื้นเม็ดละเอียด สีเทาแกมเขียวสลับ บางบริเวณหินทรายและหินทรายแป้งแปรสภาพเป็นหินควอร์ตไซต์ สีเทาอ่อนแกมเขียว

หินแคมเบรียนโผล่ให้เห็นในบริเวณอำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล และอำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา เช่น ที่เขาใครทางเข้าน้ำตกธาราสวรรค์ (615500E/764800N) เขาทางตะวันออกของควนกาหลง (617500E/758700N) เขาสูง 534 เมตร (623500E/767600N) และเขาทางตะวัน-ตกของทางหลวงฯ หมายเลข 406 (623000E/771000N)

หินออร์โดวิเชียน เป็นตะกอนที่สะสมตัวในยุคออร์โดวิเชียน (500-435 ล้านปี) เรียกกันว่ากลุ่มหินทุ่งสง ประกอบด้วยหินปูนเป็นส่วนใหญ่ เนื้อละเอียด สีเทา เทาดำ เทาแกมเขียว น้ำเงินแกมเทาและชมพู ชั้นหนาตั้งแต่ 2 มิลลิเมตรถึงหลายเมตร สลับกับหินปูนเนื้อดินและหินดินดานในช่วงล่างมีซากเซพฟาโลพอดและแบรคิโอพอดจำนวนมาก บางแห่งเป็นหินปูนเนื้อโดโลไมต์ เช่น ที่เขาวัง (628500E/780000N)

หินออร์โดวิเชียนโผล่ เป็นทิวเขาในแนวเหนือ-ใต้ ที่อำเภอละงู อำเภอควนกาหลงอำเภอเมืองสตูล จังหวัดสตูล และอำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา เช่น ที่เขาแดง เขาขาว ใกล้ตัวอำเภอละงู เขาควนกาหลง(616000E/759500N) ควนสิเต็น(622000E/762000N) เขาแดง(624500E/757000N) และเขาสอยดาว (626500E/771000N)

หินไซลูเรียน-ดีโวเนียน เป็นหินตะกอนที่สะสมตัวในยุคไซลูเรียนและดีโวเนียน (435-345 ล้านปี) เป็นหมวดหินกาญจนบุรีซึ่งอยู่ในกลุ่มหินตะนาวศรี ประกอบด้วยหินทราย เนื้อละเอียดถึงปานกลาง สีขาว สีน้ำตาลแกมแดง สีน้ำตาลแกมเหลือง สีเทาแกมเขียวถึงเทาเข้ม หินดินดาน หินดินดานเนื้อทรายและเนื้อปูน มีซากแกรบโตไลต์และเทนตะกูไลต์และบางแห่งมีหินปูนเป็นเลนส์แทรก

หินไซลูเรียน-ดีโวเนียน โผล่ในบริเวณหมู่เขาทางตะวันออกของบ้านทุ่งนุ้ย อำเภอควน-กาหลง (625000E/758500N) และควนหินผุด ควนช่องขาดที่บ้านสีสอน อำเภอรัตภูมิ(630400E/780000N)และ (630300E/781500N) เป็นต้น

หินคาร์บอนิเฟอรัส เป็นหินตะกอนที่สะสมตัวในยุคคาร์บอนิเฟอรัส (354-280 ล้านปี)จัดเป็นหมวดหินแก่งกระจาน ซึ่งอยู่ในกลุ่มหินตะนาวศรี ประกอบด้วย หินดินดาน สีน้ำตาล

สีน้ำตาลแกมแดง สีเทา สีเทาอ่อน สีเทาดำ สีเทาแกมเขียว สลับกับหินทราย หินทรายแป้ง และหินเชิร์ต โดยหินเชิร์ตเป็นชั้นหนา 1-15 เซนติเมตร ที่บ้านห้วยโอน หรือเป็นกระเปาะ บางแห่งมีโคลนสีเทาดำ หินชนวน หินฮอร์นเฟลส์ และหินควอร์ตไซต์ กับซากแบรคิโอพอด พิลิไซพอด ไทรโลไบต์

หินคาร์บอนิเฟอรัสโผล่ในเขตอำเภอรัตภูมิ และอำเภอควนเนียง เช่น บริเวณหมู่เขาสองฟากทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 4 ใกล้หมู่บ้านห้วยโอน (641000E/779400N) หมู่เขาทางตะวัน-ออกของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 406 ตั้งแต่สี่แยกคูหาถึงบ้านควนเนียง

หินเพอร์เมียน เป็นหินตะกอนที่สะสมตัวในยุคเพอร์เมียน(280-230 ล้านปี) เรียกว่า กลุ่มหินราชบุรี ประกอบด้วยหินปูน สีเทาอ่อนถึงสีเทาเข้ม สีขาว สีเทาแกมน้ำเงิน และสีเทาดำ ชั้นหินบางถึงชั้นหนามาก เช่น ที่เขาจังโหลน อำเภอรัตภูมิ หนา 1 - 2 เมตร มีสายแร่แคลไซต์ และหินเชิร์ตแทรกเป็นสายเล็กๆ หรือเป็นกระเปาะ บางแห่งมีหินโดโลไมต์เนื้อปูน และหินโดโลไมต์สีเทา สีเทาแกมน้ำตาล และสีน้ำตาลแกมเหลือง แทรกอยู่ ชั้นหินบางถึงชั้นหนามาก เช่น ที่เขารักเกียรติ อำเภอรัตภูมิ (ทางหลวงหมายเลข 4 กิโลเมตร ที่ 28-29) พร้อมซากฟูซูลินิค แบรคิโอพอด และไครนอยด์

หินเพอร์เมียนโผล่เป็นเขาโดดในเขตอำเภอรัตภูมิ เช่น ที่เขาคูหา(642000E/795000N)ที่เขารักเกียรติ (638000E/782000N) และที่ถ้ำนางพญางูขาว เขตอำเภอสะเดา ติดกับชายแดนมาเลเซีย (640000E/740000N)

หินไทรแอสซิก เป็นหินตะกอนที่สะสมตัวในยุคไทรแอสซิก(230-141 ล้านปี) จัดอยู่ในกลุ่มหินลำปาง ประกอบด้วยหินทราย สีแดง สีน้ำตาลแกมแดง และสีม่วงแดง เนื้อปานกลางถึงเนื้อหยาบ เนื้อประสานด้วยซิลิกา หินดินดาน สีน้ำตาลแกมแดงและหินกรวดมน

หินไทรแอสซิก โผล่ให้เห็นทางด้านตะวันออกของทางหลวงหมายเลข 4 ในเขตอำเภอสะเดา

ตะกอนควาเทอร์นารี คือ พวกดิน ทราย กรวด และเศษหินขนาดต่างๆ ที่ถูกพัดพามาสะสมโดยธารน้ำ คลื่นตามชายฝั่งทะเล ลม หรือการเคลื่อนที่ของมวลในยุคควาเทอร์นารี (1.8 ล้านปี - ปัจจุบัน) ตะกอนควาเทอร์นารีพบตามชายฝั่งทะเล สันทราย หาดทราย ที่ราบรอบทะเลสาบสงขลา ที่ราบลุ่มน้ำต่างๆ และที่ราบเชิงเขา

หินอัคนี ที่พบในบริเวณนี้เป็นหินอัคนีแทรกซอน ได้แก่ หินไบโอไทต์แกรนิต ยุคไทรแอสสิก-จูแรสซิก (230-141 ล้านปี) เป็นแกนของเทือกเขา 2 เทือก คือ เทือกเขาแก้วหรือเทือกเขาวังพา (เขตจังหวัดสตูล-สงขลา) ซึ่งวางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ และเทือกเขากระช่อง

หรือเทือกเขา(เขตจังหวัดสตูล-สงขลา-พัทลุง-ตรัง) ซึ่งวางตัวอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ หินอัคนีแทรกซอนชนิดอื่น ได้แก่ หินเพกมาไทต์ หินแอไพลต์ และสายแร่ควอรตซ์ ทั้ง 3 ชนิดนี้จะแทรกเป็นสายในหินไบโอไทต์แกรนิต บางชนิดอาจพบแทรกอยู่ในหินชนิดอื่นที่มีอายุแก่กว่า

หินไบโอไทต์แกรนิตโผล่ชิดทางหลวงหมายเลข 406 ที่บริเวณ กม.ที่ 32 (627600E / 775800N) และที่น้ำตกบริพัตรในเขตอำเภอรัตภูมิ (627500E/773000N) หินชนิดนี้จะพบขนานไปกับแนวทางหลวงหมายเลข 406 ตั้งแต่ กม.31-41(เส้นทางรัตภูมิ-สตูล)

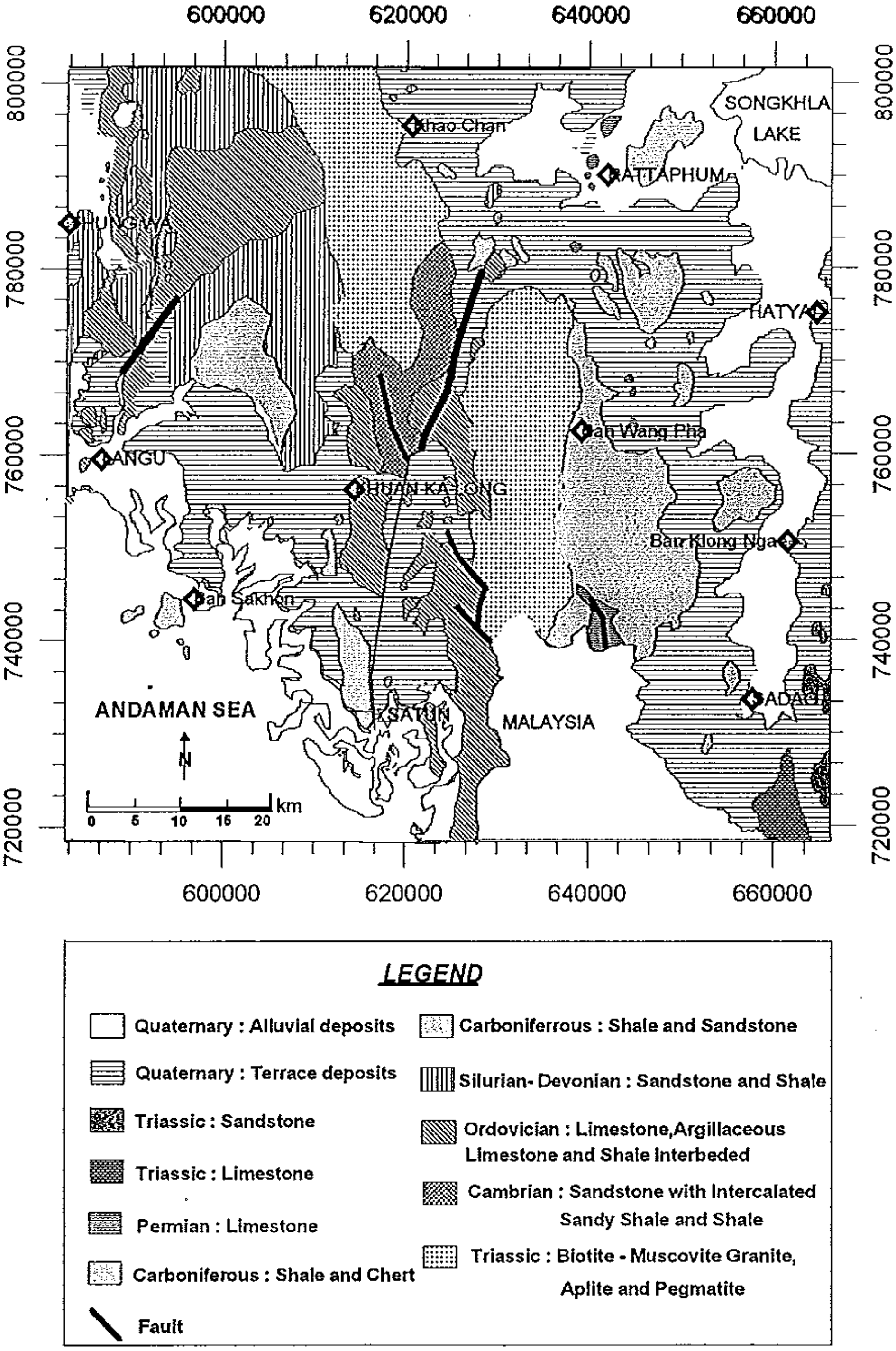
2.โครงสร้างทางธรณีวิทยา

ธงชัย พึ่งรัศมี (2532) รายงานว่า โครงสร้างทางธรณีวิทยาโดยทั่วไปอยู่ภายใต้อิทธิพลการแทรกซอนของหินแกรนิต ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไบโอไทต์แกรนิต เนื้อหินดอก เม็ดหยาบ ยุคไทรแอสซิก-จูแรสซิก(230-141 ล้านปี) เป็นแกนของเทือกเขา 2 เทือก คือ เทือกเขาแก้วหรือเทือกเขาวังพา (เขตจังหวัดสตูล-สงขลา) อยู่ในแนวเหนือ-ใต้ กว้างประมาณ 8-10 กิโลเมตร ยาวประมาณ 38 กิโลเมตร และเทือกเขากระช่องหรือเทือกเขาพับผ้า(เขตจังหวัดสตูล-สงขลา-พัทลุง-ตรัง) อยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ กว้างประมาณ 5-10 กิโลเมตร ยาวประมาณ 100 กิโลเมตรโดยหินอัคนีแทรกซอนนี้จัดเป็นหินอัคนีระดับลึกดันแทรกขึ้นมาในหินชุดคาร์บอนิเฟอรัสหินชุดแคมเบรียนซึ่งเป็นหินตะกอนที่มีอายุแก่กว่า ทำให้เทือกเขาอยู่ในแนว N-S และ W/N - E/S

รอยเลื่อนที่สำคัญ รอยเลื่อนสำคัญที่สามารถศึกษาได้จากแผนที่ธรณีวิทยาของ กรมทรัพยากรธรณี และตรวจพบในการสำรวจ(ธงชัย พึ่งรัศมี,2532) ในเขตอำเภอละงูตอนเหนือมีรอยเลื่อน แนวประมาณ N40°E ในหินออร์โดวิเชียนยาวประมาณ 7 กิโลเมตร ในเขตอำเภอควนกาหลง มีรอยเลื่อนในหินแคมเบรียน แนวประมาณ N10°E ยาวประมาณ 10 กิโลเมตร ในบริเวณใกล้กันในเขตอำเภอรัตภูมิ มีรอยเลื่อนแนว N25°E ตรงรอยสัมผัสของหินแคมเบรียนและหินออร์โดวิเชียน ยาวประมาณ 7 กิโลเมตร บริเวณอุทยานแห่งชาติทะเลบันอยู่ในรอยเลื่อน แนว N25°- 30°W ยาวไม่น้อยกว่า 7 กิโลเมตร ระหว่างหินปูนออร์โดวิเชียนกับหินแกรนิต และที่เขาจังโหลน อำเภอรัตภูมิมีรอยเลื่อนในหินเพอร์เมียนแนว N 40°E ยาวประมาณ 2.5 กิโลเมตร (ภาพประกอบ 7)

ภาพประกอบ 7 โครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

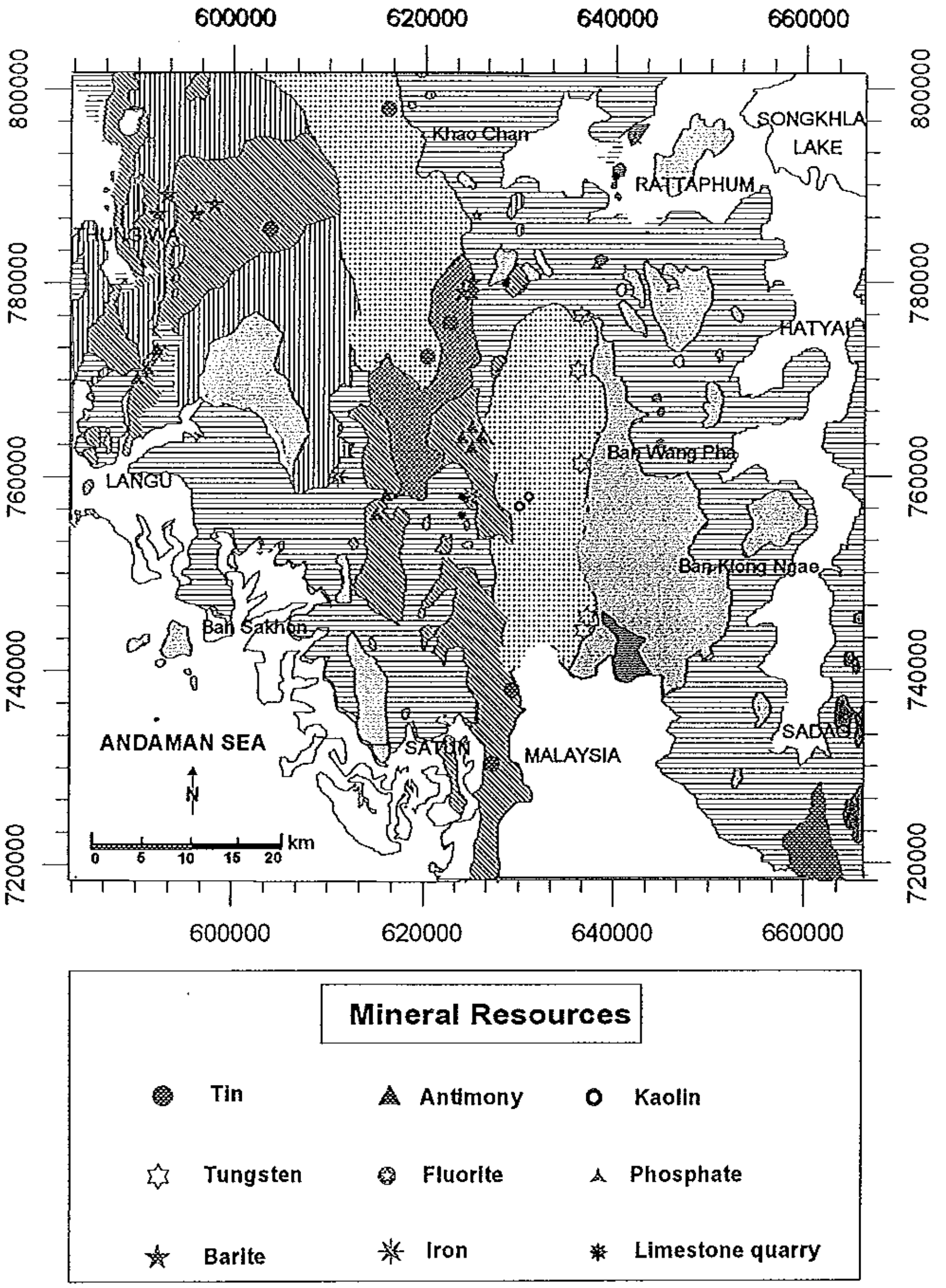
(ที่มา : ดัดแปลงจากแผนที่ธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี,2528)



CENTRAL LIBRARY
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY

ภาพประกอบ 8 ตำแหน่งแหล่งแร่ต่างๆ

(ที่มา : ธงชัย พึ่งรัศมี, 2532)



3.ทรัพยากรแร่

จากการที่หินฐานธรณีฉานไทยปะทะกับหินฐานธรณีอินโดไชนาทำให้เกิดการแทรกตัวของหินแกรนิตยุคไทรแอสซิก-จูแรสซิก ที่เป็นแหล่งแร่ดีบุกตลอดแนวยาวจากประเทศพม่าทางตะวันตกของประเทศไทย แหลมไทย-มลายูและส่วนตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศอินโดนีเซีย สำหรับแหล่งแร่ต่างๆ เท่าที่มีการตรวจพบในพื้นที่ศึกษา (ธงชัย พึ่งรัศมี,2532) โดยเฉพาะอำเภอรัตภูมิ อำเภอควนเนียงและพื้นที่บางส่วนของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และพื้นที่ทุกอำเภอในจังหวัดสตูล(ไม่รวมหมู่เกาะนอกชายฝั่ง) มีอยู่ 9 ชนิด ได้แก่ ดีบุก วุลแฟลม แบไรต์ พลวง ฟลูออไรต์ ฟอสเฟต ดินขาว เหล็ก และแหล่งหินย่อย ซึ่งแหล่งแร่ต่างๆดังกล่าวมีการแผ่กระจายตามพื้นที่ต่างๆซึ่งแสดงได้ดังรูป (ภาพประกอบ 8)

ส่วนศักยภาพของแร่ในพื้นที่ต่างๆมีดังนี้ คือ บริเวณอำเภอละงูและอำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล ศักยภาพของแร่พลวงในหินออร์โดวิเชียนมีค่อนข้างมาก โดยเฉพาะบริเวณที่มีหินปูนสลับกับหินดินดานและมีรอยเลื่อน บริเวณอำเภอทุ่งหว้า อำเภอควนกาหลง อำเภอรัตภูมิ มีศักยภาพของแบไรต์และฟลูออไรต์ในหินแคมเบรียน โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อกับหินปูนออร์โดวิเชียน บริเวณตอนปลายของเทือกเขากระช่อง เขตอำเภอทุ่งหว้า อำเภอควนกาหลง และอำเภอรัตภูมิ และบริเวณตะวันตกของเทือกเขาแก้ว มีศักยภาพของแร่ดีบุกวุลแฟลม โดยเฉพาะบริเวณรอยสัมผัสของหินแกรนิตกับหินท้องที่ นอกจากนี้จังหวัดสตูลซึ่งมีหินปูนออร์โดวิเชียนอยู่มาก จึงมีศักยภาพของแหล่งหินฟอสเฟสมาก(ธงชัย พึ่งรัศมี,2532)

ยงยุทธ ตรังคชสาร(2523) รายงานว่าแร่ดีบุกและวุลแฟรมบริเวณจังหวัดสงขลามีต้นกำเนิดสัมพันธ์ใกล้ชิดกับหินแกรนิต โดยที่มักจะเกิดอยู่ใกล้เคียงกับบริเวณรอยสัมผัสของหินแกรนิตส่วนบนตอนที่โป่งนูนขึ้นมากับหินที่อยู่ข้างเคียง เข้าใจว่าแร่เกิดในช่วงภายหลังหินแกรนิตแข็งตัวหรือกำลังแข็งตัวโดยสารละลายร้อนหรือแก๊สที่เหลืออยู่ซึ่งมีธาตุดีบุกและวุลแฟรมรวมอยู่ด้วย ถูกนำพาขึ้นมาตามรอยแตกของหินที่แข็งตัวแล้ว ธาตุที่อยู่ในสภาพแก๊สหรือสารละลายร้อนนั้นบางส่วนก็ฟุ้งผ่านหินแกรนิตเข้าไปตกผลึกเป็นสายควอรตซ์ล้วนๆ และสายควอรตซ์ที่มีแร่ดีบุกหรือปนกับแร่วุลแฟรมอยู่ในรอยแตกของหินข้างเคียง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินทราย หรือหินควอรตซ์ไซต์ในส่วนที่ถูกแปรสภาพโดยความร้อนจากหินแกรนิต แต่แร่ดีบุกและแร่วุลแฟรมบางส่วนจะเกิดร่วมกับสายควอรตซ์ หรือเกิดฝังประในหินแกรนิต ต่อมาเมื่อหินข้างเคียงหรือหินแกรนิตที่มีแร่ดีบุกและวุลแฟรมเกิดการผุพัง สายควอรตซ์ที่มีแร่ซึ่งมีความทนต่อการผุพังได้ดีกว่าหินที่มันแทรกตัวอยู่ก็จะตกหลุดออกมาจากสายเดิม และบางส่วนของแร่ดีบุกและแร่วุลแฟรมจะแตกหลุดออกมาจากสายควอรตซ์ พวกแร่และหินเหล่านี้จะถูกพัดพาไปสู่ที่ต่ำกว่าเกิดเป็นแหล่งแร่พลัดตกตามท้องห้วยในที่ใกล้ๆต้นกำเนิดเดิม เมื่อถูกพัดพาไกลออกไป

ขนาดของเม็ดแร่และก้อนหินก็จะถูกทำให้แตกเล็กลงและเปลี่ยนเป็นกลมมนยิ่งขึ้น แร่วุลแฟรมซึ่งถูกทำให้ผุพังได้ง่ายกว่าก็จะสลายเปลี่ยนสภาพไปยังคงเหลือแต่แร่ดีบุกซึ่งมีน้ำหนักมากถูกนำไปสะสมตัวในชั้นล่างของห้วยลำธารเกิดเป็นชั้นกระสะ สะสมเป็นลานแร่

ธงชัย พึ่งรัศมี(2535) รายงานว่าจังหวัดสงขลามีผลผลิตแร่ดีบุกจัดอยู่ใน 10 อันดับแรกของประเทศ บริเวณที่มีการทำแร่ดีบุกในจังหวัดสงขลามากที่สุดคือบริเวณเทือกแกรนิตลิวงหรือพลูตอนลิวง ซึ่งผลิตได้คิดเป็นร้อยละ 35 ของผลผลิตแร่ดีบุกในจังหวัดสงขลา แร่ดีบุกและวุลแฟรมมีผลผลิตในปี พ.ศ. 2518-2534 จำนวน 6,406 เมตริกตันหรือ 106,766 หาบ และมีมูลค่าไม่น้อยกว่าหนึ่งพันล้านบาท

Jungyusuk and Khositanont (1992) ได้กล่าวไว้ว่าแร่ที่ผลิตได้ในบริเวณนี้นอกจากแร่ดีบุกยังมีแร่อื่นๆที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เช่น วุลแฟรม เป็นต้น โดยแร่ส่วนมากในประเทศไทยมีความสัมพันธ์อยู่กับหินอัคนีแทรกซอนในระดับตื้น

สำหรับการศึกษาทางด้านความถ่วงเพื่อกำหนดขอบเขตหินแกรนิตแทรกซอน (intrusion granite) นั้นได้เคยมีการทำการศึกษามาแล้ว (พวงทิพย์ ร่างเล็ก,2538) เช่น

Bott and Smithson (1967) รายงานว่าเนื่องจากโดยทั่วไปหินแกรนิตมีความหนาแน่นแตกต่างจากหินอื่นๆทำให้เกิดค่าผิดปกติของความถ่วงในขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่ซึ่งสามารถประมาณขนาดรูปร่างได้ จากค่าผิดปกติของความถ่วงทำให้ทราบถึงแกรนิตลึกลงไปอีก 10 กิโลเมตร หรือประมาณ 1 ใน 3 ของความหนาของชั้นเปลือกโลก แกรนิตมีส่วนประกอบภายในแข็งแรง มีความหนาแน่นต่างๆมากมาย และพบว่าแกรนิตตอนกลางมีขนาดใหญ่ บางส่วนหนาบางส่วนบาง บางส่วนสัมพันธ์อยู่กับหินที่มีธาตุเหล็กและแมกนีเซียมประกอบอยู่ การแปลผลค่าผิดปกติด้านความถ่วงซึ่งสามารถใช้ในการศึกษาโครงสร้างหินและปริมาณของหินได้

Al-Rawi and Brooks (1992) ได้ศึกษาความลึกของชั้นเปลือกโลก ซึ่งอยู่ทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศอังกฤษ หินตะกอนภูเขาไฟบริเวณนี้มีอายุมหายุคพาลีโอโซอิก มีหินแกรนิตพลูตอนยุคปลายของคาร์บอนิเฟอรัสซึ่งมีลักษณะแคบและลึกเกิดจากหินอัคนีมวลไพศาล(batholith) แทรกดันตัวขึ้นมาในตะกอนนี้ คาดว่าหินแกรนิตนี้หนาประมาณ 10-15 กิโลเมตร อยู่ลึกประมาณ 13-15 กิโลเมตร จากการศึกษาทางธรณีฟิสิกส์โดยการวัดค่าความถ่วงและความเข้มสนามแม่เหล็กโลกพบว่ามีความหนาประมาณ 6 กิโลเมตร และอยู่ลึก 24-30 กิโลเมตร

Enmark (1980) ได้ศึกษาแกรนิตบริเวณอาวิดจาร์(Arvidsjaur) ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของประเทศสวีเดน ลักษณะพื้นผิวทางธรณีวิทยาของบริเวณนี้เป็นตะกอนภูเขาไฟและหินแกรนิตหินตะกอนบริเวณอาวิดจาร์มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูง จึงเป็นไปได้ที่จะใช้แผนที่การบิน

สำรวจความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในการกำหนดขอบเขตระหว่างหินตะกอนภูเขาไฟและหินแกรนิตและกำหนดความลึก จากการศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาพบว่ามีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25 กิโลเมตร และมีหินแกรนิตอยู่ตรงกลางของโครงสร้างนี้รูปร่างของหินแกรนิตมีลักษณะคล้ายภาชนะอ่างและมีรอยเลื่อนในลักษณะตรงลงไป แต่จากการศึกษาข้อมูลทางธรณี-ฟิสิกส์ได้แก่การวัดค่าความถ่วง ความเข้มสนามแม่เหล็กโลกและศิลาฟิสิกส์พบว่าแกรนิตมีความลึกบริเวณศูนย์กลางมากกว่า มีรูปร่างตรงลงไปและยังสามารถกำหนดรอยเลื่อนที่เกิดขึ้นอยู่ในแนวเฉียงและอยู่ห่างไปจากตำแหน่งเดิมประมาณ 2-3 กิโลเมตร

Enmark and Parasnis (1980) ได้ทำการศึกษาโครงสร้างบริเวณจอร์นบัสตูแทรค (Jorn-Bastutrask) ซึ่งอยู่ทางเหนือของสวีเดน บริเวณนี้มีแกรนิต 2 ชนิดคือแกรนิตจอร์น(Jorn Granite) มีความหนาแน่น 2680 kg/m^3 แกรนิตเรอร์ซันมีความหนาแน่น 2660 kg/m^3 โดยแกรนิตจอร์นมีอายุมากกว่าแกรนิตเรอร์ซัน โครงสร้างทางธรณีวิทยาในพื้นที่นี้มีความลึกมากกว่า 200-300 เมตร จากการศึกษาข้อมูลทางธรณีฟิสิกส์โดยการวัดค่าความถ่วงและนำมาสร้างแบบจำลองของแกรนิตมีทั้งหมด 4 แบบซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลองที่ได้จากการศึกษาข้อมูลทางธรณีวิทยา

Enmark and Nisca (1982) ได้ศึกษาบริเวณแกรนิตเกลลีจาร์ (Gallejaur granite) ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของประเทศสวีเดน จากข้อมูลทางธรณีวิทยาบริเวณแกรนิตเกลลีจาร์นี้ หินแกรนิตจัดอยู่ในมหายุคพรีแคมเบรียน รูปร่างค่อนข้างกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-12 กิโลเมตร รอบๆแกรนิตเกลลีจาร์เป็นหินแกบโบรเรียกว่า เกลลีจาร์แกบโบร(Gallejaur gabbro) จากการศึกษาทางธรณีวิทยาแสดงว่าแกรนิตมีความลึกประมาณ 1 กิโลเมตร มีหินภูเขาไฟชนิดเบสิก (Basic volcanics) เป็นฐานมารองรับหินแกรนิตนี้ สำหรับด้านข้างลึกลงไปใต้ดินเป็นหินตะกอนภูเขาไฟชนิดไรโอลิติก-แอนดีซิติก(Rhyollitic-andesitic volcanics) จากการศึกษาทางด้านธรณี-ฟิสิกส์ได้แก่การวัดความถ่วงและความเข้มสนามแม่เหล็กโลก และการสร้างแบบจำลองพบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับแบบจำลองของข้อมูลทางธรณีวิทยา กล่าวคือ มีลักษณะเป็นรูปเห็ดขนาดใหญ่ มีแร่เหล็กและแมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ส่วนสูงที่สุดมีลักษณะเป็นรูปหมวกแคบๆ มีแร่โมนาไซต์เป็นส่วนประกอบ ความลึกมากที่สุดของโครงสร้างนี้ประมาณ 3.5-4.5 กิโลเมตร แกรนิตอยู่ในระดับตื้นคือลึกประมาณ 250 เมตร มีตะกอนภูเขาไฟชนิดเบสิก(Basic volcanics) และมีหินไรโอไลติก-แอนดีซิติกมารองรับเป็นฐานอีกชั้นหนึ่งและต่อลึกลงไปข้างใต้

นอกจากนี้การบินสำรวจปริมาณกัมมันตภาพรังสีก็เป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งสามารถใช้กำหนดขอบเขตของแกรนิตดังตัวอย่างต่อไปนี้

Tulyatid (1992) ได้ศึกษาบริเวณหัวหิน-ปราณบุรีซึ่งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย ห่างจากกรุงเทพฯ ประมาณ 170-230 กิโลเมตร อยู่ในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และเพชรบุรี ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยหินแปรและหินแกรนิต มีหินตะกอนอายุไซลูเรียน-เพอร์เมียนวางอยู่บนตะหินกอนยุคไทรแอสซิกและมหายุคพรีแคมเบรียน หินแกรนิตแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ หินแกรนิตที่เปลี่ยนไปเป็นหินไนส์ซึ่งมีลักษณะเป็นริ้วขนาน(foliated granite) และแกรนิตที่มีลักษณะไม่เป็นริ้วขนาน(non foliated granite) หินแกรนิตที่มีลักษณะเป็นริ้วขนานมี 3 กลุ่มคือ กลุ่มหุบกะพง(Hub kapong) กลุ่มหัวหิน(Hua Hin) และกลุ่มปราณบุรี(PranBuri)กลุ่มหัวหินและหุบกะพง เป็นชนิด S-type กลุ่มปราณบุรี เป็นชนิด I-type ส่วนหินแกรนิตที่มีลักษณะไม่เป็นริ้วขนานอยู่ทางตะวันตกของแกรนิตพลูตอน เกิดขึ้นจากลำหินอัคนีขนาดเล็ก(stock) รอยเลื่อนในแนว N-S ปรากฏอยู่ทางด้านขวาของพื้นที่ศึกษา ซึ่งอาจเกิดจากเกิดรอยแตกของรอยเลื่อน ระยอง-คลองมะรุยและรอยเลื่อนพาโกดา แหล่งแร่สัมพันธ์อยู่กับหินแกรนิตที่มีลักษณะไม่เป็นริ้วขนานพบอยู่ทางตะวันตกเฉียงเหนือ เช่น ดีบุกและทังสเตนที่ขอบของพลูตอนหุบกะพง นอกจากนี้ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กได้แสดงรอยเลื่อน คือปรากฏความเข้มแม่เหล็กผิดปกติเล็กๆไปตามยาวรอยเลื่อนในแนว N-S การเปลี่ยนสภาพน้ำร้อน (hydrothermal alteration) ทำให้มีปริมาณ K สูง บริเวณที่ K สูง U และ Th จะมีปริมาณต่ำถึงปานกลาง อัตราส่วนของ eTh/K ต่ำมากและเป็นไปได้ว่า eU/eTh มีปริมาณปานกลางถึงสูง ผลการศึกษานี้เชื่อว่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำร้อนสัมพันธ์กับแกรนิตลิวโกซึ่งทางตอนเหนือของพลูตอนหุบกะพง ซึ่งมีศักยภาพสูงในการเกิดแร่ ผลจากการศึกษาข้อมูลรังสีสามารถจำแนกเฟสของหินแกรนิตได้ และพบว่าแหล่งแร่สัมพันธ์กับแกรนิตที่มีลักษณะไม่เป็นริ้วขนานและนอกจากสามารถจำแนกความแตกต่างในหินแกรนิตแล้วยังสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างมีแร่และไม่มีแร่ได้ด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและกำหนดลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคในพื้นที่จังหวัดสตูลและจังหวัดสงขลา โดยวิธีการวัดค่าความโน้มถ่วงโลก
2. เพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาโดยวิธีวัดค่าความโน้มถ่วงกับวิธีวัดกัมมันตภาพรังสีสนามแม่เหล็กโลก และธรณีวิทยา
3. เพื่อปรับปรุงข้อมูลด้านธรณีวิทยาของพื้นที่จังหวัดสตูลและจังหวัดสงขลา ระหว่างละติจูด $6^\circ30'$N - $7^\circ15'$ N และลองจิจูด $99^\circ45'$E - $100^\circ30'$E ด้วยข้อมูลจากการศึกษาด้านธรณีฟิสิกส์

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

วิธีการในการทำวิจัยเพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา ของพื้นที่บริเวณจังหวัดสตูลและจังหวัดสงขลา โดยใช้วิธีทางธรณีฟิสิกส์ต้องใช้วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วัสดุ

ในการศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่บริเวณจังหวัดสตูลและจังหวัดสงขลา โดยใช้วิธีทางธรณีฟิสิกส์จะต้องใช้วัสดุต่างๆ โดยแบ่งตามหัวข้อที่ทำการศึกษา ดังต่อไปนี้

1. วัสดุที่ต้องใช้สำหรับศึกษาค่าความถ่วง ประกอบด้วยรายการดังต่อไปนี้

   1.1 เชือกพลาสติกฟางยาวประมาณ 5"

   1.2 สีน้ำมัน / สีพลาสติก (สีแดงและสีขาว)

   1.3 ฝาขวดน้ำอัดลม

   1.4 ตะปูขนาด 3" ซึ่งมีฝาน้ำอัดลมและเชือกพลาสติกฟางติดอยู่ เพื่อใช้เป็นสัญญลักษณ์แสดงตำแหน่ง ที่ทำการวัดค่าความถ่วงและความสูง

2. วัสดุที่ต้องใช้สำหรับการศึกษาความหนาแน่นของหิน ประกอบด้วย

   2.1 หินตัวอย่างซึ่งเก็บมาจากพื้นที่ศึกษา มีมวลประมาณ1-3 กิโลกรัม

   2.2 น้ำเปล่าสำหรับใช้ในการแช่หินจากข้อ 2.1 เพื่อทำให้หินอิ่มตัวด้วยน้ำ

3. วัสดุที่ต้องใช้สำหรับศึกษาความสูงของพื้นที่ศึกษา

   เนื่องจากการศึกษาค่าความสูงที่ตำแหน่งเดียวกันกับการศึกษาค่าความถ่วง ดังนั้นจึงใช้วัสดุต่างๆเช่นเดียวกันกับการศึกษาค่าความถ่วงในหัวข้อ 1

4. วัสดุที่ต้องใช้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม(K) ยูเรเนียมสมมูล(eU)และทอเรียมสมมูล (eTh) ประกอบด้วยรายการดังต่อไปนี้

4.1 หินตัวอย่างที่เก็บมาจากพื้นที่ศึกษา มีมวลประมาณ 500 กรัม (ชุดเดียวกับหินที่นำมาวัดค่าความหนาแน่น)

4.2 กล่องพลาสติกสำหรับใส่หินตัวอย่างและสารมาตรฐานที่บดแล้วในข้อ 4.1 ซึ่งเขียนรหัสแสดงตำแหน่งที่ทำการเก็บหินตัวอย่างไว้ข้างกล่อง

4.3 สารมาตรฐานกัมมันตรังสี K,U และ Th รหัส RG K-1,RG U-1 และ RG Th-1

4.4 ธาตุกัมมันตรังสี ในที่นี้ใช้ Co-60

4.5 เทปพันสายไฟและกระดาษกาว

4.6 สีเมจิกสำหรับเขียนรหัสตัวอย่างหินข้างกล่องพลาสติก

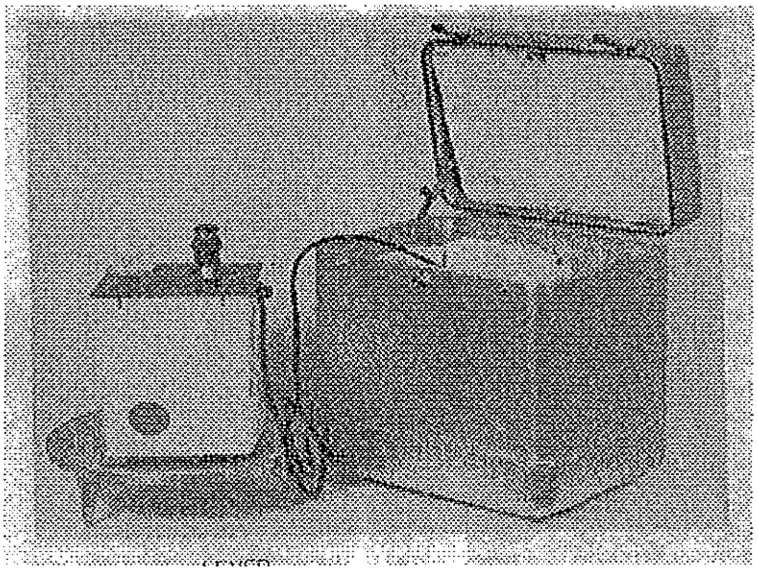
อุปกรณ์

ในการศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่บริเวณจังหวัดสตูลและจังหวัดสงขลา โดยใช้วิธีทางธรณีฟิสิกส์จะต้องใช้อุปกรณ์ต่างๆ โดยแบ่งตามหัวข้อที่ทำการศึกษา ดังต่อไปนี้

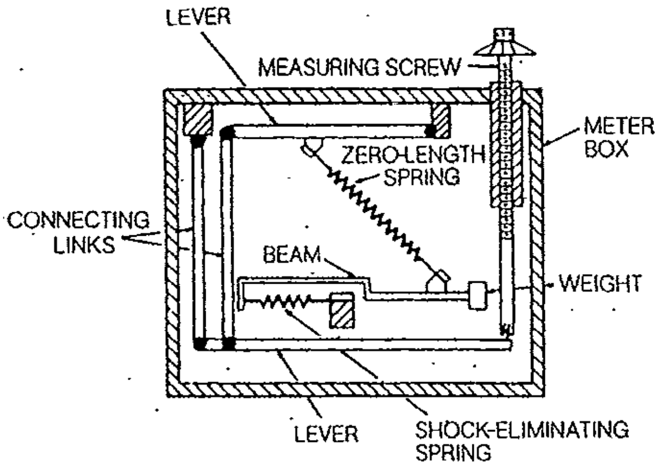
1. อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับศึกษาค่าความถ่วง ประกอบด้วยรายการดังต่อไปนี้

1.1 เครื่องแกรวิติมิเตอร์ (gravity meter) แบบไม่เสถียรชนิดลาคอสท์และรอมเบิร์กแกรวิติ-มิเตอร์ (Lacoste and Romberg gravity meter) ที่มีความแม่นยำถึง 0.01 มิลลิเกล เพื่อใช้วัดค่าความถ่วงสัมพัทธ์ระหว่างจุดวัด ผลิตโดยบริษัท Lacoste & Romberge, inc. Austin, Texas, U.S.A. รุ่น G-565 ซึ่งประกอบด้วยก้อนมวลติดอยู่ที่ปลายของคานอันหนึ่ง มิเตอร์ประกอบด้วยคานที่มีจุดหมุนอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งและมีก้อนมวลติดอยู่ปลายอีกด้านหนึ่งโดยคานนี้ถูกพยุงด้วยสปริงซึ่งติดไว้เหนือจุดหมุนให้อยู่ในแนวระดับโดยประมาณ ขนาดของโมเมนต์ซึ่งกระทำโดยสปริงต่อคานขึ้นอยู่กับส่วนที่ยืดออกของสปริงและมุม θ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเนื่องจากความถ่วงที่กระทำต่อก้อนมวล คานจะเคลื่อนที่ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนมุมระหว่างคานกับสปริง นั่นคือเกิดการเปลี่ยนโมเมนต์ของสปริงที่ดึงคาน ทำให้คานเคลื่อนที่มากขึ้นไปอีกซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณกระจัดให้แก่คานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความถ่วงเป็นผลทำให้แรงคืนตัวของสปริงเพิ่มขึ้น มุม θ จะลดลงเป็นมุม θ'(ภาพประกอบ 9,10,11)

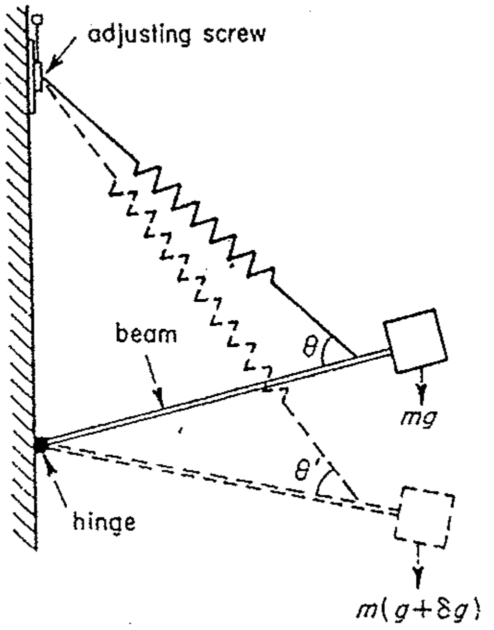
ภาพประกอบ 9 แกรวิติมิเตอร์แบบลาคอสท์และรอมเบิร์ก
(ที่มา : Robinson,1988)



ภาพประกอบ 10 ภาคตัดขวางแสดงเค้าโครงของแกรวิติมิเตอร์แบบลาคอสท์และรอมเบิร์ก
(ที่มา : Robinson,1988)



ภาพประกอบ 11 หลักการทำงานของแกรวิติมิเตอร์แบบลาคอสท์และรอมเบิร์ก
(ที่มา : Kearey, 1991).



1.2 แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 จำนวน 9 ระวาง ได้แก่ อำเภอหาดใหญ่ 5023 (II),อำเภอสะเดา 5022(II),บ้านคลองแงะ 5022(I),บ้านนาสีทอง 5023(III),อำเภอทุ่งหว้า 4923 (II),อำเภอละงู 4922(I),บ้านเจ๊ะบิลัง 4922(II),อำเภอควนกาหลง 5022 (IV) และจังหวัดสตูล 5022(III) เพื่อใช้สำหรับการศึกษาลักษณะภูมิประเทศและเส้นทางที่เข้าไปทำการศึกษาในครั้งนี้

1.3 นาฬิกาสำหรับอ่านเวลาขณะที่ทำการวัดค่าความถ่วง เพื่อนำไปแก้ไขค่าดริฟท์

1.4 เครื่องมืออ่านพิกัดทางภูมิศาสตร์(GPS) ยี่ห้อ Trimble รุ่น Basic Pathfinder เพื่ออ่านตำแหน่งจุดวัดความถ่วง ซึ่งมีลักษณะดังภาพประกอบ 12

1.5 เข็มทิศ เพื่อตรวจสอบทิศทางของเส้นทางการสำรวจ

1.6 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้วิเคราะห์ความถ่วง

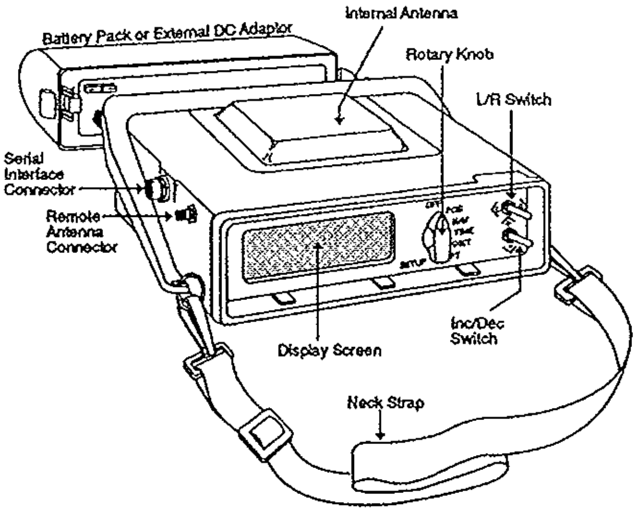
1.6.1 โปรแกรมโลตัส 1-2-3 (lotus 1-2-3) เวอร์ชั่น 2.2 สำหรับประมวลข้อมูลความถ่วงและอื่นๆ

1.6.2 โปรแกรมเซอร์เฟอร์สำหรับวินโดว์(Winsurf) เวอร์ชั่น 5.0 สำหรับเขียนคอนทัวร์ค่าความถ่วงและคอนทัวร์ความลึก

1.6.3 โปรแกรม GMM (Gravity & Magnetic Modelling) เวอร์ชั่น 1.31 ของบริษัท GeoVista AB โปรแกรมนี้ใช้คำนวณค่าผิดปกติบูเกอร์และค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลกโดยจะต้องป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆให้กับโปรแกรม สำหรับการแปลความด้านความถ่วงพารามิเตอร์ที่ใช้คือค่าความหนาแน่นของมวลผิดปกติและมวลข้างเคียงพารามิเตอร์ของแบบจำลองของมวลสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยโปรแกรม GMM จนกระทั่งค่าความถ่วงที่คำนวณได้สอดคล้องกับค่าที่วัดได้

1.6.4 โปรแกรมกราฟเฟอร์(Grapher)เวอร์ชั่น 1.79 สำหรับเขียนกราฟและแผนที่

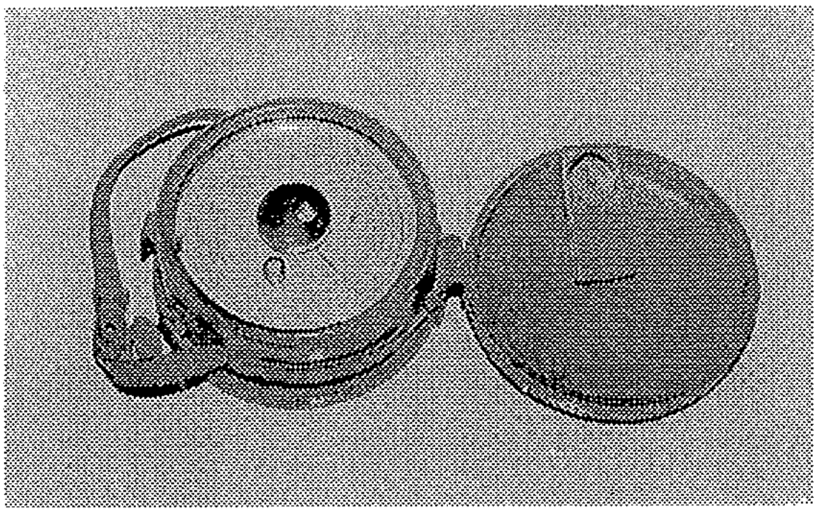
ภาพประกอบ 12 เครื่องมืออ่านพิกัดทางภูมิศาสตร์(GPS)



2. อุปกรณ์ที่ใช้ ในการศึกษาความสูงของจุดวัด ประกอบด้วยรายการดังต่อไปนี้

2.1 มาตรระดับความสูง (Altimeter) ประเภทความดันบรรยากาศสำหรับวัดระดับความสูงของจุดวัดค่าความถ่วงเพื่อนำมาปรับแก้ค่าความถ่วง รุ่น MDM-5, จาก -100 m ถึง + 2500 m, ± 0.5 METER ผลิตใน U.S.A. โดยบริษัท American Paulin System, Los Angeles, California มีลักษณะดังภาพประกอบ 13

ภาพประกอบ 13 มาตรระดับความสูงชนิดความดัน American Paulin System รุ่น MDM-5



2.2 แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 จำนวน 9 ระวาง เพื่อแสดงเส้นทางคมนาคมซึ่งใช้รวมกับแผนที่ภูมิประเทศที่ใช้ศึกษาความถ่วงดังหัวข้อ 1.2 เนื่องจากเป็นจุดวัดเดียวกัน

2.3 เครื่องมืออ่านพิกัดทางภูมิศาสตร์(GPS) ยี่ห้อ Trimble รุ่น Basic Pathfinder เพื่ออ่านตำแหน่งจุดวัดความสูง ซึ่งเป็นจุดวัดเดียวกันกับจุดค่าความถ่วง

2.4 เทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิของบรรยากาศขณะทำที่การวัด

2.5 นาฬิกาสำหรับอ่านเวลาขณะที่ทำการวัด

2.6 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ศึกษาความสูงของจุดวัด คือโปรแกรมโลตัส 1-2-3 (lotus 1-2-3) เวอร์ชั่น 2.2 สำหรับประมวลข้อมูลค่าความสูงของจุดวัดและอื่นๆ

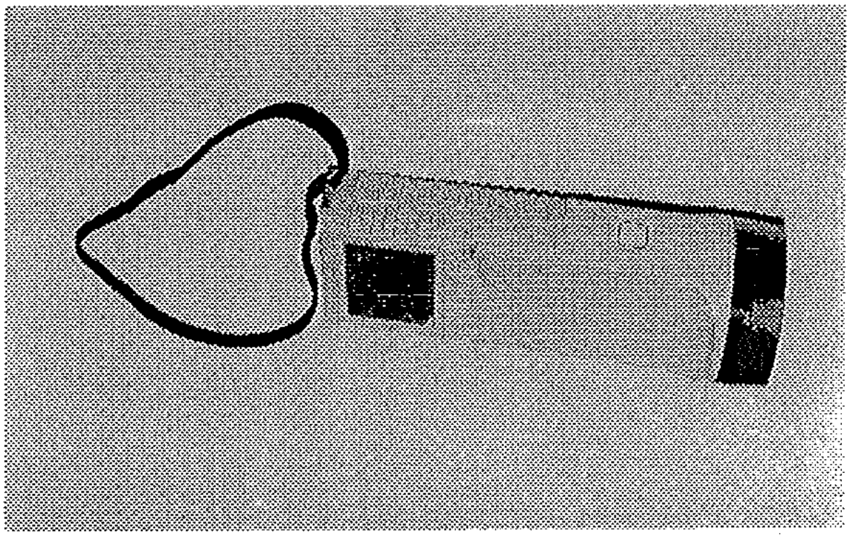
3. อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการศึกษาสนามแม่เหล็ก ประกอบด้วยรายการ ดังต่อไปนี้

3.1 ข้อมูลแม่เหล็กจากการบินสำรวจที่ระยะ 122 เมตร(400 ฟุต) จากระดับน้ำทะเลปานกลางของกรมทรัพยากรธรณี ปี พ.ศ. 2532 ซึ่งบันทึกไว้ในแผ่นบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก

3.2 แผนที่แม่เหล็ก (survey B&C) มาตราส่วน 1:50,000 จำนวน 9 ระวาง ได้แก่ ระวางอำเภอหาดใหญ่ 5023(II),อำเภอสะเดา 5022(I),บ้านคลองแงะ 5022(I),บ้านนาสีทอง 5023(III), อำเภอทุ่งหว้า 4923(II),อำเภอละงู 4922(I),บ้านเจ๊ะบิลัง 4922(II),อำเภอควนกาหลง 5022(IV), และจังหวัดสตูล 5022(III)

3.4 แคปปามิเตอร์ (kappameter) รุ่น KT-5 ผลิตโดยบริษัท Geofyzika Brno,Czecholovakla สำหรับวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility) ของหินโผล่ซึ่งมีความไว (sensitivity) เท่ากับ 10^{-6} SI มีลักษณะดังภาพประกอบ 14

ภาพประกอบ 14 แคปปามิเตอร์ รุ่น KT-5



3.5 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้วิเคราะห์ค่าสนามแม่เหล็กโลก

3.5.1 โปรแกรมโลตัส 1-2-3 (lotus 1-2-3) เวอร์ชั่น 2.2 สำหรับประมวลข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กโลกและอื่นๆ

3.5.2 โปรแกรมเซอร์เฟอร์สำหรับวินโดว์(Winsurf) เวอร์ชั่น 5.0 สำหรับเขียนคอนทัวร์ ความลึกและสนามแม่เหล็กโลกรวม

3.5.3 โปรแกรม GMM (Gravity & Magnetic Modelling) เวอร์ชั่น 1.31 ของบริษัท GeoVista AB สำหรับคำนวณค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กของโลกโดยจะต้องป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้กับโปรแกรม ดังนี้ (1) ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (2) มุมเท(inclination) ซึ่งเป็นมุมระหว่างของสนามแม่เหล็กรวมของโลกกับระนาบระดับ (3) มุมบ่ายเบนแม่เหล็ก(magnetic declination) คือ มุมระหว่างส่วนประกอบของสนามแม่เหล็กรวมของโลกในแนวนอนกับทิศเหนือภูมิศาสตร์ (4) ความสูงจากระดับน้ำทะเล คือ ระดับความสูงในการบินสำรวจโดยเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง พารามิเตอร์ของแบบจำลองของมวลสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยโปรแกรม GMM จนกระทั่งสนามแม่เหล็กที่คำนวณได้สอดคล้องกับค่าที่วัดได้

3.5.4 โปรแกรมกราฟเฟอร์(Grapher) เวอร์ชั่น 1.79 สำหรับเขียนกราฟและแผนที่

4. อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับศึกษาความหนาแน่นของหิน ประกอบด้วยรายการ ดังต่อไปนี้

4.1 ฆ้อนสำหรับใช้เคาะหินจากก้อนมวลขนาดใหญ่ ณ ตำแหน่งที่เก็บ เพื่อนำมาเป็นตัวอย่างวัดค่าความหนาแน่น

4.2 สกัด สำหรับเจาะงัดหินออกจากก้อนมวลขนาดใหญ่

4.3 ถุงมือ เพื่อป้องกันหินบาดมือ

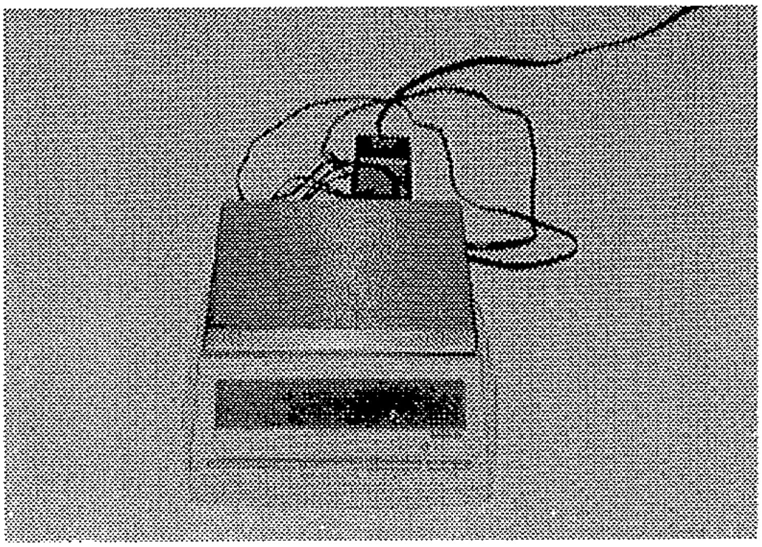
4.4 หน้ากากพลาสติก เพื่อป้องกันเศษหินกระเด็นเข้าตาขณะเคาะหิน

4.5 ภาชนะบรรจุน้ำขนาด 16 ลิตร สำหรับแช่หินเพื่อให้อิ่มตัวด้วยน้ำ

4.6 ตะแกรงโลหะทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดฐานกว้าง 16 เซนติเมตร ยาว 16 เซนติเมตร โดยมีตะขอสำหรับเกี่ยวห่วงที่ใส่มวลหินตัวอย่าง

4.7 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ METTLER รุ่น BB3000 ซึ่งสามารถชั่งมวลได้ขนาดไม่เกิน 3100 g ซึ่งมีลักษณะดังภาพประกอบ 15

ภาพประกอบ 15 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ METTLER รุ่น BB3000



4.8 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้วิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่าง

4.8.1 โปรแกรมโลตัส 1-2-3 (lotus 1-2-3) เวอร์ชั่น 2.2 สำหรับประมวลข้อมูลความหนาแน่นของหินตัวอย่างและอื่นๆ

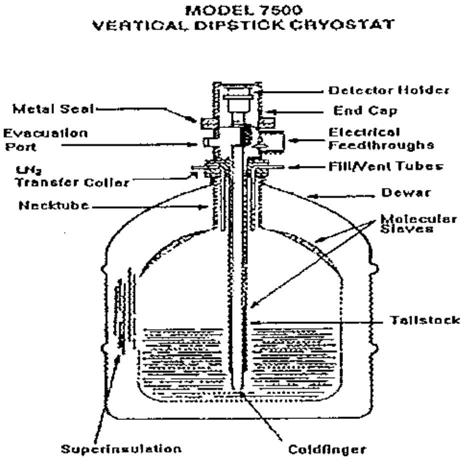
4.8.2 โปรแกรมกราฟเฟอร์ (Grapher) เวอร์ชั่น 1.79 สำหรับเขียนกราฟและแผนที่แสดงตำแหน่งการเก็บหินตังอย่าง

5. อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับใช้ในการศึกษาค่ากัมมันตภาพรังสี ประกอบด้วยรายการ ดังต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม(K),ยูเรเนียมสมมูล(eU)และทอเรียมสมมูล(eTh) ประกอบด้วย

5.1.1 หัววัดรังสีแบบเยอมาเนียมบริสุทธิ์ (High purity Ge :HPGe) เป็นอุปกรณ์ สำหรับตรวจจับรังสี รุ่น Ge1319 เส้นผ่าศูนย์กลาง 44.5 มม. ความยาว 40.5 mm ปริมาตรหัววัด (Active Volume) 59.5 cm^3 หัววัดเป็นรูปแบบร่วมแกนปลายปิด (closed ended coaxial)ค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 13% FWHM ที่ 1.33 MeV เป็น 1.75 keV พร้อม Cryostat รุ่น 7500 (vertical dipstick cryostat) ซึ่งมีลักษณะดังภาพประกอบ 16

ภาพประกอบ 16 เค้าโครงหัววัดเยอมาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe)
(ที่มา : Germanium detector User's Manual)



5.1.2 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง(เอ็มซีเอ) ทำงานที่ 4,000 โวลต์ ผลิตโดยบริษัท Canberra Industries,Inc., ยี่ห้อ Canberra รุ่น Series 35 plus

5.1.3 หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้ากำลังสูง Canberra รุ่น 4261A

5.1.4 เครื่องขยายสัญญาณ

5.1.5 เครื่องคอมพิวเตอร์และแผ่นแม่เหล็กบันทึกข้อมูล

5.1.6 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง

5.1.7 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ METTLER รุ่น BB3000

5.1.8 เครื่องบดหินตัวอย่างยี่ห้อ Denver Equipment ผลิตโดยบริษัท Joy Manufacturing U.S.A

5.1.9 ผ้าเทปพันสายไฟและกระดาษกาว

5.1.10 เตาอบไฟฟ้าผลิตโดยบริษัท GmbH Co. KG 8540 Schwabach W- Germany ยี่ห้อ Memmert รุ่น Um 400 เพื่อใช้อบไล่ความชื้นออกจากตัวอย่างหิน ซึ่งสามารถเลือกอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 30 - 230 องศาเซลเซียส และสามารถตั้งเวลาได้

5.1.11 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้บันทึกและวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม(K), ยูเรเนียมสมมูล(eU)และทอเรียมสมมูล(eTh) ประกอบด้วย

5.1.11.1 โปรแกรม PC UTIL สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล

5.1.11.2 โปรแกรมโลตัส 1-2-3 (lotus 1-2-3) เวอร์ชั่น 2.2 สำหรับประมวลข้อมูลค่ากัมมันตภาพรังสีและอื่นๆ

5.1.11.3 โปรแกรมเซอร์เฟอร์สำหรับวินโดว์(Winsurf) เวอร์ชั่น 5.0 สำหรับเขียนคอนทัวร์ค่ากัมมันตภาพรังสี

5.1.11.4 โปรแกรมกราฟเฟอร์ (Grapher) เวอร์ชั่น 1.79 สำหรับเขียนกราฟและแผนที่แสดงค่ากัมมันตภาพรังสีที่ทำการวิเคราะห์ได้จากหินตัวอย่างในแต่ละตำแหน่ง

5.2 ข้อมูลรังสีจากการบินสำรวจได้แก่ โพแทสเซียม (K) ยูเรเนียมสมมูล (eU) และทอเรียมสมมูล (eTh) ของกรมทรัพยากรธรณีปี พ.ศ. 2532 ซึ่งถูกบันทึกลงในแผ่นบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก

5.3 แผนที่ความเข้มกัมมันตภาพรังสีในมาตราส่วน 1:250000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2532)

วิธีดำเนินการ

สำหรับในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้แบ่งวิธีการดำเนินการออกเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

ตอนที่ 1 การศึกษาในภาคสนาม

ตอนที่ 2 การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ตอนที่ 1 การศึกษาในภาคสนาม

การศึกษาวิจัยทางธรณีฟิสิกส์ประกอบด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลในพื้นที่ศึกษาหรืองานภาคสนามและการวิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการ สำหรับการศึกษาในภาคสนามมีการดำเนินการดังต่อไปนี้คือ

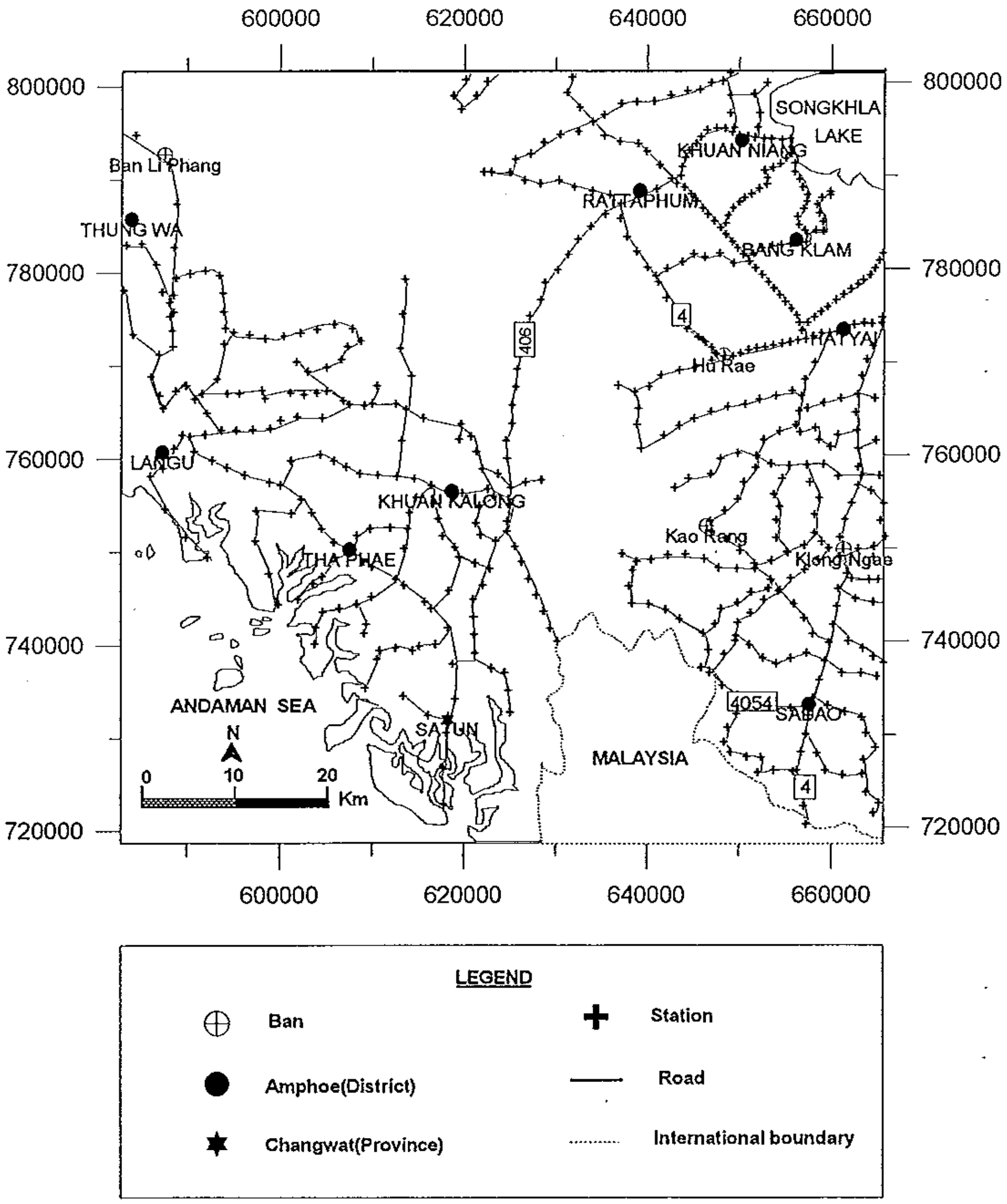
1. วางแผนและกำหนดจุดวัดค่าความถ่วงและค่าความสูงลงบนแผนที่ภูมิประเทศตามเส้นทางคมนาคมที่มีอยู่เดิมในพื้นที่ศึกษา ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดให้ระยะห่างระหว่างจุดวัดเท่ากับ 2 - 4 กิโลเมตร ได้จำนวนจุดวัดรวม 424 จุดและมีข้อมูลเดิมบางส่วนระยะห่างระหว่างจุดวัดเท่ากับ 1 กิโลเมตรและ 2 กิโลเมตร(Lohawijarn ,1992) อีกจำนวน 120 จุด รวมจุดวัดทั้งหมด 544 จุด ดังภาพประกอบ 17

2. วางเครื่องแกรวิติมิเตอร์ลงบนจานรอง ณ จุดวัด แล้วปรับให้เครื่องมือวัดให้อยู่ในแนวระดับ ทั้งนี้โดยการปรับให้ระดับลูกน้ำทั้ง 2 ตำแหน่งของเครื่องมือวัดให้อยู่ตรงกึ่งกลาง เปิดสวิตท์ไฟ ปล่อยตัวจับยึด (unclamp) ของเครื่องมือวัดตามลำดับ จากนั้นหมุนให้ตำแหน่งของเข็มบนหน้าปัทม์ไปอยู่ ณ ตำแหน่ง reading line (ค่า reading line จะมีค่าเฉพาะสำหรับแกรวิติ-มิเตอร์แต่ละรุ่น สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ใช้แกรวิติมิเตอร์รุ่น G-565 ซึ่งมีตำแหน่ง reading line ที่ 2.1)แล้วอ่านข้อมูลบนหน้าปัทม์และบันทึกผลเป็น g(read) เสร็จแล้วหมุนตัวจับยึดกลับที่เดิม (clamp)เพื่อยึดกลไกต่าง ๆ ของแกรวิติมิเตอร์ไว้เพื่อกันการกระแทก กดปิดสวิตท์ไฟและนำเครื่องมือไปเก็บไว้ในกล่องสำหรับบรรจุเพื่อกันการกระแทกก่อนไปทำการวัดจุดอื่นต่อไป

3. วัดระดับความสูงของจุดวัดจากระดับน้ำทะเลโดยการวางมาตรระดับความสูงบนจานรองที่ใช้วางเครื่องแกรวิติมิเตอร์ในข้อ 2 แล้วปรับเครื่องมือให้อยู่ในแนวระดับ หลังจากนั้นอ่านสเกลบนหน้าปัทม์โดยใช้แว่นขยายช่วยในการอ่านเพื่อความถูกต้องแล้วบันทึกผลเป็น Height ในหน่วยเมตร เสร็จแล้วเก็บอุปกรณ์เข้าที่

4. เมื่อดำเนินการข้อ 2 และ 3 เสร็จแล้ว จากนั้นก็บันทึกเวลาและอุณหภูมิของบรรยากาศเป็นองศาเซลเซียส ดังตัวอย่างตาราง 1

ภาพประกอบ 17 ตำแหน่งของจุดวัดค่าความถ่วงและความสูง



ตาราง 1 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลความถ่วงและความสูงในภาคสนาม

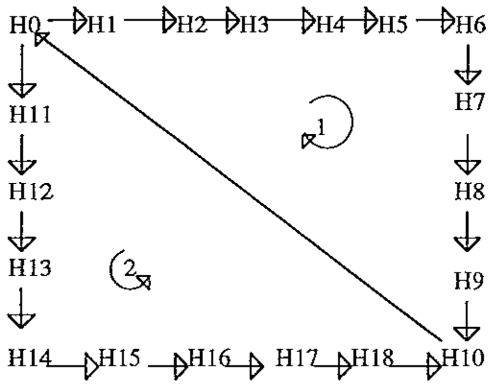
จุดวัด	เวลา (hr:min)	ค่า g ที่อ่านได้	ความสูง (m)	อุณหภูมิ (°c)
H342	13:01	1640.160	59	33
H353	13:11	1644.390	49	35
H354	13:20	1645.975	48	36
H355	13:28	1647.010	42	35.5
H356	13:38	1646.570	39	34.5
H357	13:48	1648.600	35	34
H358	14:01	1650.240	34	34
H359	14:10	1651.660	36	35
H360	14:20	1652.850	38	35
H342	15:07	1640.295	67.5	29

5. ประเมินความแตกต่างระหว่างความสูงเฉลี่ยในแต่ละห้องของโซน B,C,D,E บนแผนภูมิแฮมเมอร์กับความสูงของจุดวัด ตามระยะทางในตาราง 4

6. ทำการอ่านและบันทึกตำแหน่งของจุดวัดจากเครื่องมืออ่านพิกัดทางภูมิศาสตร์(GPS)

7. เมื่อดำเนินการข้อ 6 เสร็จแล้ว ก็ออกเดินทางไปยังจุดวัดต่อไป ทั้งนี้การกำหนดจุดวัดต่อไปจะใช้วิธีการวัดระยะทางบนหน้าปัทม์ของยานพาหนะ ตามระยะทางที่กำหนด คือ 2 - 4 กิโลเมตร จากนั้นก็ดำเนินการตามข้อ 2,3,4,5 และ 6 ตามลำดับ ทำเช่นนี้ไปทุก ๆจุดวัด แล้ววนกลับไปทำที่จุดแรกอีกครั้งในช่วงเวลาไม่เกิน 2 - 3 ชั่วโมง โดยเรียกจุดวัดแรกเป็นสถานีฐาน ส่วนการวัดในวงรอบใหม่โดยการใช้จุดวัดจุดใดจุดหนึ่งในวงรอบแรกเป็นสถานีฐานแล้วทำการวัดตามจุดต่าง ๆ ที่กำหนดไว้แล้วกลับมาวัดที่สถานีฐานนี้อีกครั้งและทำเช่นเดียวกันนี้ในวงรอบอื่นๆ ดังตัวอย่างในภาพประกอบ 18

ภาพประกอบ 18 วงรอบการวัดค่าความถ่วงและความสูง



8. ทำการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กด้วยแคปปามิเตอร์ (Kappameter) ณ บริเวณที่มีมวลหินโผล่ขนาดใหญ่ โดยปฏิบัติตามลำดับดังนี้

8.1 กดสวิทช์ ON/OFF ซึ่งอยู่ด้านท้ายของเครื่องมือเพื่อเปิดเครื่องใช้งาน

8.2 หันหน้าปัทม์ของเครื่องมือไปในทิศทางที่ไม่มีมวลหินกดสวิทช์ C/M ซึ่งอยู่ด้านข้างของเครื่องมือเพื่อให้เครื่องมือพร้อมที่จะบันทึกข้อมูล ดังภาพประกอบ 19

8.3 หันหน้าปัทม์ของเครื่องมือเข้าหามวลหินบริเวณผิวเรียบแล้วกดสวิทช์ C/M อีกครั้ง

8.4 ทำตามข้อ 8.2 และ 8.3 ประมาณ 2-3 ครั้ง ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนผิวเรียบของมวลหินเดียวกัน

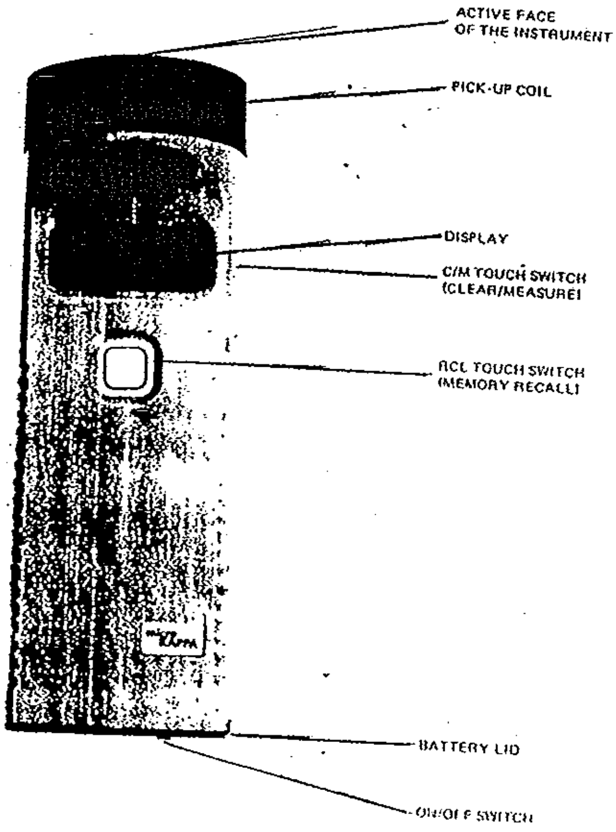
8.5 บันทึกผลเฉลี่ยจากการวัด

8.6 นำผลที่วัดได้นี้ไปคูณ ด้วย 10^{-3} เพื่อแปลงเป็นระบบหน่วยเอสไอ (SI unit)

9. เก็บตัวอย่างหินสดประมาณ1-9 ก้อนในแต่ละบริเวณที่มีมวลหินโผล่ก้อนละประมาณ 0.5-3 กิโลกรัม เพื่อนำไปวัดค่าความหนาแน่น วิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม(K) ยูเรเนียมสมมูล(eU) และทอเรียมสมมูล(eTh)ในห้องปฏิบัติการต่อไป ซึ่งการเก็บตัวอย่างหินสดจะทำหลังจากทำการวัดค่าความถ่วงและความสูงในพื้นที่ที่ศึกษาเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้เพื่อลดเวลาสำหรับวัดค่าความถ่วงในแต่ละวงรอบ

10. เขียนรหัสของจุดวัดติดไว้ที่หินตัวอย่างทุก ๆ ก้อน ทั้งนี้เพื่อสะดวกต่อการกำหนดตำแหน่งของหินตัวอย่างลงในแผนที่

ภาพประกอบ 19 หน้าปัทม์แคปปามิเตอร์ รุ่น KT-5



ตอนที่ 2 การวิเคราะห์และการศึกษาในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์และการศึกษาในห้องปฏิบัติการสำหรับการศึกษาในครั้งนี้เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมในภาคสนามมาทำการวิเคราะห์ปรับแก้ข้อมูลโดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 5 หัวข้อดังนี้คือ

1. การวัดค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่าง
2. การปรับแก้ข้อมูลการวัดค่าความสูง
3. การคำนวณค่าความถ่วง
4. การวิเคราะห์ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินตัวอย่างและศึกษาข้อมูลที่ได้จากการบินสำรวจที่ระดับความสูง 122 เมตร(400 ฟุต) เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง

(กรมทรัพยากรธรณี , 2532)

5. การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม,ยูเรเนียมและทอรียมของหินตัวอย่างและศึกษาข้อมูลที่ได้จากการบินสำรวจทางอากาศ (กรมทรัพยากรธรณี , 2532)

1. การวัดค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่าง

ค่าความหนาแน่นของหินมีความสำคัญต่อการปรับแก้บูเกอร์และการนำไปใช้สำหรับแปลความข้อมูลด้านความถ่วงซึ่งความหนาแน่นของหินสามารถกำหนดได้โดยการวัดบนตัวอย่างหินโดยตรง โดยตัวอย่างหินจะถูกชั่งในอากาศและในน้ำ ค่าความแตกต่างของน้ำหนักจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาตรของตัวอย่างหินทำให้สามารถคำนวณค่าความหนาแน่นของหินได้ โดยมีขั้นตอนของการศึกษา ดังต่อไปนี้

1.1 ย่อยตัวอย่างหินให้มีขนาดไม่เกิน 3000 กรัม ทำความสะอาดให้เศษหินและฝุ่นที่เกาะติดอยู่ภายนอกตัวอย่างหินหลุดออกไป

1.2 ปรับเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ให้อยู่ในระนาบระดับโดยปรับระดับน้ำให้อยู่ตรงกลางแล้วนำตัวอย่างหินที่ได้จากข้อ 1.1 ไปชั่ง บันทึกค่าเป็น W_1

1.3 นำหินจากข้อ 1.2 ไปใส่ในภาชนะขนาด 16 ลิตร ซึ่งมีน้ำบรรจุอยู่ภายในประมาณ 3/4 ของภาชนะแช่ไว้ค้างคืน เพื่อทำให้ตัวอย่างหินอิ่มตัวด้วยน้ำ

1.4 นำตะขอแขวนมวลมาติดตั้งเข้ากับเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์แล้วนำตัวอย่างหินที่อิ่มตัวด้วยน้ำนี้ไปชั่งโดยแขวนให้ตัวอย่างหินจมอยู่ใต้ผิวน้ำภายในภาชนะที่บรรจุน้ำเต็ม บันทึกค่าเป็น W_2 (ภาพประกอบ 20)

1.5 คำนวณหาค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่าง โดยใช้ความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$\rho_d = W_1/(W_1 - W_2) \times \rho_w \quad \text{--} \quad (1)$$

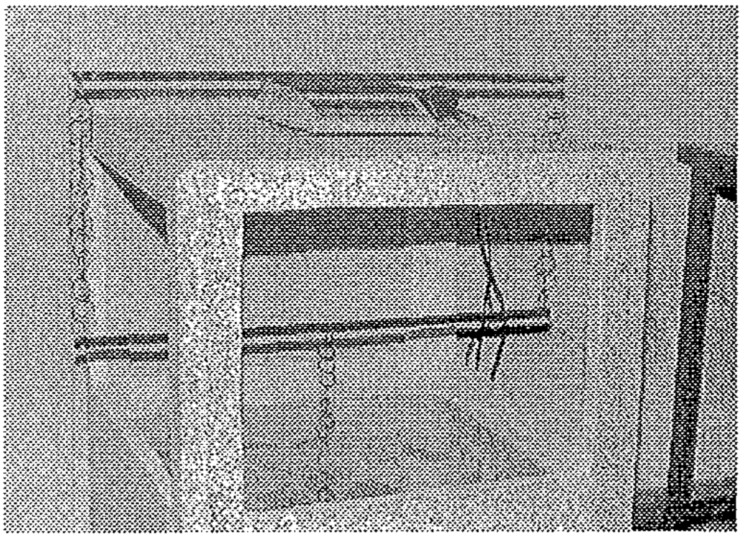
เมื่อ ρ_d คือ ความหนาแน่นแห้งของหินตัวอย่าง

W_1 คือ น้ำหนักของหินตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ หลังจากทำข้อ 1.1 แล้ว

W_2 คือ น้ำหนักของหินตัวอย่างที่ชั่งในน้ำ หลังจากทำข้อ 1.3 แล้ว

ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ เมื่อกำหนดให้น้ำมีความหนาแน่นเท่ากับ 1 gm/cm^3 น้ำหนักของหินตัวอย่างที่หายไปจะมีค่าเป็นตัวเลขเท่ากับปริมาตรของตัวอย่างหินนั้น (หลักของอาร์คิมีดิส)

ภาพประกอบ 20 การจัดอุปกรณ์วัดค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่าง



2. การปรับแก้ข้อมูลการวัดค่าความสูง

เนื่องจากค่าความสูงของจุดวัดมีอิทธิพลต่อค่าความถ่วงที่วัดได้ ดังนั้น เราต้องทราบค่าความสูงของจุดวัดเพื่อนำไปใช้การปรับแก้ฟรีแอร์และการปรับแก้บูเกอร์ แต่เนื่องจากค่าความความสูงที่อ่านได้จากมาตรระดับความสูง(altimeter)เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิอากาศ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ความสูงเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ โดยมีขั้นตอนการปรับแก้ดังต่อไปนี้

2.1 คำนวณค่าความสูงที่แตกต่างของจุดวัดที่อยู่ติดกันโดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Delta H_{n+1} = \left(h_{n+1} - h_n\right)\left\{1 + 0.0036\left[\left(\frac{T_{n+1} + T_n}{2}\right) - 10\right]\right\} \text{ --------------- (2)}$$

เมื่อ $n = 1, 2, 3, \ldots$

h_n, h_{n+1} คือ ค่าความสูงที่อ่านได้จากหน้าปัทม์มาตรระดับความสูงที่จุด n และ n+1

T_n, T_{n+1} คือ อุณหภูมิอากาศในหน่วยองศาเซลเซียสที่จุด n และ n+1

ΔH_{n+1} คือ ความแตกต่างความสูงของจุดวัดที่ n+1 เทียบกับจุด n

2.2 ความสูงของจุดวัดที่ n+1 สามารถคำนวณได้จาก

$$H_{n+1} = \Delta H_{n+1} + H_n \quad \text{--} \quad (3)$$

เมื่อ n = 1, 2, 3, ...

2.3 ปรับแก้ดริฟท์เนื่องจากความสูงของจุดวัดเปลี่ยนแปลงตามเวลา มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.3.1 คำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความสูงในหน่วยเมตรต่อชั่วโมงหรือดริฟท์ (drift) ที่สถานีฐานของแต่ละวงรอบ

2.3.2 นำค่าดริฟท์ของความสูงในข้อ 2.3.1 มาคำนวณค่าความสูงที่เปลี่ยนไปที่จุดวัดใดๆในวงรอบ นำค่าความสูงที่เปลี่ยนไปนี้มาหักลบออกจากค่าความสูงของจุดวัดนั้น เรียกว่าการปรับแก้ค่าความสูงเนื่องจากอิทธิพลของดริฟท์

2.4 นำความสูงที่ทำการปรับแก้ดริฟท์แล้วนี้จากข้อ (2.3.2) มาหาค่าความสูงจริง โดยการหักลบค่าความสูงของจุดวัดใดๆ ด้วยค่าความสูงที่จุดอ้างอิง (จุด SC001) บริเวณหน้าตึกคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จังหวัดสงขลา(กริด 666000E,774637N) ซึ่งได้กำหนดให้ความสูงจริงของจุดอ้างอิง SC001 นี้มีค่าเท่ากับ 24.40 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง

ตาราง 2 ตัวอย่างการปรับแก้ค่าดริฟท์ของความสูง

ดริฟท์ = 3.5270 m/hr

จุดวัด	เวลา (hr)	อุณหภูมิ (°c)	ค่าที่อ่าน (m)	ค่าที่ปรับแก้ดริฟท์แล้ว (m)	ค่าความสูงจริง (m)
H342	13:01	33.0	59.0	-11.00	13.40
H353	13:11	35.0	49.0	-22.58	1.82
H354	13:20	36.0	48.0	-24.31	0.09
H355	13:28	35.5	42.0	-31.44	-7.04
H356	13:38	34.5	39.0	-35.42	-11.02
H357	13:48	34.0	35.0	-40.48	-16.08
H358	14:01	34.0	34.0	-42.49	-18.09
H359	14:10	35.0	36.0	-40.96	-16.56
H360	14:20	35.0	38.0	-39.49	-15.09
H342	15:07	29.0	67.5	-11.00	13.40

3. การคำนวณค่าความถ่วง

โดยทั่วไปแล้วข้อมูลค่าความถ่วงระหว่างสถานีฐานและสถานีอื่นๆในงานสนามสำหรับการวัดค่าความถ่วงจะมีการเปลี่ยนแปลงไปซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยหลายประการนอกเหนือไปจากการเปลี่ยนสภาพธรณีวิทยาใต้ดิน ปัจจัยที่สำคัญได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของค่าที่อ่านได้โดยแกรวิติ-มิเตอร์เมื่อเวลาผ่านไป โลกไม่ได้มีลักษณะเป็นรูปทรงกลมที่สมบูรณ์ ระดับสูงที่ไม่เท่ากันของจุดวัด และความขรุขระของลักษณะภูมิประเทศในบริเวณสำรวจ ด้วยเหตุนี้เองข้อมูลค่าความถ่วงระหว่างสถานีฐานและสถานีอื่นต้องได้รับการปรับแก้ไขเพื่อตัดการเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงเนื่องจากสาเหตุที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปก่อนที่จะทำการแปลความผลการสำรวจ วิธีการปรับปรุงแก้ไขค่าความถ่วงประกอบด้วย การแก้ไขดริฟท์ (drift correction) การแก้ไขละติจูด (latitude correction) การแก้ไขฟรี-แอร์ (free-air correction) การแก้ไขบูเกอร์ (Bouguer correction) และการแก้ไขลักษณะภูมิประเทศ (terrain correction) การปรับปรุงแก้ไขค่าความถ่วงมีขั้นตอนดังนี้

3.1 เปลี่ยนแปลงเวลาที่อ่านให้อยู่ในหน่วยของชั่วโมง

3.2 นำค่าที่อ่านได้จากตัวนับ(counter)บนแกรวิติมิเตอร์ เปลี่ยนเป็นค่าความถ่วงในหน่วยมิลลิเกล (milligal) ใช้สัญญลักษณ์ g_{mgal} สำหรับทุก ๆ จุด โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$g_{mgal} = \{(g_{read}-1600)\times(1.0186)\}+1629.1 \text{ mgal} \text{ -------------- } (4)$$

เมื่อ g_{mgal} คือ ค่าความถ่วงในหน่วยมิลลิเกล(10^{-5} m/s^2) ซึ่งสัมพันธ์กับ g_{read}

g_{read} คือ ค่าที่อ่านได้จากตัวนับบนแกรวิติมิเตอร์

<u>หมายเหตุ</u> ค่าคงที่ในสมการนี้เป็นค่าเฉพาะในช่วงการอ่านระหว่าง 1600-1700 ของเครื่องมือวัดค่าความถ่วงแบบลาคอสท์และรอมเบิร์ก หมายเลข G-565 เท่านั้น

3.3 การแก้ไขดริฟท์

โดยปกติค่าที่อ่านได้จากแกรวิติมิเตอร์มีค่าไม่เท่ากับค่าความถ่วงสัมบูรณ์ของจุดวัด และถ้านำแกรวิติมิเตอร์ไปใช้ในที่ต่างๆในช่วงเวลาหนึ่ง แล้วนำกลับมาวัดค่าความถ่วง ณ ตำแหน่งเดิม หรือแม้แต่ทิ้งแกรวิติมิเตอร์ไว้ ณ ที่เดิมตลอดเวลา ค่าความถ่วงที่อ่านได้จะไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงของค่าความถ่วง เมื่อเวลาผ่านไปนี้เรียกว่า ดริฟท์ (drift) ซึ่งเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ ประการแรก การเปลี่ยนแปลงสมบัติของเครื่องมือ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง การยืดของสปริงหรือการกระแทกในขณะการขนย้ายเมื่อไม่ได้ยึดกลไกต่างๆของแกรวิติมิเตอร์ ประการที่สอง อิทธิพลจากไทด์ของโลกซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงศักย์โน้มถ่วงที่จุดใดๆบนผิวโลกอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่และการหมุนรอบตัวเองของโลกเทียบกับดวงจันทร์และดวงอาทิตย์(กิตติชัย วัฒนานิกร,2536).

วิธีการแก้ไขเพื่อปรับลดอิทธิพลของดริฟท์ ที่มีผลต่อค่าความถ่วงทำได้เช่นเดียวกับการปรับแก้ดริฟท์ของความสูง กล่าวคือการกลับมาอ่านค่าความถ่วงที่สถานีฐานทุกๆช่วงเวลาหนึ่ง ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดช่วงเวลาทุก 2-3 ชั่วโมงเพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าความถ่วงต่อหน่วยเวลา(ชั่วโมง)

3.3.1 จากการวัดค่าความถ่วง(g_{mgal})ในภาคสนามซึ่งกระทำโดยการกลับมาอ่านค่าความถ่วงที่สถานีฐานทุกๆ ช่วงเวลาหนึ่งการคำนวณค่าดริฟท์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ g_{mgal} ต่อหน่วยเวลา(ชั่วโมง) ของแต่ละวงรอบของจุดวัดฐานสามารถแสดงได้ดัง ตาราง 3

ตาราง 3 ตัวอย่างการปรับแก้ค่าดริฟท์ของความถ่วง

ดริฟท์ = 0.0654814 mgal/hr

จุดวัด	เวลา (hr)	ค่าที่อ่าน (mgal)	ค่าที่ปรับแก้ดริฟท์แล้ว (mgal)	ค่าความถ่วงสัมพัทธ์ (mgal)	ค่าความถ่วงสัมบูรณ์ 9781___._(gu)
H342	13.01	1670.007	1670.007	0.000	66.3
H353	13.11	1674.316	1674.305	42.978	109.3
H354	13.20	1675.930	1675.909	59.024	125.3
H355	13.28	1676.984	1676.955	69.479	135.8
H356	13.38	1676.536	1676.496	64.888	131.2
H357	13.48	1678.604	1678.553	85.457	151.8
H358	14.01	1680.274	1680.209	102.020	168.3
H359	14.10	1681.721	1681.646	116.386	182.7
H360	14.20	1682.933	1682.847	128.398	194.7
H342	15.07	1670.144	1670.007	0.000	66.3

3.3.2 คำนวณค่าเปลี่ยนแปลงของ g_{mgal} ที่จุดวัดใดๆจากค่าดริฟท์ ณ สถานีฐานเมื่อถึงเวลานั้น ๆ ที่คำนวณได้ในแต่ละวงรอบนำค่า g_{mgal} ที่เปลี่ยนแปลงนี้ไปลบออกจากค่า g_{mgal} ที่อ่านได้

3.3.3 ปรับค่าความถ่วงของแต่ละจุดวัด ความถ่วงที่ผ่านการปรับแก้ดริฟท์แล้ว ให้เป็นค่าความถ่วงสัมบูรณ์ โดยอ้างอิงกับจุดอ้างอิง SC001 ที่หน้าตึกคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา(กริด 666000E,774637N)ซึ่งมีค่าความถ่วงสัมบูรณ์เท่ากับ 9781219.8 gu (1 gu = 1 $\mu m/s^2$)

3.4 การแก้ไขละติจูด (latitude correction)

การแก้ไขละติจูดเป็นการปรับแก้การเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วง จากการที่โลกไม่ได้เป็นทรงกลมอย่างแท้จริงแต่มีส่วนที่แบนตรงขั้วโลกและป่องตรงที่เส้นศูนย์สูตรและเนื่องจากโลก

หมุนรอบตัวเองโดยมีความเร็วเชิงมุมของจุดบนผิวโลกมีแตกต่างกัน โดยใช้ Clairaut's formula ซึ่งแสดงสัมพันธ์ของค่าความถ่วงกับค่าละติจูดบนวัตถุทรงกลมอ้างอิง (reference spheriod) ดังสมการ 5 (วรวุฒิ โลหะวิจารณ์,2537)

$$g_{\phi} = g_0(1 + k_1\sin^2\phi + k_2\sin^2 2\phi) \text{ ------------------------------------- } (5)$$

เมื่อ g_{ϕ} คือ ค่าความถ่วงสัมบูรณ์ที่ละติจูด ϕ

g_0 คือ . 9780318 gu เป็นค่าความถ่วงสัมบูรณ์ที่เส้นศูนย์สูตร

k_1 คือ ค่าคงที่เท่ากับ 0.0053024

k_2 คือ ค่าคงที่เท่ากับ - 0.0000059

ϕ คือ ค่าละติจูดในหน่วยองศา

โดยค่า g_{ϕ} เป็นค่าความถ่วงที่คาดหมายที่จุดใดๆที่ระดับน้ำทะเลบนผิวโลกและจะนำไปหักลบออกจากค่าความถ่วงที่วัดได้เพื่อปรับแก้การเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงตามละติจูด

3.5 การแก้ไขฟรี-แอร์ (Free-air correction)

เนื่องจากโลกมีภูมิประเทศสูงต่ำไม่เท่ากันดังนั้นสถานีวัดที่อยู่ในระดับต่างกันก็เปรียบเสมือนว่าสถานีวัดนั้นอยู่ห่างจากศูนย์กลางของโลกไม่เท่ากัน ทำให้การวัดค่าสนามโน้มถ่วงที่วัดได้ทั้งสองสถานีมีค่าไม่เท่ากัน ทั้งๆที่การกระจายของมวลภายใต้สถานีทั้งสองนี้เหมือนกันค่าที่วัดได้จากสองสถานีนี้ถ้าแก้ระดับความสูงต่ำแล้วก็ควรจะมีค่าเท่ากัน ยกเว้นในกรณีที่การกระจายของมวลภายใต้พื้นสถานีทั้งสองแตกต่างกันเนื่องจากค่าความถ่วงแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางจากศูนย์กลางของโลก นั่นคือ $g \cong -GM/r^2$ เมื่อ M คือ มวลของโลก r คือ ระยะทางจากจุดศูนย์กลางโลกมายังสถานีวัด และ G เป็นค่าคงตัวสากล ดังนั้นจุดต่างๆ ซึ่งอยู่ที่ระดับความสูงต่างกันจะมีค่าความถ่วงไม่เท่ากันจึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับแก้ค่าความถ่วงของจุดวัดต่างๆให้เป็นค่าความถ่วงที่ระดับมูลฐาน(a datum level)เดียวกัน ทั้งนี้ยังไม่คำนึงถึงมวลดินหรือมวลหินซึ่งอยู่ระหว่างจุดวัดกับระดับมูลฐานโดยอาศัยความสัมพันธ์ ดังสมการ 6 (Parasnis, 1986)

$$FC = 3.072 \times \Delta h \text{ ------------------------------------- } (6)$$

เมื่อ FC คือ ค่าปรับแก้ฟรี-แอร์ ในหน่วย $\mu m/s^2$ หรือ gu

Δh คือ ความสูงของจุดวัดเหนือระดับมูลฐานในหน่วย m

โดยค่า FC จะมีค่าเป็นบวกสำหรับสถานีวัดที่อยู่สูงกว่าระดับอ้างอิงและจะมีค่าเป็นลบสำหรับสถานีวัดที่อยู่ต่ำกว่าระดับอ้างอิง ดังนั้นการแก้ค่าสนามโน้มถ่วงของสถานีวัดต่างๆทำได้โดยการบวกค่า FC เข้ากับค่าสนามโน้มถ่วงของสถานีที่อยู่สูงกว่าระดับอ้างอิงนั้นๆ และในทางกลับกันถ้าสถานีวัดที่อยู่ต่ำกว่าระดับอ้างอิงก็จะหักลบ FC ออกจากค่าสนามโน้มถ่วงที่วัดได้ของสถานีนั้นๆ ดังสมการ 7 (ธนินทร์ พงศ์มาศ,2533)

$$FA = g_{obs} - g\phi \pm 3.072 \times \Delta h \text{ ------------------------ (7)}$$

เมื่อ FA คือ ค่าสนามโน้มถ่วงที่ปรับแก้ฟรี-แอร์แล้ว ในหน่วย $\mu m/s^2$ หรือ gu

g_{obs} คือ ค่าสนามโน้มถ่วงที่ที่วัดได้ของสถานีนั้นๆ

$g\phi$ คือ ค่าความถ่วงสัมบูรณ์ที่ละติจูด ϕ

Δh คือ ความสูงของจุดวัดเหนือระดับมูลฐานในหน่วย m

3.6 การแก้ไขบูเกอร์ (Bouguer correction)

เนื่องจากสถานีวัดอยู่ในระดับความสูงต่ำไม่เท่ากัน ดังภาพประกอบ 21 การปรับแก้เฉพาะค่า FC ไม่เพียงพอเพราะต้องคำนึงถึงแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นจากหินที่อยู่ระหว่างสถานีนั้นด้วย ฉะนั้นการปรับแก้ค่าบูเกอร์นี้เป็นการปรับแก้แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นจากมวลที่อยู่ระหว่างจุดวัดกับระดับมูลฐานโดยใช้ความสัมพันธ์ (Parasnis, 1986)

$$BC = 0.4191 \times 10^{-3} \rho \Delta h \text{ -------------------------------- (8)}$$

เมื่อ BC คือ ค่าแก้ไขบูเกอร์ ในหน่วย $\mu m/s^2$

ρ คือ ความหนาแน่นของชั้นหินที่อยู่ระหว่างระดับมูลฐานกับสถานีวัดใดๆ ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 2500 kg/m^3

h คือ ค่าความสูงของจุดวัดเหนือระดับมูลฐานในหน่วย m

ดังนั้นการแก้ค่าสนามโน้มถ่วงของสถานีวัดต่างๆทำได้โดยการนำค่าสถานีวัดที่อยู่สูงกว่าสถานีวัดอ้างอิงให้เอา BC ที่ได้ลบออกจากค่าสนามโน้มถ่วงที่วัดได้ของสถานีนั้นๆและในทางกลับกันถ้าสถานีวัดที่อยู่ต่ำกว่าสถานีวัดอ้างอิงก็ให้เอา BC ที่ได้บวกเข้ากับค่าสนามโน้มถ่วงที่วัดได้ของสถานีนั้นๆ ดังสมการข้างล่างนี้ (ธนินทร์ พงศ์มาศ,2533)

$$BA = g_{obs} - g\phi \pm 3.072 \times \Delta h \mp 0.4191 \times 10^{-3} \rho\Delta h \text{ ------- (9)}$$

เมื่อ BA คือ ค่าสนามโน้มถ่วงที่ปรับแก้บูเกอร์แล้ว ในหน่วย $\mu m/s^2$ หรือ gu

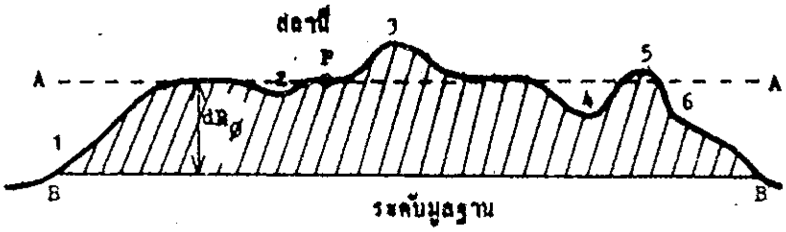
g_{obs} คือ ค่าสนามโน้มถ่วงที่ที่วัดได้ของสถานีนั้นๆ

$g\phi$ คือ ค่าความถ่วงสัมบูรณ์ที่ละติจูด ϕ

Δh คือ ความสูงของจุดวัดเหนือระดับมูลฐานในหน่วย m

ρ คือ ความหนาแน่นของชั้นหินที่อยู่ระหว่างระดับมูลฐานกับสถานีวัดใดๆ ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 2500 kg/m^3

ภาพประกอบ 21 การปรับแก้บูเกอร์ที่จุดวัด
(ที่มา : กิตติชัย วัฒนานิกร,2526)

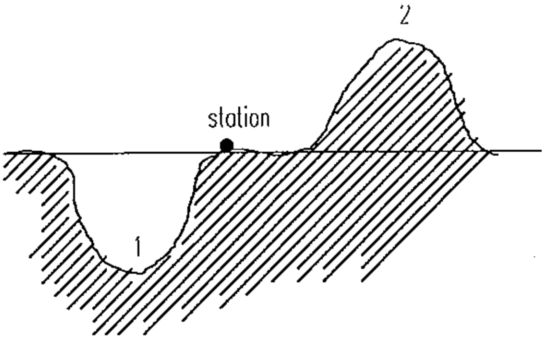


3.7 การแก้ไขลักษณะภูมิประเทศ (Terrain correction)

เนื่องจากลักษณะผิวโลกไม่ราบเรียบซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยภูเขา หุบเขา ดังภาพประกอบ 22 และถ้าสถานีวัดอยู่ใกล้กับภูมิประเทศส่วนที่ไม่ราบเรียบนี้มีผลทำให้การวัดค่าสนามโน้มถ่วงผิดไปจากค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี เช่น การวัดค่าความถ่วงใกล้ภูเขา มวลของ

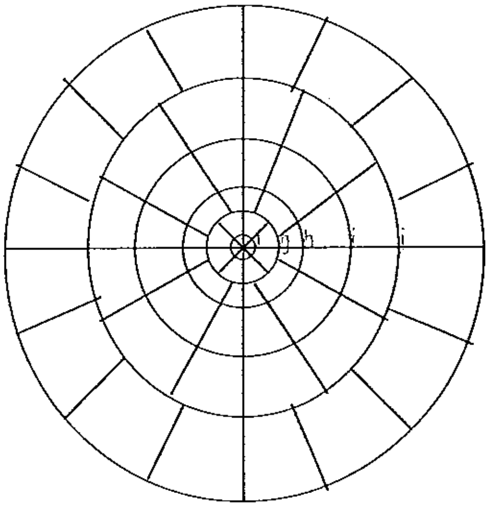
ภูเขาจะก่อให้เกิดแรงดึงดูดในแนวดิ่งขึ้น ทำให้ค่าสนามโน้มถ่วงที่อ่านได้น้อยไป และในทำนองเดียวกันถ้าจุดวัดอยู่ใกล้กับหุบเหวหรือหุบเขาซึ่งมวลที่อยู่ในหุบเหวนั้นหายไป จึงทำให้ค่าสนามโน้มถ่วงที่อ่านได้น้อยไปจากความเป็นจริง เพราะฉะนั้นการปรับแก้ภูมิประเทศจึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อเอาอิทธิพลของภูเขาและแอ่งหุบเหวเหล่านี้มาพิจารณาแก้ไขค่าความโน้มถ่วงที่อ่านได้โดยในการแก้ไขจำเป็นต้องนำเอาปริมาณการแก้ไขลักษณะภูมิประเทศ(TC) ที่ได้ไปบวกเข้ากับค่าที่อ่านได้ ณ.สถานีวัดเสมอไม่ว่าจะเป็นการแก้ไขเนื่องจากภูเขาหรือแอ่งหุบเหวก็ตาม

ภาพประกอบ 22 ลักษณะภูมิประเทศซึ่งมีผลต่อค่าความถ่วง
(ที่มา : พวงทิพย์ ร่างเล็ก,2538)



การปรับแก้ไขภูมิประเทศวิธีกระทำโดยใช้แกรติคูลวงกลม(circular graticule)ซึ่งแบ่งออกเป็นห้องๆโดยเส้นรัศมีและเส้นรอบวงของวงกลมมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน เรียกว่า แผนภูมิแฮมเมอร์(Hammer chart)ดังภาพประกอบ 23 ซึ่งในแผนภูมินี้จะแบ่งออกเป็นโซน(zone)โดยแต่ละโซนจะมีรัศมีเท่ากัน ประกอบด้วยโซน B,C,D,E,F,G,H,I และ J ตามลำดับและแต่ละโซนยังแบ่งออกเป็นห้อง ๆ อีก คือ 4,6,6,8,8,12,12,12 และ 16 ห้อง ตามลำดับ ดังตาราง 3 (สำหรับโซน B,C,D และ E ได้ประเมินผลต่างความสูงของจุดวัดกับความสูงเฉลี่ยของแต่ละห้องไว้แล้วในงานภาคสนาม)

ภาพประกอบ 23 แผนภูมิแฮมเมอร์(Hammer chart)



ตาราง 4 ค่าปรับแก้ภูมิประเทศของแผนภูมิแฮมเมอร์

โซน	r_1(m)	r_2(m)	n
B	2.0.0	16.6	4
C	16.6	53.3	6
D	53.5	170.1	6
E	170.1	390.1	8
F	390.1	894.8	8
G	894.8	1529.4	12
H	1529.4	2614.4	12
I	2614.4	4468.8	12
J	4468.8	6652.2	16

เมื่อ r_1 , r_2 คือ รัศมีวงในและวงนอกตามลำดับ n คือ จำนวนโซนในแต่ละวง โดยการวางแผนภูมิแฮมเมอร์ลงบนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 โดยให้จุดศูนย์กลางของแผนภูมิอยู่ที่จุดวัดแล้วทำการประเมินค่าระดับความสูงเฉลี่ยในแต่ละห้องของแกรติคูลแล้วนำผลต่างของระดับความสูงเฉลี่ยของภูมิประเทศในแต่ละห้องกับความสูงของจุดวัดไปคำนวณค่าปรับแก้ภูมิประเทศ (Terrain Correction:TC)ของแต่ละส่วนของแผนภูมิ ได้ดังนี้

$$T = \left(0.4191 \times 10^{-3}\right)\left(\frac{1}{n}\right)\left\{r_2 - r_1 + \left(\sqrt{r_2^2 + z^2}\right) - \left(\sqrt{r_1^2 + z^2}\right)\right\} \text{ ------ (10)}$$

โดย T คือ ค่าปรับแก้ลักษณะภูมิประเทศต่อหน่วยความหนาแน่น (gu/kg.m^{-3})

n คือ จำนวนช่องในแต่ละโซน

r_1(m) คือ รัศมีวงในของโซน

r_2(m) คือ รัศมีวงนอกของโซน

Z(m) คือ ผลต่างความสูงของโซนต่างๆกับจุดวัด

ในที่นี้ได้นำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณอิทธิพลรวมของภูมิประเทศเพื่อประหยัดเวลาในการทำงาน ดังสมการ 11 (Parasnis,1986)

$$TC = T\rho \text{ -- (11)}$$

เมื่อ TC คือ ค่าปรับแก้ภูมิประเทศ

T คือ ค่าปรับแก้ของภูมิประเทศต่อหนึ่ง kg/m^3

ρ คือ ความหนาแน่นของชั้นหินที่อยู่ใต้ผิวดินในที่นี้ใช้ 2500 kg/m^3

3.8 ค่าสนามโน้มถ่วงบูเกอร์(Bouguer gravity)

ค่าสนามโน้มถ่วงของสถานีต่างๆที่ได้รับการแก้ไขอิทธิพลต่างๆดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เรียกว่า ค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ (Absolute Bouguer Anomaly) แทนด้วย Δg_B (Parasnis,1986)

$$\Delta g_B = g_{obs} - g_{\phi} \pm FC \pm BC + TC \text{ ----------------------------- (12)}$$

เมื่อ Δg_B คือ ค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ ในหน่วย $\mu m/s^2$ หรือ gu

g_{obs} คือ ค่าสนามโน้มถ่วงจากสถานีวัดที่วัดได้

g_ϕ คือ ค่าความถ่วงที่ระดับน้ำทะเลปานกลางที่ละติจูด ϕ

FC คือ ค่าแก้ไขฟรีแอร์

BC คือ ค่าแก้ไขบูเกอร์

TC คือ ค่าแก้ไขภูมิประเทศ

3.9 นำค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ไปเขียนแผนที่คอนทัวร์ด้วยโปรแกรมเซอร์เฟอร์สำหรับวินโดว์(Winsurf) เวอร์ชัน 5.0

3.10 ตัดภาคตัดขวางความถ่วง จำนวน 7 แนว ในทิศ NW-SE และ SW-NE โดยแต่ละแนวอยู่ห่างกัน 10 กิโลเมตร ผ่านพื้นที่ศึกษา ดังนี้

3.10.1 แนว BC ตั้งแต่ 583000E,774800N ถึง 665800E,754600N ผ่านบ้านหนองหอยโข่ง บ้านผังที่ 19 บ้านเขาไคร บ้านค่ายร่วมมิตร บ้านวังพา เขาวังชิง บ้านควนเนียง

3.10.2 แนว D1_E1 ตั้งแต่ 583000E,736300N ถึง 665800E,748500N ผ่านบ้านคลองน้ำพระ บ้านวังพะเนียด เขามดแดง เขาจีน บ้านสี่แยกพัฒนา บ้านเขารูปช้าง บ้านทุ่งหมอ บ้านแม่น้ำ

3.10.3 แนว D2_E2 ตั้งแต่ 583000E,746300N ถึง 665800E,758588N ผ่านบ้านคลองสองฟาก บ้านท่าแพใต้ ควนมะไลลา เขาพระยาบังสา บ้านคุสน บ้านคลองหัก เขานุ้ย เขาวังชิง บ้านทุ่งลุง

3.10.4 แนว D3_E3 ตั้งแต่ 583000E,756300N ถึง 665800E,768500N ผ่านบ้านนากลาง บ้านบ้านห้วยไทร บ้านผังที่ 39 ควนกาหลง บ้านซอย 10 บ้านวังหมาก บ้านน้ำหรา บ้านค่ายร่วมมิตร เขาวังพา บ้านท่าหมอไชย สนามบินหาดใหญ่ บ้านหัวถนน

3.10.5 แนว D4_E4 ตั้งแต่ 583000E,766300N ถึง 665800E,778500N ผ่านบ้านหนามต้น บ้านแซะหมู่ เขาขาด บ้านควงชีวัน บ้านควนหมาก คลองวังใหญ่ ควนน้ำซับ บ้านลำไพลใต้ บ้านโคกพรุบัว

3.10.6 แนว D5_E5 ตั้งแต่ 583000E,776300N ถึง 665800E,788500N ผ่านบ้านอุไร บ้านทุ่งไหม้ บ้านผังที่ 14 บ้านเหนือคลอง บ้านเขานุ้ย เขาวัง ควนไถน บ้านหลองจูด บ้านคลองแห

3.10.7 แนว D6_E6 ตั้งแต่ 583000E,786300N ถึง 665800E,798500N ผ่านเขาติงเขาเขียว บ้านโคกสัก บ้านคลองเขาร้อน บ้านทุ่งคอก บ้านหน้าควน บ้านบางกล่ำ บ้านคลหม้อ

3.11 นำภาคตัดขวางในข้อ 3.10 มาสร้างแบบจำลองรูปร่างของวัตถุใต้ผิวดินโดยใช้โปรแกรม GMM

4. การวิเคราะห์ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก(k)และศึกษาข้อมูลที่ได้จากการบินสำรวจที่ระดับความสูง122 เมตร(400ฟุต) จากระดับน้ำทะเลปานกลางของกรมทรัพยากรธรณี ปี พ.ศ.2532

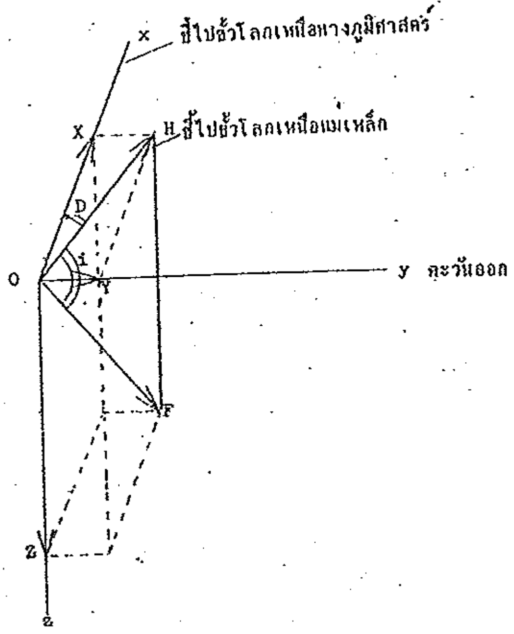
การวิเคราะห์ค่า k ที่สำรวจได้จากภาคสนามและการศึกษาข้อมูลความเข้มของสนามแม่เหล็กรวมของโลกที่ได้จากการบินสำรวจ มีวิธีดำเนินการดังต่อไปนี้

4.1 นำค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่วัดด้วยแคปปามิเตอร์ในการศึกษาตอนภาคสนามคูณด้วย 10^{-3} SI แล้วนำค่าที่ได้ไปเติมลงบนแผนที่ธรณีวิทยาของตามตำแหน่งที่เก็บหินตัวอย่าง

4.2 นำข้อมูลที่ได้จากการบินสำรวจซึ่งถูกบันทึกอยู่ในแผ่นข้อมูลแม่เหล็กมาเขียนแผนที่คอนทัวร์ โดยใช้โปรแกรมเซอร์เฟอร์สำหรับวินโดว์(Winsurf) เวอร์ชัน 5.0

สำหรับความเข้มสนามแม่เหล็กผิดปกติได้จากผลต่างของความเข้มสนามแม่เหล็กโลกรวมกับความเข้มเนื่องจากสนามไดโพล โดยความเข้มเนื่องจากสนามไดโพลนี้ที่ตำแหน่งต่างๆบนผิวโลกขึ้นอยู่กับค่าละติจูดและลองจิจูดดังนี้(Parkinson, 1983)

ภาพประกอบ 24 องค์ประกอบของสนามแม่เหล็กโลก



เมื่อ x,y,z แทนองค์ประกอบของสนามแม่เหล็กในแนวทิศเหนือ,ทิศตะวันออกและแนวดิ่ง ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 24

$$x = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{n} \left\{ \left(b_n^m + g_n^m \right) \cos m\phi + \left(c_n^m + h_n^m \right) \sin m\phi \right\} \left(\frac{d}{d\theta} \right) p_n^m (\cos\theta)$$

$$y = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{n} \left\{ m \left(b_n^m + g_n^m \right) \sin m\phi - m \left(c_n^m + h_n^m \right) \cos m\phi \right\} \left(p_n^m \frac{\cos\theta}{\sin\theta} \right)$$

$$z = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{n} \left\{ \left[n b_n^m - (n+1) g_n^m \right] \cos m\phi + \left[n c_n^m - (n+1) h_n^m \right] \sin m\phi \right\} p_n^m (\cos\theta)$$

ถ้าใช้โคออร์ดิเนตแบบทรงกลม (r,θ, φ)

เมื่อ r คือ รัศมีของโลก ,θ คือ ค่าละติจูด และ φ คือ ค่าลองจิจูด

a คือ รัศมีของโลก และ $b_n^m, c_n^m, g_n^m, h_n^m$ เป็นสัมประสิทธิ์

เนื่องจากสัมประสิทธิ์ b และ c มีค่าน้อยกว่า g และ h มากจึงไม่นำ b และ c มาคำนวณ โดยจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในภาคผนวก ง

ดังนั้นจะได้สนามไดโพลที่ θ, φ ตำแหน่งใดๆบนผิวโลก ดังสมการ 13

$$F = \left(x^2 + y^2 + z^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{--} \quad (13)$$

เมื่อ F = ขนาดสนามไดโพลรวม

x = ขนาดสนามไดโพลตามแนวแกน x

y = ขนาดสนามไดโพลตามแนวแกน y

z = ขนาดสนามไดโพลตามแนวแกน z

นำความเข้มสนามแม่เหล็กไดโพลนี้ไปลบออกจากความเข้มสนามแม่เหล็กรวมของโลกที่ได้จากการบินสำรวจจะได้ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กผิดปกติเนื่องจากวัตถุในพื้นที่ศึกษา

4.3 ตัดภาคตัดขวางของข้อมูลสนามแม่เหล็กในแนวเดียวกันกับภาคตัดขวางความถ่วง ดังหัวข้อ 3.10

4.4 นำภาคตัดขวางในข้อ 4.4 มาสร้างแบบจำลองรูปร่างของวัตถุใต้ผิวดินโดยใช้โปรแกรม GMM

4.5 นำแบบจำลองวัตถุใต้ระดับน้ำทะเลทุกชิ้นมาเขียนแผนที่คอนทัวร์ความลึก

5. การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูลของตัวอย่างหินและศึกษาข้อมูลที่ได้จากการบินสำรวจของกรมทรัพยากรธรณีปี พ.ศ. 2532

วิธีสำรวจด้านการแผ่กัมมันตภาพรังสีเป็นวิธีทางธรณีฟิสิกส์วิธีหนึ่งที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตด้านธรณีวิทยาของหินและตรวจสอบสภาพโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินได้ เพราะหินแกรนิต หินทราย หินดินดาน มีธาตุกัมมันตรังสีปะปนอยู่เป็นปริมาณสูง ในขณะที่หินตะกอนอื่นๆมีธาตุกัมมันตรังสีปะปนอยู่น้อย

การศึกษาปริมาณธาตุกัมมันตรังสี มีวิธีดำเนินการดังต่อไปนี้

5.1 นำหินตัวอย่างมาทำการย่อยและบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดหินตัวอย่างยี่ห้อ Denver Equipment โดยแต่ละตัวอย่างหนักประมาณ 300-500 กรัม (หรือคือให้มีขนาดที่สามารถบรรจุในหัววัดได้)

5.2 นำหินตัวอย่างใส่ภาชนะอลูมิเนียมแล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งอิเลคทรอนิกส์ พร้อมเขียนรหัสและน้ำหนักติดไว้ข้างภาชนะ

5.3 นำหินตัวอย่างจากหัวข้อ 5.2 ไปอบด้วยเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้นออกจากหิน

5.4 นำหินตัวอย่างที่ได้หลังจากทำข้อ 5.3 แล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งอิเลคทรอนิกส์อีกครั้งหนึ่งและทำการเปรียบเทียบน้ำหนักที่ได้กับหัวข้อ 5.2

5.5 วางหินตัวอย่างในหัวข้อ 5.4 ให้เย็นแล้วบรรจุหินตัวอย่างดังกล่าวลงในกล่องพลาสติก ปิดฝาให้มิดชิดแล้วใช้เทปพันสายไฟหรือกระดาษกาวพันรอบฝากล่องเพื่อป้องกันความชื้นจากภายนอก

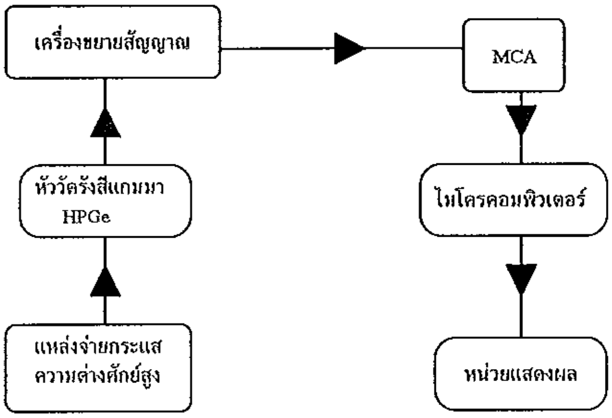
5.6 ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือนเพื่อให้เกิดสภาวะสมดุลของการสลายตัว

5.7 เตรียมสารมาตรฐาน เพื่อนำไปเปรียบเทียบในการวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม, ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลจากหินตัวอย่าง ดังภาคผนวก จ

5.8 เตรียมเครื่องมือให้พร้อมที่จะทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุกัมมันตภาพรังสี ดังต่อไปนี้

5.8.1 ต่อเครื่องวิเคราะห์รังสีแกมมาแบบหลายช่อง(MCA)เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลโดยมีโปรแกรม PC UTIL ในการวิเคราะห์ข้อมูล ส่วนอีกด้านต่อเข้ากับเครื่องขยายสัญญาณที่ต่อมาจากหัววัดรังสีแกมมาชนิดเยอมาเนียมบริสุทธิ์ ต่อหัววัดเข้ากับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูง ดังภาพประกอบ 25

ภาพประกอบ 25 การต่ออุปกรณ์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุกัมมันตรังสี
(ที่มา : พวงทิพย์ ร่างเล็ก,2538)



5.8.2 เปิดเครื่องมือวัดรังสีแกมมาหลังจากเปิดเครื่องให้ตรวจดูไนโตรเจนเหลว ว่าอยู่ในระดับปลอดภัยหรือไม่ โดยดูไฟที่ Preamp ถ้าสีเขียวสว่างแสดงว่าอยู่ในระดับปลอดภัยแต่ถ้าไฟสีแดงสว่างให้รีบปิดเครื่อง แล้วเติมไนโตรเจนเหลวก่อน จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 4 ชั่วโมง จึงเริ่มเปิดเครื่องใหม่

5.8.3 เมื่อตรวจดูแล้วไฟสีเขียวสว่างที่ Preamp ให้ป้อนความต่างศักย์สูง(High Voltage) อย่างช้า ๆ ไปที่ 4,000 โวลต์

5.8.4 เปิดเครื่องทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ในระหว่างนี้นำ Co-60 ขนาด 1 μCi (สีแสด) มาวางไว้ในตำแหน่งหัววัดแล้วกดปุ่ม Energy ที่เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (MCA) เมื่อยอดของ Co-60 อยู่ที่ตำแหน่ง 1170 และ 1332 keV แสดงว่าเครื่องมือพร้อมที่จะเริ่มทำงาน

5.8.5 นำ Co-60 ออกจากตำแหน่งหัววัด ลบข้อมูลของ Co-60 บนหน้าจอออก

5.9 ทำการวัดรังสีพื้นหลัง (background radiation) ซึ่งเป็นรังสีที่มาจากแหล่งอื่นที่ไม่ใช่จากหินตัวอย่าง โดยปิดฝาหัววัดแล้วตั้งเวลา 28800 วินาที (8 hr) ตั้งความจำที่ 1/2 เปิดเครื่องให้เริ่มทำงาน

5.10 ทำการวัดรังสีโดยนำหินตัวอย่างไปวางในตำแหน่งหัววัด ปิดฝาหัววัดแล้วตั้งเวลา 28800 วินาที (8 hr) ตั้งความจำที่ 1/2 เปิดเครื่องให้เริ่มทำงาน ดังหัวข้อ 5.9

5.11 เมื่อครบเวลาที่ตั้งไว้ให้บันทึกข้อมูลที่อยู่ใต้ยอดที่สนใจ ในที่นี้ต้องการข้อมูลใต้ยอดของโพแทสเซียม (K-40) ยูเรเนียมสมมูล (eU) และทอเรียมสมมูล (eTh)ในการวัดปริมาณโพแทสเซียมใช้ยอดสเปกตรัมที่ระดับพลังงาน 1464.7 keV คือตั้งแต่ช่อง 505-514 เป็นตัวเปรียบเทียบพลังงานระดับนี้มาจาก K-40 ที่มีอยู่ในโพแทสเซียมตามธรรมชาติ ในการหาปริมาณ

ยูเรเนียมสมมูล ได้ใช้ยอดสเปกตรัมที่ระดับพลังงาน 1765.5 keV คือตั้งแต่ช่อง 613-620 เป็นตัวเปรียบเทียบ รังสีแกมมาที่ระดับพลังงานนี้มาจาก ^{214}Bi สำหรับการหาปริมาณทอเรียมสมมูลได้ใช้ยอดสเปกตรัมที่ระดับพลังงาน 2625.5 keV คือตั้งแต่ช่อง 913-920 เป็นตัวเปรียบเทียบ รังสีแกมมาที่ระดับพลังงานนี้เป็นผลมาจาก ^{208}Tl ซึ่งเป็นลูกของ ^{232}Th จากนั้นบันทึกข้อมูลเป็นจำนวนนับของรังสีไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม PC UTIL ทำเช่นเดียวกันนี้กับตัวอย่างอื่น ๆ ทุกตัวอย่าง

5.12 ทำการวัดรังสีพื้นหลัง (background radiation) อีกครั้งหนึ่งโดยใช้เวลา 28800 วินาที และเก็บข้อมูลใต้ยอดในช่วงเดียวกับกรณีของหินตัวอย่างแล้วนำข้อมูลส่วนนี้ไปหักลบออกจากข้อมูลของหินตัวอย่างและสารมาตรฐาน

5.13 วัดรังสีจากสารมาตรฐานซึ่งได้เตรียมเอาไว้แล้วในข้อ 5.7 โดยใช้เวลา 28800 วินาที เช่นกันและเก็บข้อมูลในช่วงเดียวกับกรณีของหินตัวอย่างและรังสีพื้นหลัง

5.14 วิเคราะห์หาความความเข้มข้นของสารตัวอย่างโดยใช้สมการจากกราฟของสารมาตรฐาน โดยการคำนวณหาความเข้มข้นของโพแทสเซียม(K),ยูเรเนียมสมมูล(eU)และทอเรียมสมมูล (eTh) ในหินตัวอย่าง ดังภาคผนวก จ

5.15 คำนวณค่าความผิดพลาด ใช้ความสัมพันธ์

$$\sigma s = \sqrt{N} \quad \text{--} \quad (14)$$

เมื่อ N คือ จำนวนนับใต้ยอดสเปกตรัม

X คือ จำนวนนับใต้ยอดสเปกตรัมของหินตัวอย่างหรือสารมาตรฐาน

Y คือ จำนวนนับใต้ยอดสเปกตรัมของค่าพื้นหลัง

จะบันทึกจำนวนนับของสารมาตรฐานหรือหินตัวอย่างเป็น $X \pm \sigma_X$

จะบันทึกจำนวนนับของค่าพื้นหลังเป็น $Y \pm \sigma_Y$

จำนวนนับสุทธิเท่ากับ $X - Y \pm \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$

5.16 นำข้อมูลโพแทสเซียม,ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลที่ได้จากการบินสำรวจซึ่งบันทึกไว้ในแผ่นข้อมูลแม่เหล็กของกรมทรัพยากรธรณี(2532)มาเขียนแผนที่คอนทัวร์โดยใช้โปรแกรมเซอร์เฟอร์สำหรับวินโดว์(Winsurf) เวอร์ชัน 5.0 เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการแปลผลข้อมูลต่อไป

บทที่ 3

ผลและการอภิปรายผล

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัยหลังจากการสำรวจด้านความถ่วงและค่าความถ่วงได้รับการแก้ไขจนได้ค่าความถ่วงผิดปกติของบูเกอร์แล้วและนำมาทำการแปลความโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อวินิจฉัยสภาพธรณีวิทยาและลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ดินจากค่าภาคตัดขวางทางด้านความถ่วงและค่าภาคตัดขวางด้านสนามแม่เหล็กรวมของโลก นอกจากนั้นยังมีการวิเคราะห์ข้อมูลกัมมันตภาพรังสีจากหินตัวอย่างและข้อมูลจากการบินสำรวจทางอากาศเพื่อตรวจสอบสภาพธรณีวิทยาและลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ดินอีกด้วย โดยนำเสนอผลการวิจัยตามลำดับดังต่อไปนี้

1. ผลการศึกษาความหนาแน่น
2. ผลการศึกษาค่าผิดปกติด้านความถ่วง
3. ผลการศึกษาค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลก
4. การแปลความผลการศึกษาค่าผิดปกติด้านความถ่วงและค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลก
5. ผลการศึกษาข้อมูลกัมมันตภาพรังสีจากการบินสำรวจและการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูล

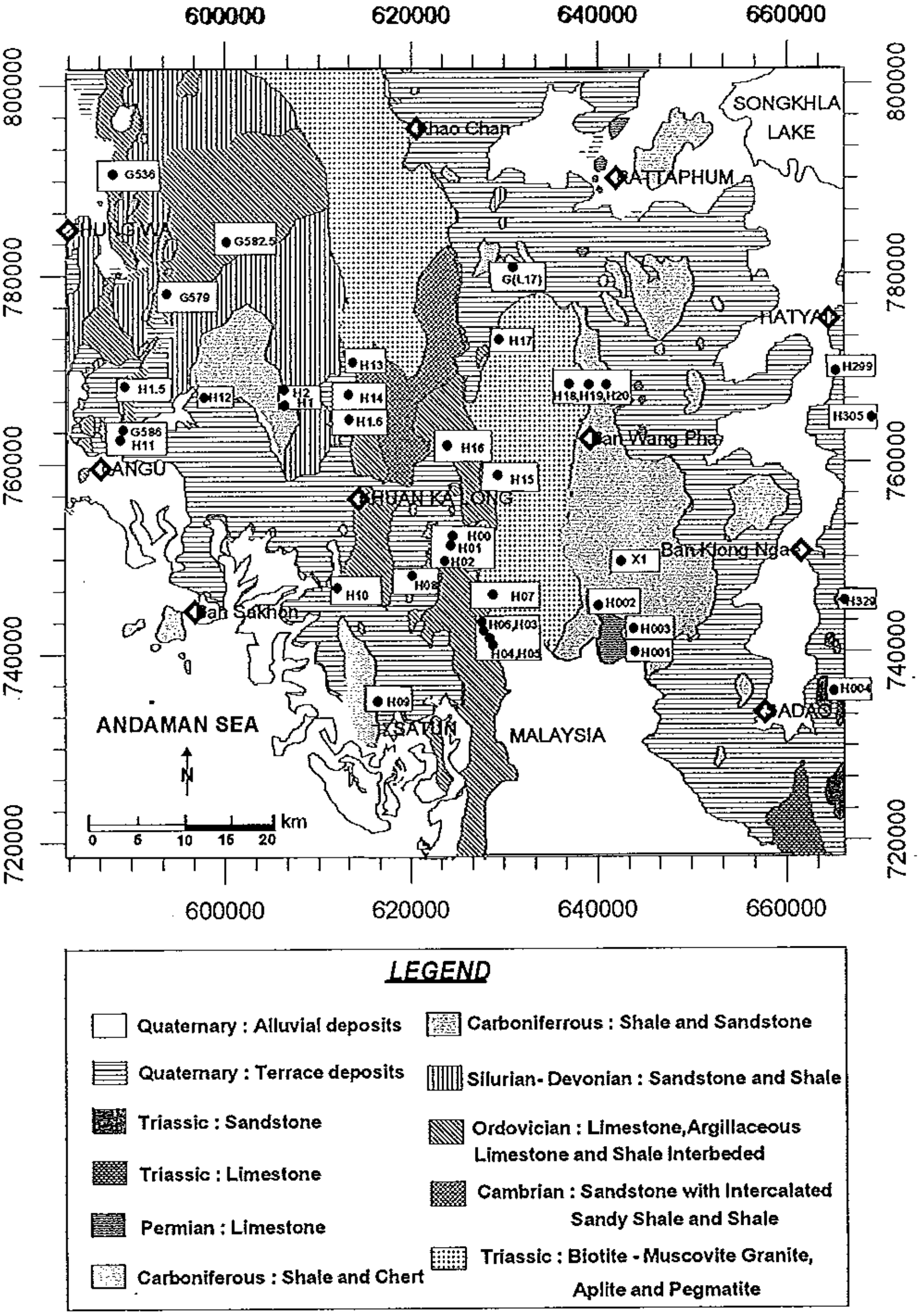
1. ผลการศึกษาความหนาแน่น

เนื่องจากค่าความหนาแน่นของหินมีความสำคัญต่อความถูกต้องของความโน้มถ่วงผิดปกติบูเกอร์และการแปลความด้านความถ่วง ดังนั้นการศึกษาความหนาแน่นของหินมีวัตถุประสงค์เพื่อนำค่าความหนาแน่นที่ได้ไปใช้ในการสร้างแบบจำลองของธรณีวิทยาใต้ดินซึ่งให้ค่าผิดปกติบูเกอร์สอดคล้องกับค่าผิดปกติที่วัดได้

หินตัวอย่างที่สามารถเก็บได้ในบริเวณพื้นที่ศึกษา ส่วนใหญ่จะเก็บจากเส้นทางที่ทำการวัดค่าความถ่วงรวม 39 ตำแหน่ง โดยในแต่ละตำแหน่งจะเก็บหินตัวอย่างประมาณ 1-9 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 140 ตัวอย่าง ดังภาพประกอบ 26

<u>หมายเหตุ</u> สำหรับหินทรายในยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียนและหินทรายในยุคแคมเบรียนไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้เนื่องจากไม่มีถนนเข้าถึงแหล่งหินโผล่

ภาพประกอบ 26 ตำแหน่งเก็บหินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา



หินตัวอย่างแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มคือ (1) กลุ่มหินแกรนิต ยุคไทรแอสซิก จำนวน 8 ตำแหน่ง รวม 37 ตัวอย่าง (2) หมู่หินทราย ยุคไทรแอสซิก จำนวน 3 ตำแหน่ง รวม 19 ตัวอย่าง (3) หมู่หินดินดาน ยุคคาร์บอนิเฟอรัส จำนวน 15 ตำแหน่ง รวม 58 ตัวอย่าง (4) หมู่หินปูน ยุคออร์โดวิเชียน จำนวน 15 ตำแหน่ง รวม 56 ตัวอย่าง และ (5) หมู่หินปูน ยุคเพอร์เมียน จำนวน 1 ตำแหน่ง รวม 8 ตัวอย่าง

ความหนาแน่นเฉลี่ยของหินตัวอย่างและค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่างแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ศึกษา มีค่าดังแสดงไว้ในตารางที่ 5 และภาพประกอบ 27

ตาราง 5 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา

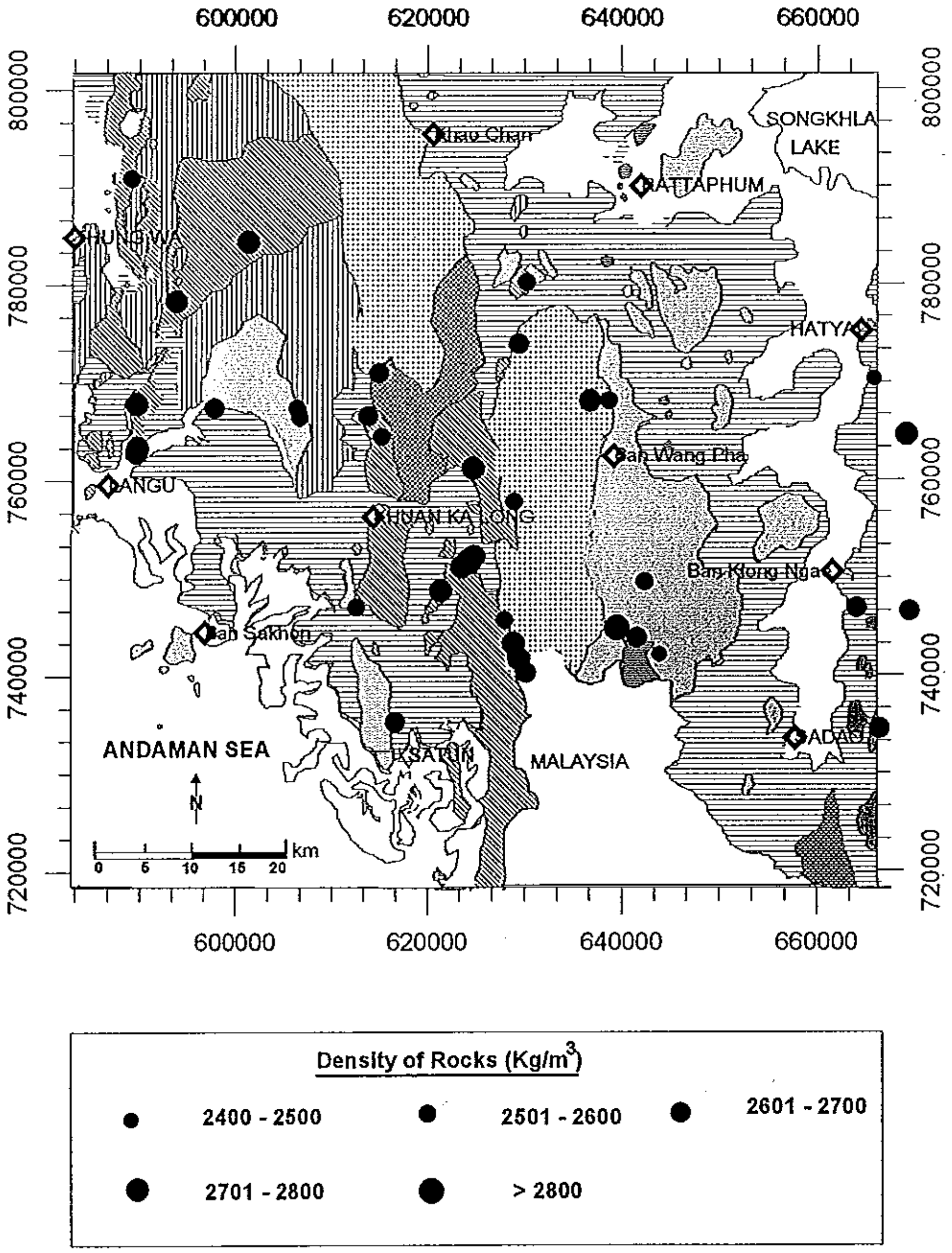
หิน	ความหนาแน่นเฉลี่ย (kg/m^3)	จำนวนตำแหน่ง (จำนวนตัวอย่าง)	ยุค
หินปูน	2818 ± 48	1(8)	เพอร์เมียน
หินปูน	2734 ± 48	15(56)	ออร์โดวิเชียน
หินแกรนิต	2619 ± 44	8(37)	ไทรแอสซิก
หินดินดาน	2604 ± 88	12(58)	คาร์บอนิเฟอรัส
หินทราย	2562 ± 43	3(19)	ไทรแอสซิก
ตะกอนควาเทอร์นารี	2100	-----	ควาเทอร์นารี

จากตาราง 5 จะเห็นว่าหินปูนมีความหนาแน่นมากที่สุด คือ หินปูน ยุคเพอร์เมียน มีความหนาแน่นเท่ากับ 2818± 48 kg/m^3 และหินปูน ยุคออร์โดวิเชียน มีความหนาแน่นเท่ากับ 2734± 48 kg/m^3 รองลงมาเป็นหินแกรนิต ยุคไทรแอสซิก มีความหนาแน่นเท่ากับ 2619 ± 44 kg/m^3 หินดินดาน ยุคคาร์บอนิเฟอรัส มีความหนาแน่นเท่ากับ 2604 ± 88 kg/m^3 และหินทราย ยุคไทรแอสซิก มีความหนาแน่นเท่ากับ 2562 ± 43 kg/m^3 ตามลำดับ

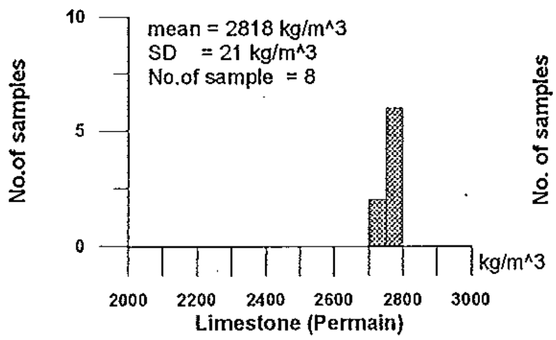
ส่วนตะกอนควาเทอร์นารีนั้นไม่ได้เก็บตัวอย่างหินเนื่องจากเป็นตะกอนที่จับตัวกันอย่างหลวมๆแตกย่อยได้ง่ายทำให้ไม่สามารถใช้เทคนิคการวัดค่าความหนาแน่นเพื่อกำหนดค่าความหนาแน่นของตะกอนควาเทอร์นารีได้

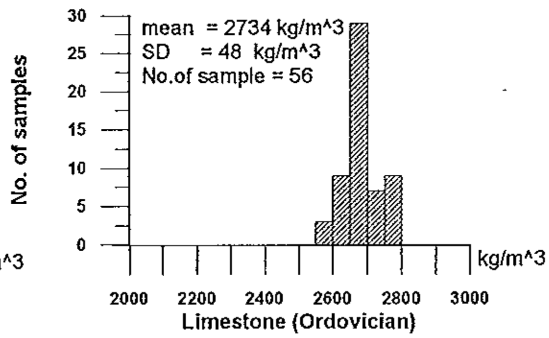
สำหรับการกระจายของค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา พบว่าหินดินดาน ยุคคาร์บอนิเฟอรัส มีการกระจายมากที่สุด โดยมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2435 - 2750 kg/m^3 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 88 kg/m^3 จากหินตัวอย่างจำนวน 58 ตัวอย่างรองลงมา เป็นหินปูน ยุคออร์โดวิเชียน มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2629-2827 kg/m^3 และมีค่าความ-เบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 48 kg/m^3 จากหินตัวอย่างจำนวน 56 ตัวอย่าง หินแกรนิต ยุคไทรแอสซิก มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2523 - 2699 kg/m^3 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 45 kg/m^3 จากหินตัวอย่างจำนวน 37 ตัวอย่าง หินทราย ยุคไทรแอสซิก มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2453 - 2627 kg/m^3 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 43 kg/m^3 จากหินตัวอย่างจำนวน 19 ตัวอย่าง หินปูน ยุคเพอร์เมียน มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2791 - 2846 kg/m^3และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 21 kg/m^3 จากหินตัวอย่างจำนวน 8 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงไว้ดังภาพประกอบ 28 และเมื่อเปรียบเทียบการกระจายค่าความหนาแน่นของหินแกรนิตกับหินตะกอนชนิดต่างๆ พบว่าหินแกรนิตมีค่าความหนาแน่นค่อนข้างสูงแต่ไม่ได้มีค่าสูงที่สุด โดยค่าความหนาแน่นส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 2550-2700 kg/m^3 ซึ่งแสดงไว้ดัง ภาพประกอบ 29

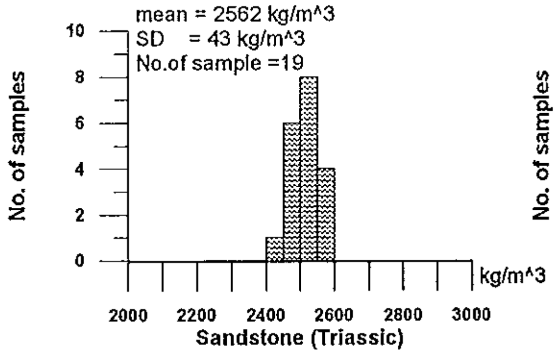
ภาพประกอบ 27 ความหนาแน่นของหินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา

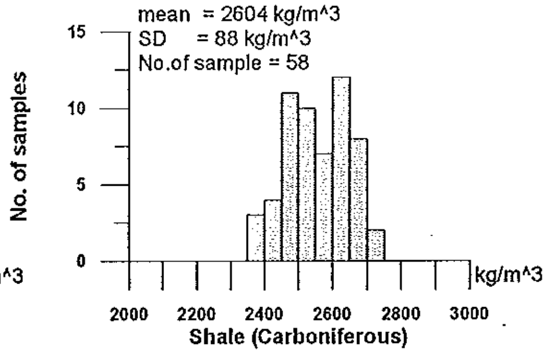


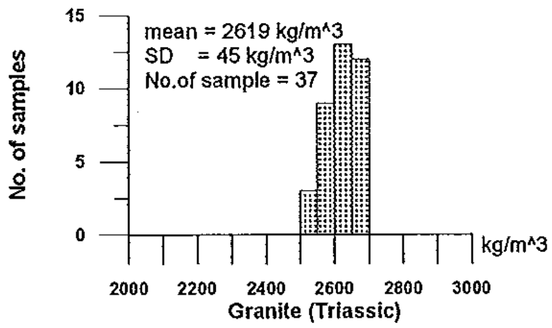
ภาพประกอบ 28 การกระจายค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา



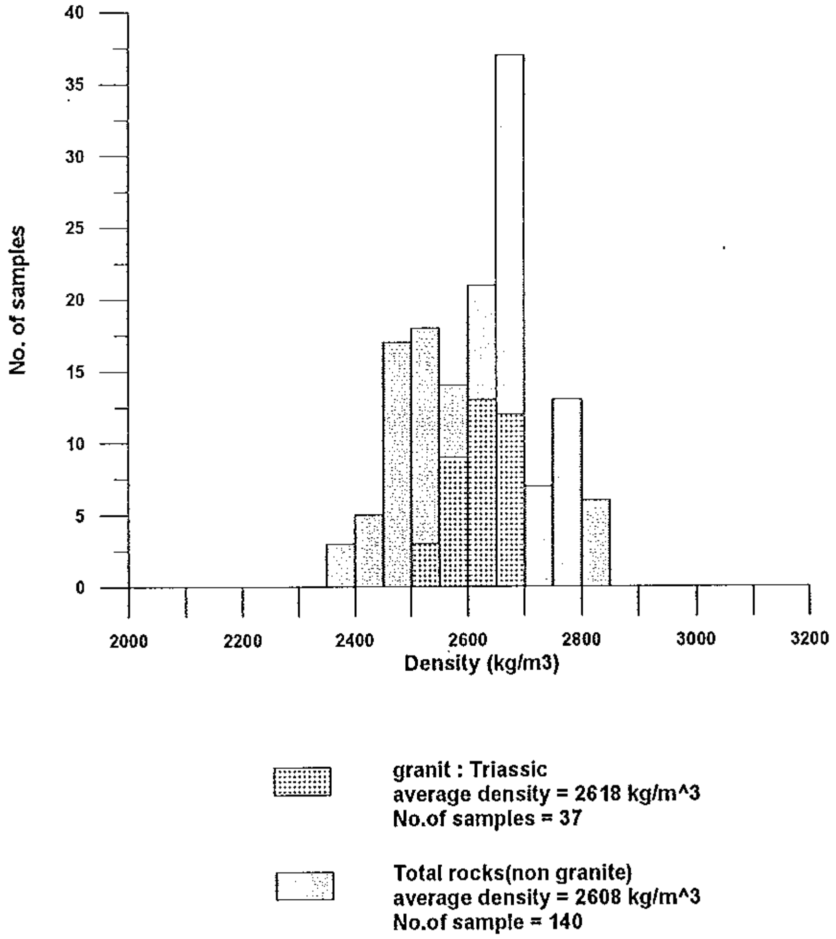








ภาพประกอบ 29 การกระจายค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินแกรนิตเปรียบเทียบ
กับหินตะกอนของพื้นที่ที่ทำการศึกษา

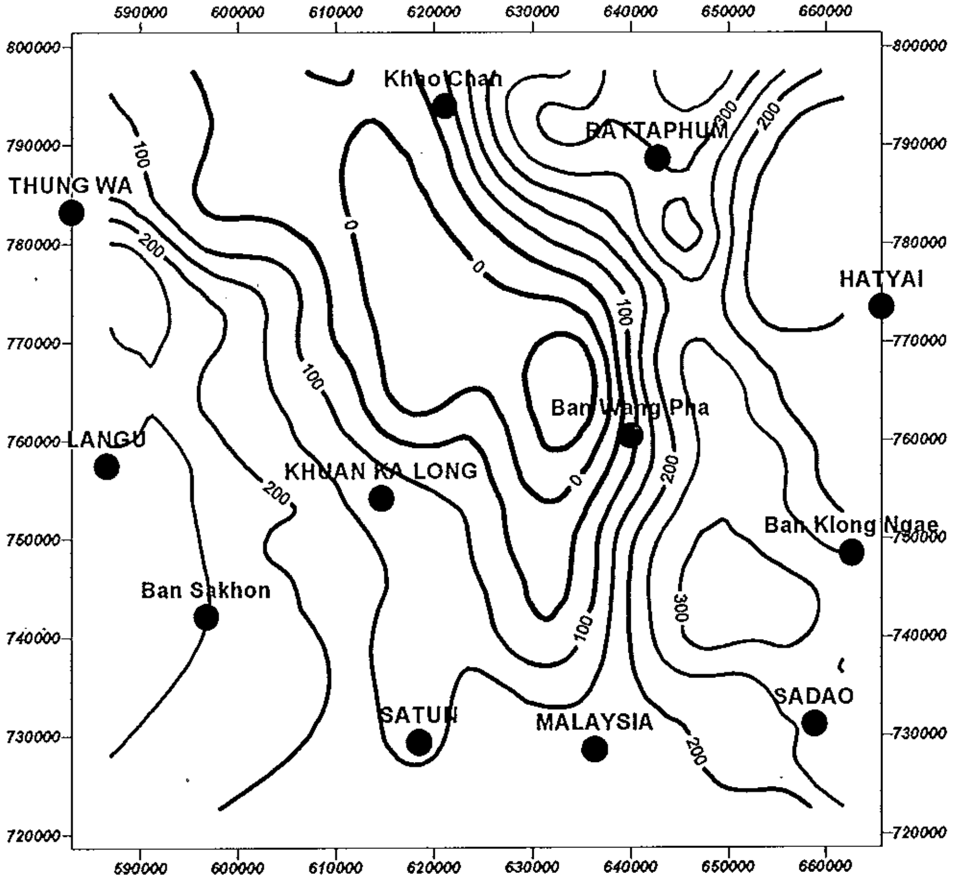


2. ผลการศึกษาค่าผิดปกติด้านความถ่วง

การศึกษาความถ่วง มีวัตถุประสงค์เพื่อวินิจฉัยสภาพธรณีวิทยา ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาและกำหนดขอบเขตด้านธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

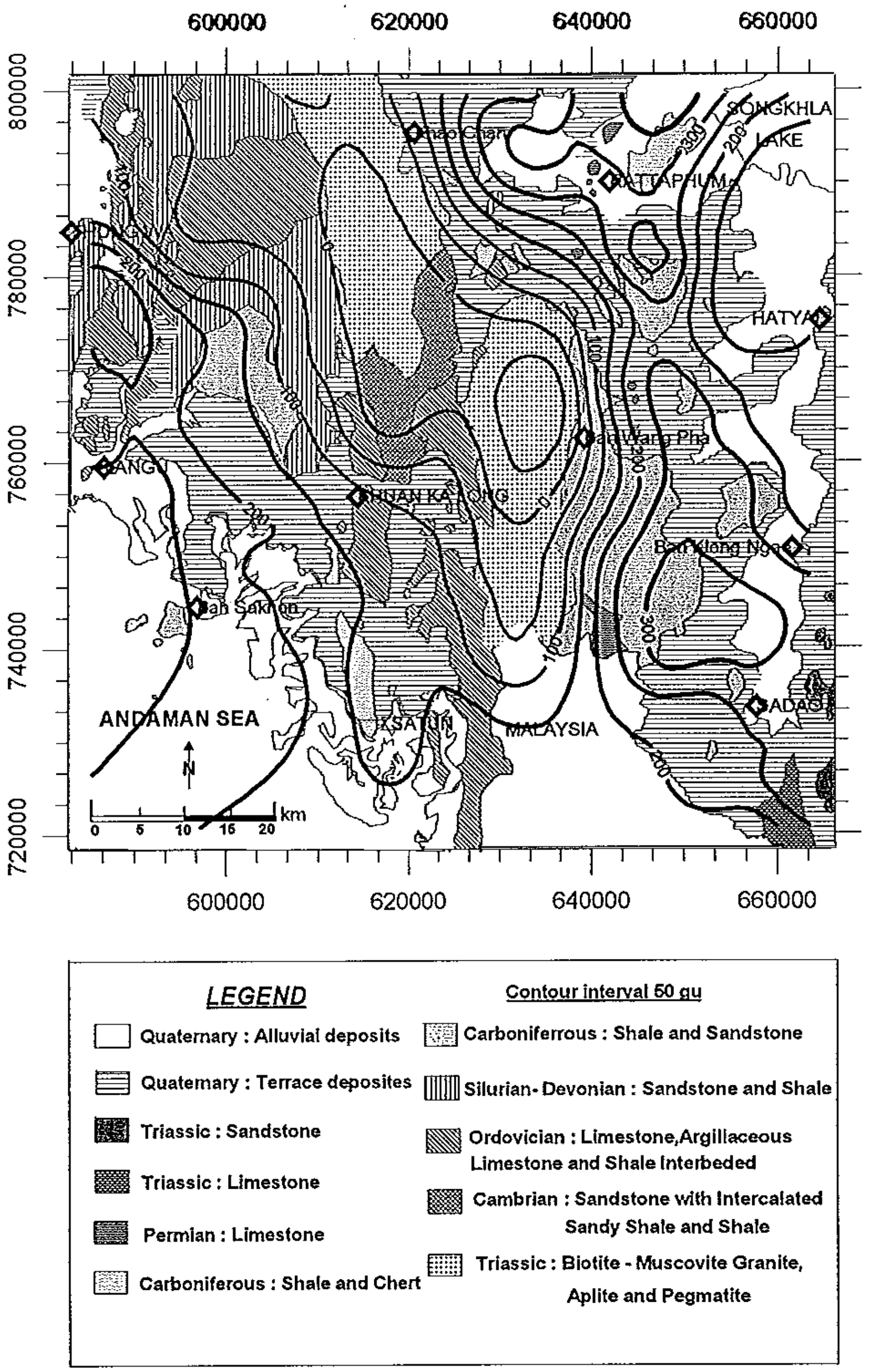
จากแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ของพื้นที่ศึกษา เมื่อทำการกริดข้อมูลแบบ Inverse Distance Power two ซึ่งใช้ Search Type แบบ Quadrant ที่มีรัศมี Search = 20 กิโลเมตร โดยใช้ระยะห่างระหว่างเส้นกริดเท่ากับ 1 กิโลเมตร และเมื่อกำหนดระยะห่างระหว่างเส้นชั้นค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์เท่ากับ 50 gu (1gu =1x10^{-6} m/s^2) จะได้คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ซึ่งแสดงได้ดังภาพประกอบ 30 โดยค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ในพื้นที่ศึกษามีค่าอยู่ระหว่าง -50-350 gu ซึ่งค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ที่มีค่าต่ำจะปรากฏบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาในแนว NW-SE ผ่านเทือกเขาวังพาและเทือกเขาพับผ้า ส่วนค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ที่มีค่าสูงจะปรากฏทั้งทางด้านตะวันออกและทางด้านตะวันตกของเทือกเขาวังพาและเทือกเขาพับผ้า และเมื่อเปรียบเทียบแผนที่ความถ่วงกับแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา โดยการนำเอาคอนทัวร์ความถ่วงซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยา ดังภาพประกอบ 31 พบว่า (1) เส้นชั้นความถ่วงที่มีค่าต่ำ (-50-100 gu) จะปรากฏอยู่บนเทือกเขาแกรนิตซึ่งอยู่บริเวณแนวกลางของพื้นที่ศึกษา โดยผ่านเทือกเขาวังพาซึ่งวางตัวเป็นแนวยาวในแนวเหนือ-ใต้ ที่มีด้านตะวันออกของเทือกเขาเริ่มตั้งแต่ชายแดนมาเลเซียต่อเนื่องขึ้นไปด้านบนผ่านบริเวณอำเภอสะเดา อำเภอหาดใหญ่และตอนใต้ของอำเภอรัตภูมิ ส่วนด้านตะวันตกของเทือกเขาเริ่มตั้งแต่ชายแดนมาเลเซียต่อเนื่องขึ้นไปด้านบนผ่านบริเวณอำเภอเมืองสตูล อำเภอควนโดน อำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูลและผ่านเทือกเขาพับ-ผ้าซึ่งวางตัวเป็นแนวยาวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ เริ่มตั้งแต่ด้านตะวันตกของอำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลาต่อเนื่องไปยังอำเภอป่าบอน จังหวัดพัทลุงและด้านตะวันตกของเทือกเขาเริ่มตั้งแต่ด้านทิศเหนือของอำเภอควนกาหลง ผ่านด้านตะวันออกของอำเภอละงู ผ่านอำเภอทุ่งหว้า จังหวัดสตูล ต่อเนื่องไปยังจังหวัดตรัง (2) เส้นชั้นความถ่วงที่มีค่าปานกลาง (100-200 gu)จะปรากฏเป็นบริเวณแคบๆทั้งทางด้านตะวันออกและด้านตะวันตกของเทือกเขาแกรนิตของพื้นที่ศึกษา เช่น บริเวณหมู่หินปูนและหมู่หินดินดาน นอกจากนั้นยังจะพบบริเวณแอ่งหาด-ใหญ่ซึ่งเป็นแอ่งตะกอนควาเทอร์นารีอยู่ทางด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา และ (3) เส้นชั้นความถ่วงที่มีค่าสูง (200-350 gu) จะปรากฏบนบริเวณที่ปกคลุมตะกอนควาเทอร์นารีเป็นส่วนใหญ่ พบอยู่ทั้งบริเวณทางด้านตะวันออกและด้านตะวันตกของเทือกเขาแกรนิต โดยด้านตะวัน-ออกเริ่มตั้งแต่อำเภอสะเดาชายแดนมาเลเซียผ่านกิ่งอำเภอคลองหอยโข่ง อำเภอหาดใหญ่ อำเภอรัตภูมิ อำเภอควนเนียง และกิ่งอำเภอบางกล่ำ จังหวัดสงขลาต่อเนื่องไปยังจังหวัดพัทลุง ส่วนทางด้านตะวันตกเริ่มตั้งแต่ตอนใต้ของอำเภอทุ่งหว้าผ่านอำเภอละงูต่อเนื่องไปยังทะเลอันดามัน

ภาพประกอบ 30 แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ของพื้นที่ศึกษา ในหน่วย gu

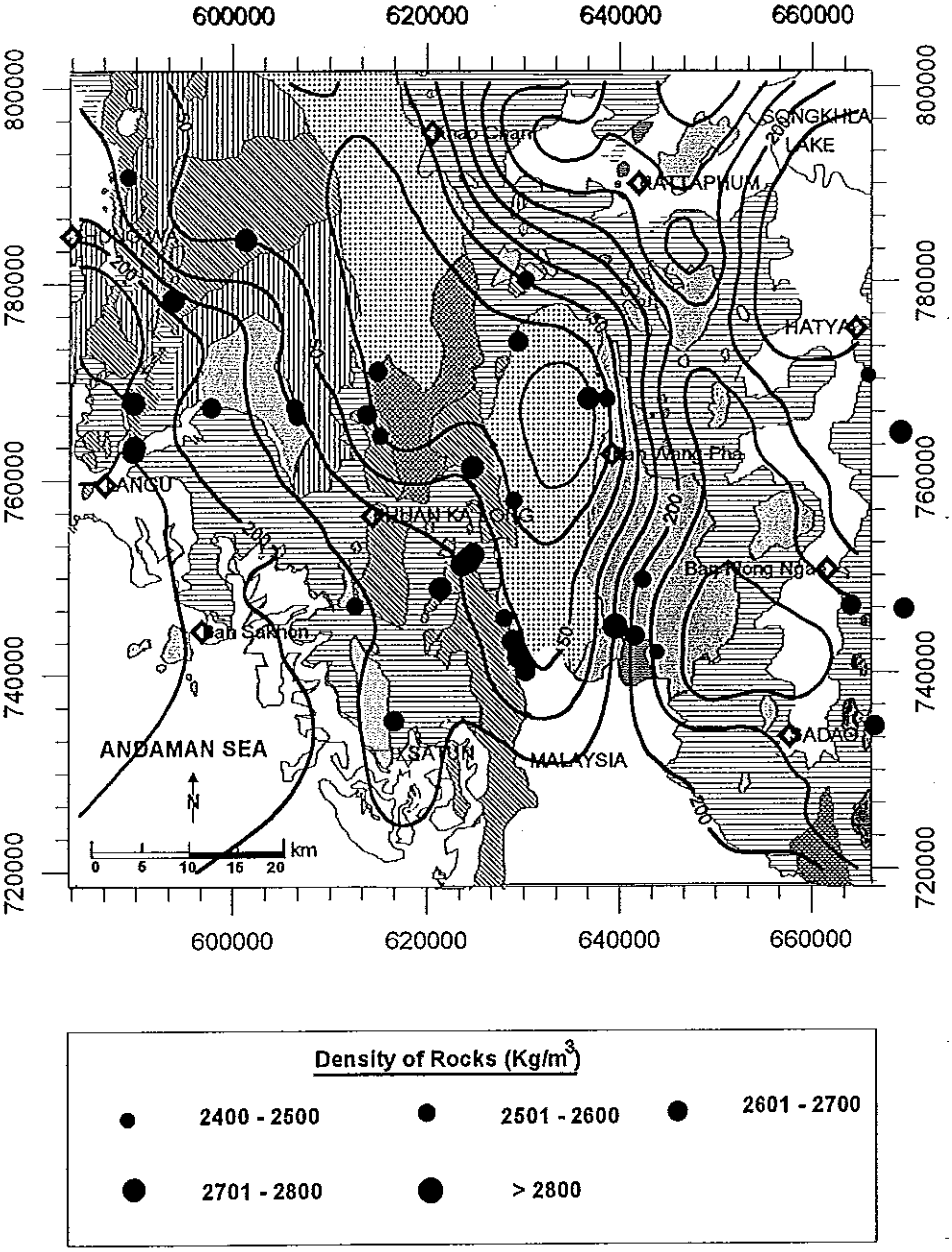


contour interval 50 gu

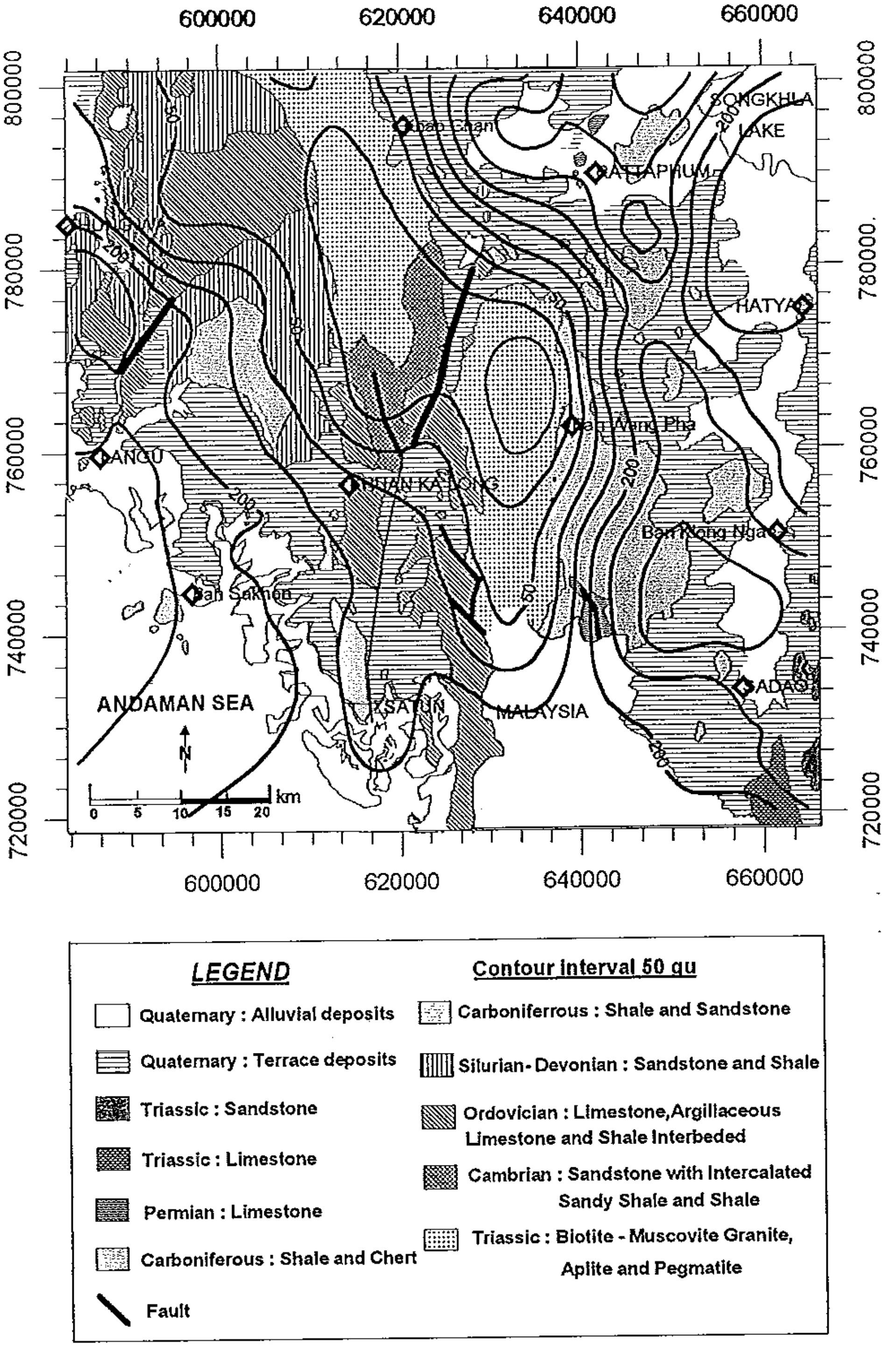
ภาพประกอบ 31 คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ในหน่วย gu ซ้อนทับบน
แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบ 32 คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ในหน่วย gu ซ้อนทับบนแผนที่ความหนาแน่นของหินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบ 33 คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ในหน่วย gu ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา



จากการเปรียบเทียบการซ้อนทับของแผนที่ความหนาแน่นของหินตัวอย่างกับแผนที่แสดงเส้นชั้นความถ่วง (ภาพประกอบ 32) พบว่าบริเวณเทือกเขาแกรนิตมีเส้นชั้นความถ่วงต่ำแต่มีค่าความหนาแน่นของหินปานกลางค่อนไปในทางสูงดังแสดงใน ตาราง 5 ส่วนบริเวณตะกอนควาเทอร์นารีนั้นเป็นบริเวณที่มีเส้นชั้นความถ่วงสูงกว่าบริเวณอื่นแต่มีค่าความหนาแน่นของหินน้อยที่สุด

จากการเปรียบเทียบแผนที่ความถ่วงผิดปกติสัมบูรณ์กับแผนที่โครงสร้างทางธรณีวิทยา โดยการนำเอาคอนทัวร์ความถ่วงผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์ซ้อนทับบนแผนที่โครงสร้างทางธรณีวิทยา(ภาพประกอบ 33) พบว่ารอยเลื่อนสำคัญ(กรมทรัพยากรธรณี,2528) นั้นปรากฏให้เห็นบนแผนที่ความถ่วงผิดปกติสัมบูรณ์ เช่น รอยเลื่อนในเขตอำเภอละงูตอนเหนือ แนวประมาณ N40°E ในหินออร์โดวิเชียนยาวประมาณ 7 กิโลเมตร ในเขตอำเภอควนกาหลง มีรอยเลื่อนในหินแคมเบรียน แนวประมาณ N10°E ยาวประมาณ 10 กิโลเมตร ดังภาพประกอบ 7 แต่ไม่พบรอยเลื่อนในบริเวณใกล้กันในเขตอำเภอรัตภูมิ มีรอยเลื่อนแนว N25°W ตรงรอยสัมผัสของหินแคมเบรียนและหินออร์โดวิเชียน ยาวประมาณ 7 กิโลเมตร บริเวณอุทยานแห่งชาติทะเลบันอยู่ในรอยเลื่อนแนว N25°- 30°W ยาวไม่น้อยกว่า 7 กิโลเมตร ระหว่างหินปูนออร์โดวิเชียนกับหินแกรนิตและที่เขาจังโหลน อำเภอรัตภูมิมีรอยเลื่อนในหินเพอร์เมียนแนว N40°E ยาวประมาณ 2.5 กิโลเมตร จากการศึกษาความถ่วง ทั้งนี้เป็นเพราะสมบัติทั้งสองด้านของรอยเลื่อนเหล่านี้ไม่แตกต่างกันหรือระยะห่างระหว่างจุดวัดห่างมากเกินไป

ง. ผลการศึกษาค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลก

ในการศึกษาค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลไปใช้ในการแปลความหามวลผิดปกติใต้ผิวดินซึ่งมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแตกต่างจากมวลหินท้องที่(country rocks)และกำหนดลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาความเข้มสนามแม่เหล็กโลกนี้ได้มาจากการบินสำรวจของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2535 survey B&C ซึ่งบินสำรวจที่ระดับความสูง 122 เมตร(400 ฟุต)

จากแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกของพื้นที่ศึกษา เมื่อทำการกริดข้อมูลแบบ Inverse Distance Power two ซึ่งใช้ Search Type แบบ Quadrant ที่มีรัศมี Search = 20 กิโลเมตร โดยใช้ระยะห่างระหว่างเส้นกริดเท่ากับ 1 กิโลเมตร และเมื่อระยะห่างระหว่างเส้นคอนทัวร์ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกมีค่า เท่ากับ 5 nT จะได้คอนทัวร์ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกซึ่งแสดงไว้ดังภาพประกอบ 34 พบว่าค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลก มีค่าอยู่ระหว่าง 4-88 nT โดยแบ่งเป็น

ค่าผิดปกติเชิงภูมิภาคและค่าผิดปกติเชิงตำบลซึ่งค่าผิดปกติเชิงภูมิภาคจะมีค่าสูงในตอนใต้และจะมีค่าลดลงจากใต้ไปเหนือ ส่วนค่าผิดปกติเชิงตำบลจะมีค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมต่ำบริเวณทางตะวันตกเฉียงเหนือและทางตอนใต้ของอำเภอละงูต่อเนื่องไปยังทะเลอันดามัน ส่วนค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกปานกลางจะปรากฏบริเวณตอนกลางของพื้นที่ในแนว SE-NW และค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกสูงจะปรากฏบริเวณตอนล่างของพื้นที่และปรากฏเป็นหย่อมๆทางตอนกลางของพื้นที่ในแนว SE-NW ของพื้นที่ศึกษาโดยเฉพาะบริเวณรอยสัมผัสระหว่างหินแกรนิตกับหินตะกอนชนิดต่างๆ เช่น ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกสูงบริเวณตอนเหนือและทางด้านตะวันตกของเทือกเขาแกรนิตวังพาและตะกอนควาเทอร์นารีซึ่งเป็นบริเวณที่มีศักยภาพทางด้านแหล่งแร่ที่สำคัญไม่ว่าจะเป็นแหล่งแร่ดีบุก (SnO_2),ทังสเตน(W),ตะกั่ว(Pb),สังกะสี(Zn),แบไรต์(Ba),เหล็ก(F)และพลวง(Sb) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสัมผัสระหว่างหินแกรนิตกับหินปูนและหินตะกอนควาเทอร์นารี ทำให้บริเวณรอยสัมผัสมีสการ์นเกิดขึ้นเข้าแทนที่ในหินปูนและหินโดโลไมต์ เช่น บริเวณเหมืองในหินตะกอนที่บ้านน้ำร้อนซึ่งที่ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกสูง แต่ยังไม่มีการปรากฏแหล่งต้นเหตุของค่าผิดปกติดังกล่าวให้เห็นเหนือผิวดินแม้กระทั่งปรากฏการณ์น้ำพุร้อนก็ตาม(Geothermal)

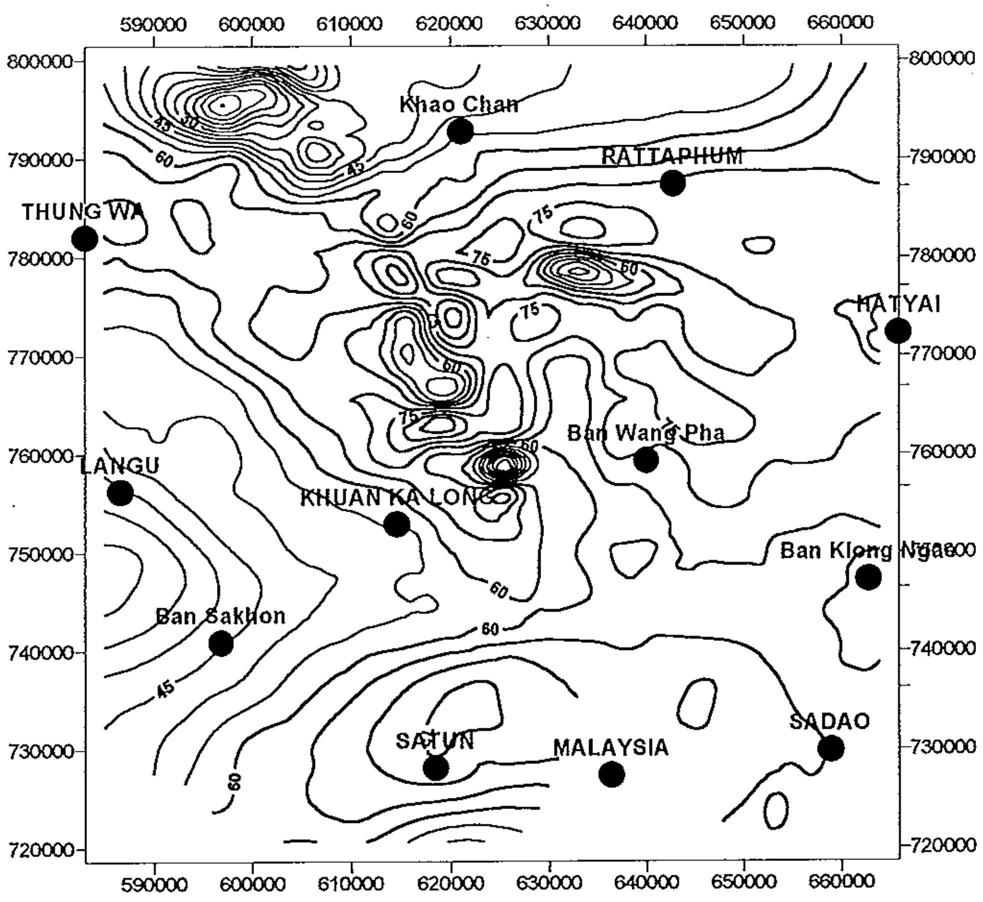
จากการเปรียบเทียบแผนที่ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกกับแผนที่ธรณีวิทยาโดยการนำคอนทัวร์ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกมาซ้อนทับกับแผนที่ธรณีวิทยา ดังในภาพประกอบ 35 พบว่า

1. ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลกต่ำสุด (4-40 nT) ปรากฏอยู่บริเวณตะกอนควาเทอร์-นารี ด้านทะเลอันดามัน,หมู่หินทราย,หมู่หินปูนและบริเวณตะกอนควาเทอร์นารี ในทางทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา

2. ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กโลกปานกลาง (40-60 nT) มีลักษณะเป็นแถบขนาดใหญ่ปรากฏอยู่ในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาในแนว NNW-E

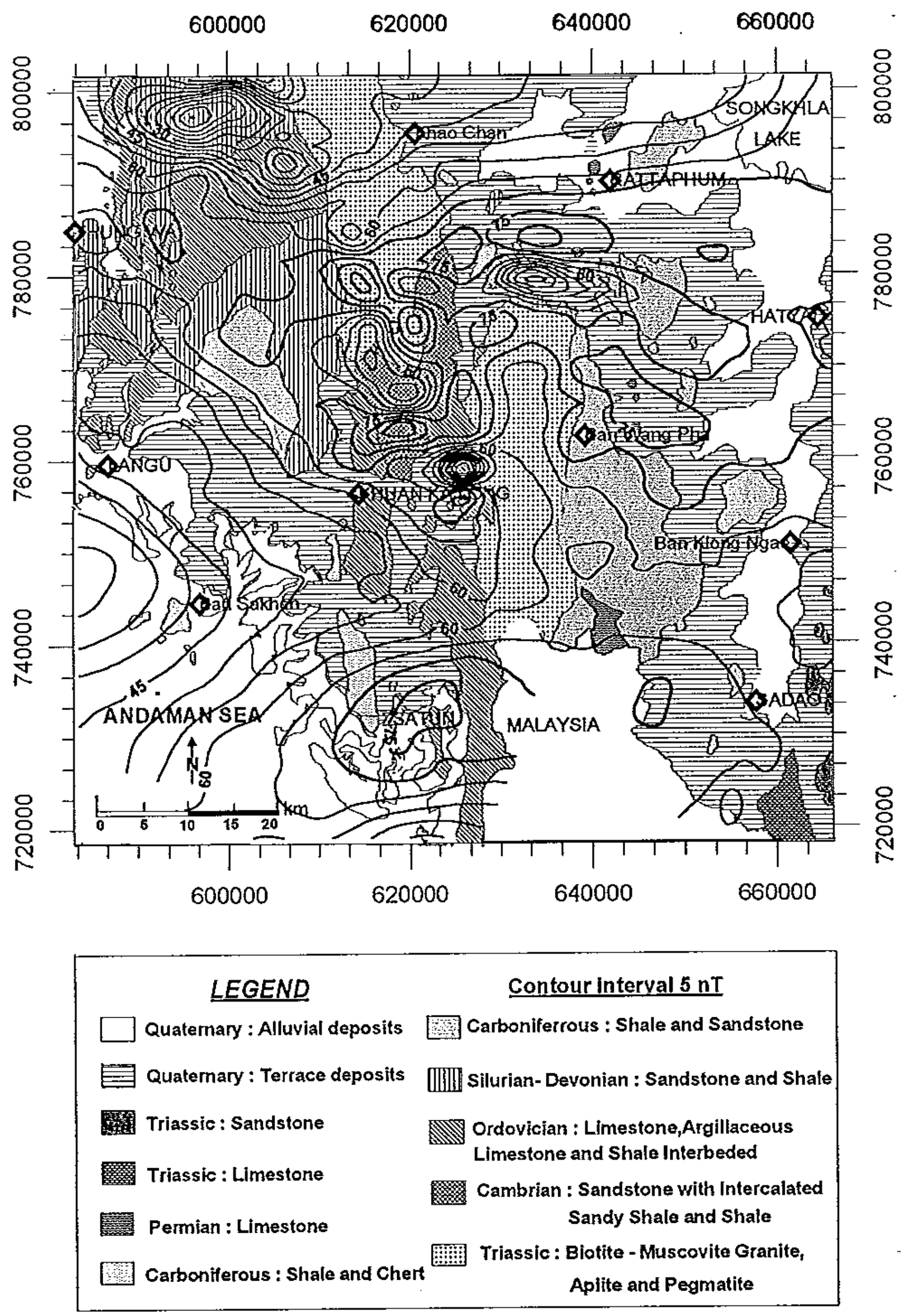
3. ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กโลกสูงสุด (60-88 nT) ปรากฏอยู่บริเวณตอนล่างของพื้นที่ศึกษาในแนวตะวันออก-ตะวันตก และปรากฏเป็นหย่อมๆบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาในแนวตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะบริเวณรอยสัมผัสระหว่างหินแกรนิตกับหินตะกอนชนิดต่างๆ

ภาพประกอบ 34 แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลกรวม (Survey B&C) ของพื้นที่ศึกษา ในหน่วย nT



CONTOUR INTERVAL 5 nT

ภาพประกอบ 35 คอนทัวร์ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลกรวม (Survey B&C) ในหน่วย nT ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา



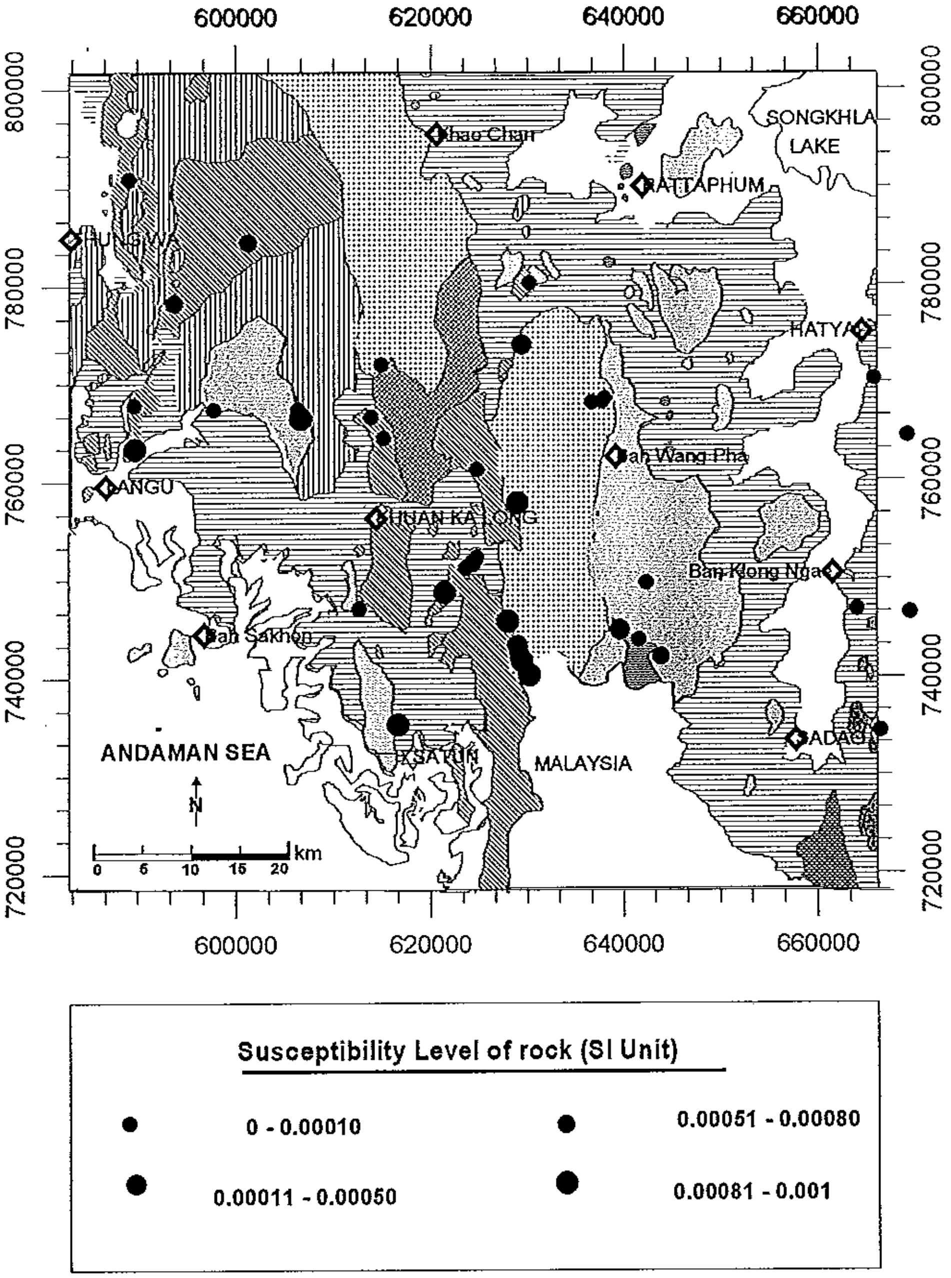
สำหรับข้อมูลการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ของแม่เหล็ก(k)ที่วัดได้ในภาคสนามของพื้นที่ศึกษา ในระบบหน่วยเอสไอ(SI UNIT) แสดงไว้ดังตาราง 6 และภาพประกอบ 36

ตาราง 6 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินตัวอย่างที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

หิน	ยุค	จำนวนตัวอย่าง	ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (k) (SI)
หินแกรนิต	ไทรแอสซิก	22	0.009 ± 0.003
หินปูน	เพอร์เมียน	8	0.000001 ± 0.000001
หินปูน	ออร์โดวิเชียน	35	0.0006 ±.0.0003
หินดินดาน	คาร์บอนิเฟอรัส	26	0.0005 ±.0.0003
หินทราย	ไทรแอสซิก	8	0.000001 ±.0.000001
ตะกอนควาเทอร์นารี	ควาเทอร์นารี	---	--------

จากตาราง 6 หินแกรนิต(ยุคไทรแอสซิก) มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในหน่วยเอสไอ(SI unit) เท่ากับ 0.009 ± 0.003 หินปูน(ยุคเพอร์เมียน) มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในหน่วยเอสไอ(SI unit) เท่ากับ 0.000001 ±.0.000001 หินปูน(ยุคออร์โดวิเชียน) มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในหน่วยเอสไอ(SI unit)เท่ากับ 0.0006 ±.0.0003 หินดินดาน(ยุคคาร์บอนิเฟอรัส) มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในหน่วยเอสไอ(SI unit) เท่ากับ 0.0005 ±.0.0003 หินทราย (ยุคไทรแอสซิก) มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในหน่วยเอสไอ (SI unit) เท่ากับ 0.000001 ±.0.000001

ภาพประกอบ 36 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก(k)ของหินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา ในหน่วยเอสไอ (SI unit)



4. การแปลความผลการศึกษาค่าผิดปกติด้านความถ่วงและค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกในเชิงปริมาณ

การแปลความผลจากการศึกษาค่าผิดปกติด้านความถ่วงและค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดขอบเขตของลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาทั้งในแนวราบและในแนวดิ่ง

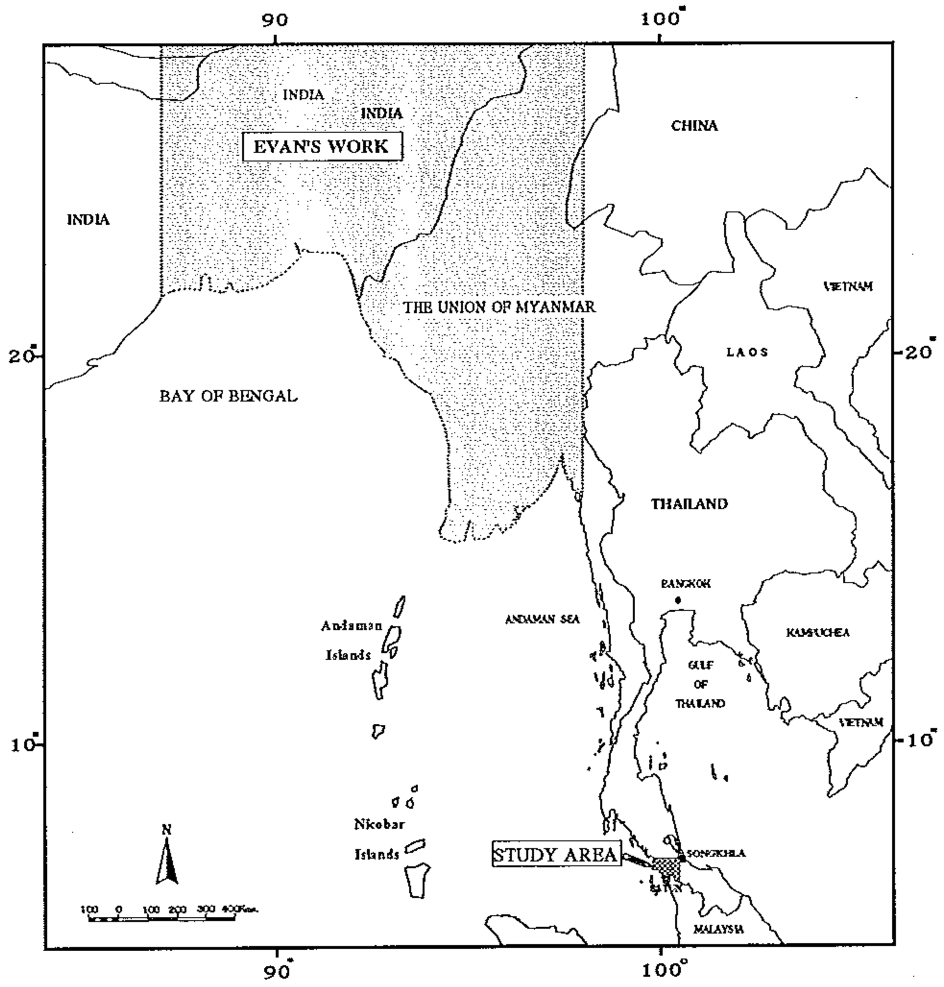
4.1 แบบจำลอง

เนื่องจากธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่จะอยู่ภายใต้อิทธิพลการแทรกซอนของหินแกรนิตที่มีมวลขนาดใหญ่ซึ่งจัดเป็นหินอัคนีระดับลึกดันแทรกขึ้นมาในหินตะกอนซึ่งมีอายุแก่กว่า ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาจึงต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของหินแกรนิตเป็นสำคัญ

จากการพิจารณาค่าผิดปกติด้านความถ่วงจากการนำเอาคอนทัวร์ความถ่วงไปซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยา ดังภาพประกอบ 31 พบว่าค่าผิดปกติด้านความถ่วงบริเวณเทือกเขาแกรนิตจะมีค่าต่ำกว่าพื้นที่ข้างเคียง ส่วนบริเวณตะกอนควาเทอร์นารีมีค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าสูง ที่เป็นเช่นนี้คาดว่าเป็นเพราะหินฐานซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่าวางอยู่ข้างล่างและดันตัวเองขึ้นมาในระดับตื้นโดยเฉพาะในบริเวณที่ไม่มีหินแกรนิตโผล่ซึ่งจะปรากฏอยู่ทางด้านตะวันออกและตะวัน-ตกของพื้นที่ศึกษา ส่วนบริเวณที่มีหินแกรนิตโผล่หินฐานจะอยู่ในระดับลึกเนื่องจากถูกกดทับโดยหินแกรนิตซึ่งเป็นมวลขนาดใหญ่ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีดุลเสมอภาคของเปลือกโลก(Isostacy) ของแอรี(Airy)ที่ได้เสนอไว้โดยอธิบายว่า หินที่ประกอบเป็นเนินและภูเขาที่มีความหนาแน่นน้อยจะมีส่วนที่เป็นราก(root)อยู่ลึกลงไปในหินอีกชนิดที่มีความหนาแน่นมากกว่า

จาก Evans and Crompton (1946) ได้ทำการศึกษาค่าความถ่วงเชิงภูมิภาคในพื้นที่ประเทศพม่าและอินเดียในระหว่างละติจูด 16°N-28°N และลองจิจูด 86°E-98°E ดังภาพประกอบ 37 พบว่าค่าผิดปกติด้านความถ่วงจะมีค่าต่ำตรงบริเวณเทือกเขาแกรนิต เมื่อนำภาคตัดขวางของค่าความถ่วงมาสร้างแบบจำลองธรณีวิทยาใต้ระดับน้ำทะเลโดยการกำหนดค่าความหนาแน่นของหินแกรนิตมีค่าเป็น 2.67 gm/cc เป็นหินฐาน(basic rock)ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเปรียบต่างเท่ากับ 0.2 gm/cc จากแบบจำลองพบว่าหินฐานจะอยู่ในระดับลึกประมาณ 15 กิโลเมตร และต่อมาภายหลังได้กำหนดให้หินฐานที่รองรับแกรนิตเป็น ultrabasic rock ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเปรียบต่างเท่ากับ 0.4 gm/cc จากแบบจำลองพบว่าหินฐานจะอยู่ในระดับความลึกเฉลี่ยประมาณ 40 กิโล-เมตร และสำหรับในพื้นที่ทำการศึกษานี้ยังไม่เคยมีการรายงานเกี่ยวกับตำแหน่งหินโผล่ที่เป็น ultramafic rock ซึ่งจากการนำตัวอย่างหิน ultramafic rock ที่ได้จากจังหวัดปราจีนบุรีและ

ภาพประกอบ 37 การศึกษาค่าแรงโน้มถ่วงเชิงภูมิภาคในประเทศพม่าและอินเดีย



จังหวัดนราธิวาส(ธงชัย พึ่งรัศมี,การติดต่อส่วนบุคคล) ซึ่งอยู่ทางด้านเหนือและทางใต้ของพื้นที่ศึกษามาทำการวัดค่าความหนาแน่นของ Serpentinite Peridotite พบว่ามีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2420 kgm^{-3} และ 2490 kgm^{-3} ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าความหนาแน่นของหินแกรนิตในพื้นที่ทำการศึกษา จึงคาดว่า Serpentinite Peridotite ไม่ใช่ตัวแทนที่ดีของ ultramafic rock เนื่องจากอิทธิพลของการผุพัง

ดังนั้นในการการสร้างแบบจำลองสำหรับการศึกษาในครั้งนี้จึงกำหนดใช้ค่าความหนาแน่นของหินฐานซึ่งรองรับแกรนิตเป็นค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของชั้นหินเปลือกโลก(crust meterial) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2800 Kg/m^3 (Allison and Palmer,1980) และมีค่าสภาพรับไว้ได้ทาง-แม่เหล็ก(k)เท่ากับ 0.000001 SI ส่วนค่าความหนาแน่น ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินแกรนิตและหินตะกอน มีค่าดังตาราง 7

ตาราง 7 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กและค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของหินที่นำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง

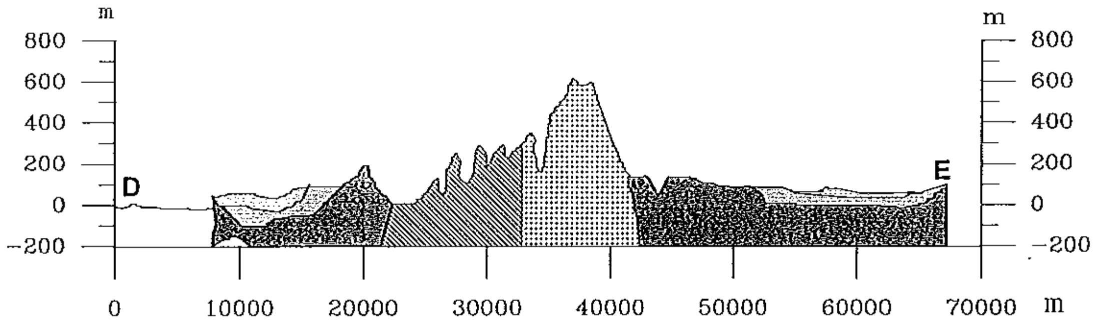
หิน	ยุค	ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก k (SI)	ค่าความหนาแน่น ρ (kg/m^3)
หินแกรนิตชุดบน	ไทรแอสซิก	0.015	2620
หินแกรนิตชุดล่าง	ไทรแอสซิก	0.000001	2620
หินตะกอน	----	0.000001	2400

จากตาราง 7 กำหนดให้หินแกรนิตมี 2 ชุด มีค่าความหนาแน่นเท่ากันแต่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กต่างกัน โดยค่าความหนาแน่นของหินแกรนิตชุดบน เท่ากับ 2620 Kg/m^3 ซึ่งมีค่าเท่ากับความหนาแน่นของแกรนิตสงขลา (Lohawijarn,1992) และมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในหน่วยเอสไอ (SI unit) เท่ากับ 0.015 โดยมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปซึ่งรายงานโดย Ishihara(1979) คือ หินแกรนิตในคาบสมุทรไทยมีค่าต่ำกว่า 0.0006 SI ส่วนค่าความหนาแน่นของหินแกรนิตชุดล่าง เท่ากับ 2620 Kg/m^3 ซึ่งมีค่าเท่ากับความหนาแน่นของแกรนิตสงขลา และมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในหน่วยเอสไอ (SI unit) เท่ากับ 0.000001 และหมู่หินตะกอน มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย เท่ากับ 2400 Kg/m^3 มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในหน่วยเอสไอ (SI unit) เท่ากับ 0.000001

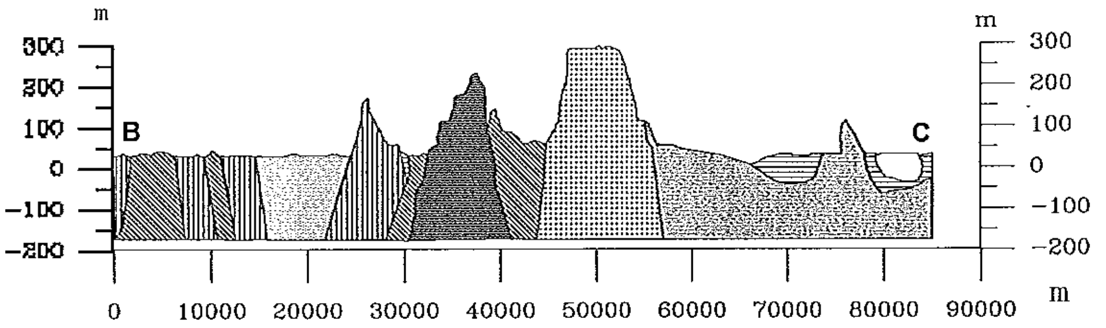
การกำหนดให้แกรนิตชุดบนมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กเป็น 0.015 SI เพื่อที่จะทำให้แบบจำลองนี้สอดคล้องกับค่าความถ่วงที่ได้ศึกษาด้วย โดยค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินแกรนิตที่ได้จากการวัดในภาคสนามมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.009 SI ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณ Fe_3O_4 จาก (Parasnis,1986) เท่ากับ 0.21 % (โดยปริมาตร) สำหรับในพื้นที่ศึกษายังไม่เคยมีรายงานเกี่ยวกับการศึกษาส่วนประกอบของ Fe_3O_4 ที่ประกอบอยู่ในหินแกรนิตแต่คาดว่ามีปริมาณน้อย เพราะหินแกรนิตที่เก็บตัวอย่างได้ส่วนใหญ่เก็บจากบริเวณรอยสัมผัสของกลุ่มหินปูนและหินตะกอนต่างๆ จึงอาจจะมีสภาพไม่สดมากนักหรืออาจจะมีสภาพค่อนข้างผุ ส่วนค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก 0.015 SI นี้จะสัมพันธ์กับปริมาณ Fe_3O_4 จาก (Parasnis,1986) เท่ากับ 0.43% (โดยปริมาตร)ซึ่งคาดว่าเป็นส่วนประกอบของแกรนิตที่สดจริงๆ และไม่ได้อยู่ในสภาพผุ

ในการนำภาคตัดขวางมาสร้างแบบจำลองธรณีวิทยาใต้ระดับน้ำทะเลโดยใช้ข้อมูลค่าผิดปกติด้านความถ่วงและข้อมูลค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกด้วยโปรแกรม GMM โดยใช้ค่าความหนาแน่นและค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินดังตาราง 7 โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นได้กำหนดให้ o แทนความถ่วงผิดปกติที่ได้จากการวัดในสนามและ ◊ แทนความเข้มสนามแม่เหล็กโลกผิดปกติที่ได้จากการบินสำรวจ กำหนดให้สัญญลักษณ์ —— แทนค่าความถ่วงผิดปกติที่คำนวณโดยโปรแกรม GMM และ ... แทนความเข้มสนามแม่เหล็กโลกผิดปกติที่คำนวณโดยโปรแกรม GMM

ภาพประกอบ 38 ภาคตัดขวางทางธรณีวิทยาในแนว DE
(ที่มา : ดัดแปลงจากแผนที่ธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี,2528)



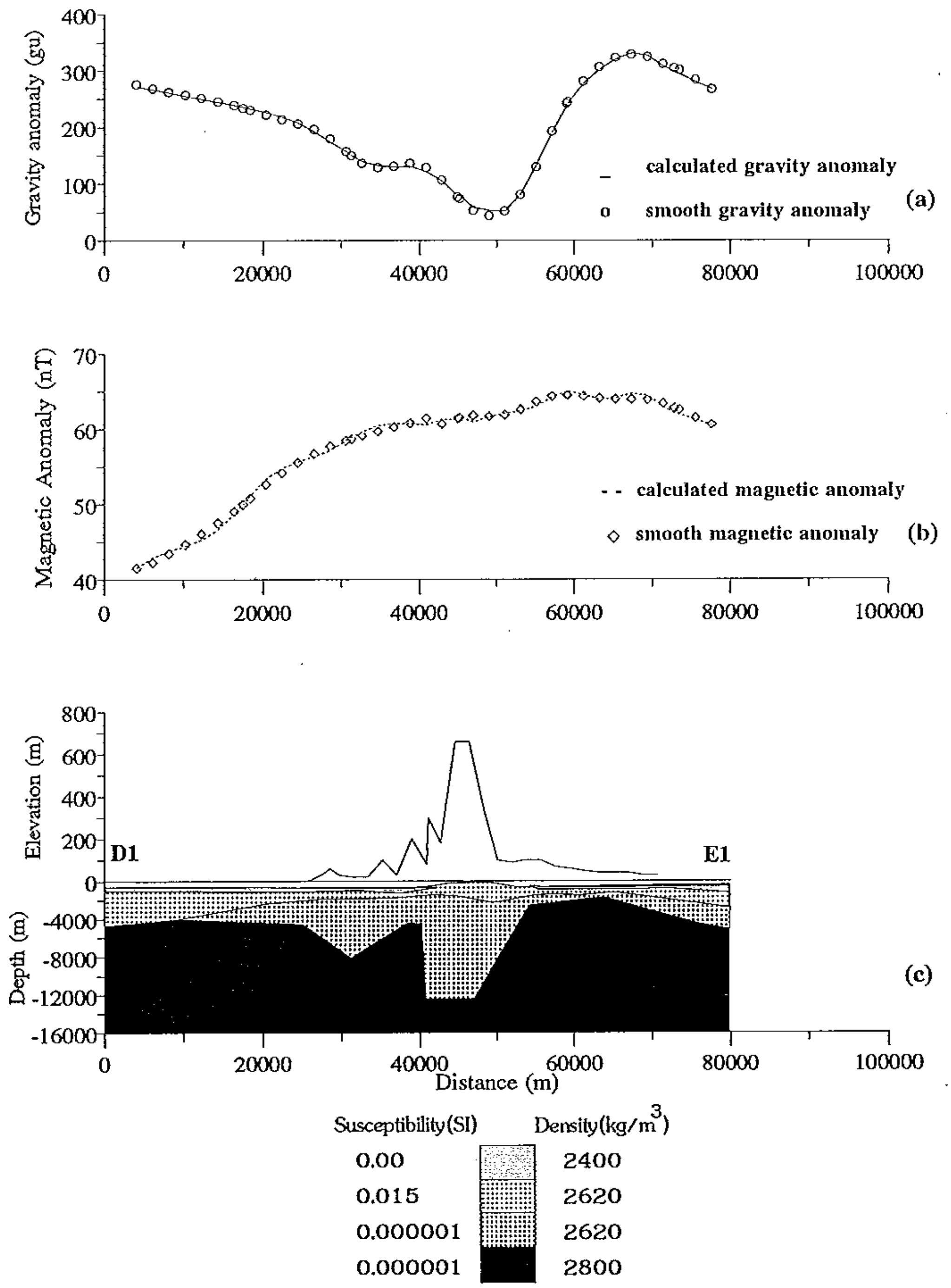
ภาพประกอบ 39 ภาคตัดขวางทางธรณีวิทยาในแนว BC
(ที่มา : ดัดแปลงจากแผนที่ธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี,2528)



4.1.1 ภาพตัดขวางของมวลผิดปกติแนว D1_E1 (ภาพประกอบ 40)

ภาคตัดขวางในแนวนี้เป็นแนวเดียวกันกับแนวภาคตัดขวางของแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณี(2528) ในแนว DE (ภาพประกอบ 38) โดยมีค่าผิดปกติด้านความถ่วงสูงประมาณ 250 gu ปรากฏอยู่ด้านตะวันตกของแนวที่ระยะประมาณ 5,000-25,000 เมตรจากจุด D1และค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าต่ำเฉลี่ยประมาณ 50 gu ปรากฏอยู่บริเวณตรงกลางของแนวที่ระยะประมาณ 45,000-55,000 เมตรจากจุด D1 และค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าสูงเฉลี่ยประมาณ300 gu ปรากฏอยู่ด้านตะวันออกของแนวที่ระยะประมาณ 60,000-75,000 เมตร จากจุด D1สำหรับค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกจะมีค่าต่ำทางด้านตะวันตกและค่อยๆสูงขึ้นไปทางด้านตะวันออกตามแนวภาคตัดขวางนี้ โดยบริเวณด้านตะวันตกมีค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกต่ำโดยเฉลี่ยประมาณ 45 nT ปรากฏที่ระยะ 5,000-20,000 เมตรจากจุด D1 ส่วนบริเวณตรงกลางของแนวมีค่าสูงค่อนข้างคงที่ต่อเนื่องไปทางด้านตะวันออก โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 60 nT ปรากฏที่ระยะ 30,000-70,000 เมตรจากจุด D1 จากลักษณะข้อมูลตามภาคตัดขวางในแนวนี้จึงได้สร้างแบบจำลองขึ้นโดยคาดว่าน่าจะมีการแทรกดันตัวของหินฐานขึ้นมาในระดับตื้นทางด้านตะวันตกและตะวันออกของแนวภาคตัดขวางนี้ ส่วนบริเวณแนวกลางของภาคตัดขวางซึ่งตัดผ่านแนวเทือกเขาหินแกรนิตคาดว่าหินฐานน่าจะวางตัวอยู่ในระดับลึกเนื่องจากถูกกดทับด้วยมวลหินแกรนิต ในการสร้างแบบจำลองกำหนดให้หินแกรนิตมี 2 ชุดโดยทั้ง 2 ชุดมีความหนาแน่นเท่ากันคือ มีค่าเท่ากับ 2620 kg/m^3 แต่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กต่างกันคือชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะมีค่ามากกว่าชุดที่วางอยู่ด้านล่างโดยชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะมีค่าเท่ากับ 0.015 SI. ส่วนชุดที่วางตัวอยู่ด้านล่างจะมีค่าเท่ากับ 0.000001 SI และให้หมู่หินตะกอนซึ่งมีความหนาประมาณ 500 เมตรยาวประมาณ 80,000 เมตร วางตัวตามยาวตลอดแนวภาคตัดขวางนี้โดยหินแกรนิตชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะแทรกซอนโผล่ขึ้นมาตรงกลางของแนว ที่ระยะประมาณ 43,000-55,000 เมตร จากจุด D1 มีความหนาประมาณ 2,000 เมตร และมีความหนามากขึ้นไปทางด้านตะวันตก ประมาณ 4,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 0 - 15,000 เมตร จากจุด D1 ส่วนทางด้านตะวันออก มีความหนาเฉลี่ยประมาณ 2,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 50,000-80,000 เมตร จากจุด D1 ส่วนแกรนิตชุดที่วางตัวอยู่ข้างล่างมีความลึกมากที่สุดประมาณ 12,000 เมตร ปรากฏตรงกลางของแนวภาคตัดขวาง ที่ระยะประมาณ 43,000-50,000 เมตรจากจุด D1 และจะบางลงทั้งทางด้านตะวันตกและตะวันออกของแนวภาคตัดขวางนี้ โดยด้านตะวันตกมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 4,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 0 - 28,000 เมตร จากจุด D1 และมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 6,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 28,000 -35,000 เมตร จากจุด D1 ส่วนด้านตะวันออกมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 2,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 58,000 - 70,000 เมตร จากจุด D1 และมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 3,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 70,000 - 80,000 เมตร จากจุด D1

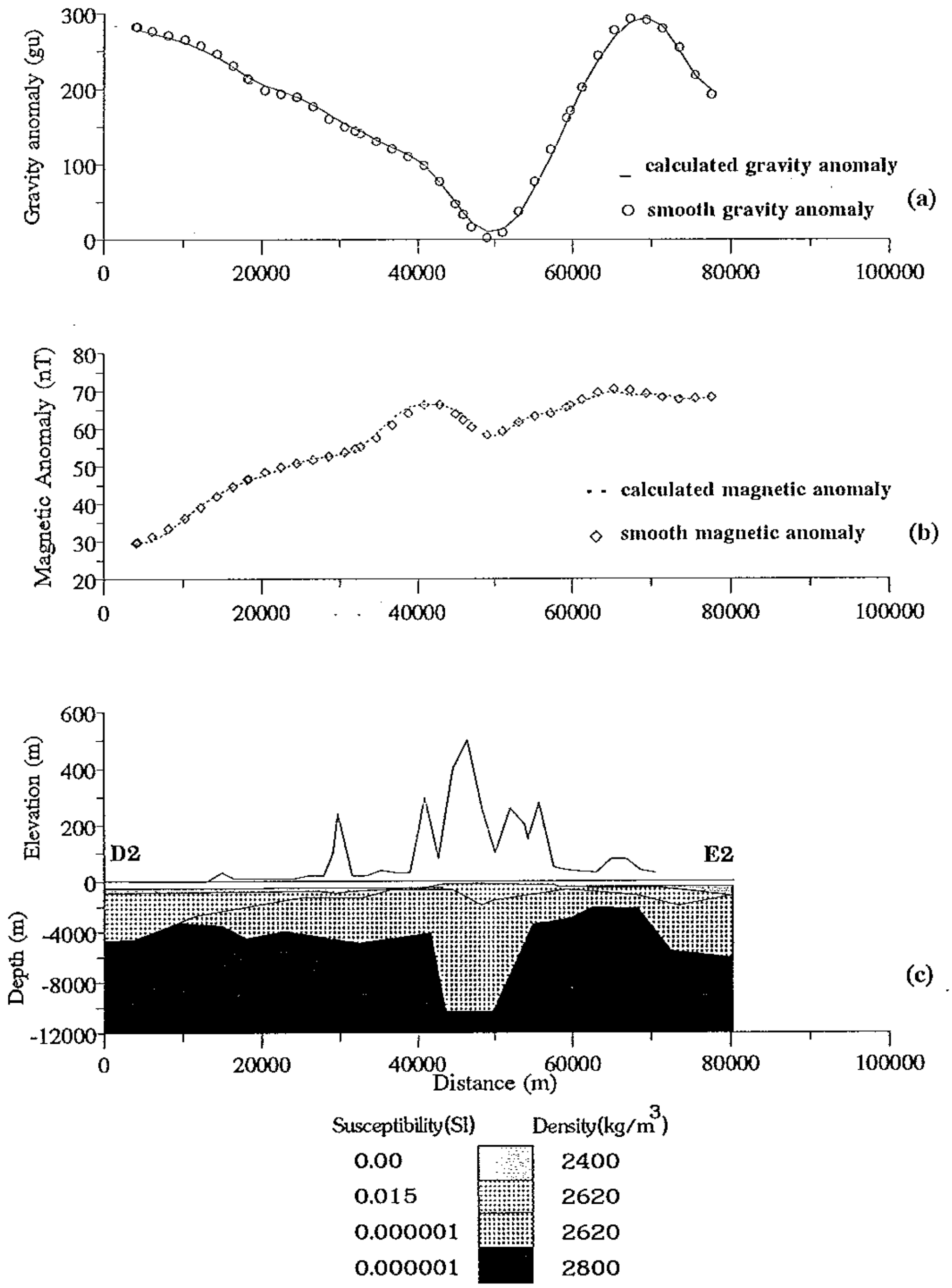
ภาพประกอบ 40 แบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาในแนวภาคตัดขวาง D1_E1



4.1.2 ภาพตัดขวางของมวลผิดปกติแนว D2_E2 (ภาพประกอบ 41)

ภาคตัดขวางของค่าผิดปกติด้านความถ่วงในแนวนี้มีลักษณะเป็นรูปประทุนหงายโดยค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าสูงเฉลี่ยประมาณ 250 gu ปรากฏอยู่ด้านตะวันตกของแนวที่ระยะประมาณ 5,000-15,000 เมตร จากจุด D2 และค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าต่ำเฉลี่ยประมาณ 50 gu ปรากฏอยู่บริเวณตรงกลางของแนวที่ระยะประมาณ 40,000-55,000 เมตรจากจุด D2 และค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าสูงเฉลี่ยประมาณ 250 gu ปรากฏอยู่ด้านตะวันออกของแนวที่ระยะประมาณ 65,000-75,000 เมตร จากจุด D2 สำหรับค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกจะมีค่าต่ำทางด้านตะวันตกและค่อยๆสูงขึ้นไปทางด้านตะวันออกตามแนวภาคตัดขวางนี้โดย บริเวณด้านตะวันตกมีค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกต่ำโดยเฉลี่ยประมาณ 35 nT ปรากฏที่ระยะ 5,000-15,000 เมตร จากจุด D2 จากนั้นก็จะมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องไปทางด้านตะวันออกของแนวมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 60 nT ปรากฏตั้งแต่ที่ระยะ 35,000-80,000 เมตร จากจุด D2 จากลักษณะข้อมูลตามภาคตัดขวางในแนวนี้จึงได้สร้างแบบจำลองขึ้นโดยคาดว่าน่าจะมีการแทรกดันตัวของหินฐานขึ้นมาในระดับตื้นทางด้านตะวันตกและตะวันออกของแนวภาคตัดขวางนี้ ส่วนบริเวณแนวกลางของภาคตัดขวางซึ่งตัดผ่านแนวเทือกเขาหินแกรนิตคาดว่าหินฐานน่าจะวางตัวอยู่ในระดับลึกเนื่องจากถูกกดทับด้วยมวลหินแกรนิต ในการสร้างแบบจำลองกำหนดให้หินแกรนิตมี 2 ชุดโดยทั้ง 2 ชุดมีความหนาแน่นเท่ากันคือ มีค่าเท่ากับ 2620 kg/m^3 แต่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กต่างกันคือ ชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะมีค่ามากกว่าชุดที่วางอยู่ด้านล่างคือชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะมีค่าเท่ากับ 0.015 SI. ส่วนชุดที่วางตัวอยู่ด้านล่างจะมีค่าเท่ากับ 0.000001 SI และให้หมู่หินตะกอนซึ่งมีความหนาประมาณ 500 เมตร ยาว 80,000 เมตร วางตัวตามยาวตลอดแนวภาคตัดขวางนี้ โดยมีหินแกรนิตชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะแทรกซอนโผล่ขึ้นมาตรงกลางของแนว ที่ระยะประมาณ 43,000-55,000 เมตร จากจุด D2 มีความหนาประมาณ 2,000 เมตร และมีความหนามาก ประมาณ 4,000 เมตร ปรากฏทางด้านตะวันตก ที่ระยะ 0-10,000 เมตร จากจุด D2 และค่อยๆบางลงไปทางด้านตะวันออกโดยมีความหนาเฉลี่ยตลอดแนวประมาณ 2,000 เมตร ส่วนแกรนิตชุดที่วางตัวอยู่ข้างล่างมีความลึกมากที่สุดประมาณ 10,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 45,000-55,000 เมตร จากจุด D2 และจะบางลงทั้งทางด้านตะวันตกและตะวันออกของแนวภาค-ตัดขวางนี้ โดยด้านตะวันตกมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 4,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 0 - 45,000 เมตร จากจุด D2 ส่วนด้านตะวันออกมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 2,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 65,000 - 72,000 เมตรจากจุด D2 และมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 5,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 75,000 - 80,000 เมตรจากจุด D2

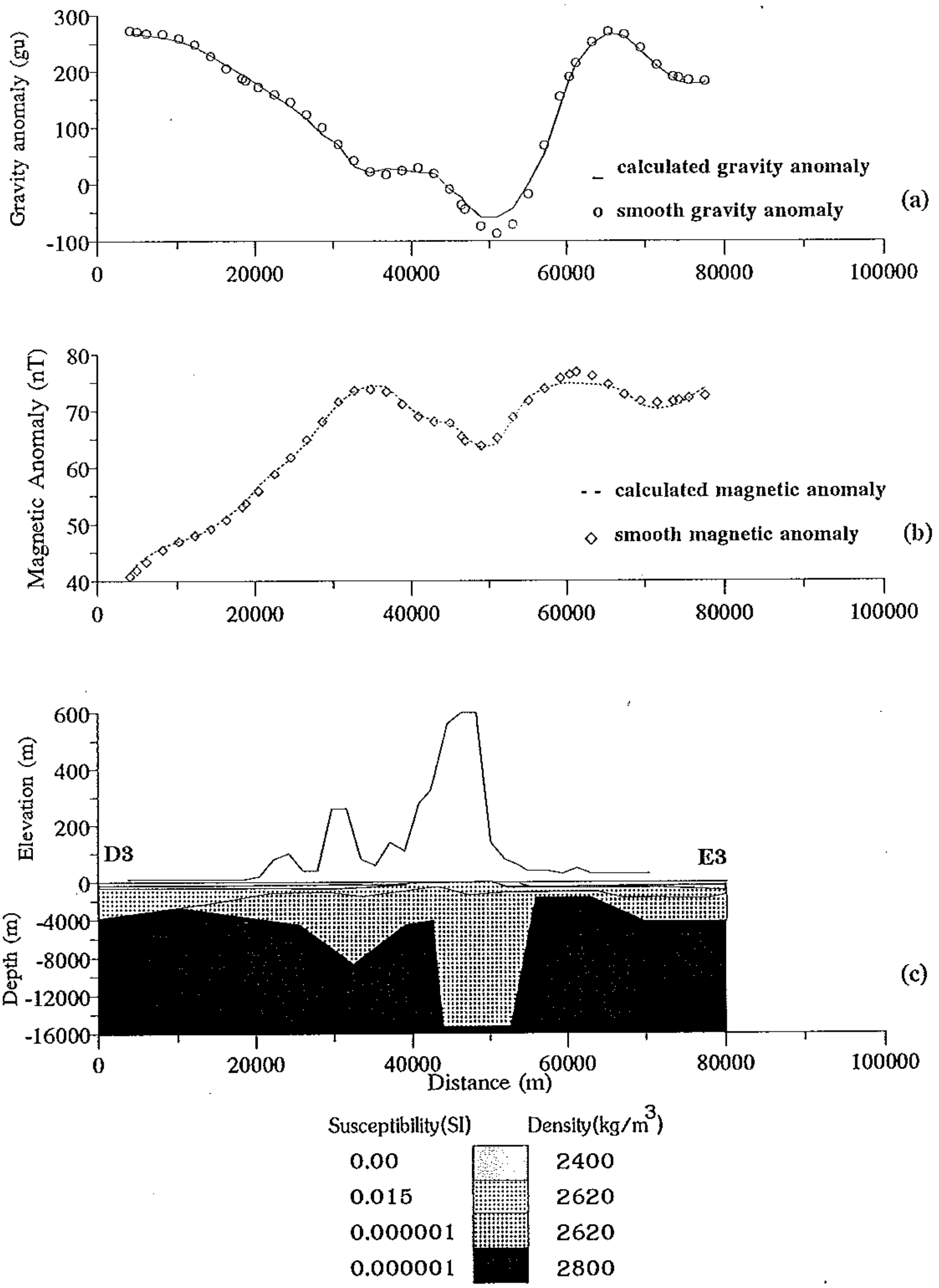
ภาพประกอบ 41 แบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาในแนวภาคตัดขวาง D2_E2



4.1.3 ภาพตัดขวางของมวลผิดปกติในแนว D3_E3 (ภาพประกอบ 42)

ภาคตัดขวางของค่าผิดปกติด้านความถ่วงในแนวนี้มีลักษณะเป็นรูปประทุนหงาย โดยค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าสูงเฉลี่ยประมาณ 250 gu ปรากฏอยู่ด้านตะวันตกของแนวที่ระยะประมาณ 5,000-20,000 เมตร จากจุด D3 และค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าต่ำเฉลี่ยประมาณ -50 gu ปรากฏอยู่บริเวณตรงกลางของแนวที่ระยะประมาณ 45,000-55,000 เมตรจากจุด D3 และค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าสูงเฉลี่ยประมาณ 200 gu ปรากฏอยู่ด้านตะวันออกของแนวที่ระยะประมาณ 60,000-70,000 เมตร จากจุด D3 สำหรับค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกมีลักษณะสูงต่ำสลับกันไปตามแนวภาคตัดขวางโดยจะมีค่าต่ำทางด้านตะวันตกและค่อยๆสูงขึ้นไปทางด้านตะวันออกโดยทางด้านตะวันตกมีค่าเฉลี่ยประมาณ 45 nT ปรากฏที่ระยะ 5,000-20,000 เมตร จากนั้นจะมีต่ำสูงขึ้นเรื่อยๆโดยเฉพาะที่ระยะ 30,000 - 40,000 เมตร และที่ระยะ 55,000 - 80,000 เมตร โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 75 nT ส่วนบริเวณตรงกลางของแนวมีค่าต่ำ ประมาณ 65 nT ปรากฏที่ระยะ 40,000-55,000 เมตรจากจุด D3 จากลักษณะข้อมูลตามภาคตัดขวางในแนวนี้ จึงได้สร้างแบบจำลองขึ้นโดยคาดว่าน่าจะมีการแทรกดันตัวของหินฐานขึ้นมาในระดับตื้นทางด้านตะวันตกและตะวันออกของแนว ส่วนบริเวณแนวกลางซึ่งตัดผ่านแนวเทือกเขาหินแกรนิตคาดว่าหินฐานน่าจะวางตัวอยู่ในระดับลึกเนื่องจากถูกกดทับด้วยมวลหินแกรนิต ในการสร้างแบบจำลองกำหนดให้หินแกรนิตมี 2 ชุดโดยทั้ง 2 ชุดมีความหนาแน่นเท่ากันคือ มีค่าเท่ากับ 2620 kg/m^3 แต่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กต่างกันคือ ชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะมีค่าเท่ากับ 0.015 SI. ส่วนชุดที่วางตัวอยู่ด้านล่างจะมีค่าเท่ากับ 0.000001 SI และให้หมู่หินตะกอนซึ่งมีความหนาประมาณ 500 เมตร ยาว 80,000 เมตร วางตัวตามยาวตลอดแนวภาคตัดขวางนี้ โดยหินแกรนิตชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะแทรกซอนโผล่ขึ้นมาตรงกลางของแนว ที่ระยะประมาณ 40,000-50,000 เมตรจากจุด D3 โดยมีความหนาประมาณ 2,000 เมตร และมีความหนามากประมาณ 4,000 เมตร ปรากฏทางด้านตะวันตก ที่ระยะ 0-10,000 เมตร จากจุด D3 และค่อยๆบางลงไปทางด้านตะวันออกโดยมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 2,000 เมตร ส่วนแกรนิตชุดที่วางตัวอยู่ข้างล่างมีความลึกที่สุดประมาณ 15,000 เมตร ปรากฏตรงกลางของแนว ที่ระยะประมาณ 43,000-55,000 เมตร จากจุด D3 โดยมีแนวเอียงไปทางด้านตะวันออก 5,000 เมตร จากตำแหน่งเทือกเขาหินแกรนิตที่โผล่ขึ้นมาเหนือผิวโลกและจะบางลงทั้งทางด้านตะวันตกและตะวันออกของแนวภาคตัดขวางนี้ โดยด้านตะวันตกมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 3,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 0 - 25,000 เมตร จากจุด D3 และมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 6,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 30,000 - 38,000 เมตร จากจุด D3 ส่วนด้านตะวันออกมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 1,500 เมตร ปรากฏที่ระยะ 58,000 - 68,000 เมตร จากจุด D3 และมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 4,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 70,000 - 80,000 เมตร จากจุด D3

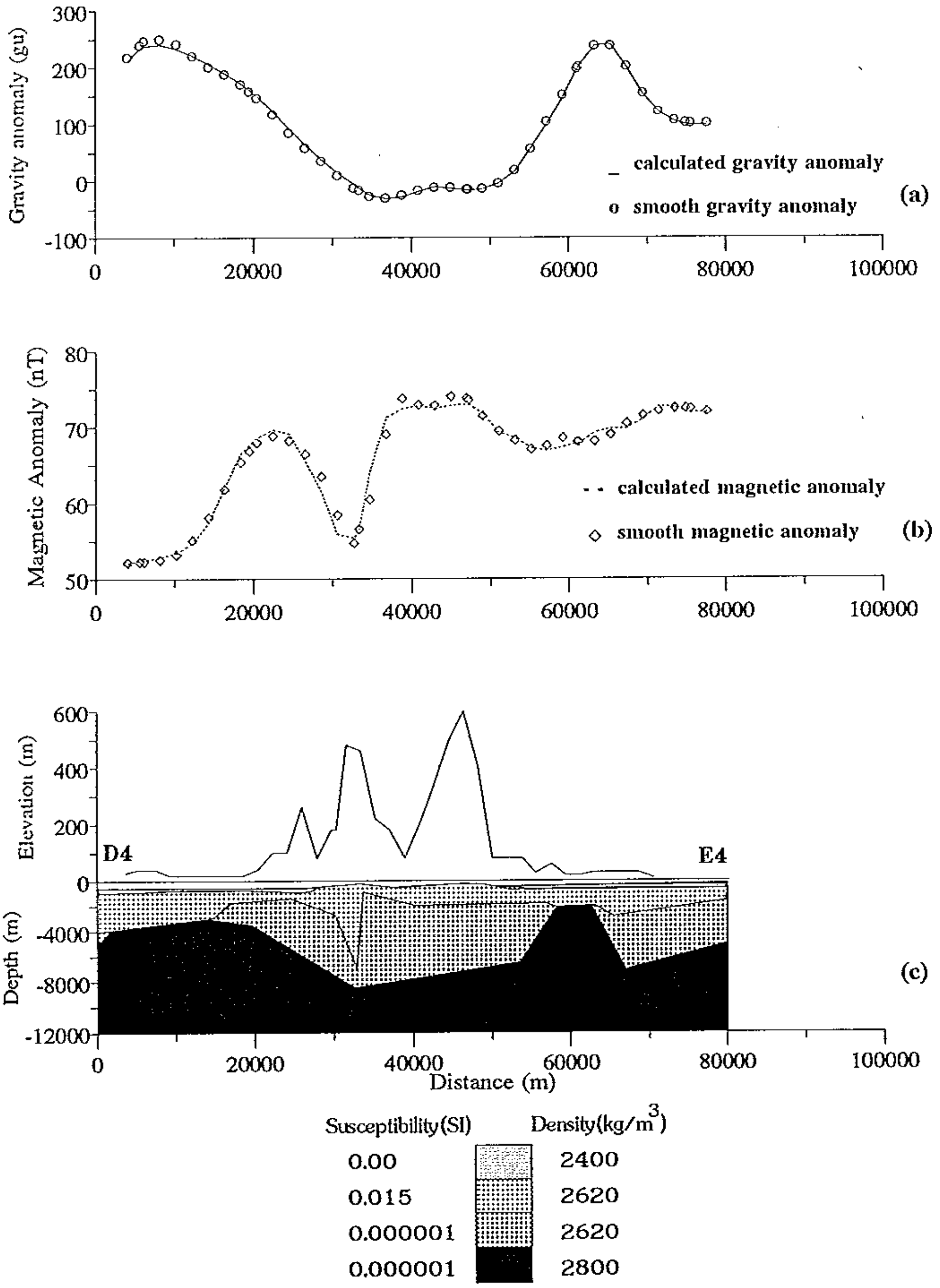
ภาพประกอบ 42 แบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาในแนวภาคตัดขวาง D3_E3



4.1.4 ภาพตัดขวางมวลผิดปกติในแนว D4_E4 (ภาพประกอบ 43)

ภาคตัดขวางของค่าผิดปกติด้านความถ่วงในแนวนี้มีลักษณะเป็นรูปประทุนหงายโดยค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าสูงเฉลี่ยประมาณ 250 gu ปรากฏอยู่ด้านตะวันตกของแนวที่ระยะ 5,000-15,000 เมตร จากจุด D4 และค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าต่ำเฉลี่ยประมาณ -20 gu ปรากฏอยู่บริเวณตรงกลางของแนวที่ระยะ 30,000-55,000 เมตรจากจุด D4 และค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าสูงเฉลี่ยประมาณ 200 gu ปรากฏอยู่ด้านตะวันออกของแนวที่ระยะ 62,000-66,000 เมตร จากจุด D4 หลังจากนั้นก็จะมีค่าต่ำลงอีกโดยมีค่าผิดปกติด้านความถ่วงเฉลี่ยประมาณ 100 gu ที่ระยะ 70,000-80,000 เมตร จากจุด D4 สำหรับค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกมีลักษณะสูงต่ำสลับกันไปโดยจะมีค่าต่ำทางด้านตะวันตก เฉลี่ยประมาณ 53 nT ปรากฏที่ระยะ 5,000-12,000 เมตร และ 50 nT ที่ระยะ 30,000 - 33,000 เมตร จากจุด D4 จากนั้นจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆที่ระยะ 20,000 - 25,000 เมตร และที่ระยะ 35,000 - 48,000 เมตร จากจุด D4 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 70 nT และ 73 nT ตามลำดับ ส่วนบริเวณตรงกลางมีค่าต่ำ ประมาณ 72 nT ปรากฏที่ระยะ 38,000-48,000 เมตร จากจุด D4 และทางด้านตะวันออก มีค่าเฉลี่ยประมาณ 70 nT ตั้งแต่ระยะ 50,000 เมตร จนตลอดแนว จากลักษณะข้อมูลตามภาคตัดขวางในแนวนี้จึงได้สร้างแบบจำลองขึ้นโดยคาดว่าน่าจะมีการแทรกดันตัวของหินฐานขึ้นมาในระดับตื้นทางด้านตะวันตกและตะวันออกของแนว ส่วนแนวกลางซึ่งตัดผ่านแนวเทือกเขาหินแกรนิตคาดว่าหินฐานน่าจะวางตัวอยู่ในระดับลึก ในการสร้างแบบจำลองได้กำหนดให้หินแกรนิตมี 2 ชุด โดยทั้ง 2 ชุดมีความหนาแน่นเท่ากันคือ มีค่าเท่ากับ 2620 kg/m^3 แต่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กต่างกัน โดยชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะมีค่าเท่ากับ 0.015 SI. ส่วนชุดที่วางตัวอยู่ด้านล่างจะมีค่าเท่ากับ 0.000001 SI และให้หมู่หินตะกอนซึ่งมีความหนาประมาณ 500 เมตร ยาวประมาณ 80,000 เมตร วางตัวตามยาวตลอดแนวภาคตัดขวางนี้ โดยหินแกรนิตชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะแทรกซอนโผล่ขึ้นมาตรงกลางของแนวที่ระยะ 30,000-52,000 เมตร จากจุด D4 มีความหนาประมาณ 2,000 เมตร ที่ระยะ 35,000 - 42,000 เมตร จากจุด D4 มีค่าค่อนข้างคงที่ไปทางด้านตะวันออก และมีความหนามาก ประมาณ 7,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 32,000 -35,000 เมตร จากจุด D4 ส่วนทางด้านตะวันออก มีค่าความลึกเฉลี่ยประมาณ 4,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 0-15,000 เมตร จากจุด D4 และค่อยๆบางลงไปทางด้านตะวันออกโดยมีความหนาประมาณ 2,000 เมตร ส่วนแกรนิตชุดที่วางตัวอยู่ข้างล่างมีความลึกที่สุดประมาณ 7,500 เมตรปรากฏตรงกลางของแนวภาคตัดขวาง ที่ระยะ 30,000-45,000 เมตร จากจุด D4 และจะบางลงทั้งทางด้านตะวันตกและตะวันออก โดยความหนาเฉลี่ยประมาณ 4,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 0 - 20,000 เมตร จากจุด D4 และความหนาเฉลี่ยประมาณ 2,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 60,000 - 67,000 เมตรจากจุด D4 และมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 6,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 68,000 - 80,000 เมตร จากจุด D4

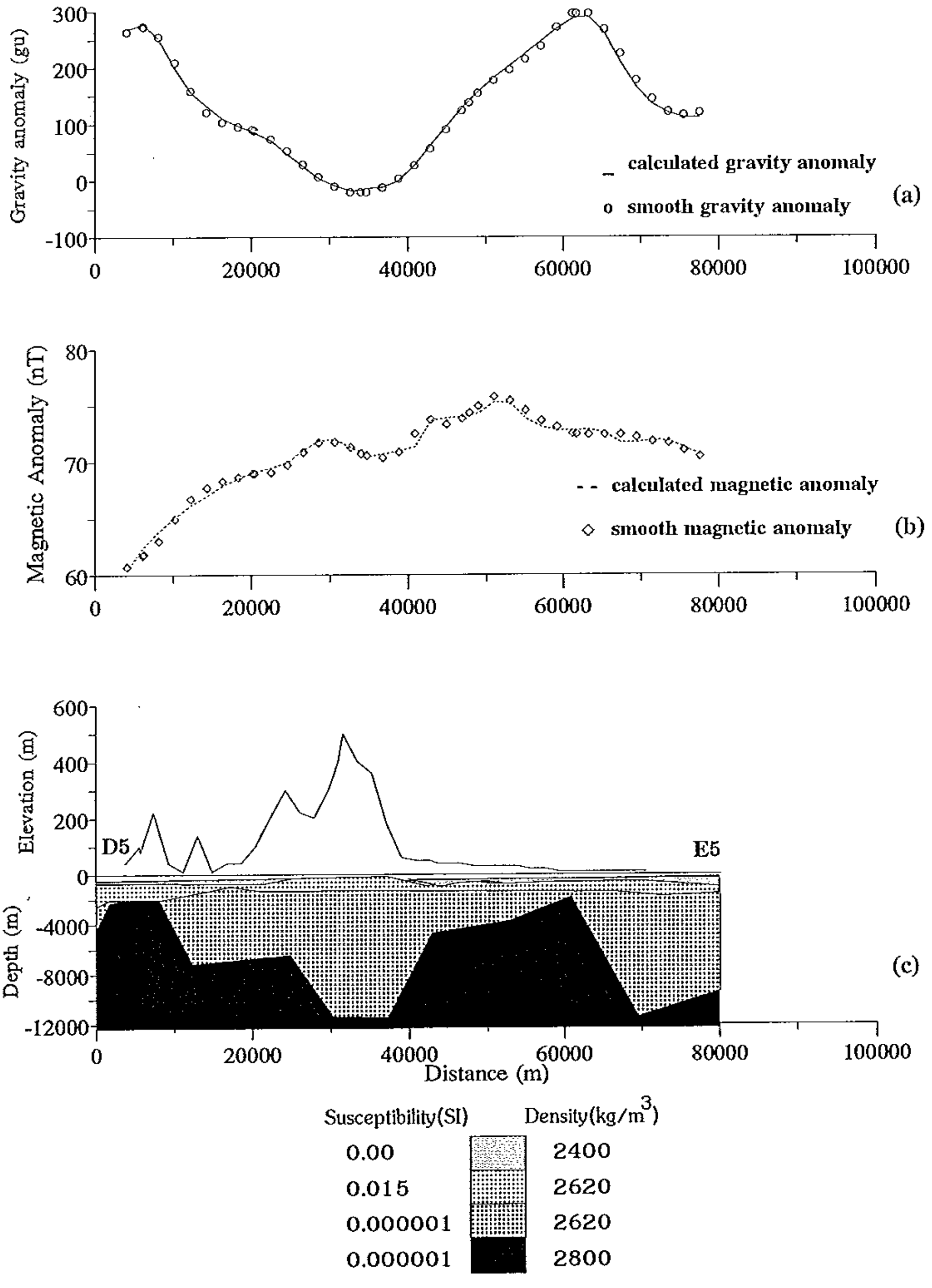
ภาพประกอบ 43 แบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาในแนวภาคตัดขวาง D4_E4



4.1.5 ภาพตัดขวางมวลผิดปกติในแนว D5_E5 (ภาพประกอบ 44)

ภาคตัดขวางของค่าผิดปกติด้านความถ่วงในแนวนี้มีลักษณะเป็นรูปประทุนหงายโดยค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าสูงเฉลี่ยประมาณ 250 gu ปรากฏอยู่ด้านตะวันตกของแนวที่ระยะ 5,000-10,000 เมตร จากจุด D5 และค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าต่ำเฉลี่ย -20 gu ปรากฏอยู่บริเวณตรงกลางของแนวที่ระยะ 28,000-40,000 เมตรจากจุด D5 และค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าสูงเฉลี่ยประมาณ 250 gu ปรากฏอยู่ด้านตะวันออกของแนวที่ระยะ 60,000-65,000 เมตร จากจุด D5 หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงประมาณ 100 gu ปรากฏที่ระยะ 70,000 - 80,000 เมตร จากจุด D5 สำหรับค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกมีค่าต่ำทางด้านตะวันตกและค่อยๆสูงขึ้นจากตรงกลางของแนวไปทางด้านตะวันออกโดยทางด้านตะวันตกมีค่าเฉลี่ยประมาณ 65 nT ปรากฏที่ระยะเริ่มแรกของแนว คือ ที่ระยะ 5,000 เมตร จากนั้นจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆโดยมีค่าสูงที่สุดปรากฏที่ระยะ 50,000 - 53,000 เมตร หลังจากนั้นจะค่อยๆลดต่ำลงโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 70 nT ตั้งแต่ระยะ 55,000 - 80,000 เมตร จากจุด D5 จากลักษณะข้อมูลตามภาคตัดขวางในแนวนี้จึงได้สร้างแบบจำลองขึ้นโดยคาดว่าน่าจะมีการแทรกดันตัวของหินฐานขึ้นมาในระดับตื้นทั้งทางด้านตะวันตกและตะวันออกของแนวภาคตัดขวางนี้ ส่วนแนวกลางของภาคตัดขวางซึ่งตัดผ่านแนวเทือกเขาหินแกรนิตคาดว่าหินฐานน่าจะวางตัวอยู่ในระดับลึกเนื่องจากถูกกดทับด้วยมวลหินแกรนิต ในการสร้างแบบจำลองจึงได้กำหนดให้หินแกรนิตมี 2 ชุดวางอยู่บนหินฐานที่มีความหนาแน่นมากกว่า (2800 kg/m^3)โดยแกรนิตทั้ง 2 ชุดมีความหนาแน่นเท่ากันคือ มีค่าเท่ากับ 2620 kg/m^3 แต่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กต่างกันคือชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะมีค่ามากกว่าชุดที่วางอยู่ด้านล่างคือชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะมีค่าเท่ากับ 0.015 SI. ส่วนชุดที่วางตัวอยู่ด้านล่างจะมีค่าเท่ากับ 0.000001 SI และให้หมู่หินตะกอนซึ่งมีความหนาประมาณ 500 เมตร ยาวประมาณ 80,000 เมตร วางตัวตามยาวตลอดแนวภาคตัดขวางโดยมีหินแกรนิตชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนแทรกซอนโผล่ขึ้นมาตรงกลางของแนว ที่ระยะประมาณ 25,000-40,000 เมตร จากจุด D5 มีความหนาประมาณ 2,000 เมตร โดยมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดแนวภาคตัดขวางนี้ ส่วนแกรนิตชุดที่วางตัวอยู่ข้างล่างจะวางตัวมีลักษณะเป็นบล็อกๆมีความลึกที่สุดประมาณ 11,000 เมตรปรากฏตรงกลางของแนวภาคตัดขวาง ที่ระยะประมาณ 32,000-40,000 เมตร จากจุด D5 และจะบางลงทั้งทางด้านตะวันตกและตะวันออกของแนวภาคตัดขวางนี้ โดยด้านตะวันตกมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 2,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 0 - 10,000 เมตร จากจุด D5 และมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 7,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 13,000 - 26,000 เมตร จากจุด D5 ส่วนด้านตะวันออกมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 4,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 45,000 - 60,000 เมตร จากจุด D5 และมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 10,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 72,000 - 80,000 เมตร จากจุด D5

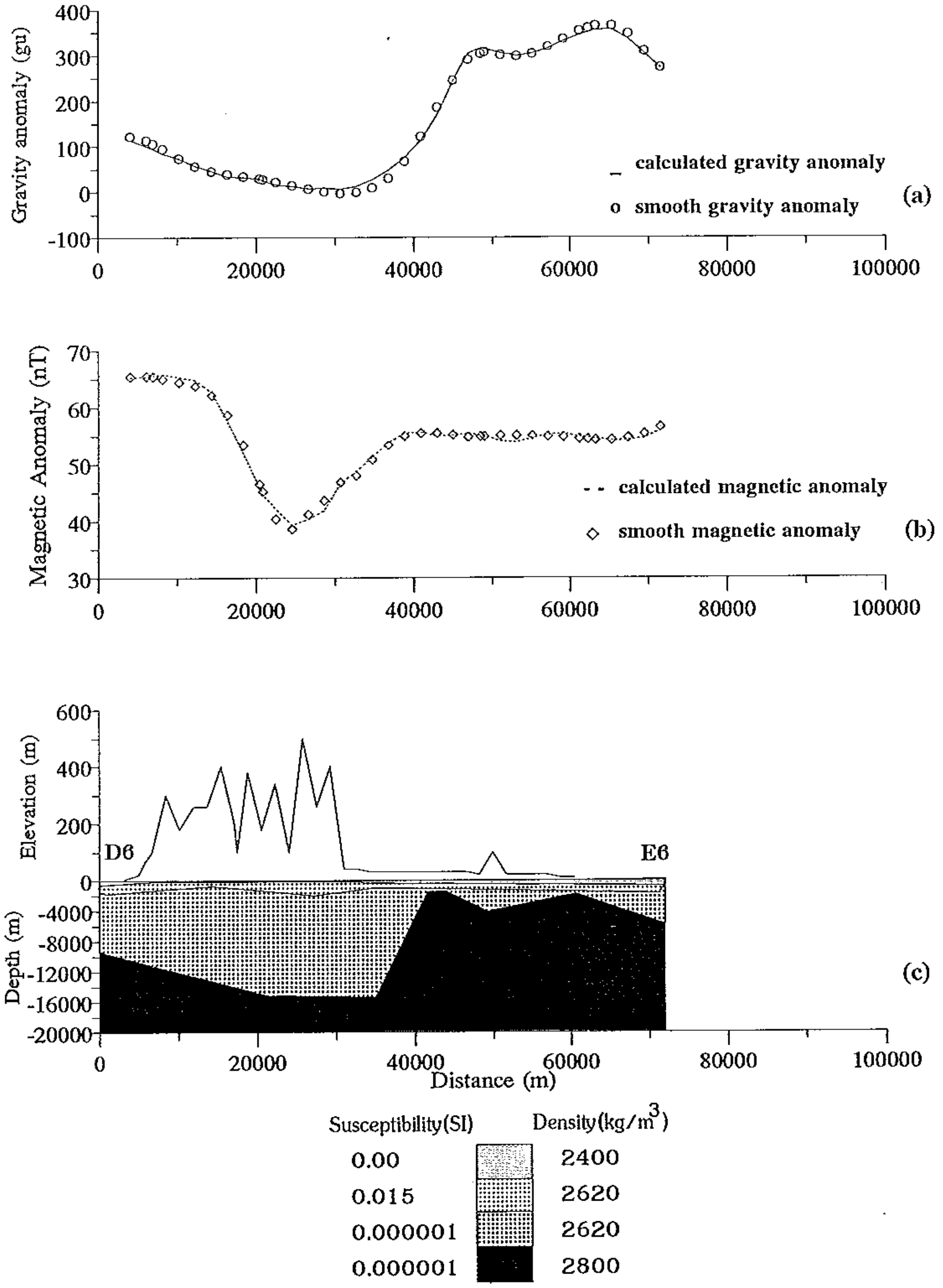
ภาพประกอบ 44 แบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาในแนวภาคตัดขวาง D5_E5



4.1.6 ภาพตัดขวางมวลผิดปกติในแนว D6_E6 (ภาพประกอบ 45)

ภาคตัดขวางของค่าผิดปกติด้านความถ่วงในแนวนี้มีลักษณะเป็นชั้นแตกต่างกัน 2 ระดับ โดยค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าต่ำประมาณ 50 gu ปรากฏอยู่ด้านตะวันตกของแนวที่ระยะประมาณ 5,000-40,000 เมตร จากจุด D6 และค่าผิดปกติด้านความถ่วงจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 300 gu ปรากฏอยู่ที่ระยะประมาณ 45,000-70,000 เมตร จากจุด D6 สำหรับค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกมีลักษณะสูงต่ำสลับกันตามแนวภาคตัดขวาง โดยจะมีค่าสูงทางด้านตะวันตกและค่อยๆต่ำลงทางด้านตะวันออกโดยทางด้านตะวันตกมีค่าเฉลี่ยประมาณ 65 nT ปรากฏที่ระยะ 5,000-15,000 เมตร จากจุด D6 จากนั้นจะมีค่าต่ำลงเรื่อยๆโดยเฉพาะที่ระยะ 20,000 - 30,000 เมตร จากจุด D6 หลังจากนั้นจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึงตรงกลางของแนวซึ่งมีค่าประมาณ 55 nT ปรากฏที่ระยะ 40,000 เมตร จากจุด D6 จากนั้นก็จะมีค่าคงที่ตลอดแนวภาคตัดขวางนี้โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 55 nT ปรากฏตั้งแต่ระยะ 40,000 เมตร จากจุด D6 จนตลอดแนวภาคตัดขวางนี้ จากลักษณะข้อมูลตามภาคตัดขวางในแนวนี้จึงได้สร้างแบบจำลองขึ้นโดยคาดว่าน่าจะมีการแทรกดันตัวของหินฐานขึ้นมาในระดับตื้นทางด้านตะวันออกของแนวภาคตัดขวางนี้โดยทางด้านตะวันออกหินฐานดันขึ้นมาที่ระดับความลึกเฉลี่ย 3,000 เมตร ตั้งแต่ระยะ 45,000 เมตร จากจุด D6 จนตลอดแนวภาคตัดขวางนี้ จากนั้นก็ค่อยๆลึกลงไปทางด้านตะวันออกจนถึงบริเวณแนวกลางของภาคตัดขวางซึ่งตัดผ่านแนวเทือกเขาหินแกรนิตคาดว่าหินฐานน่าจะวางตัวอยู่ในระดับลึกเนื่องจากถูกกดทับด้วยมวลหินแกรนิต ในการสร้างแบบจำลองจึงได้กำหนดให้หินแกรนิตมี 2 ชุดวางอยู่บนหินฐานที่มีความหนาแน่นมากกว่า (2800 kg/m^3)โดยแกรนิตทั้ง 2 ชุดมีความหนาแน่นเท่ากันคือ มีค่าเท่ากับ 2620 kg/m^3 แต่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กต่างกันคือชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะมีค่ามากกว่าชุดที่วางอยู่ด้านล่างคือชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะมีค่าเท่ากับ 0.015 SI. ส่วนชุดที่วางตัวอยู่ด้านล่างจะมีค่าเท่ากับ 0.000001 SI และให้หมู่หินตะกอนซึ่งมีความหนาประมาณ 500 เมตร ยาวประมาณ 80,000 เมตร วางตัวตามยาวตลอดแนวภาคตัดขวางนี้โดยมีหินแกรนิตชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนแทรกซอนโผล่ขึ้นมาตรงกลางของแนวที่ระยะประมาณ 8,000-35,000 เมตร จากจุด D6 โดยมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 2,000 เมตรตลอดแนวภาคตัดขวางนี้ ส่วนแกรนิตชุดที่วางตัวอยู่ด้านล่างมีความลึกแตกต่างกัน 2 ระดับอย่างชัดเจนคือ ความลึกตั้งแต่ 9,000 เมตร ตั้งแต่ระยะ 0 เมตร จากจุด D6 และมีความลึกมากขึ้นเรื่อยๆไปทางด้านตะวันออกโดยมีความลึกมากที่สุดประมาณ 15,000 เมตร ปรากฏตรงกลางของแนวภาคตัดขวาง ที่ระยะประมาณ 23,000-37,000 เมตรจากจุด D6 และจะบางลงตั้งแต่ตอนกลางของภาคตัดขวางไปทางด้านตะวันออกของแนวภาคตัดขวางนี้ โดยมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 3,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 45,000 - 75,000 เมตร จากจุด D6

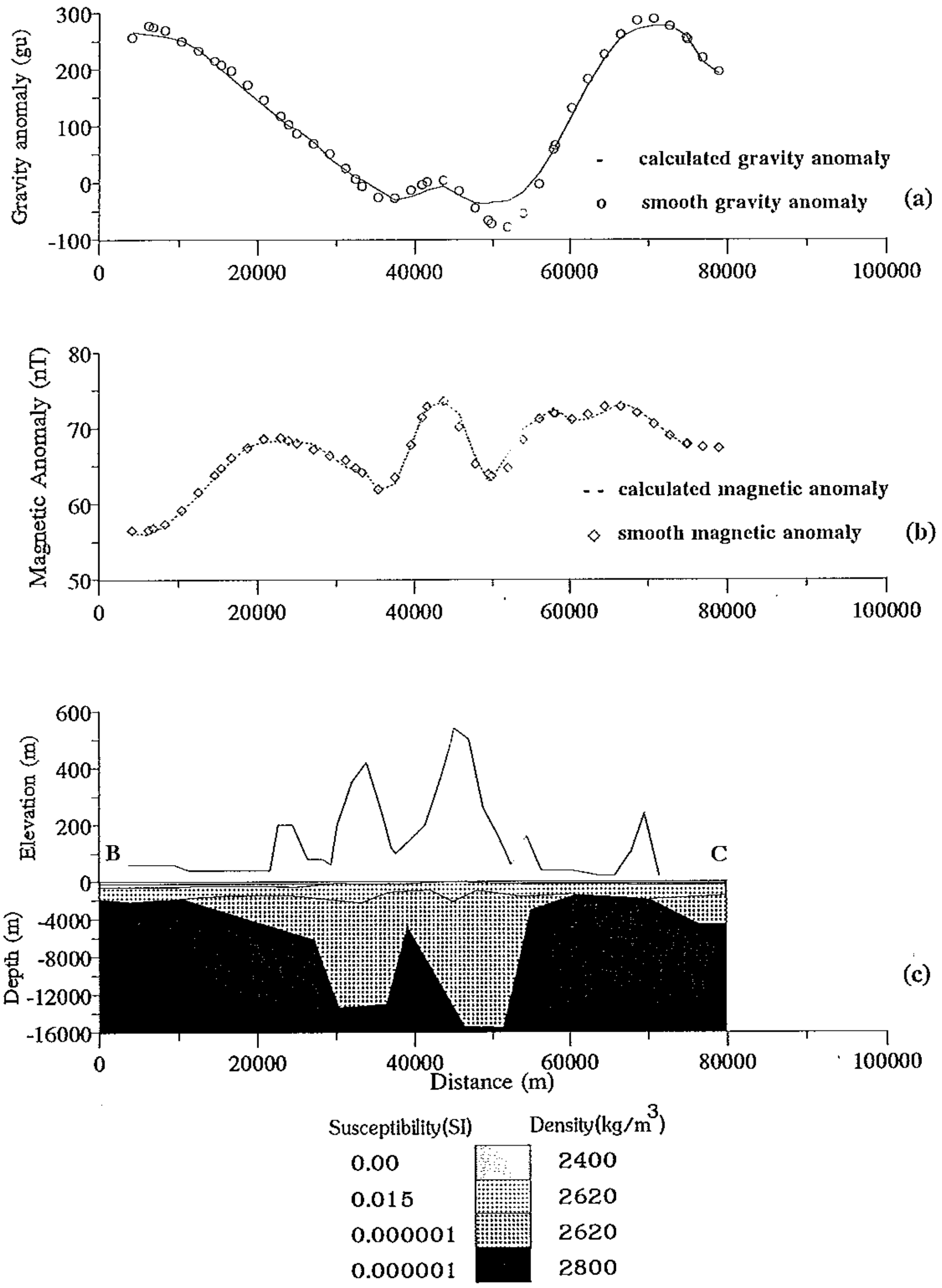
ภาพประกอบ 45 แบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาในแนวภาคตัดขวาง D6_E6



4.1.7 ภาพตัดขวางของมวลผิดปกติในแนว BC (ภาพประกอบ 46)

ภาคตัดขวางในแนวนี้เป็นแนวเดียวกันกับแนวภาคตัดขวางของแผนที่ธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรธรณี,2528) ในแนว BC (ภาพประกอบ 39) ซึ่งค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีลักษณะเป็นรูปประทุนหาย โดยมีค่าสูงเฉลี่ยประมาณ 200 gu ปรากฏอยู่ด้านตะวันตกของแนวที่ระยะ 5,000-20,000 เมตรจากจุด B และค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าต่ำเฉลี่ยประมาณ 0 gu ปรากฏอยู่บริเวณตรงกลางของแนวที่ระยะ 30,000-55,000 เมตรจากจุด B และค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าสูงเฉลี่ยประมาณ 200 gu ปรากฏอยู่ด้านตะวันออกของแนวที่ระยะ 65,000-75,000 เมตร จากจุด B สำหรับค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกปรากฏเป็นหย่อมๆสูงต่ำสลับกันไปตามแนวภาคตัดขวาง โดยมีลักษณะคล้ายลอนลูกคลื่น นั่นคือ บริเวณตรงกลางของแนวมีค่าสูงกว่าบริเวณด้านข้างทั้ง 2 ด้านแต่จะปรากฏเป็นบริเวณแคบๆโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 70 nT ปรากฏที่ระยะ 40,000-45,000 เมตรจากจุด B ส่วนบริเวณด้านตะวันตกมีค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกต่ำและสูงขึ้นสลับกันไปโดยมีค่าประมาณ 65 nT ปรากฏที่ระยะ 5,000-30,000 เมตรจากจุด B ส่วนทางด้านตะวันออกของแนวก็มีค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กต่ำและสูงขึ้นสลับกันไปโดยมีค่าเฉลี่ย 70 nT ปรากฏที่ระยะ 50,000-80,000 เมตรจากจุด B จากลักษณะข้อมูลตามภาคตัดขวางในแนวนี้จึงได้สร้างแบบจำลองขึ้นโดยคาดว่าน่าจะมีการแทรกดันตัวของหินฐานขึ้นมาในระดับตื้นทางด้านตะวันตกและตะวันออกของแนวภาคตัดขวางนี้ ส่วนบริเวณแนวกลางของภาคตัดขวางซึ่งตัดผ่านแนวเทือกเขาหินแกรนิตคาดว่าหินฐานน่าจะวางตัวอยู่ในระดับลึก ในการสร้างแบบจำลองจึงได้กำหนดให้หินแกรนิตมี 2 ชุดวางอยู่บนหินฐานที่มีความหนาแน่นมากกว่า(2800 kg/m^3)โดยแกรนิตทั้ง 2 ชุดมีความหนาแน่นเท่ากันคือ มีค่าเท่ากับ 2620 kg/m^3 แต่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กต่างกันคือ ชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนจะมีค่าเท่ากับ 0.015 SI. ส่วนชุดที่วางตัวอยู่ด้านล่างจะมีค่าเท่ากับ 0.000001 SI และให้หมู่หินตะกอนซึ่งมีความหนาประมาณ 500 เมตร ยาวประมาณ 80,000 เมตร วางตัวตามยาวตลอดแนว โดยมีหินแกรนิตชุดที่วางตัวอยู่ด้านบนแทรกซอนโผล่ขึ้นมาตรงกลางของแนว ที่ระยะ 40,000-50,000 เมตรจากจุด B โดยมีความลึกมากที่สุดประมาณ 2,000 เมตร โดยมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดแนวภาคตัดขวางนี้ ส่วนแกรนิตชุดที่วางตัวอยู่ข้างล่างจะวางตัวมีลักษณะเป็นบล็อกๆในตอนกลางของแนวภาคตัดขวางโดยมีความลึกประมาณ 13,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 33,000-40,000 เมตรและ 15,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 50,000 - 55,000 เมตร จากจุด B และมีความหนาน้อยลงไปทางด้านตะวันตกและตะวันออกของแนว โดยด้านตะวันตกมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 2,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 0 - 12,000 เมตร และมีความหนามากขึ้นเรื่อยๆจาก 2,000 - 6,000 เมตร ตั้งแต่ 12,000 - 30,000 เมตร ส่วนด้านตะวันออกมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 2,000 เมตร ปรากฏที่ระยะ 60,000 - 76,000 เมตร จากจุด B

ภาพประกอบ 46 แบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาในแนวภาคตัดขวาง BC



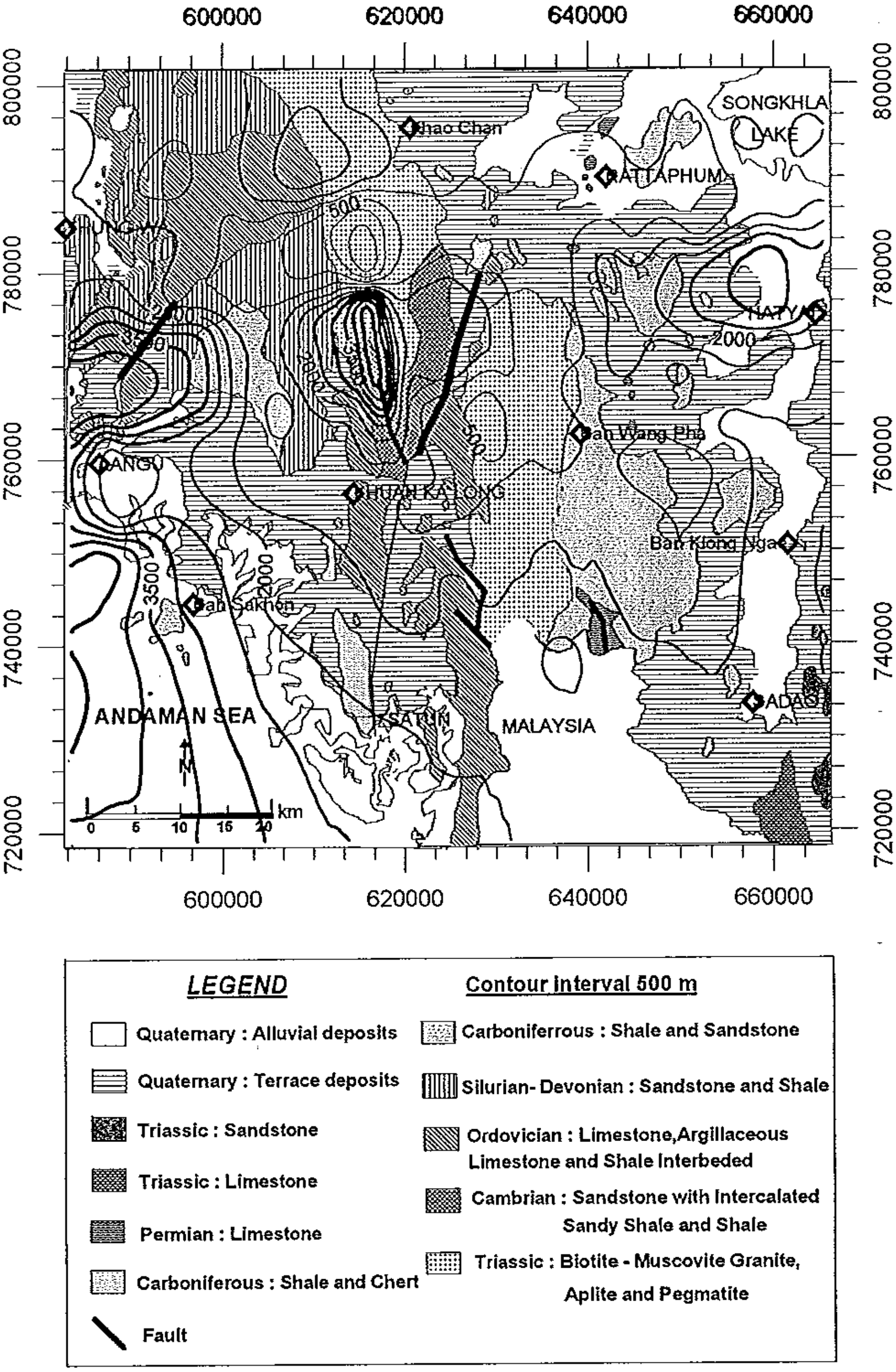
สำหรับแบบจำลองดังกล่าวทั้งหมดนี้ ค่าผิดปกติด้านความถ่วงที่มีค่าต่ำเป็นอิทธิพลจากการแทรกซอนของมวลหินแกรนิตที่มีความหนาแน่นเฉลี่ย เท่ากับ 2620 kg/m^3 ซึ่งแทรกอยู่ในหินตะกอนที่มีอายุแก่กว่าซึ่งพบทางตอนกลางของพื้นที่ศึกษา และระดับความลึกของหินฐานที่รองรับแกรนิต กล่าวคือ ถ้าบริเวณใดที่หินฐานอยู่ในระดับตื้น เช่น บริเวณที่ปกคลุมด้วยหินตะกอนชนิดต่างๆจะทำให้ค่าความถ่วงบริเวณนั้นมีค่าสูงซึ่งอยู่ทางด้านตะวันออกและตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ส่วนบริเวณที่หินฐานอยู่ในระดับลึก เช่น บริเวณแนวกลางของพื้นที่ศึกษาเนื่องจากหินฐานจะถูกกดทับโดยมวลหินแกรนิตที่มีขนาดมหาศาล ทำให้ค่าความถ่วงบริเวณนั้นมีค่าต่ำ สำหรับค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกคาดว่าเนื่องมาจากมวลหินแกรนิตในระดับตื้นที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก เท่ากับ 0.015 SI ซึ่งมีส่วนประกอบของสารแม่เหล็ก(magnetite) ประกอบอยู่ ประมาณ 0.43 %โดยปริมาตร

จากการสร้างแบบจำลองซึ่งได้ค่าผิดปกติของความถ่วงและค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลกที่คำนวณได้สอดคล้องกับค่าความถ่วงและความเข้มสนามแม่เหล็กโลกที่ได้จากการวัด พบว่า หินแกรนิตมีรากลึกโดยเฉลี่ยประมาณ 12 กิโลเมตร และเมื่อทำการตรวจสอบแบบจำลองที่ได้กับทฤษฎีดุลเสมอภาคของเปลือกโลก(Isostacy)ของแอรี โดยใช้สมการ $D=h\rho_c/(\rho_c-\rho_g)$ เมื่อ D=ความลึกเฉลี่ยของแกรนิตตามแนวภาคตัดขวาง(กิโลเมตร),h=ความสูงเฉลี่ยของยอดเขาแกรนิตตามแนวภาคตัดขวาง(เมตร), ρ_g=ความหนาแน่นเฉลี่ยของหินแกรนิต (2620 kg/m^3) , ρ_c=ความหนาแน่นเฉลี่ยของหินในชั้นเปลือกโลก (2800 kg/m^3) พบว่าบริเวณแนวภาคตัดขวางที่ตัดผ่านเทือกเขาแกรนิตมียอดเขาสูงเฉลี่ยประมาณ 570 เมตร แกรนิตจะมีรากลึกประมาณ 8.3 กิโลเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าความลึกเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง(12 กิโลเมตร) อยู่ประมาณ 3.7 กิโลเมตร หรือประมาณ 30%

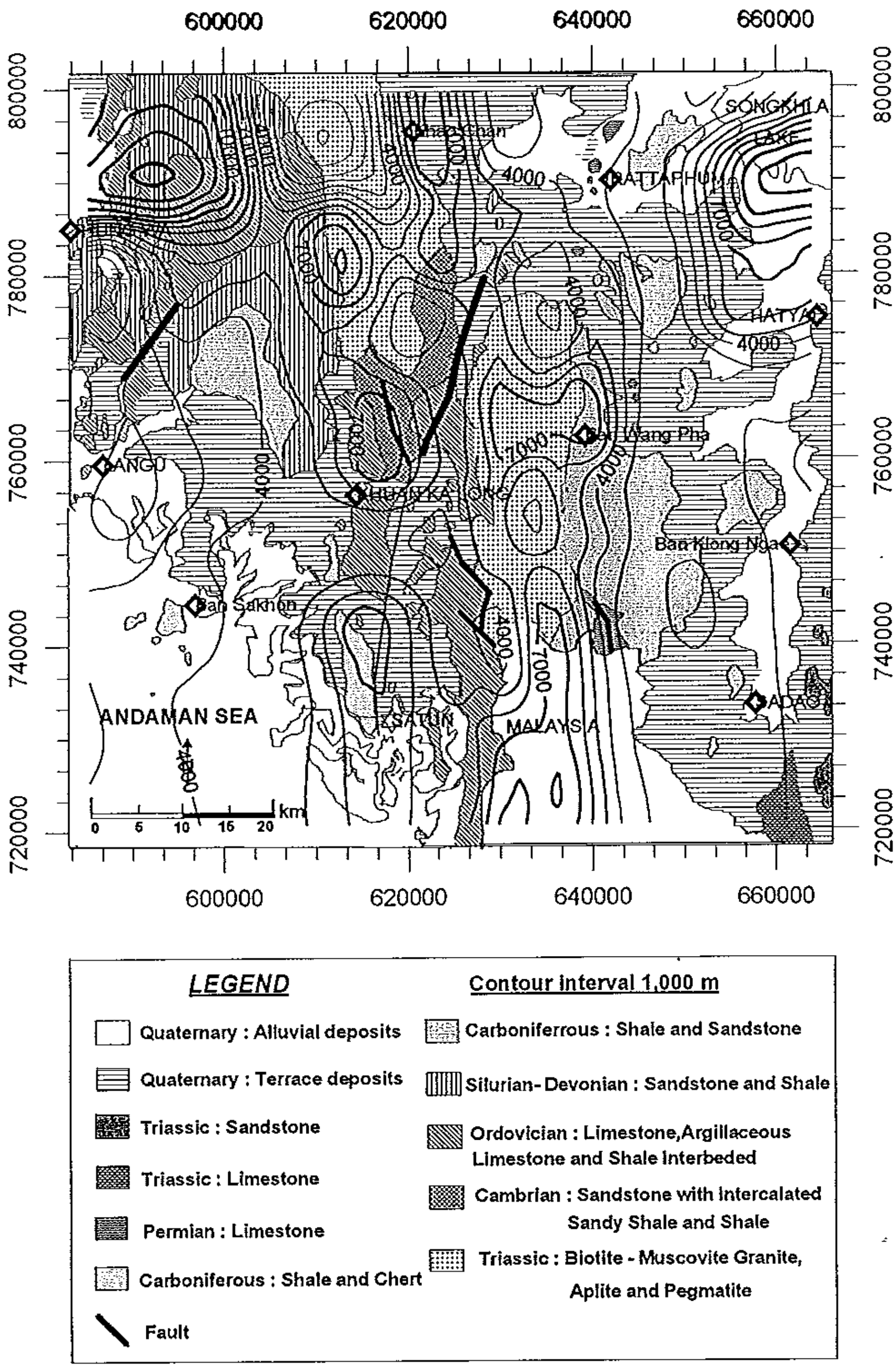
สำหรับแผนที่คอนทัวร์ความลึกที่ได้จากแบบจำลองของพื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะดังภาพประกอบที่ 47 และ 48 ตามลำดับ

จากภาพประกอบ 47 และ 48 พบว่าตำแหน่งที่ลึกที่สุดของแกรนิตชุดบนมีความลึกประมาณ 4 กิโลเมตร ซึ่งอยู่ทางตอนล่างของเทือกเขาหินแกรนิตพับผ้าและทางตอนเหนือของอำเภอละงูที่ปรากฏในแผนที่ธรณีวิทยาและตำแหน่งที่ลึกที่สุดของแกรนิตชุดล่างมีความลึกประมาณ 15 กิโลเมตร ไม่ได้อยู่ตรงกับตำแหน่งของยอดเทือกเขาหินแกรนิตที่ปรากฏในแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาแต่จะอยู่ถัดไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ประมาณ 5 กิโลเมตร

ภาพประกอบ 47 คอนทัวร์ความลึกของแกรนิตตอนบนในหน่วย m ซ้อนทับบน แผนที่ธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบ 48 คอนทัวร์ความลึกของแกรนิตตอนล่างในหน่วย m ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา



จากแนวยอดเทือกเขาแกรนิตพับผ้า ส่วนตำแหน่งที่ลึกที่สุดของแกรนิตชุดล่างตรงแนวยอดเทือกเขาแกรนิตวังพามีความลึกประมาณ 8 กิโลเมตร อยู่ตรงกับตำแหน่งของยอดเทือกเขาหินแกรนิตที่ปรากฏในแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาซึ่งคอนทัวร์ความลึกของพื้นที่ดังกล่าวนี้สอดคล้องกับคอนทัวร์ความถ่วงผิดปกติสัมบูรณ์ นั่นคือบริเวณที่ค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าต่ำแกรนิตจะมีความหนามากส่วนบริเวณที่ค่าผิดปกติด้านความถ่วงมีค่าสูงแกรนิตจะมีความหนาน้อยลง จากคอนทัวร์ความลึกนี้ไม่สามารถพบรอยเลื่อนต่างๆได้เด่นชัดตามแผนที่ธรณีวิทยา(2528)และจากการศึกษาโดยธงชัย พึ่งรัศมี(2532) เช่น รอยเลื่อนในเขตอำเภอละงูตอนเหนือ แนวประมาณ N40 °E ในหินออร์โดวิเชียนยาวประมาณ 7 กิโลเมตร เป็นต้น

5. ผลจากการศึกษาข้อมูลกัมมันตภาพรังสีจากการบินสำรวจและการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม(K) ยูเรเนียมสมมูล(eU) และทอเรียมสมมูล(eTh)

การศึกษาแผนที่กัมมันตภาพรังสีและการวิเคราะห์ปริมาณธาตุโพแทสเซียม(K) ยูเรเนียมสมมูล(eU) และทอเรียมสมมูล(eTh) มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบสภาพธรณีวิทยาและลักษณะโครงสร้างธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

โดยปกติปริมาณเล็กน้อยของสารกัมมันตรังสีมีอยู่ในหินเสมอ ซึ่งสารเหล่านี้จะแผ่รังสีออกมารวมกับรังสีคอสมิกที่มาจากนอกโลกและรวมเป็นรังสีของสภาพแวดล้อมซึ่งเปลี่ยนแปลงจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งเสมอ โดยปกติการกระจายของธาตุกัมมันตรังสีใต้ผิวโลกนี้ไม่แน่นอน เช่นธาตุโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล ในหินพวกแกรนิต จะมีธาตุกัมมันตรังสีปะปนอยู่มากกว่าปกติ แต่มีหินบางชนิดที่มีส่วนประกอบของเฟลด์สปาร์และไมกา จะมีปริมาณโพแทสเซียมสูงซึ่งจะทำให้ระดับกัมมันตภาพรังสีในบริเวณหินเหล่านี้สูงขึ้น ส่วนบริเวณแผ่นดินถล่ม บริเวณที่ดินทับถมหนาและตะกอนลุ่มน้ำจะมีระดับกัมมันตภาพรังสีต่ำ จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงต้องเก็บตัวอย่างหินมาวิเคราะห์ระดับกัมมันตภาพรังสีในห้องปฏิบัติการต่อไป

ดังนั้นการวิเคราะห์ระดับกัมมันตภาพรังสีของหินตัวอย่างจะช่วยกำหนดต้นกำเนิดรังสีที่ชัดเจนของชนิดและตำแหน่งของหมวดหินในพื้นที่ศึกษา

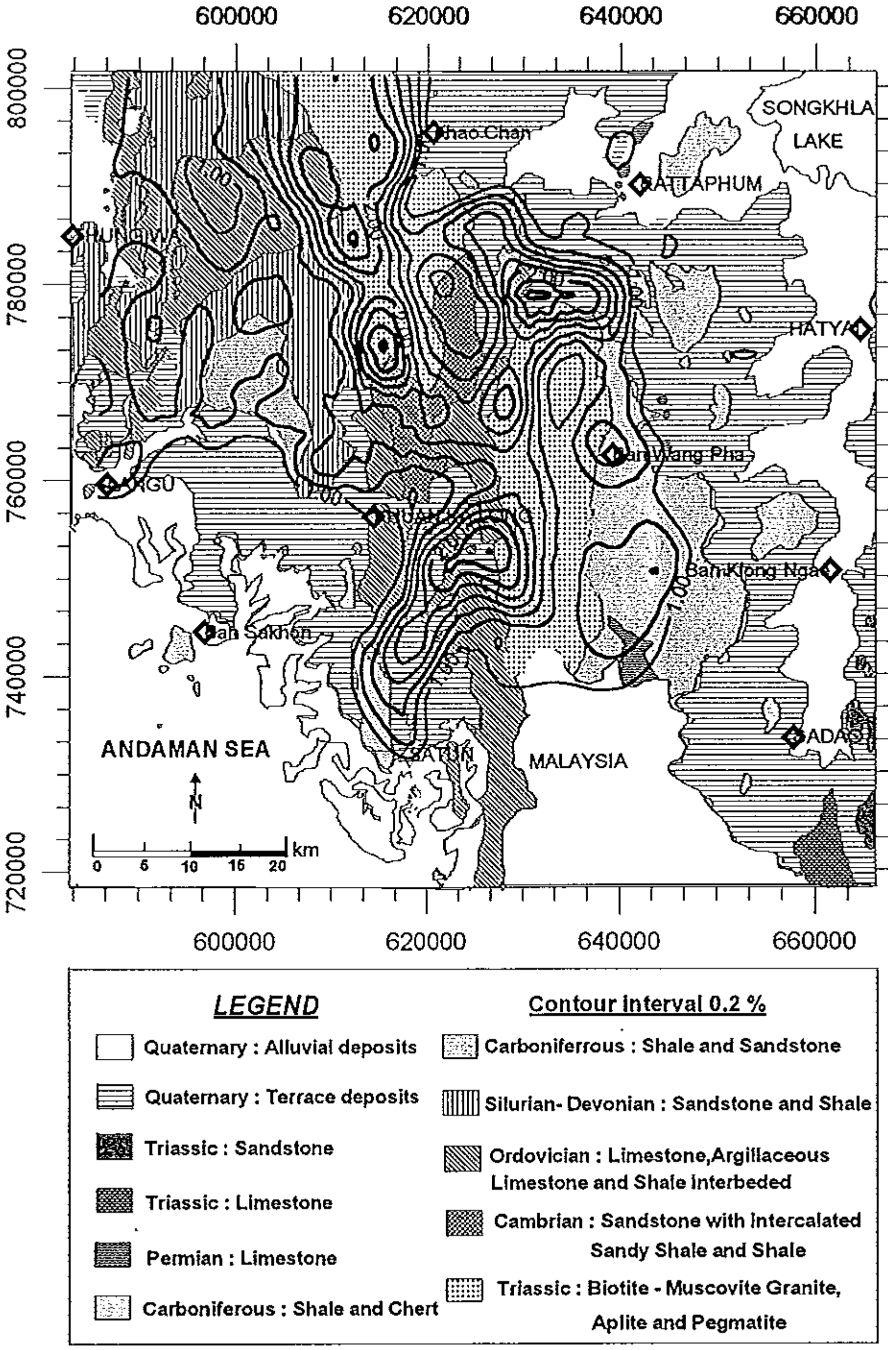
5.1 ผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลจากการบินสำรวจ

จากการพิจารณาค่ากัมมันตภาพรังสีจากการบินสำรวจทางอากาศที่ระดับความสูง 122 เมตร ของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2532 โดยการนำคอนทัวร์กัมมันตภาพรังสีไปซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยา ดังภาพประกอบ 49,50,51 พบว่าบริเวณแนวเทือกเขาแกรนิตและใกล้เคียงเป็น

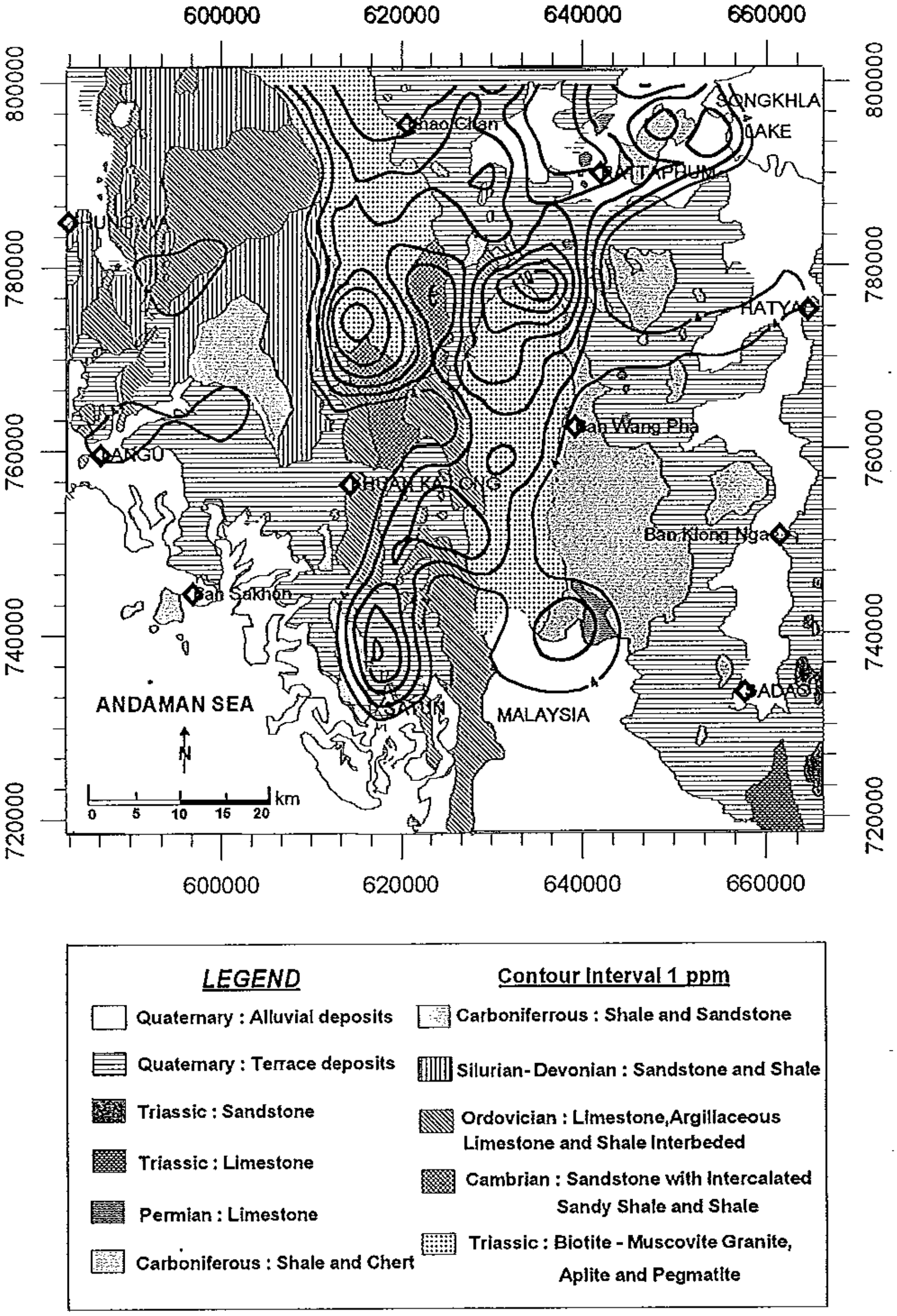
บริเวณที่มีปริมาณความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีสูง นั่นคือ ค่าความเข้มข้นผิดปกติของโพแทสเซียม (K) ที่มีค่ามากกว่า 1% ค่าความเข้มข้นผิดปกติของยูเรเนียมสมมูล (eU) ที่มีค่ามากกว่า 4 ppm และค่าความเข้มข้นผิดปกติของทอเรียมสมมูล (eTh) ที่มีค่ามากกว่า 16 ppm จะปรากฏอยู่บนแนวเทือกเขาแกรนิตพับผ้าอย่างชัดเจน ส่วนแนวเทือกเขาแกรนิตวังพามีค่าไม่ค่อยชัดเจนนักโดยค่าความเข้มข้นผิดปกติกัมมันตภาพ-รังสีจะปรากฏอยู่เฉพาะทางตอนเหนือและทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแนวเทือกเขาเท่านั้น ส่วนบริเวณตะกอนควาเทอร์นารีนั้นจะมีค่ากัมมันตภาพรังสีค่อนข้างต่ำซึ่งจากลักษณะความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นของสารกัมมันตภาพรังสีดังกล่าวทำให้สามารถหาขอบเขตของแนวแกรนิตได้ค่อนข้างชัดเจน

ถ้าพิจารณาค่าผิดปกติของกัมมันตภาพรังสี พบว่าค่าผิดปกติโดยส่วนใหญ่จะปรากฏตามแนวเทือกเขาแกรนิตดังกล่าวแล้วและบางส่วนจะปรากฏบนหินตะกอนชนิดต่างๆซึ่งค่าผิดปกติดังกล่าวสามารถแบ่งเป็น 3 โซน คือ (1) ค่าผิดปกติที่ปรากฏอยู่ทางตอนล่างของเทือกเขาพับผ้าที่ตำแหน่งระหว่าง 614000-625000E และ 767000-777000N ซึ่งแสดงค่าผิดปกติของค่า K,eU และ eTh ที่มีค่า 1.8-2.6 %, 5-10 ppm และ 19-34 ppm ตามลำดับจะปรากฏบริเวณรอยสัมผัสระหว่างหินแกรนิต(ไทรแอสซิก) หินทราย(แคมเบรียน)และหินปูน(ออร์โดวิเชียน) ซึ่งคาดว่าค่าผิดปกติดังกล่าวเกิดจากมีปริมาณธาตุกัมมันตรังสีจะมีอยู่มากจากการแทรกซอนเข้ามาของหินแกรนิต และนอกจากนั้นยังพบแหล่งแร่เหล็กซึ่งอยู่ห่างจากบริเวณดังกล่าวลงมาทางใต้ประมาณ 5 กิโลเมตร และมีเหมืองแร่พลวงซึ่งอยู่ห่างจากบริเวณดังกล่าวลงมาทางใต้ประมาณ 8-10 กิโลเมตร (2) ค่าผิดปกติที่ปรากฏอยู่ทางตอนเหนือของเทือกเขาวังพาอยู่ทางด้านตะวันออกของทางหลวงหมายเลข 406 (สตูล-รัตภูมิ) ค่าผิดปกติของ K,eU และ eTh ที่มีค่า 1.6-2.4 %, 6-11 ppm และ 22-28 ppm ตามลำดับจะปรากฏบริเวณรอยสัมผัสระหว่างหินแกรนิต(ไทรแอสซิก) หินปูน(ออร์โดวิเชียน)และหินตะกอน(คาร์บอนิเฟอรัส)โดยคาดว่าค่าผิดปกติดังกล่าวเกิดจากมีปริมาณธาตุกัมมันตรังสีจะมีอยู่มากจากการแทรกซอนเข้ามาของหินแกรนิต นอกจากนั้นเป็นที่สังเกตุว่าบริเวณดังกล่าวยังพบแหล่งแร่ดีบุก(SnO_2),ทังสเตน(W),ตะกั่ว(Pb),สังกะสี(Zn),แบไรต์(Ba),เหล็ก(F)และพลวง(Sb) อีกด้วย (3) ค่าผิดปกติที่ปรากฏอยู่ทางตอนล่างของพื้นที่ศึกษาที่ตำแหน่งระหว่าง 616000-625000E และ 735000-752000N ซึ่งค่าผิดปกติของ K,eU และ eTh ที่มีค่า 1.4-2.4 %, 5-8 ppm และ 17-23 ppm ตามลำดับ จะปรากฏบริเวณแหล่งหินปูน(ออร์โดวิเชียน)และตะกอนควาเทอร์นารีซึ่งอยู่ทางด้านตะวันตกของเทือกเขาแกรนิตวังพา ถึงแม้ว่ายังไม่เคยมีรายงานเกี่ยวกับแหล่งแร่ แต่คาดว่าค่าผิดปกติที่เกิดขึ้นน่าจะมีสาเหตุมาจากวัตถุที่ให้ค่าทางด้านกัมมันตภาพรังสีอยู่ในบริเวณดังกล่าวด้วย

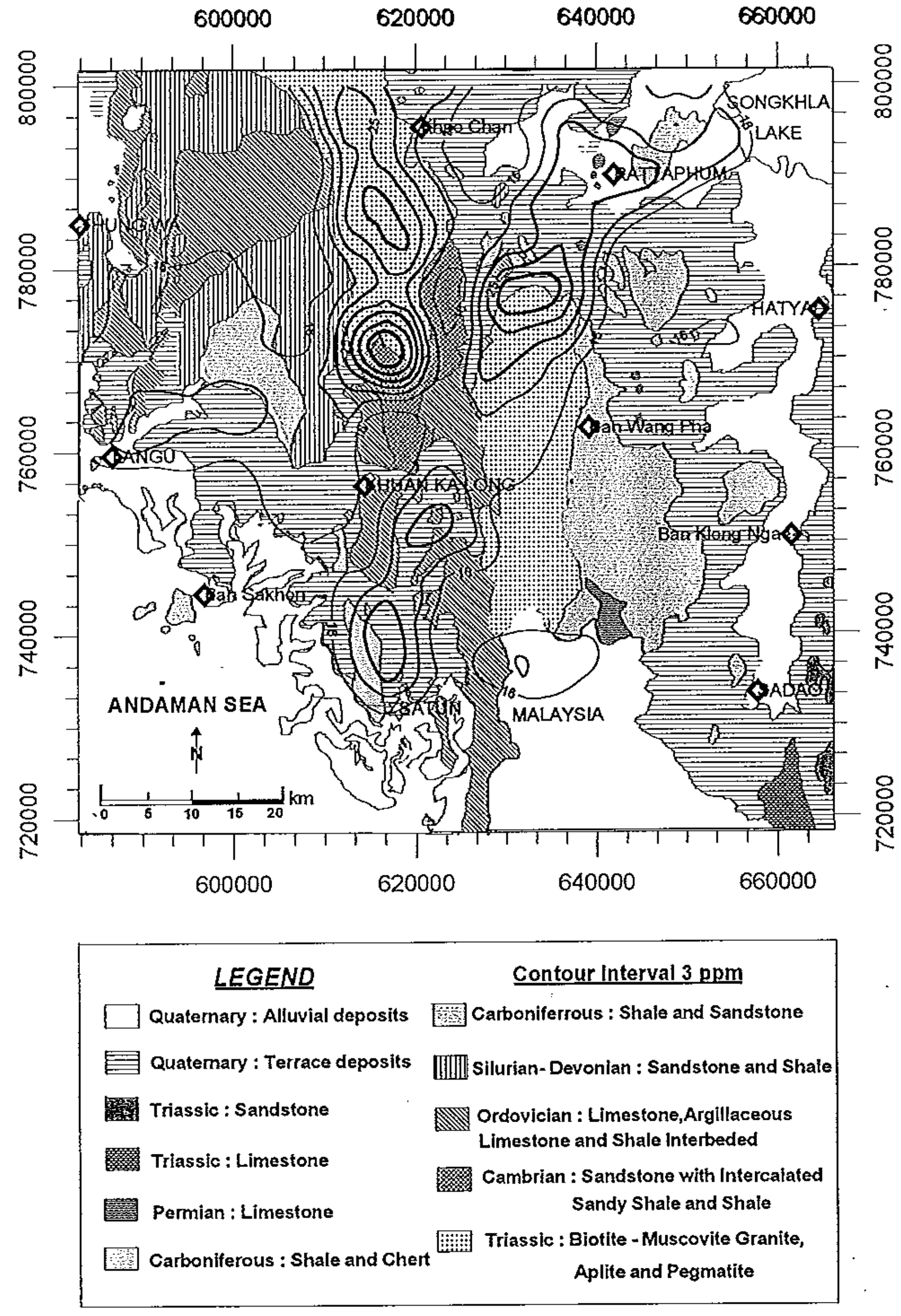
ภาพประกอบ 49 คอนทัวร์โพแทสเซียม (K) ในหน่วยร้อยละซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบ 50 คอนทัวร์ยูเรเนียมสมมูล (eU) ในหน่วย ppm ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบ 51 คอนทัวร์ทอเรียมสมมูล (eTh) ในหน่วย ppm ซ้อนทับบน
แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา



5.2 การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูล จากหินตัวอย่าง

จากการบินสำรวจทางอากาศจะรู้เพียงว่าบริเวณใดมีระดับกัมมันตภาพรังสีสูงแต่จะไม่ทราบชนิดของต้นกำเนิดรังสีเหล่านั้นอย่างแท้จริง จึงได้เก็บตัวอย่างหินโผล่ในบริเวณพื้นที่ศึกษามาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจหาปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลโดยใช้สเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา ทั้งนี้เพื่อกำหนดให้ชัดเจนว่าธาตุกัมมันต-รังสีเป็นต้นกำเนิดของหินชนิดใด และมีปริมาณมากน้อยเพียงใดและเมื่อนำหินตัวอย่างที่มีมวลประมาณ 0.5-3 กิโลกรัม ซึ่งเก็บจากบริเวณพื้นที่ศึกษาในเขตอำเภอหาดใหญ่ อำเภอสะเดา อำเภอรัตภูมิ อำเภอควนเนียง กิ่งอำเภอบางกล่ำและกิ่งอำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา และพื้นที่จังหวัดสตูลซึ่งประกอบไปด้วยอำเภอควนกาหลง อำเภอละงู อำเภอควนโดน อำเภอท่าแพ อำเภอทุ่งหว้าและอำเภอเมืองสตูล มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูล จำนวนทั้งหมด 30 ตำแหน่ง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์รังสีแกมมา การวิเคราะห์ใช้การเปรียบเทียบพื้นที่ใต้ยอดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ระดับพลังงานช่วงหนึ่งของสารมาตรฐานกับพื้นที่ใต้ยอดสเปกตรัมที่ระดับพลังงานเดียวกันของหินตัวอย่างเมื่อลบสัญญาณค่าพื้นหลัง (background) ออกไปแล้วในช่วง CHANNEL NUMBER 505-514,613-620 และ 913-920 ซึ่งตรงกับยอดสเปกตรัมที่ตำแหน่งพลังงาน 1464.7 keV 1765.5 keV และ 2625.5 keV ตามลำดับ ในการนำมาใช้วิเคราะห์ปริมาณ K-40 Bi-214 ซึ่งสมนัยกับ U และ Tl-208 ซึ่งสมนัยกับ Th ได้ค่าดังตาราง 8,9,10,11,12 และ ภาพประกอบ 52,53,54

ตาราง 8 ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูล ในหินแกรนิต ยุคไทรแอสซิก

รหัสหินตัวอย่าง	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)
H04	2.36±0.19	4.48±0.07	15.58±0.07
H05	2.00±0.17	5.61±0.07	14.52±0.07
H07	2.19±0.17	6.87±0.08	16.46±0.07
H13	2.56±0.17	11.72±0.10	34.91±0.10
H15	1.93±0.16	4.20±0.06	16.73±0.07
H17	1.80±0.16	5.98±0.08	7.58±0.05
เฉลี่ย	2.14±0.17	6.48±0.08	17.63±0.07

จากตาราง 8 ความเข้มข้นของธาตุต่างๆในหินแกรนิตมีค่าดังนี้ โพแทสเซียมเฉลี่ย 2.14$\pm$ 0.17 % ยูเรเนียมสมมูลเฉลี่ย 6.48$\pm$0.08 ppm และทอเรียมสมมูลเฉลี่ย 17.63$\pm$0.07 ppm ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเข้มข้นของข้อมูลด้านการบินสำรวจดังหัวข้อ 5.1 นั่นคือ ค่าความเข้มผิดปกติของโพแทสเซียม(K) ที่ได้จากการบินสำรวจที่มีค่ามากกว่า 1 % จะปรากฏอยู่เหนือแนวเทือกเขาแกรนิตและบริเวณใกล้เคียงและบริเวณที่ทำให้เกิดค่าผิดปกติจะปรากฏตรงรอยสัมผัสระหว่างหินแกรนิตกับหินท้องที่ซึ่งอยู่ตรงกับตำแหน่งเก็บหินตัวอย่าง โดยมีค่าประมาณ 1.8-2.6 % แต่ค่าที่วัดได้จะมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปซึ่งรายงานโดยกิตติชัย วัฒนานิกรและคณะ(2527)คือ หินแกรนิตมีค่าปริมาณธาตุโพแทสเซียม 3.3-3.8 % ส่วนยูเรเนียมที่ได้จากการบินสำรวจที่มีค่ามากกว่า 4 ppm จะปรากฏอยู่แนวเทือกเขาแกรนิตและบริเวณใกล้เคียงและบริเวณที่ทำให้เกิดค่าผิดปกติจะปรากฏตรงรอยสัมผัสระหว่างหินแกรนิตกับหินท้องที่ซึ่งอยู่ตรงกับตำแหน่งเก็บหินตัวอย่าง โดยมีค่าประมาณ 6-10 ppm แต่จะมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปซึ่งรายงานโดยกิตติชัย วัฒนานิกร และคณะ(2527)คือ หินแกรนิตมีค่าปริมาณธาตุยูเรเนียม 4-5 ppm และทอเรียมที่ได้จากการบินสำรวจที่มีค่ามากกว่า 16 ppm จะปรากฏอยู่แนวเทือกเขาแกรนิตและบริเวณใกล้เคียงและบริเวณที่ทำให้เกิดค่าผิดปกติจะปรากฏตรงรอยสัมผัสระหว่างหินแกรนิตกับหินท้องที่ซึ่งอยู่ตรงกับตำแหน่งเก็บหินตัวอย่าง โดยมีค่าประมาณ 19-34 % ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่วัดได้และค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปซึ่งรายงานโดย กิตติชัย วัฒนานิกรและคณะ(2527)คือ หินแกรนิตมีค่าปริมาณธาตุทอเรียม 15-18 ppm

ดังนั้นปริมาณกัมมันตภาพรังสีมีค่าสูงสามารถใช้กำหนดขอบเขตของแนวแกรนิตได้ ทั้งนี้ควรระลึกไว้เสมอว่า รังสีแกมมาถูกดูดกลืนโดยดินหนาเพียงหนึ่งเมตร ถ้าบริเวณใดมีดินทับถมหนาหนึ่งเมตรขึ้นไป จะไม่มีข้อมูลจากหินใต้ดินขึ้นมาเลย ไม่ว่าหินนั้นให้รังสีออกมามากเท่าไหร่ก็ตาม นอกเสียจากว่าดินนั้นเกิดจากการผุพัง การสลายตัวของหินและทับถมอยู่ ณ ถิ่นเดิม

ตาราง 9 ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูล ในหินทราย ยุคไทรแอสซิก

รหัสหินตัวอย่าง	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)
H004	0.11$\pm$0.03	1.26$\pm$0.01	2.70$\pm$0.02
H329	0.17$\pm$0.04	1.42$\pm$0.02	2.92$\pm$0.02
H331	0.26$\pm$0.05	1.30$\pm$0.02	3.91$\pm$0.03
เฉลี่ย	0.18$\pm$0.04	1.33$\pm$0.02	3.18$\pm$0.02

จากตาราง 9 ความเข้มข้นของธาตุต่างๆในหินทราย ยุคไทรแอสซิก มีค่าดังนี้โพแทสเซียมเฉลี่ย 0.18±0.04 % ยูเรเนียมสมมูลเฉลี่ย 1.33±0.02 ppm และทอเรียมสมมูลเฉลี่ย 3.18±0.02 ppm ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลด้านการบินสำรวจดังหัวข้อ 5.1 นั่นคือ ปริมาณความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมที่ได้จากการบินสำรวจจะมีค่าต่ำกว่า 0.4 % ยูเรเนียมสมมูลต่ำกว่า 2 ppm และทอเรียมสมมูลต่ำกว่า 8 ppm จะปรากฏอยู่บนหมู่หินทราย ยุคไทรแอสซิก

ตาราง 10 ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูล ในหินดินดาน ยุคคาร์บอนิเฟอรัส

รหัสหินตัวอย่าง	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)
H1	1.45±0.11	2.06±0.03	10.42±0.04
H2	1.86±0.14	2.25±0.03	12.69±0.05
H09	1.07±0.12	1.63±0.03	6.65±0.04
H10	1.67±0.16	2.16±0.04	10.65±0.06
H12	1.12±0.13	2.03±0.04	7.25±0.05
H14	0.95±0.11	1.65±0.03	5.33±0.04
H001	1.86±0.16	2.21±0.04	11.87±0.06
H003	1.93±0.17	2.02±0.04	14.62±0.07
H299	0.10±0.03	1.99±0.03	3.31±0.02
H305	1.36±0.11	2.69±0.03	13.54±0.05
เฉลี่ย	1.34±0.12	2.07±0.03	9.63±0.05

จากตาราง 10 ความเข้มข้นของธาตุต่างๆในหินดินดาน ยุคคาร์บอนิเฟอรัส มีค่าดังนี้โพแทสเซียมเฉลี่ย 1.34±0.12 % ยูเรเนียมสมมูลเฉลี่ย 2.07±0.03 ppm และทอเรียมสมมูลเฉลี่ย 9.63±0.05 ppm ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลด้านการบินสำรวจดังหัวข้อ 5.1 นั่นคือ ปริมาณความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมที่ได้จากการบินสำรวจจะมีค่าต่ำกว่า 1.4 % ยูเรเนียมสมมูลต่ำกว่า 4 ppm และทอเรียมสมมูลต่ำกว่า 16 ppm ปรากฏบนหมู่หินดินดาน

ตาราง 11 ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูล ในหินปูน ยุคออร์โดวิเชียน

รหัสหินตัวอย่าง	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)
H00	0.21±0.05	1.25±0.02	2.63±0.02
H01	0.03±0.02	1.23±0.01	0.92±0.01
H02	0.12±0.04	1.16±0.01	1.19±0.01
H03	1.93±0.05	2.02±0.02	2.11±0.02
H06	0.27±0.06	1.50±0.02	2.38±0.02
H08	0.82±0.12	2.11±0.04	5.16±0.04
H11	0.26±0.06	1.42±0.02	1.99±0.02
H16	0.04±0.03	1.11±0.01	1.04±0.01
H1.5	0.06±0.03	1.33±0.02	1.35±0.01
H1.6	0.11±0.04	1.33±0.02	1.63±0.02
เฉลี่ย	0.39±0.05	1.45±0.02	2.04±0.02

จากตาราง 11 ความเข้มข้นของธาตุต่างๆในหินหินปูน ยุคออร์โดวิเชียน มีค่าดังนี้ โพแทสเซียมเฉลี่ย 0.39±0.05 % ยูเรเนียมสมมูลเฉลี่ย 1.45±0.02 ppm และทอเรียมสมมูลเฉลี่ย 2.04±0.02 ppm ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลด้านการบินสำรวจ โดยข้อมูลด้านการบินสำรวจจะมีค่าสูงเนื่องจากหมู่หินปูนในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่จะสัมผัสกับการแทรกซอนของหินแกรนิตจึงทำให้มีค่ากัมมันตภาพรังสีค่อนข้างสูง นั่นคือ ปริมาณความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมที่ได้จากการบินสำรวจจะมีค่าสูง 1 % ยูเรเนียมสมมูลสูงกว่า 2 ppm และทอเรียมสมมูลสูงกว่า 10 ppm จะปรากฏอยู่บนหมู่หินปูนยุคออร์โดวิเชียน

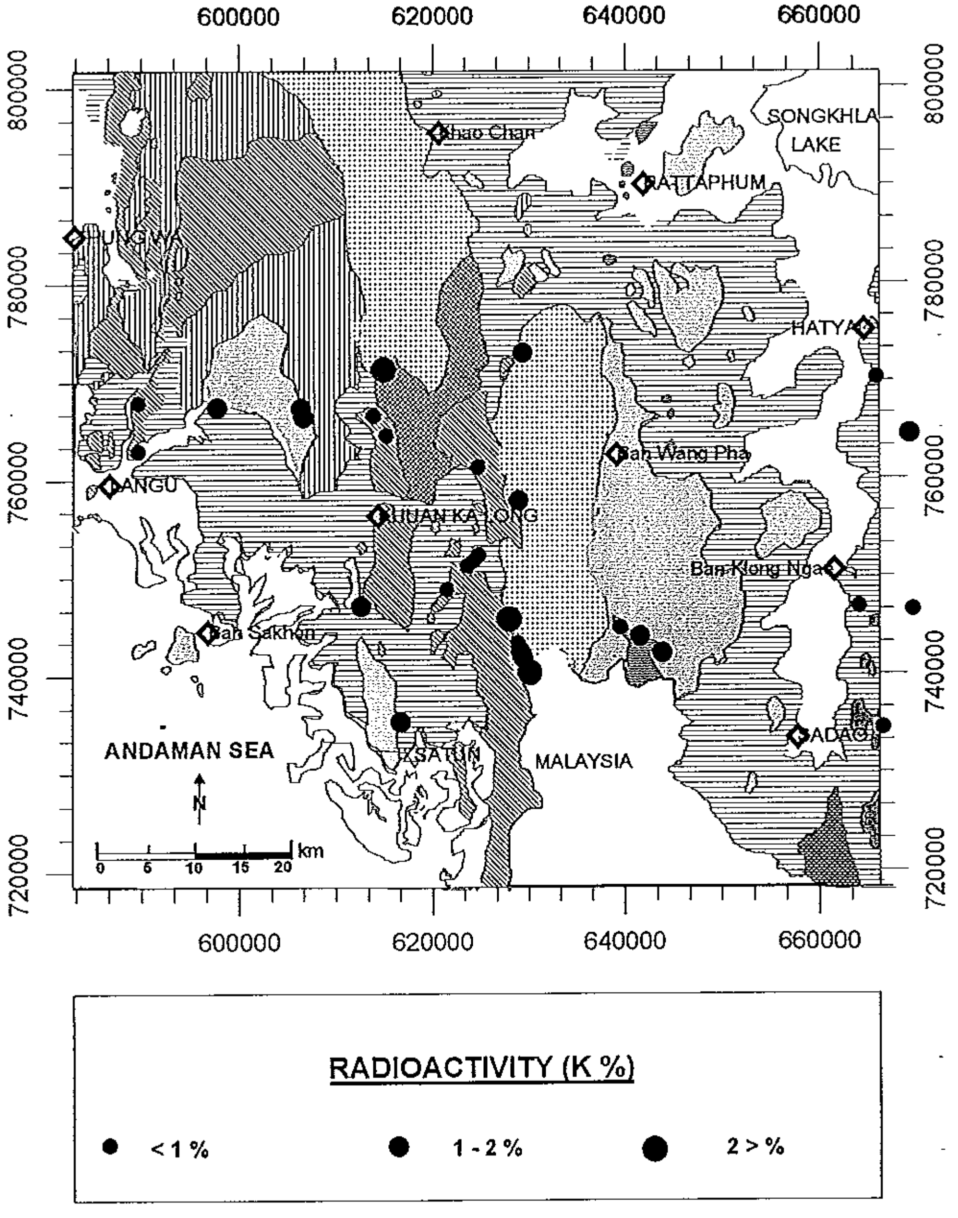
ตาราง 12 ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูล ในหินปูน ยุคเพอร์เมียน

รหัสหินตัวอย่าง	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)
H002	-0.01±0.01	1.34±0.02	0.85±0.01

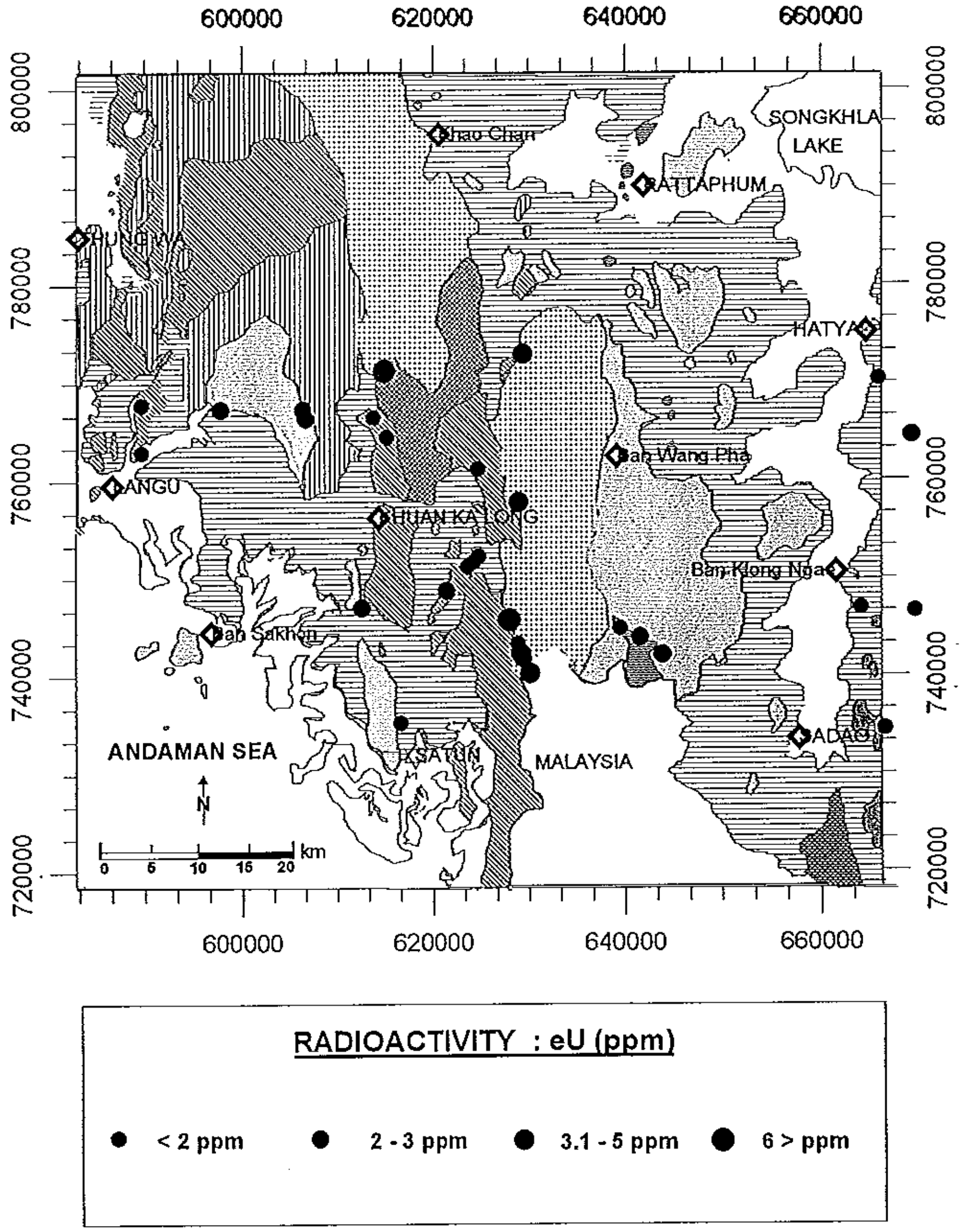
จากตาราง 12 ความเข้มข้นของธาตุต่างๆในหินปูน ยุคเพอร์เมียน มีค่าดังนี้ โพแทสเซียม -0.01±0.01 % ยูเรเนียมสมมูล 1.34±0.02 ppm และทอเรียมสมมูล 0.85±0.01 ppm ซึ่งมีค่าต่ำกว่าข้อมูลด้านการบินสำรวจดังหัวข้อ 5.1 นั่นคือ ปริมาณความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมที่ได้จากการบินสำรวจจะมีค่าประมาณ 1% ยูเรเนียมสมมูล มีค่าประมาณ 4 ppm และทอเรียมสมมูลมีค่าประมาณ 16 ppm จะปรากฏอยู่บนหมู่หินปูน ยุคเพอร์เมียน

จากการเปรียบเทียบค่ากัมมันตรังสีในตาราง 8,9,10,11 และ 12 พบว่าความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล ในหินแกรนิตมีปริมาณสูงกว่าหมู่หินดินดาน หมู่หินทรายและหมู่หินปูน ตามลำดับ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบให้เห็นชัดเจนดังภาพประกอบ 55

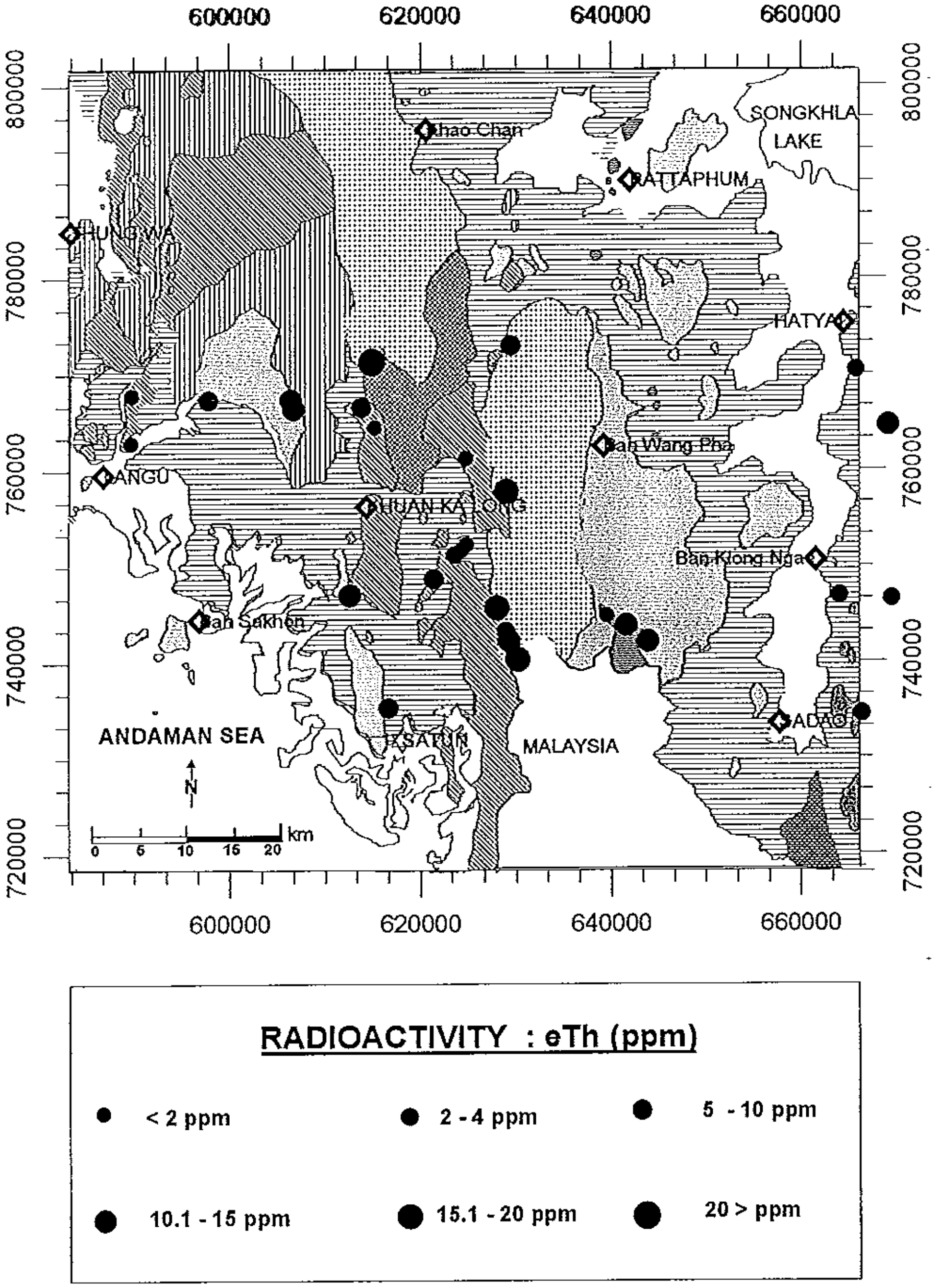
ภาพประกอบ 52 ค่าความเข้มของ K ในหินตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา



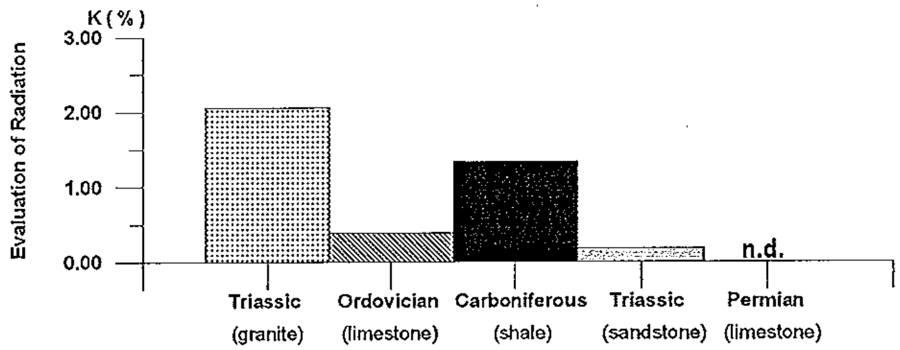
ภาพประกอบ 53 ค่าความเข้มของ eU ในหินตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย
สเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา

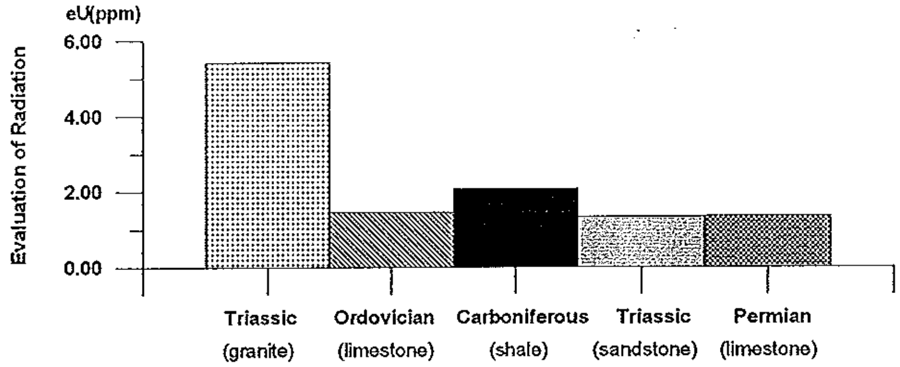


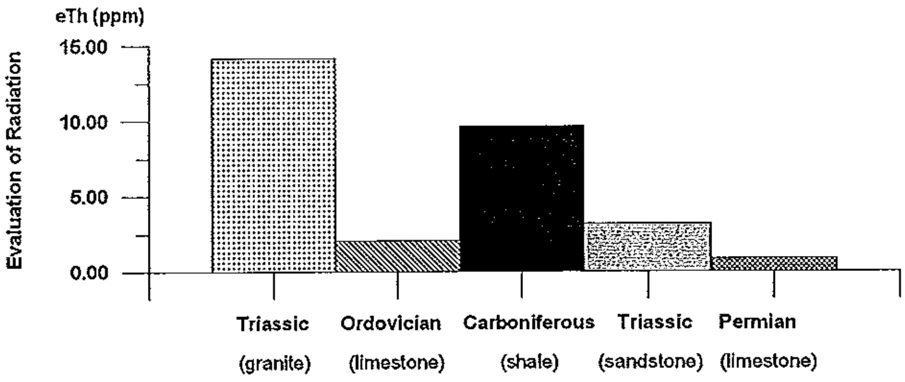
ภาพประกอบ 54 ค่าความเข้มของ eTh ในหินตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย
สเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา



ภาพประกอบ 55 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มของ K , eU และ eTh ในหินตัวอย่าง
ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา







บทที่ 4

บทวิจารณ์และสรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิจารณ์และสรุปผลการวิจัยรวมถึงข้อเสนอแนะและปัญหาต่างๆของการวิจัยโดยสรุปผลออกเป็นข้อ ๆ ดังต่อไปนี้

1. ข้อวิจารณ์ค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่าง
2. ข้อวิจารณ์ค่าผิดปกติของความถ่วง
3. ข้อวิจารณ์ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลก
4. ข้อวิจารณ์ผลการแปลความค่าผิดปกติของความถ่วงและค่าผิดปกติของความเข้มสนามแม่เหล็กรวมของโลก
5. ข้อวิจารณ์ค่าผิดปกติของกัมมันตภาพรังสี

1. ข้อวิจารณ์ค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่าง

ความหนาแน่นของหินตัวอย่าง ซึ่งเก็บมาจากหินโผล่ในบริเวณพื้นที่ศึกษาจำนวน 39 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งได้เก็บรวบรวมมาประมาณ 1-9 ตัวอย่าง เป็นดังนี้ คือ หินแกรนิต ยุคไทรแอสซิก จำนวน 8 ตำแหน่ง หมู่หินทราย ยุคไทรแอสซิก จำนวน 3 ตำแหน่ง หมู่หินดิน-ดาน ยุคคาร์บอนิเฟอรัส จำนวน 12 ตำแหน่ง หมู่หินปูน ยุคออร์โดวิเชียน จำนวน 15 ตำแหน่ง และหมู่หินปูน ยุคเพอร์เมียน จำนวน 1 ตำแหน่ง โดยหินปูน ยุคเพอร์เมียน มีความหนาแน่นเท่ากับ 2818$\pm$ 48 kg/m^3 ซึ่งมีค่ามากที่สุดรองลงมาเป็นหินปูน ยุคออร์โดวิเชียน มีความหนาแน่นเท่ากับ 2734$\pm$ 48 kg/m^3 หินแกรนิต ยุคไทรแอสซิก(2619 $\pm$ 44 kg/m^3) หินดินดาน ยุคคาร์บอนิเฟอรัส(2604 $\pm$ 88 kg/m^3)และหินทราย ยุคไทรแอสซิก(2562 $\pm$ 48 kg/m^3)ตามลำดับ สำหรับตะกอนควอเทอร์นารีนั้นไม่ได้เก็บตัวอย่างหินเนื่องจากเป็นหินตะกอนที่จับตัวกันอย่างหลวมๆแตกย่อยได้ง่ายทำให้ไม่สามารถใช้เทคนิคการวัดค่าความหนาแน่นเพื่อกำหนดความหนาแน่นได้และความหนาแน่นนี้ยังขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของหินและความพรุนของหินอีกด้วย จะเห็นว่าหินปูนมีความหนาแน่นมากที่สุดรองลงมาเป็นหินแกรนิตซึ่งมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มหินดินดานและกลุ่มหินทรายเพียงเล็กน้อยเท่านั้นทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าตัวอย่างหิน

แกรนิตในพื้นที่ศึกษาอยู่ในสภาพค่อนข้างผุ เพราะตัวอย่างหินแกรนิตส่วนใหญ่เก็บจากบริเวณรอยสัมผัสของกลุ่มหินปูนและหินตะกอนต่างๆ

2. ข้อวิจารณ์ค่าผิดปกติของความถ่วง

จากแผนที่และภาคตัดขวางด้านความถ่วงซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินที่ซ่อนอยู่ใต้ผิวดิน พบว่าลักษณะเส้นคอนทัวร์ค่อนข้างเรียบโดยค่าผิดปกติของความถ่วงมีค่าต่ำ ประมาณ -50-100 gu จะปรากฏเหนือแนวหินแกรนิตส่วนค่าผิดของความถ่วงมีค่าสูง ตั้งแต่ประมาณ 100-350 gu จะปรากฏบนบริเวณที่ปกคลุมด้วยหมู่หินตะกอนชนิดต่างๆ และค่าผิดปกติของความถ่วงมีความกว้างมากซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงโครงสร้างธรณีวิทยาในระดับลึก และแสดงให้เห็นว่าที่ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลางนั้นกับวัตถุที่อยู่ในระดับความลึกไม่มากนักมีลักษณะเป็นเอกพันธ์ในเทอมของความหนาแน่น โดยรากของแกรนิตมีความลึกมากที่สุดประมาณ 15 กิโลเมตร และมีความลึกเฉลี่ยตามแนวภาคตัดขวาง เท่ากับ 12 กิโลเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าความลึกที่คำนวณได้ตามทฤษฎีดุลเสมอภาคของเปลือกโลก(Isostacy)ของแอรี คือบริเวณเขาแกรนิตที่มียอดเขาสูงเฉลี่ยตามแนวภาคตัดขวาง 570 เมตร จะมีรากลึกเฉลี่ยประมาณ 8.3 กิโลเมตร หรือประมาณ 30 %

3. ข้อวิจารณ์ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลก

ในการศึกษาค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกที่ได้จากการบินสำรวจทางอากาศ (surveyB&C) ในพื้นที่ศึกษา พบว่ามีค่าผิดปกติอยู่ระหว่าง 4 - 88 nT โดยแบ่งเป็นค่าผิดปกติเชิงภูมิภาคและค่าผิดปกติเชิงตำบลซึ่งค่าผิดปกติเชิงภูมิภาคจะมีค่าสูงในตอนใต้และจะมีค่าลดลงจากใต้ไปเหนือซึ่งจะแสดงถึงโครงสร้างธรณีวิทยาในระดับลึก ส่วนค่าผิดปกติเชิงตำบลจะมีค่าสูง-ต่ำปรากฏเป็นหย่อมๆทางตอนกลางของพื้นที่ศึกษา ในแนว NW-SE โดยเฉพาะบริเวณรอยสัมผัสระหว่างหินแกรนิตกับหินตะกอนชนิดต่างๆ จากผลการแปลความหมายข้อมูลสนามแม่เหล็กรวมของโลกและข้อมูลสนามโน้มถ่วง จะได้ว่า แกรนิตประกอบด้วย 2 ส่วน คือ (1) ส่วนที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูง เท่ากับ 0.015 SI จะวางตัวอยู่ในระดับตื้น และ (2) ส่วนที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กต่ำ เท่ากับ 0.000001 SI จะวางตัวอยู่ในระดับลึก และเป็นที่สังเกตุว่าคอนทัวร์ของค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกเชิงตำบลที่มีค่าสูงจะปรากฏเป็นหย่อมๆ และส่วนใหญ่จะปรากฏบริเวณที่อยู่ใกล้กับแหล่งแร่

4. ข้อวิจารณ์ผลการแปลความค่าผิดปกติของความถ่วงและค่าผิดปกติของความเข้มสนามแม่เหล็กรวมของโลก

ผลจากการศึกษาด้านความถ่วงและความเข้มสนามแม่เหล็กรวมของโลกได้แสดงเป็นแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์(ค่าผิดปกติของความถ่วง)และแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลก โดยแผนที่จะประกอบด้วยเส้นคอนทัวร์ที่ลากผ่านจุดต่างๆ ที่มีค่าผิดปกติบูเกอร์สัมบูรณ์และค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลกเท่ากัน

ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาและขอบเขตของหินในแนวดิ่ง ได้จากการแปลความหมายค่าผิดปกติของความถ่วง และค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกของพื้นที่ศึกษา บนภาคตัดขวางซึ่งมีทิศอยู่ในแนว SW-NE จำนวน 6 แนว แต่ละแนวห่างกัน 10 กิโลเมตร และภาคตัดขวางในแนว NW-SE จำนวน 1 แนว แล้วสร้างแบบจำลองลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาโดยอาศัยโปรแกรม GMM และข้อมูลทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

ค่าผิดปกติของความถ่วงในแนวภาคตัดขวางจำนวน 7 แนว ที่คำนวณได้จากแบบจำลองลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาสอดคล้องกับค่าผิดปกติของความถ่วงที่วัดได้ แต่ค่าผิดปกติของความเข้มสนามแม่เหล็กรวมที่คำนวณได้จากแบบจำลองลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดในพื้นที่ศึกษา โดยเฉพาะค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (k) ซึ่งมีค่า 0.009 SI. ไม่สอดคล้องกับค่าผิดปกติที่วัดได้ เนื่องจากค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมมีลักษณะเป็นค่าผิดปกติเชิงตำบลและคาดว่าเกิดจากวัตถุแม่เหล็กในระดับตื้น ในที่นี้ได้กำหนดให้หินแกรนิตในระดับตื้นมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก(k) เป็น 0.015 SI และทำให้ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมที่คำนวณได้จากแบบจำลองสอดคล้องกับค่าผิดปกติที่วัดได้

5. ข้อวิจารณ์ค่าผิดปกติของกัมมันตภาพรังสี

แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติของธาตุกัมมันตรังสีทั้ง 3 ชนิดคือ โพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล พบว่าสามารถกำหนดขอบเขตและสภาพธรณีวิทยาในแนวราบได้ชัดเจนพอสมควร โดยเฉพาะค่าโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูล ซึ่งปรากฏอยู่เหนือแนวเทือกเขาพับผ้าบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาค่อนข้างชัดเจน

การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูลโดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาพบว่าหินแกรนิตมีปริมาณโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลสูง

กว่าหมู่หินดินดาน หมู่หินทรายและหมู่หินปูนตามลำดับ โดยค่าความเข้มข้นของธาตุต่างๆใน หินแกรนิตมีค่าดังนี้คือ โพแทสเซียม มีค่าเฉลี่ย 2.14±0.17 % ยูเรเนียมสมมูลมีค่าเฉลี่ย 6.48± 0.08 ppm และทอเรียมสมมูล มีค่าเฉลี่ย 17.63±0.07 ppm ความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ในหินดินดาน ยุคคาร์บอนิเฟอรัส มีค่าดังนี้ คือ โพแทสเซียม มีค่าเฉลี่ย 1.34±0.12 % ยูเรเนียมสมมูล มีค่าเฉลี่ย 2.07±0.03 ppm และทอเรียมสมมูล มีค่าเฉลี่ย 9.63±0.05 ppm ความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ในหินทราย ยุคไทรแอสซิก มีค่าดังนี้ คือ โพแทสเซียม มีค่าเฉลี่ย 0.18±0.04 % ยูเรเนียม-สมมูล มีค่าเฉลี่ย 1.33±0.02 ppm และทอเรียมสมมูล มีค่าเฉลี่ย 3.18±0.02 ppm ความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ในหินปูน ยุคออร์โดวิเชียน มีค่าดังนี้ คือ โพแทสเซียม มีค่าเฉลี่ย 0.39±0.05 % ยูเรเนียมสมมูล มีค่าเฉลี่ย 1.45±0.02 ppm และทอเรียมสมมูล มีค่าเฉลี่ย 2.04±0.02 ppm และความเข้มข้นของธาตุต่างๆในหินปูน ยุคเพอร์เมียนมีค่าดังนี้ คือ โพแทสเซียม -0.01±0.01 % ยูเรเนียมสมมูล มีค่าเฉลี่ย 1.34±0.02 ppm และทอเรียมสมมูล มีค่าเฉลี่ย 0.85±0.01 ppm ซึ่งมีค่าน้อยมาก โดยเฉพาะค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียม จะเห็นว่าค่าของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสม-มูลและทอเรียมสมมูลที่มีค่าสูงโดยส่วนใหญ่แล้วจะปรากฏอยู่เหนือบริเวณเทือกเขาหินแกรนิตเท่านั้น

สรุปผลการวิจัย

วิธีทางธรณีฟิสิกส์ด้านความถ่วง ซึ่งใช้ประโยชน์จากการการเปลี่ยนแปลงของค่าความ-หนาแน่น ระเบียบวิธีแม่เหล็กซึ่งใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่-เหล็ก และระเบียบวิธีกัมมันตรังสีซึ่งใช้ประโยชน์จากปริมาณกัมมันตภาพรังสีจากหินและแร่ สามารถนำมาใช้สำหรับการบอกลักษณะสภาพธรณีวิทยาและกำหนดขอบเขตด้านธรณีวิทยาและลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาทั้งในแนวดิ่งและแนวราบได้ โดยพบว่าโครงสร้างทางธรณี-วิทยาโดยส่วนใหญ่จะอยู่ภายใต้การแทรกซอนของหินแกรนิตในระดับลึกซึ่งแทรกซอนเข้ามาในหินตะกอนที่มีอายุแก่กว่าโดยรูปร่างของแบบจำลองมีลักษณะคล้ายรูปคล้ายกับรูปประทุนหงาย มีความลึกมากที่สุดประมาณ 15 กิโลเมตร และมีความลึกเฉลี่ยตลอดแนวภาคตัดขวางทั้ง 7 แนว ประมาณ 12 กิโลเมตร และพบว่าค่าผิดปกติด้านกัมมันตภาพรังสี คือโพแทสเซียม ยูเรเนียมสม-มูล และทอเรียมสมมูล สามารถกำหนดขอบเขตของแนวเทือกเขาหินแกรนิตในระดับตื้น(ระดับผิวดิน)ได้ โดยจะปรากฏอยู่เหนือบริเวณของหินโผล่ตามแนวเทือกเขาหินแกรนิตอย่างชัดเจน

นอกจากนี้ยังได้ตรวจพบว่าจะมีหินฐาน ซึ่งมีความหนาแน่นมาก(2800 kg/m^3) แต่มีค่าสภาพรับ-ไว้ได้ทางแม่เหล็กน้อย (0.000001 SI.) วางต่ออยู่ข้างล่างในระดับลึกรองรับหินแกรนิตยุคไทรแอสซิกและแทรกดันขึ้นมาในระดับตื้นในบริเวณที่ปกคลุมด้วยหมู่หินตะกอนยุคต่างๆที่มีอายุแก่กว่า

โดยลักษณะความกำกวมของการแปลความข้อมูลสนามโน้มถ่วงและสนามแม่เหล็กโลก แบบจำลองของโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาที่ได้นี้เป็นเพียงแบบจำลองที่มีความเป็นไปได้และเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดในขณะนี้ ในอนาคตเมื่อมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม เช่น ข้อมูลความถ่วง ค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่าง ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหิน คาดว่าจะช่วยกำหนดแบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาในพื้นที่นี้ถ้าดูจากแผนที่ธรณีวิทยาพบว่ามีรอยเลื่อนต่างๆมากมายแต่ในการวัดค่าความโน้มถ่วงในครั้งนี้เราสามารถกำหนดตำแหน่งรอย-เลื่อนต่างๆได้บางแห่งเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระยะห่างระหว่างจุดวัดมากเกินไป ดังนั้นเพื่อต้องการตรวจสอบรอยเลื่อนต่างๆดังกล่าวควรลดระยะห่างระหว่างจุดวัดให้น้อยลงและควรเพิ่มตำแหน่งของจุดวัดค่าความถ่วงให้มากขึ้น

2. เนื่องจากความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพของหินแกรนิตกับหินข้างเคียง เช่น ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กและความหนาแน่น จะเป็นตัวกำหนดขอบเขตที่ถูกต้องของแนวแกรนิตและหินข้างเคียง ดังนั้น ควรเพิ่มตำแหน่งการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ตำแหน่งหินโผล่ต่างๆและควรเพิ่มตำแหน่งการเก็บตัวอย่างหินของพื้นที่ศึกษาให้มากขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการแปลความหมายและให้มีความถูกต้องมากที่สุด

บรรณานุกรม

กิตติชัย วัฒนานิกร. 2526. การสำรวจธรณีฟิสิกส์สำหรับนักธรณีวิทยาและวิศวกร.พิมพ์ครั้งที่ 1 .กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

_______. 2527. การศึกษาสารกัมมันตรังสีอย่างเป็นระบบในหินชนิดต่างๆในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย. ม.ป.ท. : ม.ป.พ.

_______. 2536. ธรณีฟิสิกส์ โครงสร้าง รูปทรงและสมบัติของโลก. พิมพ์ครั้งที่ 1 . เชียงใหม่ : สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เทิดทูน ทองเจิม. 2537. "การวิเคราะห์ไอโซโทปกัมมันตรังสีและจำแนกชนิดสารประกอบพื้นฐานในฝุ่นภูเขาไฟปินาตูโบ", โครงงานฟิสิกส์. (สำเนา)

ทรัพยากรธรณี,กรม. 2528. แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย. สเกล 1 : 250000 ระวาง NB47-7 และ NB47-3 กรุงเทพฯ : กรมแผนที่ทหาร

ทรัพยากรธรณี, กรม. 2532. ข้อมูลรังสีและสนามแม่เหล็กรวมของโลกจากการบินสำรวจ. (แผ่นบันทึกข้อมูล) กรุงเทพฯ : กรมทรัพยากรธรณี.

ธงชัย พึ่งรัศมี. 2532. ข้อมูลเบื้องต้นของสภาพธรณีวิทยาและทรัพยากรแร่ตามแนวคลองหมายเลข 5A สงขลา : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

_______. 2535. ธรณีวิทยาแหล่งแร่ดีบุกบริเวณหินแกรนิตลิวง อำเภอจะนะ - นาทวี - เทพา จังหวัดสงขลา. สงขลา : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธนินทร์ พงศ์มาศ. 2533. "การวัดค่าสนามโน้มถ่วง". ธรณีฟิสิกส์ประยุกต์ . คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 1 - 33

ธวัชชัย เอี่ยมไพโรจน์. 2522 .ภูมิอากาศชายฝั่งทะเลของไทย . รายงานประจำปี กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 75 หน้า.

ธารา เล็กอุทัย. 2537. "ศักยภาพหินต้นกำเนิดปิโตรเลียมทะเลอันดามัน".การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่ ครั้งที่ 5 เรื่องอุตสาหกรรมแร่และพลังงานเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. หน้า 5-1~5-23.

ปัญญา จารุศิริ วสันต์ พงศาพิชญ์ และชัยยุทธ ขันทปราบ. 2534. " แนวหินแกรนิตในประเทศไทย : หลักฐานใหม่ ^{40}Ar / ^{39}Ar ", ข่าวสารการธรณี. 36 (มกราคม 2534) หน้า 43-62.

แผนที่ทหาร, กรม. 2530. แผนที่ภูมิประเทศ 1/50,000 ลำดับชุด L7017 ระวาง 4922II-III,4923II, 5022I-IV.5023III-IV.กรุงเทพฯ:กรมแผนที่ทหาร.

พวงทิพย์ ร่างเล็ก. 2538. การศึกษาพรุตอนลิวง จังหวัดสงขลา ด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์ วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(สำเนา) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ยงยุทธ ตรังคชสาร. 2523. ธรณีวิทยาและแหล่งแร่ในบริเวณจังหวัดสงขลา. สงขลา : สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 1 สงขลา. 37 หน้า

วรวุฒิ โลหะวิจารณ์. 2537. การสำรวจแกรวิตี. สงขลา : ห้องปฏิบัติการธรณีฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.(สำเนา)

แสงอาทิตย์ เชื้อวิโรจน์. 2534. ธรณีวิทยาแปรสัญฐานของประเทศไทย. ฝ่ายแปรภาพทางอากาศและดาวเทียม กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี จำนวน 58 หน้า.

Allison,I.S. and Palmer,D.F. 1980. Geology, 7th ed., Mc Graw Hill, New York. p.439-465

Al-Rawi,F. and Brooks,M. 1992 "A deep crustal model to explain regional aeromagnetic and gravity anomalies in southwest England", Tectonophysics. 212(1992), p.109-115.

Asnachinda. 1978 " Tin Minerralization and Petrochemistry Relationship of the Thai Granitiods ": Special Publication no.2,Dept. of Geol. Sci.,Chiang Mai University, p. 325-354.

Bott,M.H.P. and Smithson,S.B. 1967. "Gravity Investigations of Subsurface Shape and Mass Distributions of Granite Batholiths", Geological Society of America Bulletin. 78(1967), p. 859-878.

Bunopas,S. 1982. "Paleogeographic history of western Thailand and adjacent parts of SouthEast Asia A plate tectonics interpretation,"Ph.D.Thesis, Victoria University of Wellington, New Zealand. reprinted 1982, Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Thailand.

Chaimanee,N and Tiyapirach,S. 1983 On The Coastal Morphology of Songkhla Province Southern Thailand. First Symposium On Geomorphology and Quaternary Geology of Thailand .Bangkok,Thailand. p 81-95

Enmark,T. 1980. "A Preliminary model of the deep structure of the Arvidsjaur granite intrution in Northern Sweden," In Development of Optimization Procedures for Gravity and Magnetic Interpretation and Their Applicationto Some Gelogical Structures in Northern Sweden, p.36-76. Sweden : University of Lulea.

Enmark,T and Nisca,D.H. 1982. " The Gallejaur Intrusion in Northern Sweden A Geophysical Study ", In Development of Optimization Procedures for Gravity and Magnetic Interpretation and Their Application to Some Gelogical Structures in Northern Sweden, p.36-76. Sweden : University of Lulea.

Enmark,T. and Parasnis,D.S. 1980. " Ambiguity in gravity interpretation and the deep structure of the Jorn-Bastutrask area of the skellefte field in Northern Sweden", In In Development of Optimization Procedures for Gravity and Magnetic Interpretation and Their Application to Some Gelogical Structures in Northern Sweden, p.26- 35. Sweden : University of Lulea.Geological Research Project . Prince of Songkhla University. 1980. Some Triassic and Associated strata of southern Thailand. s.l.:s.n.

Evans,P and Crompton,w. 1946. "Geological factors and gravity interpretation illustrated by evidence from India and Burma." Geological factor in gravity interpretation, p. 211 - 250

Ishihara, S., Sawata, H., Arpornsuwan, S., Busarcome, P. and Bungbrakearti, N. 1979. " The magnetic-series and ilmenite-series granitoids and their bearing on tin mineralization, particularly of the Malay Peninsula region " Geological Society of America Bulletin. , p.103-110.

Ishihara,S., Sawata,H., Shibata,k., Terashima,S., Arrykul,S. and Sata,K. 1980. Granites and Sn-W deposits of peninsular Thailand . Mining Geology, Special. Issue, p. 223-241.

Jungyusuk,N. and Khositanont,S. 1992. " Volcanic rocks and associated mineralization in Thailand ", In Proceddings of National Conference on Geologic Resources of Thailand : Potential for future development, p.522-538. Piancharoen, Bangkok : Department of Mineral Resources.

Kearey,J.N. 1991. An Introduction to Geophysical Exploration. Blackwell Scientific Publication,Oxford

Lohawijarn, W. 1992. "Regional gravity and anxiliary geophysical measurements in the Songkhla, Yala and Pattani Provinces in Peninsular Thailand and their geological interpretation ", Ph.D. Applied geophysics, Lulea University of Technology.

Parasnis, D.S. 1986. Principles of Applied Geophysics. 4 th ed. USA : Chapman and Hall.

Parkinson, W.D. 1983. Introduction to Geomagnetism. London : Scottish Academic, Press Ltd.

Pitakpaivan, K. 1969. Tin bearing granite and tin barren granite in Thailand , 2nd Tech. Conf.on International Tin Council. Bangkok:Thailand.

Robinson, Edwin, s. 1988 Basic Exploration Geophysics. ,Virginia Polytechnic Institute and State University, p 236

Sano, S., Sato,K. and Saito,T. 1985 "Physical Properties of Tin Granitoids in Southeast Asia Documeat Submitled at the eigth meeting of the Governing Louneil of ESCAP/RMRDC, Baudung ", p 169-193.

Tulyatid, J. 1992. " Airborne Radiometric data Interpretation as an Aid to Granitic Terrain mapping : A Case study for Hua Hin-Pran Buri Area, south Central Thailand ", In Proceddings of National Conference on Geologic Resources of Thailand : Potential for future development, p.86-104. Piancharoen, C. Bangkok : Department of Mineral Resources.

_______. 1995. " Airborne Geophysical data Interpretation of Trang - Satun - Songkhla - Phatthalung Area A Preliminary Study", Economic Geology Report ,Bangkok : Department of Mineral Resources. p.94

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลความถ่วงที่ได้จากการวัดในพื้นที่จังหวัดสตูลและจังหวัดสงขลา

gravimeter : LACOSTE & ROMBERG G-565

g_lat : $9780318 \times (1+0.0053024 \times [\sin(lat)]^2)-0.0000059 \times[\sin^2(2lat)]^2$

FC : $3.072 \times H$

BC : $0.0004191 \times 2500 \times H$

TC : $T \times 2500$

BA : g_obs − g_lat ± FC ± BC + TC

density : 2500 kg/m^3

STN	X-GRID	Y-GRID	LAT (deg)	g_lat (gu) 9781___._	g_obs (gu) 9780___._	H (m)	FC (gu)	BC (gu)	BA (gu)	TC (gu)
H121	664399	772154	6.98	81.44	191.2	18.79	57.71	-19.68	229.20	0.015
H122	663751	770747	6.97	78.68	200.3	2.51	7.73	-2.63	205.38	0.009
H123	663220	768964	6.96	75.18	174.8	9.98	30.67	-10.46	194.99	0.009
H124	662776	767007	6.94	71.35	163.4	12.07	37.08	-12.65	187.87	0.018
H125	662590	765011	6.92	67.46	137.2	15.76	48.43	-16.52	169.13	0.012
H126	662728	763095	6.90	63.73	147.7	12.97	39.84	-13.59	173.92	0.012
H127	662806	761180	6.89	60.01	150.9	11.79	36.21	-12.35	174.74	0.009
H128	662835	759190	6.87	56.15	145.5	5.19	15.95	-5.44	56.03	0.008
H129	662826	757185	6.85	52.28	136.3	12.69	38.97	-13.29	162.02	0.002
H130	662178	755327	6.83	48.70	153.7	12.61	38.75	-13.22	179.26	0.004
H131	661442	753512	6.82	45.21	164.1	12.54	38.52	-13.14	189.52	0.011

H132	660968	751656	6.80	41.65	181.9	14.65	44.99	-15.35	211.57	0.013
H133	660928	749582	6.78	37.68	191.0	18.87	57.97	-19.77	229.24	0.013
H134	661650	747761	6.76	34.21	207.0	24.22	74.40	-25.37	256.06	0.014
H135	660775	746068	6.75	30.98	220.1	23.06	70.84	-24.16	266.83	0.004
H136	660583	744179	6.73	27.40	223.1	26.77	82.23	-28.04	277.30	0.001
H137	660186	742224	6.71	23.69	226.1	26.69	82.00	-27.97	280.12	0.002
H138	659781	740300	6.70	20.06	234.4	26.61	81.74	-27.88	288.26	0.022
H139	659277	738353	6.68	16.39	228.2	23.80	73.11	-24.93	276.34	0.018
H140	658943	751190	6.79	40.76	204.6	16.57	50.89	-17.36	238.18	0.005
H141	657068	750764	6.79	39.94	209.4	23.79	73.09	-24.93	257.59	0.016
H142	655278	749974	6.78	38.43	238.9	21.77	66.87	-22.81	282.93	0.004
H143	653490	749096	6.78	36.75	239.9	32.21	98.95	-33.75	305.08	0.001
H144	651751	748239	6.77	35.12	248.4	37.48	115.13	-39.27	324.30	0.002
H145	649813	748280	6.77	35.20	248.0	40.20	123.50	-42.12	329.35	0.002
H146	647788	748310	6.77	35.25	228.1	45.51	139.81	-47.68	320.23	0.02
H147	646211	749334	6.78	37.21	196.1	50.41	154.85	-52.81	298.16	0.038
H148	644178	749747	6.78	38.00	166.2	54.06	166.06	-56.64	275.64	0.096
H149	642259	749724	6.78	37.95	119.0	64.29	197.50	-67.36	249.10	0.458
H150	640403	749155	6.78	36.87	45.3	79.46	244.09	-83.25	206.15	0.87
H151	638837	748953	6.77	36.48	-44.2	104.77	321.87	-109.78	167.86	0.583
H152	637249	749803	6.78	38.10	-63.0	90.74	278.76	-95.07	120.71	0.341
H153	658691	736279	6.66	12.49	214.8	28.05	86.18	-29.39	271.61	0.026
H154	657986	734355	6.64	8.88	207.4	28.28	86.89	-29.63	264.62	0.012
H155	657537	732459	6.63	5.33	160.3	24.63	75.66	-25.80	210.13	0.01
H156	657246	730432	6.61	1.55	156.1	26.69	82.00	-27.97	210.17	0.004
H157	656734	728523	6.59	-2.00	139.4	26.25	80.65	-27.51	192.50	0.001
H158	656292	726555	6.57	-5.65	148.2	25.75	79.11	-26.98	200.32	0.065
H159	656607	724641	6.55	-9.19	142.8	25.31	77.77	-26.52	194.01	0.007
H160	656971	722662	6.54	-12.84	118.3	26.17	80.38	-27.42	171.27	0.006

H161	657277	720729	6.52	-16.40	86.1	24.45	75.12	-25.62	135.59	0.001
H162	655601	733255	6.63	6.82	251.5	22.64	69.56	-23.72	297.29	0.002
H163	653649	733499	6.63	7.28	178.6	25.31	77.75	-26.52	229.84	0.007
H164	651531	733688	6.64	7.63	145.9	27.49	84.44	-28.80	201.52	0.01
H165	649827	734629	6.65	9.39	155.9	27.11	83.28	-28.40	210.83	0.003
H166	648193	735686	6.65	11.37	162.0	23.99	73.71	-25.14	210.61	0.01
H167	646807	737080	6.67	13.99	222.4	23.56	72.36	-24.68	270.05	0.011
H168	645853	737588	6.67	14.95	199.2	34.46	105.88	-36.11	268.97	0.038
H169	646669	739514	6.69	18.57	221.5	38.91	119.54	-40.77	300.31	0.027
H170	646118	741292	6.71	21.93	231.9	48.69	149.57	-51.01	330.42	0.031
H171	643527	742777	6.72	24.74	169.8	52.72	161.95	-55.23	276.50	0.067
H172	641990	743889	6.73	26.85	126.4	57.93	177.97	-60.70	243.64	0.184
H173	640172	744448	6.73	27.91	64.3	64.52	198.20	-67.60	194.91	0.851
H174	638308	744482	6.73	27.97	-43.6	74.02	227.40	-77.56	106.25	0.269
H175	637966	746382	6.75	31.58	-73.9	77.63	238.48	-81.34	83.22	0.473
H176	638417	748034	6.77	34.73	-45.3	81.99	251.86	-85.90	120.69	0.027
H177	660999	766519	6.93	70.40	154.4	11.23	34.50	-11.77	177.13	0
H178	659175	766096	6.93	69.57	159.2	14.02	43.08	-14.69	187.58	0
H179	657377	765460	6.92	68.33	163.7	14.44	44.37	-15.13	192.92	0
H180	656734	766817	6.94	70.98	167.9	14.89	45.75	-15.60	198.07	0
H181	660753	758224	6.86	54.29	162.4	16.66	51.18	-17.45	196.12	0.079
H182	659176	759427	6.87	56.61	148.2	16.87	51.81	-17.67	182.37	0.024
H183	657343	759358	6.87	56.48	192.5	22.04	67.70	-23.09	237.13	0.058
H184	655437	759287	6.87	56.34	227.5	24.32	74.72	-25.48	276.78	0.03
H185	653441	759537	6.87	56.83	237.5	25.32	77.78	-26.53	288.79	0.017
H186	651812	759139	6.87	56.06	256.0	27.61	84.83	-28.93	311.91	0.006
H187	650555	757523	6.85	52.93	247.6	30.12	92.53	-31.56	308.62	0.069
H188	649921	755703	6.84	49.42	249.5	33.62	103.29	-35.23	317.58	0.05
H189	648475	754429	6.82	46.97	248.7	33.59	103.19	-35.19	316.73	0.018

H190	646842	753332	6.81	44.86	224.1	33.54	103.04	-35.14	292.02	0.028
H191	646987	752226	6.80	42.74	222.3	34.89	107.19	-36.56	292.91	0.12
H192	648697	751418	6.80	41.19	244.3	36.05	110.75	-37.77	317.29	0.016
H193	650156	750137	6.79	38.74	231.8	37.21	114.30	-38.99	307.14	0.006
H194	651646	748749	6.77	36.09	245.8	37.72	115.88	-39.52	322.18	0.001
H195	658192	770389	6.97	77.98	126.4	15.48	47.55	-16.22	157.74	0.003
H196	657154	768603	6.95	74.47	161.2	15.06	46.26	-15.78	191.66	0
H197	655759	767364	6.94	72.05	153.4	14.64	44.98	-15.34	183.00	0.003
H198	653998	766772	6.94	70.89	168.7	15.33	47.10	-16.06	199.76	0.003
H199	652175	766372	6.93	70.11	224.7	13.38	41.11	-14.02	251.75	0.003
H200	650662	765886	6.93	69.16	251.6	13.90	42.71	-14.57	279.74	0.001
H201	648762	765603	6.93	68.61	266.2	13.48	41.42	-14.13	293.49	0
H202	646954	765062	6.92	67.56	264.1	13.01	39.95	-13.63	290.46	0
H203	645062	764381	6.91	66.23	218.8	13.78	42.34	-14.44	246.67	0.002
H204	643419	763562	6.91	64.64	173.5	14.52	44.60	-15.21	202.85	0.008
H205	641786	762504	6.90	62.58	124.6	12.62	38.76	-13.22	150.11	0.089
H206	639277	761119	6.88	59.89	39.4	13.37	41.08	-14.01	66.49	0.251
H207	638846	763735	6.91	64.97	-14.2	11.36	34.89	-11.90	8.78	0.442
H208	639053	765451	6.92	68.32	59.2	9.36	28.75	-9.81	78.13	0.448
H209	636787	767935	6.95	73.17	-155.9	6.67	20.49	-6.99	-142.38	2.971
H210	638565	767174	6.94	71.68	60.2	7.39	22.69	-7.74	75.15	0.772
H211	640154	767776	6.94	72.86	115.1	9.65	29.65	-10.11	134.62	0.297
H212	641489	769013	6.96	75.28	179.8	9.23	28.37	-9.68	198.54	0.285
H213	643441	769560	6.96	76.35	219.3	8.88	27.27	-9.30	237.22	0.01
H214	645205	769870	6.96	76.96	258.5	9.14	28.09	-9.58	277.02	0.019
H215	646978	770618	6.97	78.43	284.5	6.94	21.31	-7.27	298.52	0.001
H216	656480	765187	6.92	67.80	157.8	10.26	31.51	-10.75	178.61	0.006
H217	656155	763656	6.91	64.82	168.5	-5.64	-17.33	5.91	157.10	0
H218	654345	762964	6.90	63.47	208.8	2.25	6.90	-2.35	213.31	0.031

H219	652645	762073	6.89	61.74	229.5	4.66	14.31	-4.88	238.97	0.002
H220	651882	760376	6.88	58.45	247.4	8.68	26.67	-9.09	264.94	0.012
H221	657676	757509	6.85	52.91	168.9	6.26	19.22	-6.56	181.53	0.13
H222	658692	755833	6.84	49.67	188.8	5.45	16.74	-5.71	199.81	0.101
H223	658194	754083	6.82	46.31	222.6	-0.77	-2.37	0.81	221.06	0.034
H224	658152	752068	6.80	42.44	218.3	7.05	21.66	-7.39	232.56	0.005
H225	653459	747090	6.76	32.93	248.5	25.73	79.05	-26.96	300.62	0
H226	654255	745805	6.75	30.48	213.6	32.98	101.31	-34.55	280.36	0.001
H227	652710	744934	6.74	28.83	251.8	30.98	95.18	-32.46	314.53	0.002
H228	651304	743477	6.73	26.06	278.8	41.45	127.34	-43.43	362.69	0.008
H229	649914	742401	6.72	24.03	267.1	46.74	143.58	-48.97	361.72	0
H230	649651	740527	6.70	20.48	259.9	49.49	152.02	-51.85	360.04	0.003
H231	648410	739035	6.68	17.67	255.8	54.83	168.44	-57.45	366.81	0.002
H232	659622	733522	6.64	7.32	228.7	26.61	81.76	-27.88	282.55	0.003
H233	661444	732878	6.63	6.12	224.6	33.91	104.17	-35.53	293.22	0.004
H234	663249	732270	6.62	4.98	211.1	31.98	98.24	-33.51	275.84	0.007
H235	663724	730567	6.61	1.80	207.8	42.50	130.56	-44.53	293.81	0.011
H236	664747	728980	6.59	-1.15	189.8	47.83	146.93	-50.11	286.65	0.006
H237	663435	727670	6.58	-3.58	168.8	50.63	155.54	-53.05	271.27	0.003
H238	663304	726203	6.57	-6.30	160.7	56.05	172.18	-58.73	274.11	0.002
H239	663729	724227	6.55	-9.96	140.9	61.03	187.47	-63.94	264.41	0.017
H240	665107	722997	6.54	-12.23	134.3	64.76	198.94	-67.85	265.35	0.112
H241	664491	721998	6.53	-14.07	120.7	75.08	230.65	-78.67	272.67	0.004
H242	661227	726069	6.57	-6.55	116.7	90.36	277.58	-94.67	299.60	0.008
H243	659391	726567	6.57	-5.63	112.8	115.77	355.64	-121.30	347.12	0.007
H244	658450	728427	6.59	-2.18	112.2	101.83	312.82	-106.69	318.29	0.005
H245	660643	762594	6.90	62.75	147.0	12.19	37.46	-12.78	171.73	0.002
H246	659880	761331	6.89	60.30	145.2	12.59	38.67	-13.19	170.69	0.023
H247	658625	762040	6.89	61.68	155.5	14.64	44.97	-15.34	185.12	0.029

H248	658255	763416	6.91	64.35	158.5	13.51	41.49	-14.15	185.80	0.029
H249	656630	762958	6.90	63.46	169.9	12.80	39.31	-13.41	195.79	0.007
H250	649897	760645	6.88	58.97	267.9	15.43	47.40	-16.17	299.10	0.013
H251	648023	760061	6.88	57.84	251.2	16.00	49.15	-16.76	283.62	0.019
H252	646952	758406	6.86	54.64	216.3	15.70	48.23	-16.45	248.12	0.01
H253	644485	757934	6.86	53.73	172.1	11.13	34.19	-11.66	194.67	0.025
H254	642977	756964	6.85	51.85	113.9	7.68	23.60	-8.05	129.49	0.099
H255	654709	757924	6.86	53.71	252.5	20.86	64.09	-21.86	294.76	0.056
H256	653769	756237	6.84	50.45	248.1	20.36	62.55	-21.33	289.29	0.084
H257	654363	754934	6.83	47.94	219.7	18.36	56.40	-19.23	256.83	0.197
H258	654063	753440	6.82	45.07	201.6	17.01	52.24	-17.82	236.03	0.027
H259	654069	751538	6.80	41.42	217.7	15.70	48.23	-16.45	249.52	0.013
H260	655130	750030	6.78	38.54	243.8	15.14	46.51	-15.86	274.46	0.005
H261	662868	750334	6.79	39.12	171.9	14.87	45.67	-15.58	202.02	0.02
H262	664554	750645	6.79	39.71	160.0	13.79	42.37	-14.45	187.90	0.005
H263	665800	751677	6.80	41.69	159.4	13.23	40.66	-13.87	186.14	0.009
H264	665280	753405	6.81	45.00	136.6	12.73	39.11	-13.34	162.39	0.006
H265	665601	755242	6.83	48.54	112.3	11.04	33.92	-11.57	134.68	0.011
H266	664212	756640	6.84	51.23	138.9	14.35	44.08	-15.03	167.93	0.011
H267	649743	732598	6.63	5.59	191.3	16.13	49.55	-16.90	223.96	0
H268	648748	731199	6.61	2.98	145.6	31.65	97.23	-33.16	209.70	0.002
H269	648363	729562	6.60	-0.07	115.3	43.45	133.47	-45.52	203.27	0.001
H270	649105	728458	6.59	-2.12	156.2	26.79	82.29	-28.07	210.42	0.011
H271	650854	728031	6.59	-2.91	133.5	35.40	108.75	-37.09	205.14	0.014
H272	652425	727941	6.58	-3.08	182.4	33.29	102.27	-34.88	249.80	0.001
H273	652053	726270	6.57	-6.18	215.4	22.07	67.80	-23.13	260.06	0.001
H274	653784	726562	6.57	-5.64	170.3	40.74	125.14	-42.68	252.78	0.001
H275	655857	726408	6.57	-5.92	163.5	20.83	63.99	-21.82	205.70	0.001
H276	657328	739158	6.69	17.90	198.2	29.77	91.46	-31.19	258.46	0.001

H277	655638	738575	6.68	16.80	214.9	50.24	154.33	-52.64	316.57	0.043
H278	654031	738030	6.68	15.78	151.0	58.81	180.65	-61.61	270.02	0
H279	652614	738657	6.68	16.96	200.8	34.44	105.80	-36.08	270.47	0.048
H280	651145	740022	6.69	19.53	205.2	54.09	166.17	-56.67	314.65	0.004
H281	649682	741043	6.70	21.46	269.6	33.85	104.00	-35.47	338.10	0.001
H282	647380	742285	6.71	23.81	242.2	42.23	129.73	-44.25	327.70	0.013
H283	648064	743937	6.73	26.94	242.0	44.11	135.50	-46.22	331.33	0.006
H284	649874	744584	6.74	28.16	261.7	35.70	109.67	-37.41	333.99	0.001
H285	651328	745667	6.74	30.22	282.6	30.53	93.78	-31.98	344.43	0.001
H286	653201	746168	6.75	31.17	246.4	27.58	84.73	-28.90	302.23	0
H287	654417	745921	6.75	30.70	218.8	27.67	85.01	-28.99	274.85	0.019
H288	655580	747222	6.76	33.18	235.6	25.23	77.51	-26.44	286.65	0.035
H289	657120	748147	6.77	34.94	239.1	18.50	56.82	-19.38	276.49	0.018
H290	658600	749200	6.78	36.95	225.0	17.69	54.34	-18.53	260.83	0.035
H291	659750	750400	6.79	39.25	201.1	16.82	51.67	-17.62	235.17	0
H292	661800	740450	6.70	20.34	160.3	28.57	87.77	-29.94	218.13	0.001
H293	663350	739750	6.69	19.02	185.2	32.35	99.37	-33.89	250.65	0.005
H294	664500	738800	6.68	17.23	166.6	48.78	149.86	-51.11	265.32	0.005
H295	665600	738150	6.68	16.00	135.6	62.16	190.97	-65.13	261.47	0.009
H296	664850	736700	6.66	13.28	142.8	47.45	145.78	-49.72	238.85	0.01
H297	663200	737000	6.67	13.84	129.8	47.70	146.53	-49.98	226.35	0.031
H298	661100	737100	6.67	14.03	148.2	32.11	98.63	-33.64	213.20	0.003
H299	665811	770505	6.97	78.20	233.1	7.79	23.93	-8.16	248.82	0.122
H300	667758	769998	6.96	77.21	261.7	8.69	26.69	-9.10	279.26	0.115
H301	669657	769273	6.96	75.79	201.2	19.99	61.42	-20.95	241.64	0.2
H302	676709	768922	6.96	75.10	192.3	15.22	46.76	-15.95	223.07	0.027
H303	671635	767219	6.94	71.77	184.2	19.72	60.57	-20.66	224.08	0.066
H304	670215	765518	6.92	68.45	143.6	39.89	122.56	-41.80	224.38	0.115
H305	669192	764754	6.92	66.96	132.3	50.51	155.15	-52.92	234.56	0.438

H306	667727	764459	6.91	66.38	185.3	39.99	122.84	-41.90	266.24	1.078
H307	666304	762814	6.90	63.18	182.7	30.51	93.73	-31.97	244.51	0.103
H308	664766	761981	6.89	61.56	160.6	18.31	56.26	-19.19	197.72	0.027
H309	664648	766515	6.93	70.39	180.4	48.65	149.47	-50.98	278.93	0.027
H310	667209	766138	6.93	69.66	195.7	44.53	136.80	-46.66	285.88	0.074
H311	663172	758241	6.86	54.32	138.9	5.87	18.04	-6.15	150.74	0.005
H312	665173	758263	6.86	54.36	131.2	21.97	67.50	-23.02	175.63	0.035
H313	667087	758034	6.86	53.92	139.9	47.45	145.76	-49.71	235.90	0.123
H314	668766	757737	6.85	53.35	130.1	56.32	173.02	-59.01	244.15	0.237
H315	670246	757053	6.85	52.03	163.2	53.30	163.75	-55.85	271.07	0.152
H316	669624	755788	6.84	49.59	117.6	44.16	135.65	-46.26	206.96	0.164
H317	667836	755932	6.84	49.86	138.0	28.02	86.08	-29.36	194.74	0.06
H318	665947	755489	6.83	49.01	148.6	15.01	46.13	-15.73	178.98	0.02
H319	667358	754825	6.83	47.73	146.2	13.56	41.67	-14.21	173.68	0.023
H320	668871	753728	6.82	45.62	108.3	29.66	91.12	-31.08	168.31	0.077
H321	670685	753204	6.81	44.62	167.7	28.93	88.87	-30.31	226.25	0.044
H322	671234	751629	6.80	41.60	183.5	39.43	121.13	-41.31	263.31	0.12
H323	669976	750788	6.79	39.99	187.8	30.08	92.42	-31.52	248.70	0.079
H324	667896	751164	6.79	40.71	138.1	24.08	73.97	-25.23	186.88	0.038
H325	666264	751708	6.80	41.75	166.3	14.03	43.10	-14.70	194.71	0.014
H326	664480	749464	6.78	37.46	170.8	21.71	66.70	-22.75	214.71	0.04
H327	666056	748379	6.77	35.39	167.0	40.42	124.18	-42.36	248.84	0.232
H328	668063	748039	6.77	34.74	208.1	40.39	124.07	-42.31	289.83	0.291
H329	669497	746751	6.75	32.28	157.0	70.04	215.16	-73.38	298.80	0.231
H330	665025	747086	6.76	32.92	197.7	41.51	127.53	-43.49	281.77	0.044
H331	664033	747074	6.76	32.90	260.1	25.29	77.68	-26.49	311.25	0.013
H332	662174	747202	6.76	33.14	224.6	19.19	58.95	-20.10	263.41	0.002
H333	662597	745041	6.74	29.03	231.3	29.82	91.62	-31.25	291.71	0.001
H334	664453	744674	6.74	28.33	254.8	45.83	140.78	-48.02	347.53	0.031

H335	658003	741215	6.70	21.78	205.5	69.46	213.37	-72.77	346.07	0.01
H336	657025	742947	6.72	25.06	216.0	72.09	221.47	-75.54	361.96	0.001
H337	655935	744427	6.73	27.87	209.2	75.19	230.98	-78.78	361.35	0.002
H338	624729	760090	6.88	57.90	7.8	32.04	98.41	-33.57	72.69	0.139
H339	623755	758422	6.86	54.67	27.9	26.02	79.95	-27.27	80.60	0.071
H340	622644	756796	6.85	51.53	43.0	16.92	51.98	-17.73	77.23	0.142
H341	621703	755058	6.83	48.18	62.1	11.11	34.13	-11.64	84.56	0.012
H342	621322	753150	6.81	44.51	66.3	13.40	41.16	-14.04	93.46	0.683
H343	621845	751897	6.80	42.11	80.7	8.01	24.60	-8.39	96.95	0.785
H344	623499	751257	6.80	40.89	76.6	8.44	25.94	-8.85	93.72	0.768
H345	624742	752257	6.80	42.80	55.8	7.91	24.31	-8.29	71.81	1.987
H346	625557	750625	6.79	39.68	43.6	10.80	33.19	-11.32	65.44	0.15
H347	626286	748999	6.78	36.57	9.9	23.07	70.87	-24.17	56.58	0.298
H348	627079	747115	6.76	32.98	-1.5	23.74	72.93	-24.88	46.60	0.573
H349	627959	745398	6.74	29.71	-24.8	34.33	105.45	-35.96	44.69	1.34
H350	628747	743647	6.73	26.39	-98.1	45.57	140.00	-47.75	-5.82	1.961
H351	629391	741800	6.71	22.89	-140.4	57.07	175.32	-59.80	-24.84	2.019
H352	630145	740455	6.70	20.35	-165.6	77.17	237.08	-80.86	-9.38	1.686
H353	619456	749500	6.78	37.53	109.3	1.82	5.60	-1.91	112.97	0.04
H354	618344	745851	6.75	30.57	125.3	0.09	0.28	-0.10	125.51	0.07
H355	618244	741887	6.71	23.05	135.8	-7.04	-21.61	7.37	121.54	0.019
H356	618815	737998	6.68	15.72	131.2	-11.02	-33.85	11.54	108.89	0.005
H357	619041	734284	6.64	8.75	151.8	-16.08	-49.39	16.85	119.21	0.002
H358	618048	730557	6.61	1.79	168.3	-18.09	-55.58	18.96	131.70	0.002
H359	617745	726750	6.57	-5.29	182.7	-16.56	-50.86	17.35	149.17	0.012
H360	617799	722907	6.54	-12.39	194.7	-15.09	-46.35	15.81	164.16	0.001
H361	618193	756628	6.84	51.21	70.0	3.32	10.21	-3.48	76.72	0.033
H362	614541	757928	6.86	53.71	99.2	-1.55	-4.75	1.62	96.10	0.089
H363	610601	758351	6.86	54.53	104.0	9.38	28.82	-9.83	122.96	0.032

H364	607094	759148	6.87	56.07	120.5	15.86	48.74	-16.62	152.63	0.04
H365	604320	760513	6.88	58.72	162.5	-2.27	-6.98	2.38	157.93	0.021
H366	601206	759825	6.87	57.38	172.0	7.92	24.33	-8.30	188.08	0.013
H367	600041	757198	6.85	52.31	190.7	5.37	16.51	-5.63	201.61	0.001
H368	596170	758336	6.86	54.50	212.5	7.07	21.73	-7.41	226.79	0.001
H369	592674	759918	6.87	57.56	247.3	1.04	3.19	-1.09	249.36	0.001
H370	613119	762018	6.89	61.63	33.3	9.29	28.54	-9.73	52.09	0.102
H371	613611	765345	6.92	68.11	16.6	13.63	41.88	-14.28	44.18	0.182
H372	614183	768985	6.96	75.22	-22.6	12.58	38.63	-13.18	2.83	0.437
H373	612955	771922	6.98	80.99	-61.4	31.04	95.37	-32.53	1.42	0.434
H374	613204	775623	7.02	88.28	-107.3	42.93	131.88	-44.98	-20.37	0.409
H375	613449	779382	7.05	95.73	-231.2	102.37	314.47	-107.26	-24.02	0.326
H376	609936	766014	6.93	69.41	74.5	9.26	28.44	-9.70	93.21	0.297
H377	607394	765857	6.93	69.11	112.0	5.28	16.23	-5.53	122.66	0.073
H378	604985	767333	6.94	71.99	108.1	14.17	43.54	-14.85	136.82	0.023
H379	602546	766899	6.94	71.14	148.4	8.19	25.17	-8.58	164.94	0.005
H380	601778	770487	6.97	78.17	172.1	0.74	2.26	-0.77	173.62	0.009
H381	600366	773248	6.99	83.60	201.6	-1.29	-3.96	1.35	199.00	0.003
H382	596612	773389	7.00	83.87	200.8	10.73	32.95	-11.24	222.55	0.004
H383	593916	772393	6.99	81.91	236.3	4.11	12.63	-4.31	244.63	0.005
H384	593246	768656	6.95	74.58	249.0	3.67	11.29	-3.85	256.44	0.004
H385	592097	764939	6.92	67.32	255.8	2.47	7.59	-2.59	260.81	0.007
H386	589499	762614	6.90	62.79	287.4	-2.07	-6.35	2.16	283.23	0.581
H387	603441	754235	6.82	46.60	197.7	-3.81	-11.70	3.99	189.97	0.003
H388	605795	751081	6.79	40.55	188.8	-7.54	-23.18	7.90	173.48	0.046
H389	609020	748981	6.77	36.53	187.2	-4.28	-13.13	4.48	178.51	0.001
H390	612511	747146	6.76	33.04	112.8	22.09	67.86	-23.15	157.56	0.057
H391	615668	744692	6.74	28.37	156.4	-1.44	-4.43	1.51	153.46	0.061
H392	604566	764403	6.91	66.27	115.2	16.39	50.37	-17.18	148.35	0.012

H393	598352	766570	6.93	70.50	185.1	7.27	22.34	-7.62	199.79	0.002
H394	595603	767060	6.94	71.46	233.4	-8.38	-25.73	8.78	216.46	0.003
H395	591609	767088	6.94	71.51	264.7	-7.76	-23.83	8.13	249.01	0.029
H396	589893	767957	6.95	73.21	261.3	4.96	15.23	-5.19	271.34	1.51
H397	586970	766868	6.94	71.08	280.5	0.49	1.51	-0.52	281.51	0.021
H398	586001	758181	6.86	54.20	283.6	-8.06	-24.75	8.44	267.33	0.034
H399	582777	756619	6.84	51.19	289.0	-7.92	-24.33	8.30	272.97	0.001
H400	580161	758101	6.86	54.05	288.2	-9.94	-30.52	10.41	268.09	0
H401	587647	754659	6.83	47.41	289.0	-4.79	-14.70	5.01	279.29	0
H402	589894	751638	6.80	41.62	287.4	-6.03	-18.54	6.32	275.15	0
H403	592160	749512	6.78	37.55	277.5	-6.52	-20.02	6.83	264.31	0
H404	587396	759034	6.87	55.85	289.4	-3.97	-12.20	4.16	281.32	0.014
H405	597432	754434	6.82	46.98	210.8	11.68	35.89	-12.24	234.50	0.001
H406	597323	751247	6.80	40.87	230.7	7.41	22.75	-7.76	245.65	0.001
H407	598793	747742	6.76	34.17	239.0	-1.14	-3.51	1.20	236.69	0.012
H408	599851	744420	6.73	27.85	232.3	5.25	16.11	-5.50	242.96	0.034
H409	601252	754212	6.82	46.55	213.9	6.27	19.25	-6.57	226.54	0.017
H410	614013	754254	6.82	46.64	128.0	4.38	13.45	-4.59	136.88	0.069
H411	611863	752678	6.81	43.61	136.2	7.78	23.89	-8.15	151.97	0.026
H412	608309	751834	6.80	41.99	163.0	9.60	29.49	-10.06	182.48	0.003
H413	605940	749457	6.78	37.44	183.3	12.13	37.26	-12.71	207.87	0.001
H414	603519	746659	6.75	32.11	191.0	13.36	41.03	-13.99	218.01	0
H415	613418	750431	6.79	39.30	133.1	16.95	52.08	-17.76	167.39	0.066
H416	609917	745225	6.74	29.38	178.7	15.99	49.13	-16.76	211.09	0.001
H417	606355	743972	6.73	27.00	173.8	12.21	37.51	-12.79	198.49	0
H418	603859	741951	6.71	23.18	207.6	9.67	29.72	-10.14	227.17	0
H419	609063	741262	6.71	21.87	194.4	5.29	16.26	-5.54	205.14	0.002
H420	610513	738555	6.68	16.77	193.0	1.99	6.12	-2.09	197.04	0.003
H421	609166	735405	6.65	10.85	204.1	-1.10	-3.39	1.16	201.89	0.01

H422	613328	734576	6.64	9.29	157.3	-12.79	-39.28	13.40	131.41	0.008
H423	616105	732462	6.63	5.34	132.1	-17.06	-52.40	17.87	97.58	0.007
H424	622979	737531	6.67	14.84	154.7	-18.94	-58.19	19.85	116.37	0.066
H425	624875	735159	6.65	10.39	149.5	-16.47	-50.61	17.26	116.17	1.65
H426	625068	732819	6.63	6.01	175.3	-16.06	-49.34	16.83	142.76	0.316
H427	624445	737072	6.67	13.98	145.8	-11.79	-36.21	12.35	121.96	0.378
H428	621226	739185	6.69	17.95	147.5	-8.86	-27.23	9.29	129.60	0.064
H429	621176	741177	6.70	21.71	119.4	-7.30	-22.43	7.65	104.64	1.103
H430	621071	743058	6.72	25.27	134.6	-5.74	-17.64	6.02	123.02	0.354
H431	620993	744964	6.74	28.89	136.1	-4.18	-12.85	4.38	127.65	0.083
H432	622121	746491	6.75	31.79	106.3	-2.08	-6.39	2.18	102.05	0.382
H433	622803	748263	6.77	35.16	105.0	-0.91	-2.80	0.95	103.19	0.333
H434	621217	748840	6.77	36.26	114.1	0.26	0.80	-0.27	114.62	0.047
H435	625097	756925	6.85	51.78	2.5	30.86	94.79	-32.33	64.94	0.079
H436	625047	755071	6.83	48.21	26.4	28.86	88.64	-30.23	84.79	0.09
H437	624718	753348	6.81	44.89	50.1	26.32	80.85	-27.58	103.33	0.106
H438	623300	755944	6.84	49.89	47.9	26.48	81.36	-27.75	101.55	0.037
H439	621353	760800	6.88	59.27	-7.7	26.20	80.50	-27.45	45.32	0.115
H440	619651	763781	6.91	65.06	-118.1	21.57	66.27	-22.60	-74.40	0.415
H441	619457	762135	6.89	61.86	-84.7	18.47	56.74	-19.35	-47.28	0.27
H442	615101	739930	6.69	19.36	110.6	13.50	41.46	-14.14	137.90	0.048
H443	612508	739682	6.69	18.89	151.7	11.05	33.94	-11.57	174.05	0.025
H444	588413	772118	6.98	81.37	276.0	1.57	4.83	-1.65	279.15	0.036
H445	588087	775341	7.01	87.72	216.9	2.08	6.38	-2.17	221.09	0.077
H446	588014	776879	7.03	90.77	264.1	0.12	0.36	-0.12	264.36	0.059
H447	587255	777996	7.04	92.98	271.7	1.44	4.41	-1.50	274.59	0.955
H448	586595	780903	7.06	98.75	298.7	1.74	5.35	-1.83	302.23	0.023
H449	619818	756343	6.84	50.66	66.1	9.51	29.23	-9.97	85.36	0.043
H450	616407	757223	6.85	52.35	90.6	7.67	23.58	-8.04	106.12	0.118

H451	612625	758215	6.86	54.27	106.9	4.55	13.98	-4.77	116.13	0.07
H452	608594	758476	6.86	54.77	109.4	1.50	4.62	-1.57	112.41	0.053
H453	605788	759846	6.87	57.42	147.5	-0.84	-2.59	0.88	145.80	0.012
H454	601830	764562	6.92	66.58	168.5	-6.61	-20.31	6.93	155.16	0
H455	600048	764141	6.91	65.76	182.6	-10.02	-30.77	10.50	162.33	0.004
H456	598956	763322	6.90	64.17	181.5	-12.86	-39.49	13.47	155.51	0
H457	597058	763181	6.90	63.89	214.6	-13.74	-42.21	14.39	186.77	0
H458	595262	763116	6.90	63.77	220.9	-16.29	-50.06	17.07	187.87	0
H459	593698	763094	6.90	63.73	237.3	-15.72	-48.30	16.47	205.50	0.002
H460	591932	762652	6.90	62.87	257.8	-18.28	-56.15	19.15	220.81	0.005
H461	590247	762461	6.90	62.50	286.8	-21.21	-65.14	22.22	243.90	0.015
H462	588780	767363	6.94	72.05	258.6	-23.98	-73.68	25.13	210.06	0.08
H463	590764	766494	6.93	70.35	272.6	-14.14	-43.44	14.82	243.94	0.024
H464	594282	767091	6.94	71.52	214.9	-11.66	-35.83	12.22	191.29	0.002
H465	597994	767395	6.94	72.11	186.2	-9.86	-30.29	10.33	166.29	0.005
H466	601081	767125	6.94	71.58	185.6	-7.73	-23.74	8.10	169.91	0.001
H467	603962	767107	6.94	71.55	146.9	-6.29	-19.33	6.59	134.21	0.032
H468	606751	766307	6.93	69.99	84.0	-4.89	-15.01	5.12	74.15	0.087
H469	609056	765751	6.93	68.90	88.5	-1.76	-5.39	1.84	84.96	0.207
H470	610475	767898	6.95	73.09	64.1	1.20	3.67	-1.25	66.53	0.335
H471	612464	765923	6.93	69.24	43.0	3.16	9.72	-3.31	49.37	0.148
H472	615481	764454	6.91	66.37	-46.2	4.92	15.13	-5.16	-36.25	0.492
H473	616414	743964	6.73	26.99	149.4	0.14	0.42	-0.14	149.67	0.077
H474	613421	746506	6.75	31.82	156.9	2.85	8.76	-2.99	162.66	0.031
H475	609903	748427	6.77	35.48	184.3	5.70	17.51	-5.97	195.84	0.002
H476	607602	750170	6.79	38.81	182.6	8.42	25.85	-8.82	199.61	0
H477	604481	752536	6.81	43.34	213.9	11.56	35.50	-12.11	237.34	0
H478	602332	755664	6.84	49.35	187.4	14.27	43.85	-14.96	216.31	0.002
H479	598884	757548	6.85	52.98	187.6	17.87	54.90	-18.72	223.75	0

H480	594258	759131	6.87	56.04	232.8	19.70	60.52	-20.64	272.64	0.001
H481	590733	760806	6.88	59.28	271.7	22.98	70.59	-24.08	318.19	0.007
H482	586927	771251	6.98	79.67	297.7	24.26	74.53	-25.42	346.79	0.113
H483	588361	773824	7.00	84.73	260.3	21.40	65.73	-22.42	303.66	0.041
H484	588468	775783	7.02	88.60	247.6	20.58	63.23	-21.56	289.29	0.039
H485	588522	777647	7.03	92.29	238.9	19.78	60.76	-20.72	278.91	0.023
H486	588780	779495	7.05	95.95	261.3	17.81	54.72	-18.66	297.33	0.06
H487	590260	779961	7.05	96.88	242.0	18.70	57.43	-19.59	279.83	0.09
H488	591915	780291	7.06	97.53	203.2	10.91	33.51	-11.43	225.28	0.072
H489	593443	779733	7.05	96.42	228.6	10.82	33.25	-11.34	250.50	0.075
H490	593812	777814	7.04	92.62	230.9	9.65	29.66	-10.12	250.40	0.021
H491	593881	775861	7.02	88.75	236.7	8.63	26.51	-9.04	254.19	0.026
H492	594108	774109	7.00	85.29	238.2	7.61	23.37	-7.97	253.59	0.008
H493	594995	773642	7.00	84.37	219.3	7.47	22.96	-7.83	234.41	0.017
H494	598320	773000	6.99	83.11	202.4	3.14	9.64	-3.29	208.73	0.02
H495	602159	773554	7.00	84.20	179.6	1.38	4.23	-1.44	182.37	0.015
H496	603948	773999	7.00	85.08	150.7	1.38	4.24	-1.45	153.50	0.024
H497	605790	774473	7.01	86.01	132.4	0.39	1.20	-0.41	133.21	0.18
H498	607744	774028	7.00	85.13	94.5	-0.09	-0.29	0.10	94.28	0.227
H499	608682	772689	6.99	82.50	40.7	-2.14	-6.56	2.24	36.34	0.331
H500	607218	772124	6.98	81.38	97.3	-2.68	-8.22	2.81	91.89	0.211
H501	606585	770769	6.97	78.72	41.5	-3.81	-11.72	4.00	33.82	0.161
H502	604980	769894	6.96	77.00	124.6	-4.89	-15.03	5.13	114.65	0.059
H503	602948	769458	6.96	76.15	150.8	-4.93	-15.15	5.17	140.86	0.021
H504	616902	740125	6.69	19.73	131.9	-4.92	-15.12	5.16	121.96	0.01
H505	614385	739468	6.69	18.49	97.7	-1.72	-5.28	1.80	94.21	0.027
H506	610805	739430	6.69	18.41	158.1	0.08	0.25	-0.09	158.31	0.008
H507	609309	742263	6.71	23.77	182.0	0.72	2.20	-0.75	183.47	0.002
H508	608248	744461	6.73	27.93	177.5	2.04	6.28	-2.14	181.67	0.001

H509	604577	743622	6.73	26.34	190.9	3.37	10.35	-3.53	197.69	0
H510	603747	740188	6.70	19.84	205.4	5.58	17.15	-5.85	216.73	0.001
H511	604525	747411	6.76	33.54	195.0	9.97	30.63	-10.45	215.13	0.006
H512	601938	744942	6.74	28.84	217.1	10.22	31.39	-10.71	237.80	0
H513	609726	752514	6.81	43.29	165.0	9.42	28.94	-9.87	184.11	0.007
H514	613776	752505	6.81	43.28	131.4	9.64	29.62	-10.10	150.87	0.122
H515	614816	755883	6.84	49.77	117.8	10.84	33.31	-11.36	139.76	0.124
H516	616605	755240	6.83	48.53	92.1	11.69	35.90	-12.24	115.72	0.111
H517	617246	753575	6.82	45.33	97.7	10.56	32.45	-11.07	119.07	0.078
H518	617660	751782	6.80	41.89	110.4	10.43	32.05	-10.93	131.52	0.086
H519	618965	750564	6.79	39.56	103.1	11.28	34.64	-11.82	125.90	0.036
H520	622045	758991	6.87	55.77	25.0	14.68	45.10	-15.38	54.67	0.038
H521	620785	762483	6.90	62.54	-44.6	19.03	58.47	-19.94	-6.06	0.252
H522	626772	757546	6.85	52.98	-36.2	23.95	73.57	-25.09	12.30	0.253
H523	628495	757797	6.85	53.46	-123.6	27.16	83.44	-28.46	-68.66	0.994
H524	635861	788381	7.13	113.69	304.4	16.21	49.80	-16.98	337.24	0.001
H525	633943	788791	7.13	114.51	288.9	15.21	46.73	-15.94	319.67	0.001
H526	631960	789242	7.14	115.42	278.9	14.87	45.69	-15.58	309.02	0.001
H527	630261	789951	7.15	116.84	253.8	14.44	44.35	-15.13	283.06	0.002
H528	628280	789622	7.14	116.18	206.4	14.59	44.82	-15.29	235.92	0.003
H529	626544	789918	7.15	116.78	187.1	14.75	45.30	-15.45	216.96	0.03
H530	624899	790814	7.15	118.58	138.0	13.39	41.14	-14.03	165.08	0.064
H531	622898	790885	7.15	118.72	67.4	13.49	41.43	-14.13	94.66	0.151
H532	622095	790831	7.15	118.62	11.5	13.15	40.39	-13.77	38.08	0.373
H533	625525	792200	7.17	121.37	186.0	12.77	39.24	-13.38	211.86	0.019
H534	627248	792797	7.17	122.58	238.5	11.36	34.91	-11.90	261.48	0.001
H535	628624	794018	7.18	125.05	282.9	10.88	33.42	-11.40	304.94	0
H536	630371	794871	7.19	126.77	315.9	9.49	29.16	-9.95	335.16	0.002
H537	632323	795183	7.19	127.40	322.2	9.20	28.27	-9.64	340.81	0.008

H538	649371	781074	7.07	99.09	267.1	13.17	40.46	-13.80	293.75	0.006
H539	647861	782104	7.07	101.14	378.6	13.93	42.78	-14.59	406.82	0.009
H540	646178	781697	7.07	100.33	332.9	15.18	46.65	-15.91	363.62	0.026
H541	645012	782027	7.07	100.98	360.4	17.58	53.99	-18.42	395.95	0.035
H542	643750	781205	7.07	99.35	295.0	19.11	58.71	-20.03	333.64	0.042
H543	642128	780498	7.06	97.94	285.5	20.37	62.58	-21.34	326.71	0.014
H544	640911	779701	7.05	96.36	258.9	20.98	64.45	-21.98	301.37	0.016

ภาคผนวก ข

ความหนาแน่นของหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาวิจัย

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m^3	ชนิดของหิน
H00_1	623599E,751252N	2717	หมู่หินปูน
H00_2	---"---	2694	---"---
H00_3	---"---	2741	---"---
H00_4	---"---	2726	---"---
H01_1	624309E,751726N	2824	หมู่หินปูน
H01_2	---"---	2821	---"---
H01_3	---"---	2827	---"---
H01_4	---"---	2826	---"---
H01_5	---"---	2817	---"---
H02_1	624818E,752300N	2736	หมู่หินปูน
H02_2	---"---	2809	---"---
H02_3	---"---	2798	---"---
H03_1	629392E,741836N	2728	หมู่หินปูน
H03_2	---"---	2734	---"---
H03_3	---"---	2704	---"---
H03_4	---"---	2703	---"---
H03_5	---"---	2697	---"---
H04_1	630155E,740339N	2595	หินแกรนิต
H04_2	---"---	2558	---"---
H04_3	---"---	2607	---"---
H05_1	629209E,742306N	2655	หินแกรนิต
H05_2	---"---	2657	---"---

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m^3	ชนิดของหิน
H05_3	629209E,742306N	2652	หินแกรนิต
H05_4	---"---	2639	---"---
H05_5	---"---	2643	---"---
H05_6	---"---	2651	---"---
H06_1	629392E,741836N	2718	หมู่หินปูน
H06_2	---"---	2732	---"---
H06_3	---"---	2730	---"---
H06_4	---"---	2714	---"---
H06_5	---"---	2721	---"---
H06_6	---"---	2733	---"---
H07_1	627957E,745785N	2591	หินแกรนิต
H07_2	---"---	2603	---"---
H07_3	---"---	2652	---"---
H07_4	---"---	2645	---"---
H08_1	621420E,748797N	2711	หมู่หินปูน
H08_2	---"---	2729	---"---
H08_3	---"---	2672	---"---
H08_4	---"---	2729	---"---
H08_5	---"---	2666	---"---
H08_6	---"---	2727	---"---
H09_1	616630E,735310N	2513	หมู่หินทราย
H09_2	---"---	2582	---"---
H09_3	---"---	2681	---"---
H09_4	---"---	2500	---"---
H09_5	---"---	2544	---"---
H10_1	612594E,747073N	2713	หมู่หินดินดาน

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m^3	ชนิดของหิน
H10_2	612594E,747073N	2530	หมู่หินดินดาน
H10_3	---"---	2607	---"---
H10_4	---"---	2715	---"---
H10_5	---"---	2717	---"---
H11	589664E,762941N	2755	หมู่หินปูน
H12_1	597766E,767403N	2459	หมู่หินดินดาน
H12_2	---"---	2564	---"--
H12_3	---"---	2502	---"---
H13_1	614933E,769312N	2537	หินแกรนิต
H13_2	---"---	2573	---"---
H14_1	613843E,766580N	2573	หมู่หินดินดาน
H14_2	---"---	2581	---"---
H14_3	---"---	2582	---"---
H14_4	---"---	2568	---"---
H15_1	628944E,757872N	2657	หินแกรนิต
H15_2	---"---	2643	---"---
H15_3	---"---	2628	---"---
H15_4	---"---	2659	---"---
H15_5	---"---	2668	---"---
H16_1	624765E,761278N	2827	หมู่หินปูน
H16_2	---"---	2754	---"---
H16_3	---"---	2814	---"---
H16_4	---"---	2798	---"---
H17_1	627407E,773003N	2607	หินแกรนิต
H17_2	---"---	2605	---"---
H17_3	---"---	2601	---"---

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m^3	ชนิดของหิน
H17_4	627407E,773003N	2580	หินแกรนิต
H17_5	---"---	2588	---"---
H18_1	699700E,768100N	2698	หินแกรนิต
H18_2	---"---	2696	---"---
H18_3	---"---	2566	---"---
H18_4	---"---	2566	---"---
H18_5	---"---	2588	---"---
H18_6	---"---	2529	---"---
H18_7	---"---	2522	---"---
H19_1	636750E,768200N	2753	หมู่หินปูน
H19_2	---"---	2782	---"---
H19_3	---"---	2647	---"---
H19_4	---"---	2688	---"---
H19_5	---"---	2764	---"---
H19_6	---"---	2652	---"---
H20_1	636700E,768200N	2629	หินแกรนิต
H20_2	---"---	2681	---"---
H20_3	---"---	2676	---"---
H20_4	---"---	2613	---"---
H20_5	---"---	2613	---"---
H1_1	606671E,766455N	2704	หมู่หินดินดาน
H1_2	---"---	2696	---"---
H1_3	---"---	2665	---"---
H1_4	---"---	2643	---"---
H1.5_1	589688E,767838N	2719	หมู่หินปูน
H1.5_2	---"---	2717	---"---

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m^3	ชนิดของหิน
H1.6_1	615203E,764519N	2629	หมู่หินปูน
H1.6_2	---"---	2714	---"---
H1.6_3	---"---	2717	---"---
H1.6_4	---"---	2711	---"---
H2_1	606373E,767679N	2596	หมู่หินดินดาน
H2_2	---"---	2652	---"---
H001_1	643861E,742276N	2466	หมู่หินดินดาน
H001_2	---"---	2581	---"---
H001_3	---"---	2447	---"---
H001_4	---"---	2435	---"---
H001_5	---"---	2470	---"---
H001_6	---"---	2502	---"---
H001_7	---"---	2557	---"---
H002_1	639560E,744944N	2841	หมู่หินปูน
H002_2	---"---	2790	---"---
H002_3	---"---	2842	---"---
H002_4	---"---	2815	---"---
H002_5	---"---	2802	---"---
H002_6	---"---	2808	---"---
H002_7	---"---	2794	---"---
H002_8	---"---	2845	---"---
H003_1	641573E,744002N	2576	หมู่หินดินดาน
H003_2	---"---	2620	---"---
H003_3	---"---	2610	---"---
H003_4	---"---	2506	---"---
H003_5	---"---	2640	---"---

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m^3	ชนิดของหิน
H003_6	641573E,744002N	2552	หมู่หินดินดาน
H004_1	666446E,734717N	2580	หมู่หินทราย
H004_2	---"---	2595	---"---
H004_3	---"---	2552	---"---
H004_4	---"---	2556	---"---
H004_5	---"---	2609	---"---
H004_6	---"---	2586	---"---
H004_7	---"---	2552	---"---
H004_8	---"---	2568	---"---
H299_1	665811E,770505N	2548	หมู่หินดินดาน
H299_2	---"---	2446	---"---
H299_3	---"---	2513	---"---
H299_4	---"---	2509	---"---
H299_5	---"---	2469	---"---
H305_1	669192E,764754N	2672	หมู่หินดินดาน
H305_2	---"---	2821	---"---
H305_3	---"---	2696	---"---
H305_4	---"---	2729	---"---
H305_5	---"---	2850	---"---
H329_1	669497E,746751N	2544	หมู่หินทราย
H329_2	---"---	2453	---"---
H329_3	---"---	2626	---"---
H329_4	---"---	2529	---"---
H329_5	---"---	2616	---"---
H329_6	---"---	2532	---"---
H331_1	664033E,747074N	2608	หมู่หินทราย

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m^3	ชนิดของหิน
H331_2	664033E,747074N	2597	หมู่หินทราย
H331_3	---"---	2501	---"---
H331_4	---"---	2511	---"---
H331_5	---"---	2543	---"---
X_1	642355E,749724N	2677	หมู่หินดินดาน
X_2	---"---	2657	---"---
G536_1	589125E,790906N	2681	หมู่หินปูน
G536_2	---"---	2686	---"---
G536_3	---"---	2712	---"---
G579_1	593770E,778287N	2727	หมู่หินปูน
G579_2	---"---	2719	---"---
G582.5_1	601316E,784446N	2686	หมู่หินปูน
G582.5_2	---"---	2813	---"---
G582.5_3	---"---	2698	---"---
G586_1	589764E,763379N	2705	หมู่หินปูน
G586_2	---"---	2706	---"---
G586_3	---"---	2725	---"---
GL17_1	630200E,780300N	2705	หมู่หินดินดาน
GL17_2	---"---	2711	---"---
GL17_3	---"---	2668	---"---
GL17_4	---"---	2649	---"---
GL17_5	---"---	2672	---"---
GL17_6	---"---	2689	---"---
GL17_7	---"---	2659	---"---
GL17_8	---"---	2601	---"---
GL17_9	---"---	2719	---"---

ภาคผนวก ค

พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลอง"โครงสร้างทางธรณีวิทยา"ในพื้นที่ศึกษาด้วยโปรแกรม GMM ในแนวภาคตัดขวาง D1_E1,D2_E2,D3_E3, D4_E4,D5_E5 และ D6_E6 มีดังต่อไปนี้

```
12            ;Total number of bodies in model
41065.5       ;Magnitude of terrestrial field
-6.6          ;Inclination of terrestrial field
-.2           ;Declination of terrestrial field
2800.0        ;Surrounding density
.000001       ;Surrounding susceptibility
```

```
1             ;Internal body number
2620.0        ;density of body, 0=surrounding
.000001       ;suscept. of body, 0=surrounding
.0000         ;Remanent/induced magnetization
.0            ;Inclination of remanence, positive down
.0            ;Declination of remanence, pos. clockwise
21            ;Surrounding body, =  21 if none
9814.6        ;strike length
734775.8      ;N-coordinate of body reference point
8.4           ;strike angle from North anti-clockw.

25            ;Number of corners in body
573017.5   698.8 ;E-coord & depth of corner   1
614035.5   809.5 ;     --- " ---      2 (with strike=0.0)
614666.5   730.7 ;     --- " ---      3    -- " --
```

624435.0	767.5 ;	--- " ---	4 -- " --
626252.0	682.3 ;	--- " ---	5 -- " --
628410.0	682.3 ;	--- " ---	6 -- " --
628490.5	486.2 ;	--- " ---	7 -- " --
630632.0	553.0 ;	--- " ---	8 -- " --
632506.0	85.0 ;	--- " ---	9 -- " --
634654.0	60.1 ;	--- " ---	10 -- " --
638629.5	674.9 ;	--- " ---	11 -- " --
653444.5	587.4 ;	--- " ---	12 -- " --
673743.5	1479.0 ;	--- " ---	13 -- " --
673520.5	5602.5 ;	--- " ---	14 -- " --
665044.0	4599.5 ;	--- " ---	15 -- " --
651213.8	1701.8 ;	--- " ---	16 -- " --
640742.7	2543.5 ;	--- " ---	17 -- " --
633019.0	12400.7 ;	--- " ---	18 -- " --
626544.8	12316.7 ;	--- " ---	19 -- " --
626229.3	4513.9 ;	--- " ---	20 -- " --
624099.5	4376.6 ;	--- " ---	21 -- " --
616290.8	8060.6 ;	--- " ---	22 -- " --
609980.6	4513.9 ;	--- " ---	23 -- " --
595309.4	4041.0 ;	--- " ---	24 -- " --
573014.5	2927.8 ;	--- " ---	25 -- " --

2	;Internal body number
2620.0	;density of body, 0=surrounding
.015000	;suscept. of body, 0=surrounding
.0000	;Remanent/induced magnetization
.0	;Inclination of remanence, positive down
.0	;Declination of remanence, pos. clockwise

```
1          ;Surrounding body, =  21 if none
 9721.3     ;strike length
734817.9     ;N-coordinate of body reference point
   8.4      ;strike angle from North anti-clockw.

23          ;Number of corners in body
573100.1   767.0 ;E-coord & depth of corner   1
612916.6   809.5 ;    --- " ---     2 (with strike=0.0)
627815.9   866.3 ;    --- " ---     3   -- " --
630615.4   816.7 ;    --- " ---     4   -- " --
633170.9   769.4 ;    --- " ---     5   -- " --
635253.4   769.4 ;    --- " ---     6   -- " --
638613.4   809.5 ;    --- " ---     7   -- " --
656455.6   769.4 ;    --- " ---     8   -- " --
673769.3  1556.1 ;    --- " ---     9   -- " --
673635.4  3361.5 ;    --- " ---    10   -- " --
660653.1  2091.0 ;    --- " ---    11   -- " --
652488.9  1221.7 ;    --- " ---    12   -- " --
648151.9  1597.7 ;    --- " ---    13   -- " --
642946.0  1518.8 ;    --- " ---    14   -- " --
635986.5  2297.7 ;    --- " ---    15   -- " --
631265.1  1515.7 ;    --- " ---    16   -- " --
630039.1  1447.6 ;    --- " ---    17   -- " --
625065.3  1695.9 ;    --- " ---    18   -- " --
621866.0  1855.9 ;    --- " ---    19   -- " --
613603.6  1991.7 ;    --- " ---    20   -- " --
604021.5  2468.4 ;    --- " ---    21   -- " --
593532.8  3897.6 ;    --- " ---    22   -- " --
572827.6  5394.9 ;    --- " ---    23   -- " --
```

3	;Internal body number	
2620.0	;density of body, 0=surrounding	
.000001	;suscept. of body, 0=surrounding	
.0000	;Remanent/induced magnetization	
.0	;Inclination of remanence, positive down	
.0	;Declination of remanence, pos. clockwise	
21	;Surrounding body, = 21 if none	
9802.4	;strike length	
745185.3	;N-coordinate of body reference point	
8.4	;strike angle from North anti-clockw.	
33	;Number of corners in body	
573912.5	597.8	;E-coord & depth of corner 1
613326.0	573.0	; --- " --- 2 (with strike=0.0)
614943.0	582.7	; --- " --- 3 -- " --
669380.3	475.9	; --- " --- 4 -- " --
616323.0	573.0	; --- " --- 5 -- " --
624942.8	518.4	; --- " --- 6 -- " --
626495.0	461.7	; --- " --- 7 -- " --
628085.3	404.9	; --- " --- 8 -- " --
629618.5	433.3	; --- " --- 9 -- " --
630981.5	348.2	; --- " --- 10 -- " --
633139.5	206.3	; --- " --- 11 -- " --
635013.8	263.0	; --- " --- 12 -- " --
637967.0	546.8	; --- " --- 13 -- " --
639330.0	376.5	; --- " --- 14 -- " --
643759.8	404.9	; --- " --- 15 -- " --
644876.8	494.2	; --- " --- 16 -- " --

659342.3	587.4 ;	---	"	---	17	--	"	--
673395.5	1367.5 ;	---	"	---	18	--	"	--
672949.5	6494.1 ;	---	"	---	19	--	"	--
659981.5	5459.7 ;	---	"	---	20	--	"	--
655188.8	2072.4 ;	---	"	---	21	--	"	--
649513.0	2072.4 ;	---	"	---	22	--	"	--
646169.0	2851.9 ;	---	"	---	23	--	"	--
641090.3	3373.5 ;	---	"	---	24	--	"	--
635641.1	10267.5 ;	---	"	---	25	--	"	--
629330.9	10267.5 ;	---	"	---	26	--	"	--
627221.0	4153.7 ;	---	"	---	27	--	"	--
617445.5	4822.4 ;	---	"	---	28	--	"	--
607221.5	3986.5 ;	---	"	---	29	--	"	--
602054.0	4488.0 ;	---	"	---	30	--	"	--
599154.0	3596.4 ;	---	"	---	31	--	"	--
594439.5	3252.8 ;	---	"	---	32	--	"	--
573912.5	2752.9 ;	---	"	---	33	--	"	--

4	;Internal body number
2620.0	;density of body, 0=surrounding
.015000	;suscept. of body, 0=surrounding
.0000	;Remanent/induced magnetization
.0	;Inclination of remanence, positive down
.0	;Declination of remanence, pos. clockwise
3	;Surrounding body, = 21 if none
9788.6	;strike length
744832.3	;N-coordinate of body reference point
8.4	;strike angle from North anti-clockw.
29	;Number of corners in body

574050.1	612.7	;E-coord & depth of corner	1
592073.6	587.4 ;	--- " ---	2 (with strike=0.0)
603109.1	686.8 ;	--- " ---	3 -- " --
615959.1	573.0 ;	--- " ---	4 -- " --
622023.1	730.7 ;	--- " ---	5 -- " --
624894.1	773.8 ;	--- " ---	6 -- " --
629096.6	773.8 ;	--- " ---	7 -- " --
633942.6	415.4 ;	--- " ---	8 -- " --
638044.6	730.7 ;	--- " ---	9 -- " --
651646.3	887.4 ;	--- " ---	10 -- " --
668108.4	1221.7 ;	--- " ---	11 -- " --
665833.1	1355.4 ;	--- " ---	12 -- " --
660747.4	2157.9 ;	--- " ---	13 -- " --
654724.6	1088.0 ;	--- " ---	14 -- " --
651604.6	975.6 ;	--- " ---	15 -- " --
649371.1	686.8 ;	--- " ---	16 -- " --
641742.6	1045.9 ;	--- " ---	17 -- " --
635420.4	1553.2 ;	--- " ---	18 -- " --
634486.1	1991.7 ;	--- " ---	19 -- " --
630394.9	753.6 ;	--- " ---	20 -- " --
622181.1	809.5 ;	--- " ---	21 -- " --
617278.6	1355.4 ;	--- " ---	22 -- " --
609917.6	1288.6 ;	--- " ---	23 -- " --
603760.9	2024.1 ;	--- " ---	24 -- " --
597044.4	2622.3 ;	--- " ---	25 -- " --
595329.1	2826.5 ;	--- " ---	26 -- " --
587298.6	4565.1 ;	--- " ---	27 -- " --
574182.6	4765.7 ;	--- " ---	28 -- " --
574005.1	2927.8 ;	--- " ---	29 -- " --

```
5          ;Internal body number
 2620.0     ;density of body, 0=surrounding
  .000001    ;suscept. of body, 0=surrounding
  .0000     ;Remanent/induced magnetization
    .0     ;Inclination of remanence, positive down
    .0     ;Declination of remanence, pos. clockwise
21          ;Surrounding body, =  21 if none
 10004.5     ;strike length
761150.1      ;N-coordinate of body reference point
   8.4      ;strike angle from North anti-clockw.

30          ;Number of corners in body
610434.2   627.6 ;E-coord & depth of corner  1
612340.7   501.1 ;    --- " ---      2 (with strike=0.0)
615159.2   336.6 ;    --- " ---      3   -- " --
616661.2   376.5 ;    --- " ---      4   -- " --
617683.4   336.6 ;    --- " ---      5   -- " --
620593.2   580.3 ;    --- " ---      6   -- " --
625254.2   419.4 ;    --- " ---      7   -- " --
628986.2   107.4 ;    --- " ---      8   -- " --
629259.2   133.5 ;    --- " ---      9   -- " --
632961.7    60.1 ;    --- " ---     10   -- " --
634081.7    73.4 ;    --- " ---     11   -- " --
635815.2    73.4 ;    --- " ---     12   -- " --
637895.7   477.5 ;    --- " ---     13   -- " --
650989.7   587.4 ;    --- " ---     14   -- " --
657012.7   587.4 ;    --- " ---     15   -- " --
673073.7  1479.0 ;    --- " ---     16   -- " --
```

673296.7	4265.1 ;	--- " ---	17	-- " --
662589.4	4265.1 ;	--- " ---	18	-- " --
656789.7	4153.7 ;	--- " ---	19	-- " --
649516.7	1597.7 ;	--- " ---	20	-- " --
641819.9	1676.5 ;	--- " ---	21	-- " --
638473.7	15258.7 ;	--- " ---	22	-- " --
629459.2	15258.7 ;	--- " ---	23	-- " --
627869.7	4012.8 ;	--- " ---	24	-- " --
623999.2	4599.5 ;	--- " ---	25	-- " --
617084.2	8611.5 ;	--- " ---	26	-- " --
609920.2	4671.5 ;	--- " ---	27	-- " --
593829.2	2701.1 ;	--- " ---	28	-- " --
561969.7	2224.7 ;	--- " ---	29	-- " --
561835.9	285.6 ;	--- " ---	30	-- " --

---

6 ;Internal body number

2620.0 ;density of body, 0=surrounding

.015000 ;suscept. of body, 0=surrounding

.0000 ;Remanent/induced magnetization

.0 ;Inclination of remanence, positive down

.0 ;Declination of remanence, pos. clockwise

5 ;Surrounding body, = 21 if none

9821.4 ;strike length

759682.1 ;N-coordinate of body reference point

8.4 ;strike angle from North anti-clockw.

27 ;Number of corners in body

604396.9 570.9 ;E-coord & depth of corner 1

602944.9	698.8 ;	--- " ---	2 (with strike=0.0)
612759.9	810.3 ;	--- " ---	3 -- " --
621358.9	979.8 ;	--- " ---	4 -- " --
628378.9	587.4 ;	--- " ---	5 -- " --
631542.2	131.2 ;	--- " ---	6 -- " --
634834.7	171.3 ;	--- " ---	7 -- " --
638302.2	1203.6 ;	--- " ---	8 -- " --
643146.2	1089.8 ;	--- " ---	9 -- " --
658276.2	950.2 ;	--- " ---	10 -- " --
668901.2	1399.4 ;	--- " ---	11 -- " --
664489.4	1755.3 ;	--- " ---	12 -- " --
653919.9	1755.3 ;	--- " ---	13 -- " --
650511.9	1031.9 ;	--- " ---	14 -- " --
642795.9	1107.3 ;	--- " ---	15 -- " --
636508.4	1373.1 ;	--- " ---	16 -- " --
633253.9	1361.2 ;	--- " ---	17 -- " --
629467.9	651.9 ;	--- " ---	18 -- " --
624145.4	921.7 ;	--- " ---	19 -- " --
618425.2	1440.0 ;	--- " ---	20 -- " --
613864.9	1150.0 ;	--- " ---	21 -- " --
605489.2	1282.4 ;	--- " ---	22 -- " --
599059.4	2157.9 ;	--- " ---	23 -- " --
583266.4	3629.0 ;	--- " ---	24 -- " --
580857.4	5233.8 ;	--- " ---	25 -- " --
562521.4	5434.4 ;	--- " ---	26 -- " --
562253.9	352.4 ;	--- " ---	27 -- " --

---

7 ;Internal body number

2620.0 ;density of body, 0=surrounding

```
.000001         ;suscept. of body, 0=surrounding
.0000           ;Remanent/induced magnetization
.0              ;Inclination of remanence, positive down
.0              ;Declination of remanence, pos. clockwise
21              ;Surrounding body, =  21 if none
10023.9         ;strike length
764638.4        ;N-coordinate of body reference point
8.4             ;strike angle from North anti-clockw.

23              ;Number of corners in body
564677.4   515.4 ;E-coord & depth of corner   1
610514.9   671.9 ;    --- " ---          2 (with strike=0.0)
611877.9   643.5 ;    --- " ---          3    -- " --
612843.4   671.9 ;    --- " ---          4    -- " --
613752.4   700.3 ;    --- " ---          5    -- " --
616818.9   558.4 ;    --- " ---          6    -- " --
618211.9   310.6 ;    --- " ---          7    -- " --
620112.9   444.9 ;    --- " ---          8    -- " --
626012.9   855.7 ;    --- " ---          9    -- " --
633004.4   246.3 ;    --- " ---          10   -- " --
635478.4   225.2 ;    --- " ---          11   -- " --
638633.4   698.1 ;    --- " ---          12   -- " --
673895.9   698.9 ;    --- " ---          13   -- " --
673897.4  4153.7 ;    --- " ---          14   -- " --
654044.4  7051.3 ;    --- " ---          15   -- " --
649518.4  1801.5 ;    --- " ---          16   -- " --
644895.9  1955.8 ;    --- " ---          17   -- " --
639515.9  6326.7 ;    --- " ---          18   -- " --
617587.9  8454.7 ;    --- " ---          19   -- " --
```

```
604336.4   3568.1 ;    --- " ---        20    -- " --
587929.9   2149.4 ;    --- " ---        21    -- " --
577977.4   7942.9 ;    --- " ---        22    -- " --
564677.4   7606.7 ;    --- " ---        23    -- " --
-----------------------------------------------------------------------------
8             ;Internal body number
 2620.0        ;density of body, 0=surrounding
  .015000      ;suscept. of body, 0=surrounding
  .0000        ;Remanent/induced magnetization
     .0       ;Inclination of remanence, positive down
     .0       ;Declination of remanence, pos. clockwise
7             ;Surrounding body, =  21 if none
 10091.7       ;strike length
764431.1        ;N-coordinate of body reference point
    8.4       ;strike angle from North anti-clockw.

32            ;Number of corners in body
564884.2   475.9 ;E-coord & depth of corner  1
602792.5   651.9 ;    --- " ---        2 (with strike=0.0)
613046.5   809.5 ;    --- " ---        3    -- " --
617049.5   810.3 ;    --- " ---        4    -- " --
619388.9   809.5 ;    --- " ---        5    -- " --
625781.0  1033.2 ;    --- " ---        6    -- " --
635164.4   257.8 ;    --- " ---        7    -- " --
638303.7   769.4 ;    --- " ---        8    -- " --
646972.2   921.7 ;    --- " ---        9    -- " --
653663.9   810.3 ;    --- " ---       10    -- " --
673798.5   769.4 ;    --- " ---       11    -- " --
673892.9  3890.6 ;    --- " ---       12    -- " --
```

663765.3	1667.9 ;	--- " ---	13	-- " --
660089.7	2937.5 ;	--- " ---	14	-- " --
655199.2	2070.6 ;	--- " ---	15	-- " --
651744.4	2519.2 ;	--- " ---	16	-- " --
649835.6	1991.7 ;	--- " ---	17	-- " --
644471.9	2149.4 ;	--- " ---	18	-- " --
643052.1	1912.9 ;	--- " ---	19	-- " --
640338.0	1912.9 ;	--- " ---	20	-- " --
625749.0	2036.2 ;	--- " ---	21	-- " --
618915.7	888.3 ;	--- " ---	22	-- " --
618126.9	7114.8 ;	--- " ---	23	-- " --
617180.1	5380.9 ;	--- " ---	24	-- " --
614971.5	2779.9 ;	--- " ---	25	-- " --
608819.4	1518.8 ;	--- " ---	26	-- " --
601247.2	1755.3 ;	--- " ---	27	-- " --
598880.9	2937.5 ;	--- " ---	28	-- " --
586575.7	3883.3 ;	--- " ---	29	-- " --
581527.9	4277.4 ;	--- " ---	30	-- " --
576037.5	6828.4 ;	--- " ---	31	-- " --
564884.2	7274.2 ;	--- " ---	32	-- " --

9	;Internal body number
2620.0	;density of body, 0=surrounding
.000001	;suscept. of body, 0=surrounding
.0000	;Remanent/induced magnetization
.0	;Inclination of remanence, positive down
.0	;Declination of remanence, pos. clockwise
21	;Surrounding body, = 21 if none
9751.5	;strike length

774453.4 ;N-coordinate of body reference point

8.4 ;strike angle from North anti-clockw.

28 ;Number of corners in body

562730.2	475.9 ;E-coord & depth of corner		1	
583348.7	579.0 ;	--- " ---	2 (with strike=0.0)	
585446.7	523.2 ;	--- " ---	3	-- " --
587486.3	533.0 ;	--- " ---	4	-- " --
590609.8	485.7 ;	--- " ---	5	-- " --
597046.3	580.3 ;	--- " ---	6	-- " --
605044.7	651.9 ;	--- " ---	7	-- " --
607750.2	433.0 ;	--- " ---	8	-- " --
609535.7	342.6 ;	--- " ---	9	-- " --
612127.7	296.5 ;	--- " ---	10	-- " --
619165.7	253.0 ;	--- " ---	11	-- " --
622288.7	253.0 ;	--- " ---	12	-- " --
625095.2	580.3 ;	--- " ---	13	-- " --
652888.8	475.9 ;	--- " ---	14	-- " --
683226.2	1590.4 ;	--- " ---	15	-- " --
682779.8	6382.6 ;	--- " ---	16	-- " --
656896.8	11370.9 ;	--- " ---	17	-- " --
647831.8	1834.1 ;	--- " ---	18	-- " --
639228.2	3725.7 ;	--- " ---	19	-- " --
628428.1	4829.1 ;	--- " ---	20	-- " --
622552.3	11397.7 ;	--- " ---	21	-- " --
615298.7	11449.7 ;	--- " ---	22	-- " --
609328.2	6437.4 ;	--- " ---	23	-- " --
596161.2	7114.8 ;	--- " ---	24	-- " --
591113.1	1440.0 ;	--- " ---	25	-- " --

```
584644.8   2228.2 ;     --- " ---        26    -- " --
578006.8  10729.0 ;     --- " ---        27    -- " --
562615.8  10840.5 ;     --- " ---        28    -- " --
------------------------------------------------------------------------------------------------
10              ;Internal body number
  2620.0        ;density of body, 0=surrounding
   .015000      ;suscept. of body, 0=surrounding
   .0000        ;Remanent/induced magnetization
     .0         ;Inclination of remanence, positive down
     .0         ;Declination of remanence, pos. clockwise
 9              ;Surrounding body, =  21 if none
  9768.6        ;strike length
780389.2        ;N-coordinate of body reference point
    8.4         ;strike angle from North anti-clockw.
 32             ;Number of corners in body
601387.6    651.9 ;E-coord & depth of corner  1
605015.9    888.3 ;     --- " ---        2 (with strike=0.0)
609433.1    651.9 ;     --- " ---        3    -- " --
613722.8    299.0 ;     --- " ---        4    -- " --
615198.9    242.3 ;     --- " ---        5    -- " --
620631.3   1203.6 ;     --- " ---        6    -- " --
623961.3    879.4 ;     --- " ---        7    -- " --
627044.1   1071.9 ;     --- " ---        8    -- " --
628679.1    730.7 ;     --- " ---        9    -- " --
632920.6    590.6 ;     --- " ---       10    -- " --
636091.3    888.3 ;     --- " ---       11    -- " --
646781.1    652.8 ;     --- " ---       12    -- " --
648546.6    593.0 ;     --- " ---       13    -- " --
651088.9    477.5 ;     --- " ---       14    -- " --
```

656058.4	593.0 ;	--- " ---	15	-- " --
673011.8	1237.9 ;	--- " ---	16	-- " --
662324.3	1727.8 ;	--- " ---	17	-- " --
660167.1	1825.7 ;	--- " ---	18	-- " --
655853.4	1531.8 ;	--- " ---	19	-- " --
648263.8	1367.5 ;	--- " ---	20	-- " --
640124.3	1355.4 ;	--- " ---	21	-- " --
616847.4	1361.2 ;	--- " ---	22	-- " --
605646.4	1361.2 ;	--- " ---	23	-- " --
600911.9	1045.9 ;	--- " ---	24	-- " --
596009.3	1547.1 ;	--- " ---	25	-- " --
594305.9	1774.0 ;	--- " ---	26	-- " --
591580.8	2057.7 ;	--- " ---	27	-- " --
584427.3	2114.4 ;	--- " ---	28	-- " --
579317.4	3135.5 ;	--- " ---	29	-- " --
576932.4	3929.8 ;	--- " ---	30	-- " --
565918.8	6142.3 ;	--- " ---	31	-- " --
565955.1	810.3 ;	--- " ---	32	-- " --

11	;Internal body number
2620.0	;density of body, 0=surrounding
.000001	;suscept. of body, 0=surrounding
.0000	;Remanent/induced magnetization
.0	;Inclination of remanence, positive down
.0	;Declination of remanence, pos. clockwise
21	;Surrounding body, = 21 if none
9725.0	;strike length
785113.9	;N-coordinate of body reference point
8.4	;strike angle from North anti-clockw.

29		;Number of corners in body
563353.8	742.8	;E-coord & depth of corner 1
583401.3	874.9 ;	--- " --- 2 (with strike=0.0)
585425.8	585.9 ;	--- " --- 3 -- " --
587776.3	561.6 ;	--- " --- 4 -- " --
593223.8	304.2 ;	--- " --- 5 -- " --
596020.8	304.2 ;	--- " --- 6 -- " --
599750.8	232.0 ;	--- " --- 7 -- " --
601386.3	232.0 ;	--- " --- 8 -- " --
603602.8	451.3 ;	--- " --- 9 -- " --
605369.3	193.8 ;	--- " --- 10 -- " --
607283.8	377.7 ;	--- " --- 11 -- " --
609361.1	232.0 ;	--- " --- 12 -- " --
611098.6	414.5 ;	--- " --- 13 -- " --
613454.1	120.3 ;	--- " --- 14 -- " --
615601.1	304.2 ;	--- " --- 15 -- " --
615674.6	340.9 ;	--- " --- 16 -- " --
617220.6	193.8 ;	--- " --- 17 -- " --
619282.3	524.8 ;	--- " --- 18 -- " --
676838.3	640.6 ;	--- " --- 19 -- " --
677042.8	6055.0 ;	--- " --- 20 -- " --
663751.8	6974.5 ;	--- " --- 21 -- " --
648824.8	1968.7 ;	--- " --- 22 -- " --
636556.3	4420.5 ;	--- " --- 23 -- " --
630687.3	1662.2 ;	--- " --- 24 -- " --
628157.6	1681.3 ;	--- " --- 25 -- " --
620927.3	16131.0 ;	--- " --- 26 -- " --
606150.3	15964.5 ;	--- " --- 27 -- " --
581347.8	9630.6 ;	--- " --- 28 -- " --

563353.8 4624.8 ; --- " --- 29 -- " --

---

12 ;Internal body number

2620.0 ;density of body, 0=surrounding

.015000 ;suscept. of body, 0=surrounding

.0000 ;Remanent/induced magnetization

.0 ;Inclination of remanence, positive down

.0 ;Declination of remanence, pos. clockwise

11 ;Surrounding body, = 21 if none

9792.6 ;strike length

785681.5 ;N-coordinate of body reference point

8.4 ;strike angle from North anti-clockw.

15 ;Number of corners in body

566953.1 844.9 ;E-coord & depth of corner 1

602457.1 669.8 ; --- " --- 2 (with strike=0.0)

608119.1 597.5 ; --- " --- 3 -- ." --

622991.6 886.5 ; --- " --- 4 -- " --

642803.1 814.3 ; --- " --- 5 -- " --

658443.4 669.8 ; --- " --- 6 -- " --

657720.1 1825.8 ; --- " --- 7 -- " --

640656.6 1392.3 ; --- " --- 8 -- " --

629955.6 1536.8 ; --- " --- 9 -- " --

620266.6 1103.3 ; --- " --- 10 -- " --

611445.6 2114.8 ; --- " --- 11 -- " --

609275.9 1970.3 ; --- " --- 12 -- " --

597852.4 814.3 ; --- " --- 13 -- " --

583924.1 1968.7 ; --- " --- 14 -- " --

580857.6 742.8 ; --- " --- 15 -- " --

พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลอง"โครงสร้างทางธรณีวิทยา " ในพื้นที่ศึกษาด้วยโปรแกรม GMM ในแนวภาคตัดขวาง BC มีดังต่อไปนี้

2	;Total number of bodies in model
41042.5	;Magnitude of terrestrial field
-5.1	;Inclination of terrestrial field
-.2	;Declination of terrestrial field
2800.0	;Surrounding density
.000001	;Surrounding susceptibility

1	;Internal body number
2620.0	;density of body, 0=surrounding
.000001	;suscept. of body, 0=surrounding
.0000	;Remanent/induced magnetization
.0	;Inclination of remanence, positive down
.0	;Declination of remanence, pos. clockwise
21	;Surrounding body, = 21 if none
9989.7	;strike length
-14.4	;Y-coordinate of body reference point
.0	;strike angle from y-axis anti-clockwise

30		;Number of corners in body		
-20931.9	320.5	;X-coord & depth of corner	1	
23662.6	583.5	; --- " ---	2	(with strike=0.0)
32498.1	663.8	; --- " ---	3	-- " --
37638.6	102.0	; --- " ---	4	-- " --
41060.6	494.6	; --- " ---	5	-- " --

43023.6	730.2 ;	--- " ---	6	-- " --
48868.1	109.3 ;	--- " ---	7	-- " --
52210.1	78.7 ;	--- " ---	8	-- " --
57398.5	583.5 ;	--- " ---	9	-- " --
60570.1	477.8 ;	--- " ---	10	-- " --
63037.1	494.6 ;	--- " ---	11	-- " --
74480.6	529.3 ;	--- " ---	12	-- " --
76978.1	321.3 ;	--- " ---	13	-- " --
79246.1	583.5 ;	--- " ---	14	-- " --
97114.1	598.2 ;	--- " ---	15	-- " --
97568.1	5024.3 ;	--- " ---	16	-- " --
82780.6	4676.9 ;	--- " ---	17	-- " --
74427.1	1386.2 ;	--- " ---	18	-- " --
66073.1	1386.2 ;	--- " ---	19	-- " --
59326.1	3151.9 ;	--- " ---	20	-- " --
55760.0	15607.9 ;	--- " ---	21	-- " --
50268.0	15607.9 ;	--- " ---	22	-- " --
44868.1	7726.8 ;	--- " ---	23	-- " --
41976.1	4596.6 ;	--- " ---	24	-- " --
39566.6	13104.3 ;	--- " ---	25	-- " --
33140.9	13425.4 ;	--- " ---	26	-- " --
29445.6	6282.1 ;	--- " ---	27	-- " --
11614.1	1948.0 ;	--- " ---	28	-- " --
-4219.6	1788.9 ;	--- " ---	29	-- " --
-18802.9	1448.4 ;	--- " ---	30	-- " --

---

2 ;Internal body number

2620.0 ;density of body, 0=surrounding

.015000 ;suscept. of body, 0=surrounding

.0000 ;Remanent/induced magnetization

.0 ;Inclination of remanence, positive down

.0 ;Declination of remanence, pos. clockwise

1 ;Surrounding body, = 21 if none

10163.2 ;strike length

-14.4 ;Y-coordinate of body reference point

.0 ;strike angle from y-axis anti-clockwise

33 ;Number of corners in body

-21006.5	371.2	;X-coord & depth of corner	1	
24210.0	531.2 ;	--- " ---	2	(with strike=0.0)
32761.7	788.0 ;	--- " ---	3	-- " --
35736.9	383.4 ;	--- " ---	4	-- " --
37504.0	412.3 ;	--- " ---	5	-- " --
41298.0	503.4 ;	--- " ---	6	-- " --
46435.9	412.3 ;	--- " ---	7	-- " --
49211.9	181.2 ;	--- " ---	8	-- " --
52279.5	113.4 ;	--- " ---	9	-- " --
57832.0	639.1 ;	--- " ---	10	-- " --
60338.0	542.8 ;	--- " ---	11	-- " --
65109.5	583.5 ;	--- " ---	12	-- " --
70605.2	563.2 ;	--- " ---	13	-- " --
76194.0	583.5 ;	--- " ---	14	-- " --
79246.5	663.8 ;	--- " ---	15	-- " --
88595.8	631.3 ;	--- " ---	16	-- " --
87573.6	1619.6 ;	--- " ---	17	-- " --
76836.8	2028.3 ;	--- " ---	18	-- " --
72581.4	1733.0 ;	--- " ---	19	-- " --
65925.7	1448.4 ;	--- " ---	20	-- " --

64416.4	1574.2 ;	--- " ---	21	-- " --
58857.4	1737.5 ;	--- " ---	22	-- " --
52089.0	1042.5 ;	--- " ---	23	-- " --
48752.9	2265.5 ;	--- " ---	24	-- " --
45123.2	1165.7 ;	--- " ---	25	-- " --
39759.5	1279.2 ;	--- " ---	26	-- " --
36130.6	2309.4 ;	--- " ---	27	-- " --
26110.9	1683.7 ;	--- " ---	28	-- " --
18405.0	1584.6 ;	--- " ---	29	-- " --
10113.9	1960.0 ;	--- " ---	30	-- " --
4063.8	2188.8 ;	--- " ---	31	-- " --
-789.5	1846.5 ;	--- " ---	32	-- " --
-9359.5	1496.4 ;	--- " ---	33	-- " --

ภาคผนวก ง

สัมประสิทธิ์ g_n^m และ h_n^m ในหน่วย nT

(ที่มา : Parkinson, 1983)

n	m	g_n^m	h_n^m	n	m	g_n^m	h_n^m
1	0	-30001		6	1	57	-15
1	1	-1950	5634	6	2	47	98
				6	3	-194	75
2	0	-2038		6	4	6	-44
2	1	3035	-2136	6	5	17	2
2	2	1652	-179	6	6	-104	27
3	0	1293		7	0	65	
3	1	-2156	-38	7	1	-55	-71
3	2	1244	261	7	2	7	-24
3	3	851	-235	7	3	17	9
				7	4	-17	8
4	0	919		7	5	-1	12
4	1	777	189	7	6	16	-17
4	2	411	-265	7	7	9	-14
4	3	-428	69				
4	4	224	-289	8	0	13	
				8	1	8	12

n	m	g_n^m	h_n^m	n	m	g_n^m	h_n^m
	0	-216		8	2	-4	-21
5	1	354	74	8	3	-5	11
5	2	261	147	8	4	-12	-20
5	3	-66	-149	8	5	0	10
5	4	-173	-71	8	6	-1	7
5	5	-52	101	8	7	10	-13
				8	8	3	-13
6	0	51					

ภาคผนวก จ

การเตรียมสารความเข้มข้นมาตรฐาน
(ที่มา : เทิดทูน ทองเงิน, 2537)

การเตรียมสารมาตรฐานเริ่มจากการหาข้อมูลของปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติของหินและดิน เพื่อจะได้เตรียมสารตัวอย่างที่ครอบคลุมความเข้มข้นได้อย่างเหมาะสม ปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติของหินและดินมีปริมาณเฉลี่ยดังนี้

K	2.3	percent
U	3.0	ppm
Th	11.4	ppm

สารตัวอย่างที่ครอบคลุมความเข้มข้นได้อย่างเหมาะสมคือ

โปแตสเซียม(K)	2%, 4% และ 6% ตามลำดับ
ยูเรเนียม (U)	2, 4 และ 6 ppm ตามลำดับ
ทอเรียม (Th)	5, 10 และ 15 ppm ตามลำดับ

ตัวอย่าง แสดงการคำนวณหาปริมาณความแรงรังสีของ K-40, U และ Th

กำหนดให้ปริมาณน้ำหนักรวมมีค่าเท่ากับ 100 กรัม และให้ความเข้มข้นของ K เท่ากับ 2 % ความเข้มข้นของ U เท่ากับ 2 ppm และความเข้มข้น Th เท่ากับ 5 ppm

โดยค่า Natural Abundance ของ

K-40 = 0.01167 (K = 100%)	$T_{1/2} = 1.28 \times 10^9$ ปี
$U^{238} = 99.275$ %	$T_{1/2} = 4.51 \times 10^9$ ปี
$U^{235} = 0.720$ %	$T_{1/2} = 7.1 \times 10^8$ ปี
Th = 100 %	$T_{1/2} = 4.51 \times 10^9$ ปี

Gamma-Ray Spectrometry Measurement Material (S)

Matrix	Reference Analyte	Activity or Concentration	Confidenc Einterval	Standard code
Potassium Sulfate	K	448 mg/g	445-451	RG K-1
Th-Ore,Diluted with Silica	K Th U	0.2 mg/g 800 μg/g 6.3 μg/g	0.1-0.3 784-816 5.9-6.7	RGTh-1
U-Ore,Diluted with Silica	U	400 μg/g	398-402	RG U-1

จากตารางแสดงให้เห็นว่า

RGTh-1 1 g มี Th = 800 μg U = 6.3 μg K = 0.2 mg

RGU-1 1 g มี Th = 0 g U = 400 μg K = 0 g

RGK-1 1 g มี Th = 0 g U = 0 g K = 448 mg

น้ำหนักมวลของ Th = 232.0381 g/mol

U = 238.0289 g/mol

K = 39.102 g/mol

วิธีคำนวณ

เริ่มเตรียมสารมาตรฐานที่มี Th เข้มข้น 5 ppm โดยหาน้ำหนักของ Th ในสารมาตรฐานทั้งหมด 100 g = $\frac{5}{10^6} \times 10$ g

จะได้น้ำหนักของ Th = 5×10^{-4} g

ในสารมาตรฐานจะมีจำนวนอะตอมของ Th = $\frac{6.02252 \times 10^{23} \times 5 \times 10^{-4}}{2320381}$ อะตอม

= 1.2977×10^{18} อะตอม

หาค่า λ จากสมการ $T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$

จะได้ $\lambda = \frac{0.693}{(4.51\times10^{9})(60\times24\times365)}$ วินาที$^{-1}$

$= 4.87248\text{x}10^{-18}$ วินาที$^{-1}$

จากสมการความแรงรังสี A = λN

โดยค่า N = จำนวนอะตอมของธาตุกัมมันตรังสี

λ = ค่าคงที่ของการสลายตัว

แทนค่าต่างๆในสมการความแรงรังสี

จะได้ A = λN Bq

$= 1.2977\text{x}10^{18} \text{ x } 4.87248 \text{ x } 10^{-18}$ Bq

= 6.323 Bq/100 g

เทียบความแรงรังสีในอัตราส่วนต่อ 1 กิโลกรัม จะได้ความแรงรังสีของสารมาตรฐาน Th ความเข้มข้น 5 ppm ในสารทั้งหมด 100 g มีค่า = 63.23 Bq/Kg

สำหรับ U และ K-40 ก็ใช้วิธีคำนวณเดียวกันได้ค่าความแรงรังสีดังตารางต่อไปนี้

ตารางแสดงค่าความแรงรังสีที่คำนวณได้ของสารกัมมันตรังสีความเข้มข้นต่างๆ

ชนิดของสารและความเข้มข้น	มวลของธาตุกัมมันตรังสี (ใน 100g)	จำนวนอะตอมของธาตุกัมมันตรังสี	ค่าคงที่ของการสลายตัว	ค่าความแรงรังสี (Bq/Kg)
Th 5 ppm	$5\text{x}10^{-4}$	$1.29770\text{x}10^{18}$	$4.87248\text{x}10^{-18}$	63.2302
Th 10 ppm	$1\text{x}10^{-3}$	$1.764932\text{x}10^{18}$	$4.87248\text{x}10^{-18}$	126.4646
Th 15 ppm	$1.5\text{x}10^{-3}$	$2.647398\text{x}10^{18}$	$4.87248\text{x}10^{-18}$	189.6969
U 2 ppm	$2\text{x}10^{-4}$	$5.190975\text{x}10^{17}$	$1.58093\text{x}10^{-18}$	8.20657
U 4 ppm	$4\text{x}10^{-4}$	$1.038195\text{x}10^{18}$	$1.58093\text{x}10^{-18}$	16.41314
U 6 ppm	$6\text{x}10^{-4}$	$1.55729\text{x}10^{18}$	$1.58093\text{x}10^{-18}$	24.61971
K 2 percent	$2.334\text{x}10^{-4}$	$3.594845\text{x}10^{18}$	$1.71679\text{x}10^{-17}$	617.15940
K 4 percent	$4.668\text{x}10^{-4}$	$7.189690\text{x}10^{18}$	$1.71679\text{x}10^{-17}$	1234.31879
K 6 percent	$7.002\text{x}10^{-4}$	$1.078453\text{x}10^{19}$	$1.71679\text{x}10^{-17}$	1851.47733

ตัวอย่าง แสดงการคำนวณหาปริมาณของ RGK-1,RGU-1 ,RGTh-1 และ Silica Sand ที่จะต้องนำมาใช้ลดความเข้มข้นให้ได้ตามต้องการ

กำหนดให้ปริมาณน้ำหนักรวมมีค่าเท่ากับ 100 กรัม และให้ความเข้มข้นของ K เท่ากับ 2 % ความเข้มข้นของ U เท่ากับ 2 ppm และความเข้มข้นของ Th เท่ากับ 5 ppm

โดยค่า Natural Abundance ของ

K-40 = 0.01167 (K = 100%)	$T_{1/2}$ = 1.28 x 10^9 ปี
U^{238} = 99.275 %	$T_{1/2}$ = 4.51 x 10 ^{9}ปี
U^{235} = 0.720 %	$T_{1/2}$ = 7.1 x 10^8 ปี
Th = 100 %	$T_{1/2}$ = 4.51 x 10^9 ปี

วิธีคำนวณ

เริ่มเตรียมสารมาตรฐานที่มี Th เข้มข้น 5 ppm โดยหาน้ำหนักของ Th ในสารมาตรฐานทั้งหมด 100 g $= \frac{5}{10^6} \times 10$ g

จะได้น้ำหนักของ Th = 5 x 10^{-4} g

จากตาราง่ค่า Gamma-Ray Spectrometry Measurement Meterial พบว่า

Th 800 mg ได้มาจาก RGTh-1 1 g

Th 5x10^{-4} g ได้มาจาก RGTh-1 $= \frac{1 \times 5 \times 10^{-4}}{800 \times 10^{-6}}$ g

$= 0.625$ g

แต่เนื่องจากใน RGTh-1 มี U และ K ผสมอยู่ด้วย

จาก RGTh-1 0.625 g มี U = 0.625 x 6.3x10^{-6} g

= 3.9375 x 10^{-6} g

และมี K = 0.625 x 0.2 x 10^{-3} g

= 1.25 x 10^{-4} g

วิธีคำนวณหาน้ำหนักของ RGU-1

เริ่มเตรียมสารมาตรฐานที่ U เข้มข้น 2 ppm โดยหาน้ำหนักของ U ในสารมาตรฐานทั้งหมด 100 g $= \frac{2}{10^6} x100$ g

จะได้น้ำหนักของ U = 2x10^{-4} g

แต่เนื่องจากใน RGTh-1 มี U = 3.9375×10^{-6} g

ต้องการ U อีก = $2 \times 10^{-4} - 3.9375 \times 10^{-6}$ g

= 1.960625×10^{-4} g

แต่เนื่องจากใน RGU-1 มี U 400 mg

นั่นคือ U 400×10^{-6} g ได้มาจาก RGU-1 = 1 g

U 1.960625×10^{-4} g ได้มาจาก RGU-1 $= \frac{1 \times 1.960625 \times 10^{-4}}{400 \times 10^{-6}}$ g

= 0.49015625 g

วิธีคำนวณหาน้ำหนักของ RGK-1

เริ่มเตรียมสารมาตรฐานที่มี K เข้มข้น 2 percent โดยน้ำหนักของ K ในสารมาตร-ฐานทั้งหมด 100 g $= \frac{2}{10^2} \times 10$ g

จะได้น้ำหนักของ K = 2 g

แต่เนื่องจากใน RGTh-1 มี K = 1.25×10^{-4} g

ต้องการ K อีก = $2 - 1.25 \times 10^{-4}$ g

= 1.999875 g

เนื่องจากใน RGK-1 มี K 488 mg

นั่นคือ K 448 mg ได้มาจาก RGK-1 = 1 g

K 1.999875 g ได้มาจาก RGK-1 $= \frac{1 \times 1.99987}{448 \times 10^{-3}}$ g

= 4.464007 g

สรุปปริมาณสารต่างๆ

RGTh-1 = 0.625 g

RGU-1 = 0.49015625 g

RGK-1 = 4.464007 g

ต้องใส่ Silica Sand = 100-(0.625+0.490156-4.464007)

= 94.420837 g

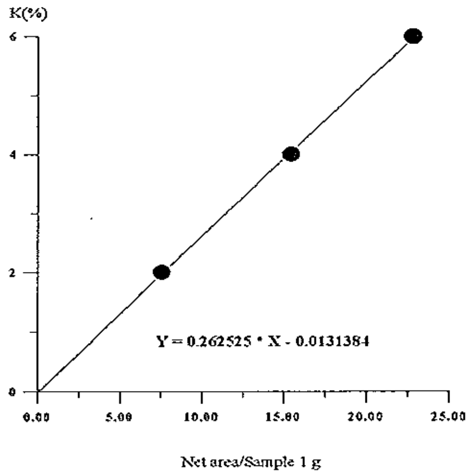
สำหรับค่าความเข้มข้นอื่นๆก็ใช้วิธีเดียวกัน ได้ค่าดังตารางต่อไปนี้

น้ำหนักรวม (g)	สาร	ความเข้มข้น	มวล(g)
100	Thorium(Th)	5 ppm	0.625
	Uranium(U)	2 ppm	0.49015625
	Potassium(K)	2 percent	4.464007
	Silica Sand	-	94.420837
100	Thorium(Th)	10 ppm	1.25
	Uranium(U)	4 ppm	0.9803125
	Potassium(K)	4 percent	8.928133
	Silica Sand	-	88.841674
100	Thorium(Th)	15 ppm	1.875
	Uranium(U)	6 ppm	1.4704687
	Potassium(K)	6 percent	13.392020
	Silica Sand	-	83.262511

ตารางแสดงพื้นที่สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อน้ำหนัก 1 กรัม และปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม(%) ในสารมาตรฐาน

Sample	Weight	Net area/Sample 1 g	%
Std1	100	7.75±0.28	2
Std2	100	15.86±0.40	4
Std3	100	23.27±0.48	6

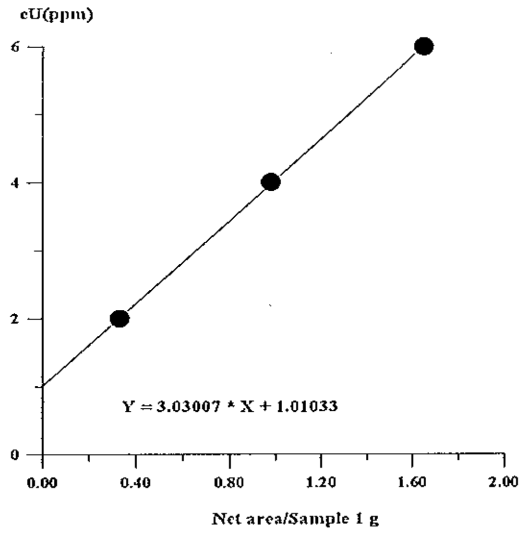
กราฟแสดงพื้นที่สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อน้ำหนัก 1 กรัม และปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม(%) ในสารมาตรฐาน



ตารางแสดงพื้นที่สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อน้ำหนัก 1 กรัม และปริมาณความเข้มข้นของยูเรเนียมสมมูล(ppm) ในสารมาตรฐาน

Sample	Weight	Net area/Sample 1 g	ppm
Std1	100	0.33±0.06	2
Std2	100	1.09±0.10	4
Std3	100	1.71±0.13	6

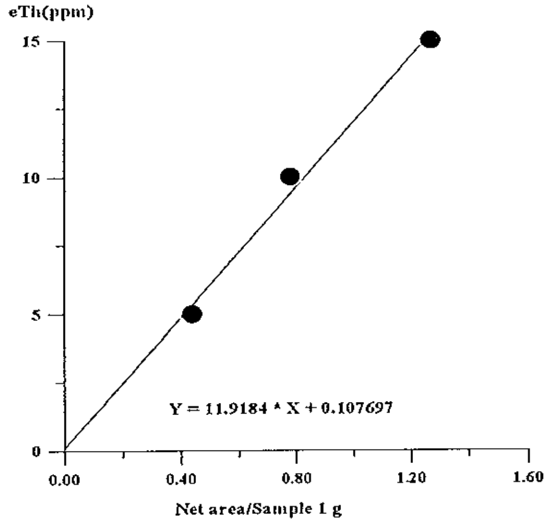
กราฟแสดงพื้นที่สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อน้ำหนัก 1 กรัม และปริมาณความเข้มข้นของยูเรเนียมสมมูล(ppm) ในสารมาตรฐาน



ตารางแสดงพื้นที่สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อน้ำหนัก 1 กรัม และปริมาณความเข้มข้นของทอเรียมสมมูล (ppm) ในสารมาตรฐาน

Sample	Weight	Net area /Sample 1 g	ppm
Std1	100	0.45±0.07	5
Std2	100	0.79±0.09	10
Std3	100	2.03±0.14	15

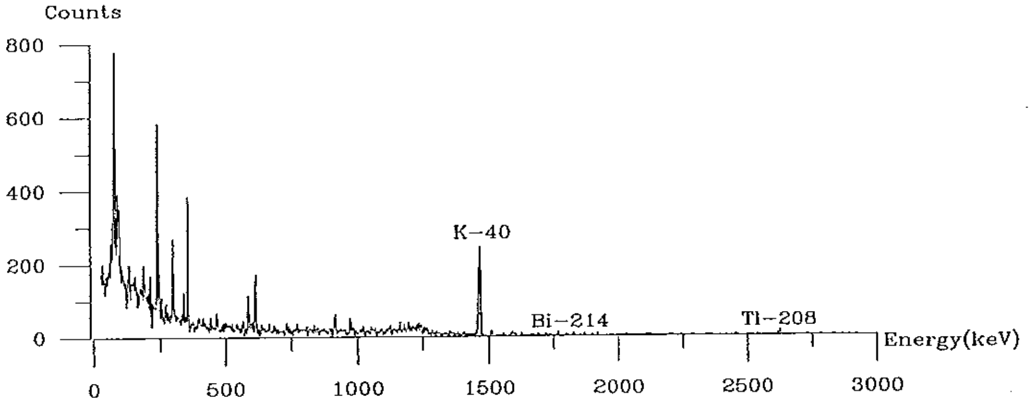
กราฟแสดงพื้นที่สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อน้ำหนัก 1 กรัม และปริมาณความเข้มข้นของทอเรียมสมมูล (ppm) ในสารมาตรฐาน



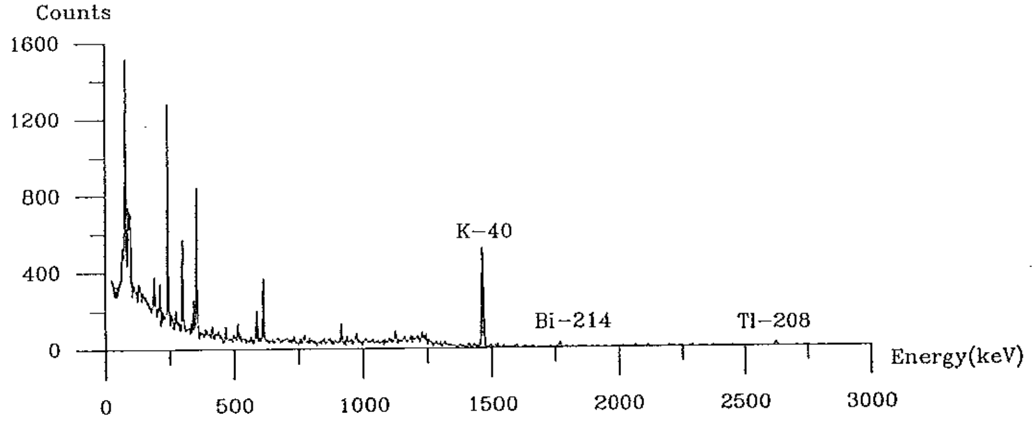
ภาคผนวก ฉ

สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานและหินตัวอย่าง

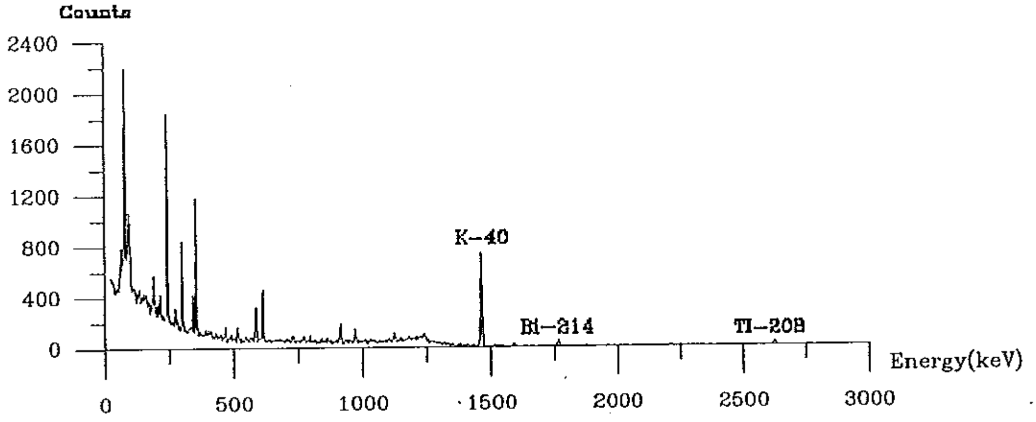
ภาพประกอบ R_1 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานตัวที่ 1



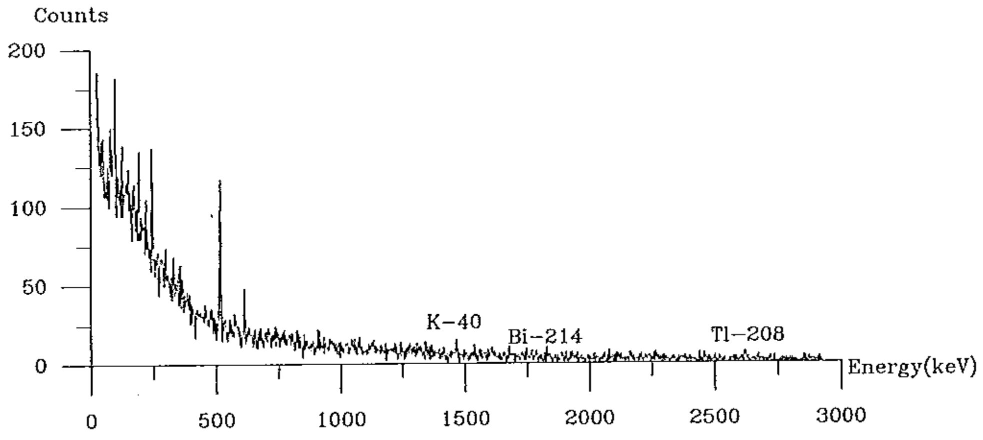
ภาพประกอบ R_2 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานตัวที่ 2



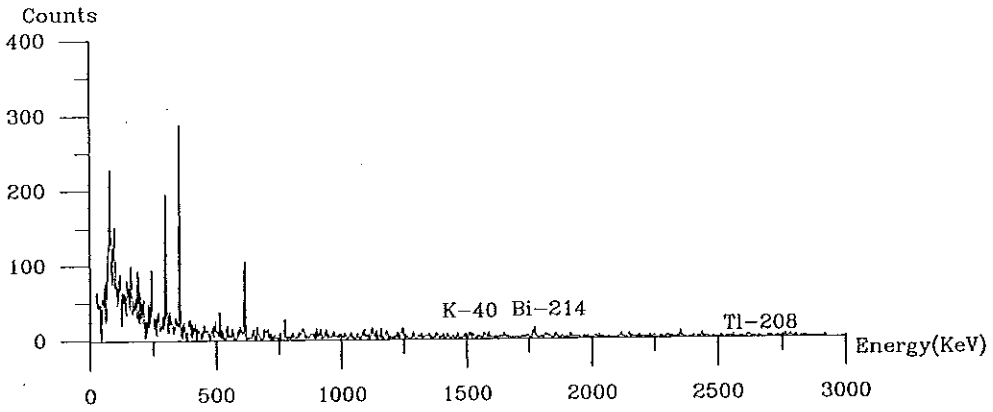
ภาพประกอบ R_3 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานตัวที่ 3



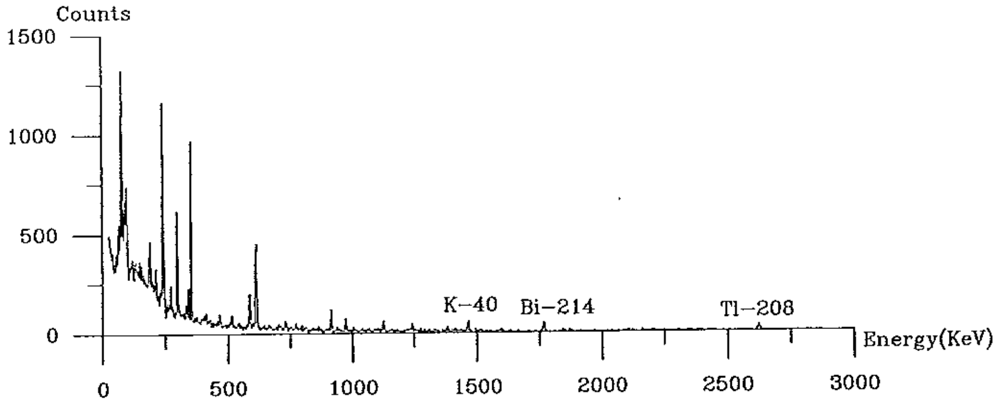
ภาพประกอบ R_4 สเปกตรัมรังสีแกมมาของรังสีพื้นหลัง



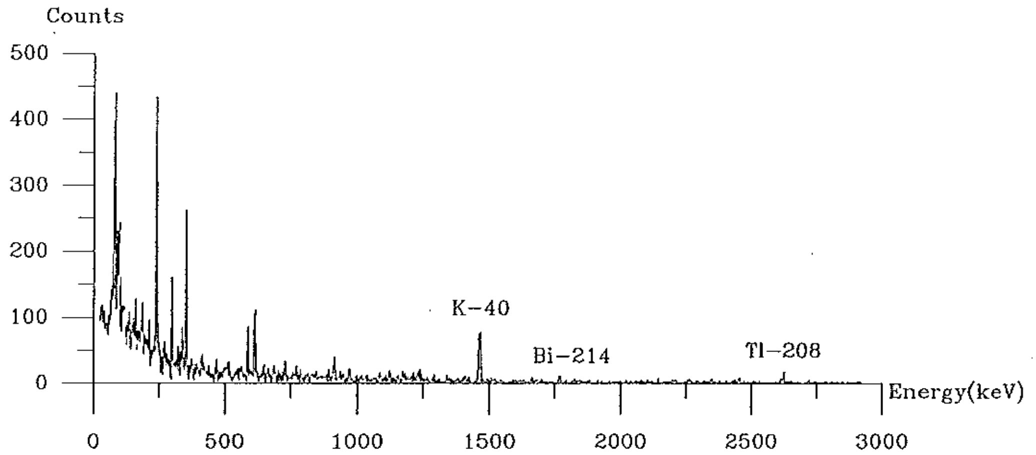
ภาพประกอบ R_5 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H002)



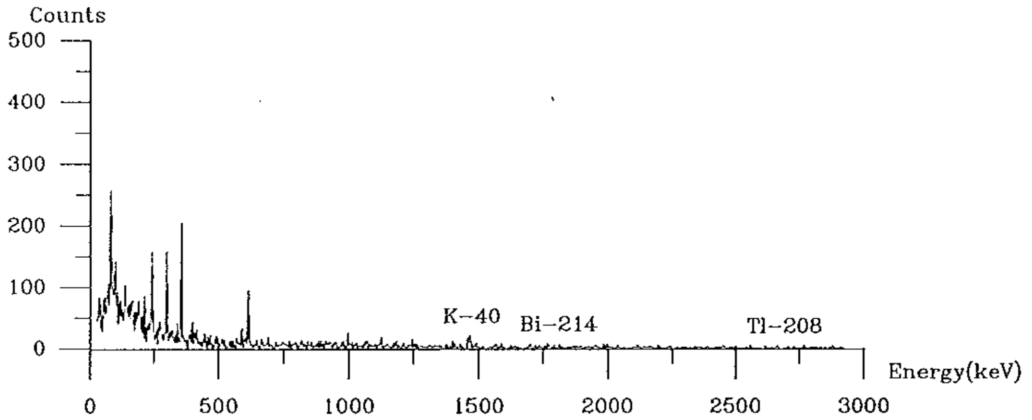
ภาพประกอบ R_6 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H299)



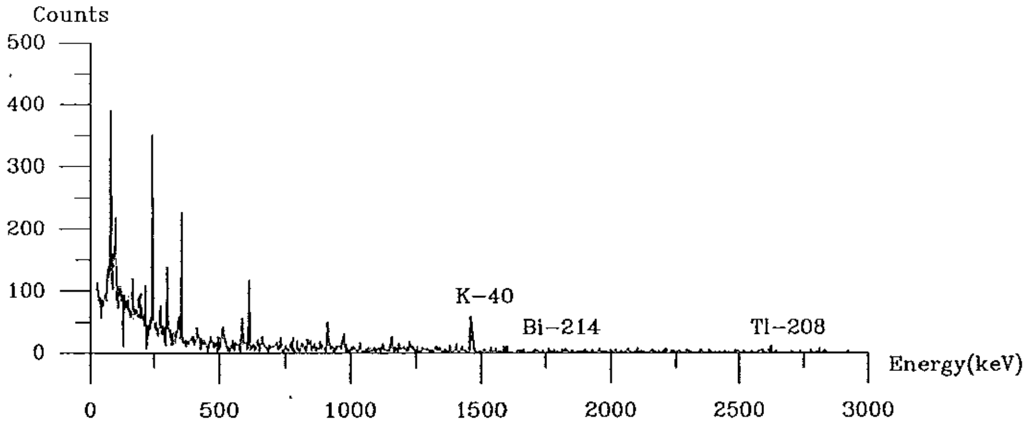
ภาพประกอบ R_7 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H00)



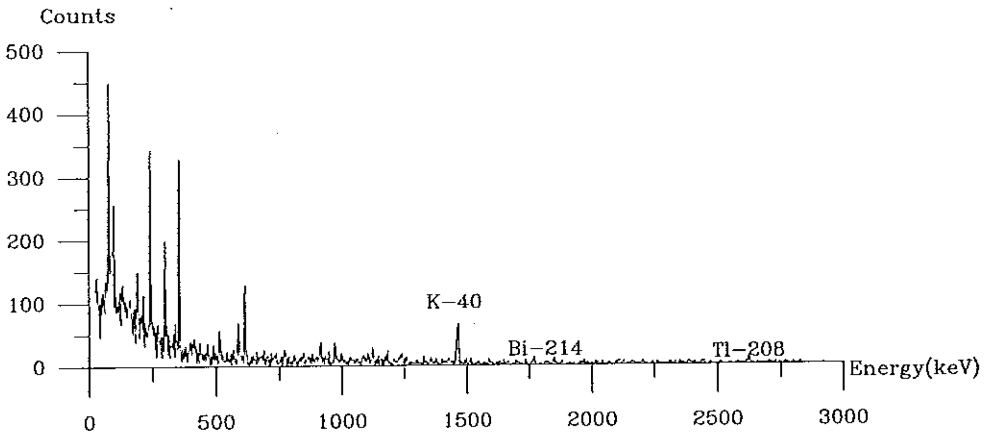
ภาพประกอบ R_8 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H01)



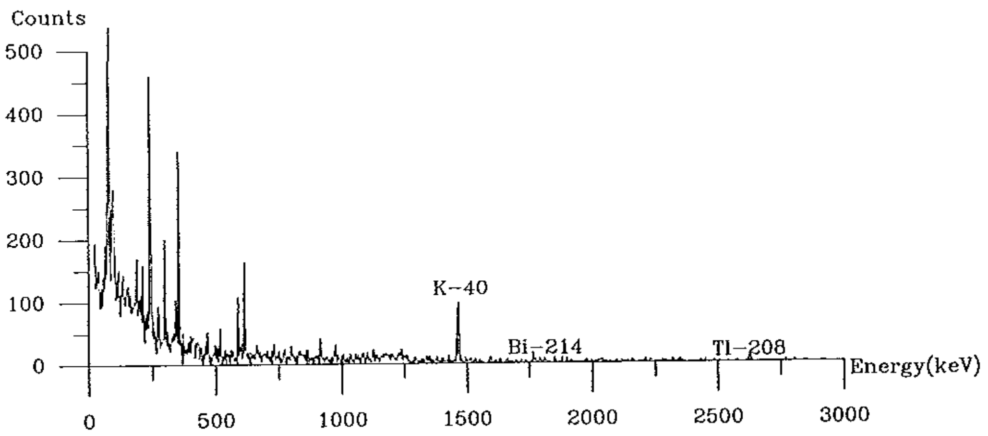
ภาพประกอบ R_9 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H02)



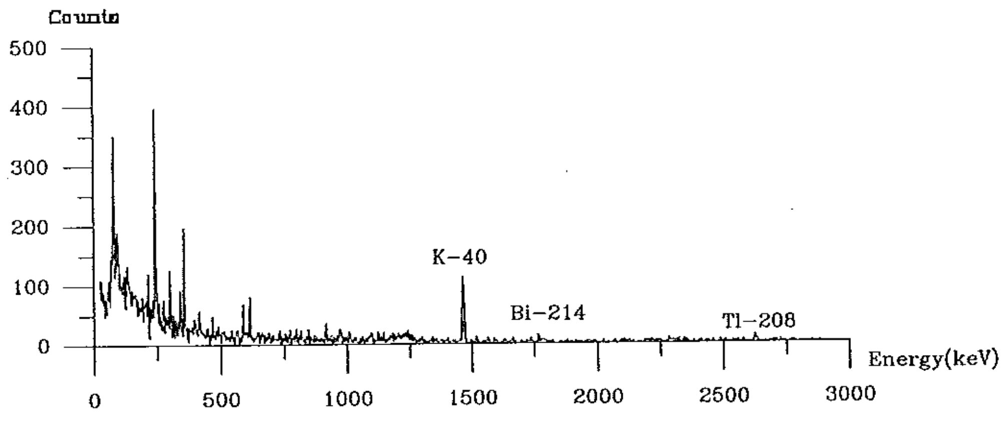
ภาพประกอบ R_10 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H03)



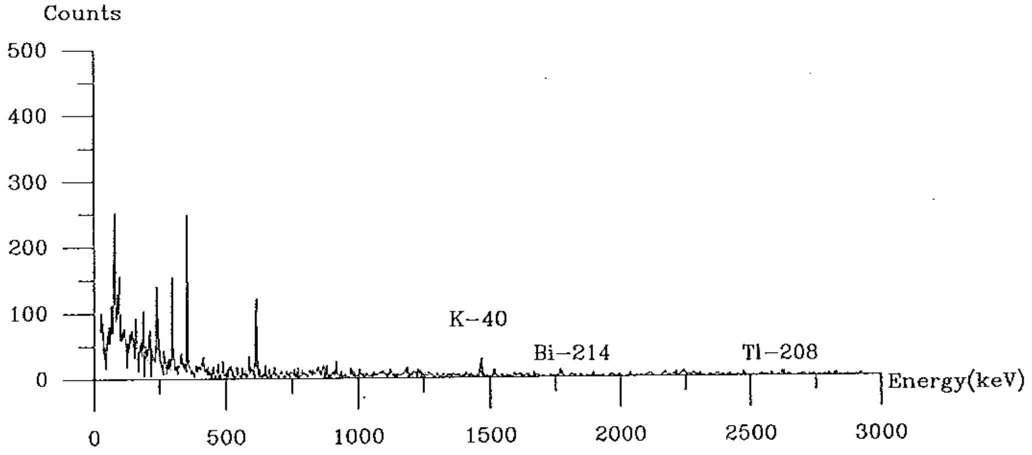
ภาพประกอบ R_11 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H06)



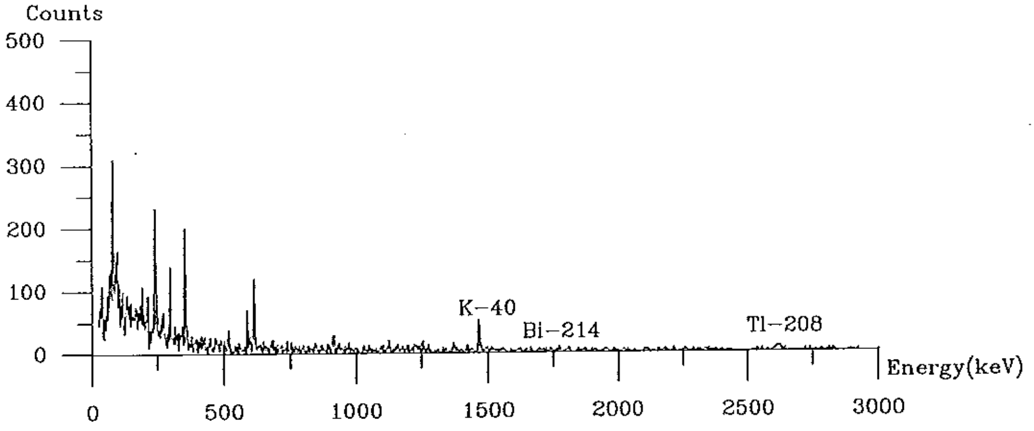
ภาพประกอบ R_12 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H11)



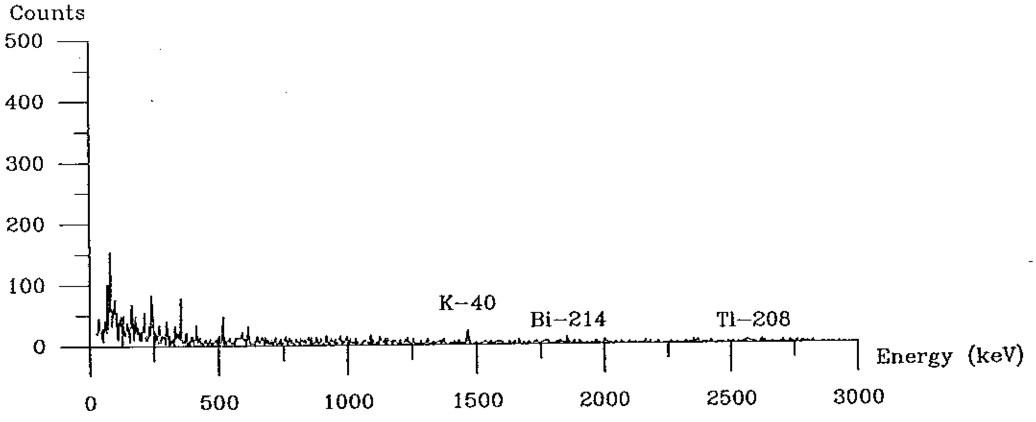
ภาพประกอบ R_13 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H1_5)



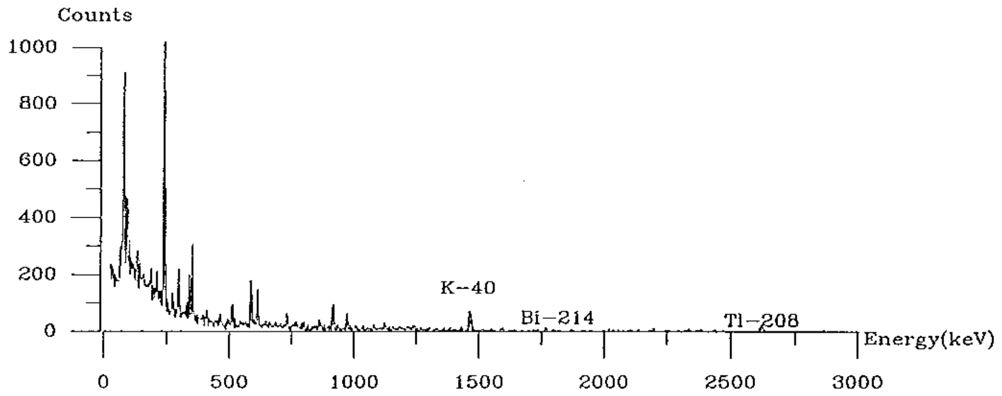
ภาพประกอบ R_14 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H1_6)



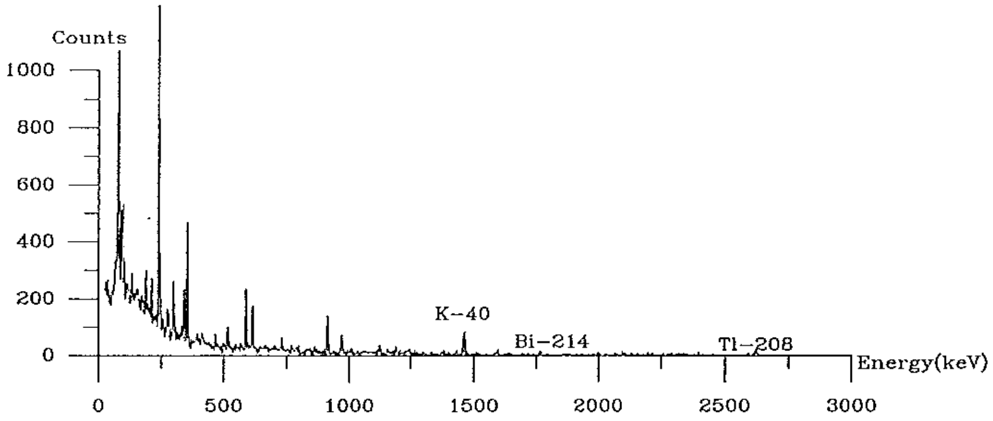
ภาพประกอบ R_15 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H16)



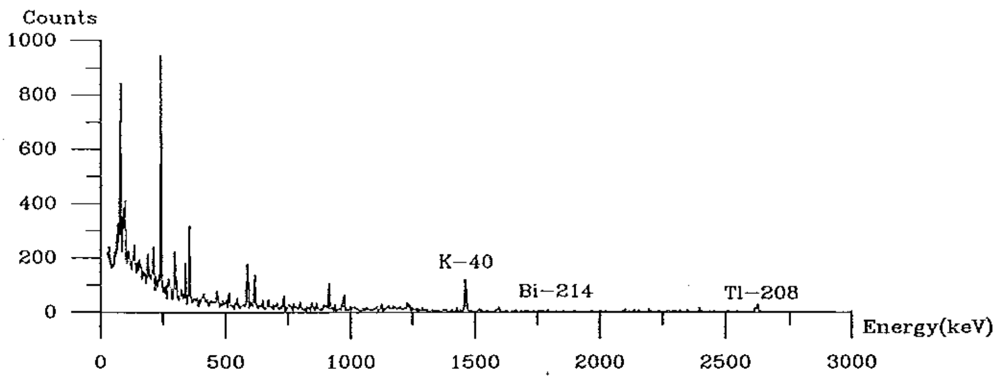
ภาพประกอบ R_16 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H004)



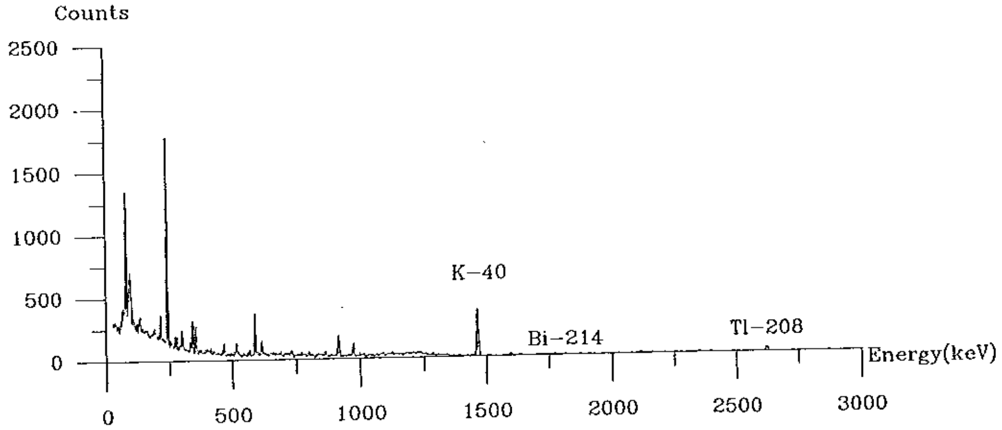
ภาพประกอบ R_17 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H329)



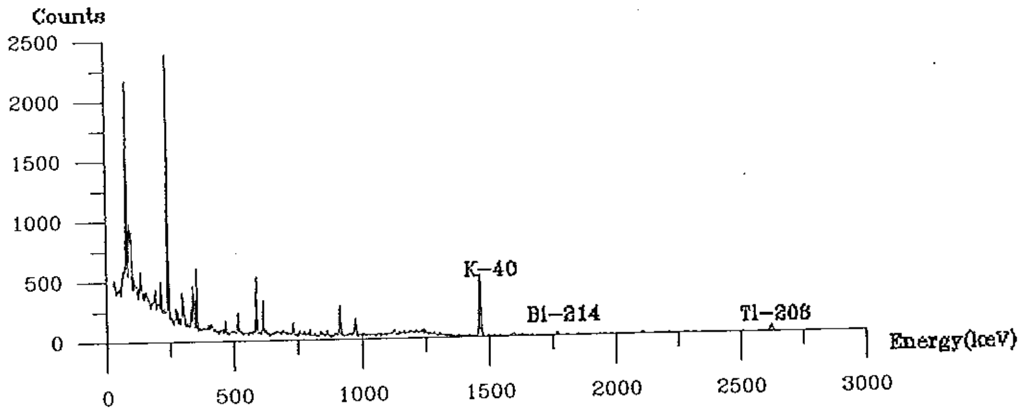
ภาพประกอบ R_18 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H331)



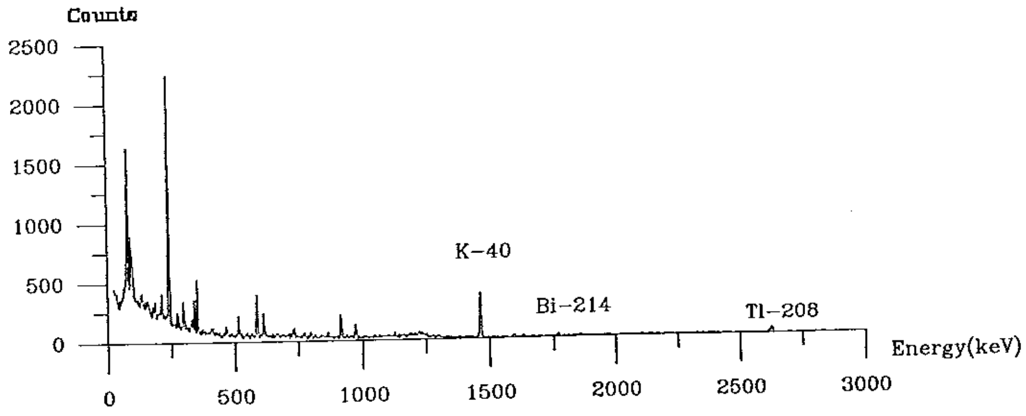
ภาพประกอบ R_19 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H09)



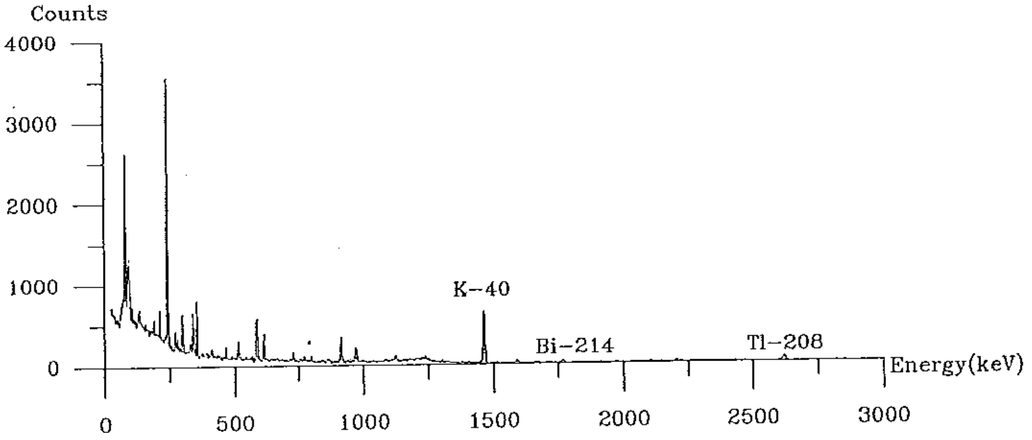
ภาพประกอบ R_20 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H10)



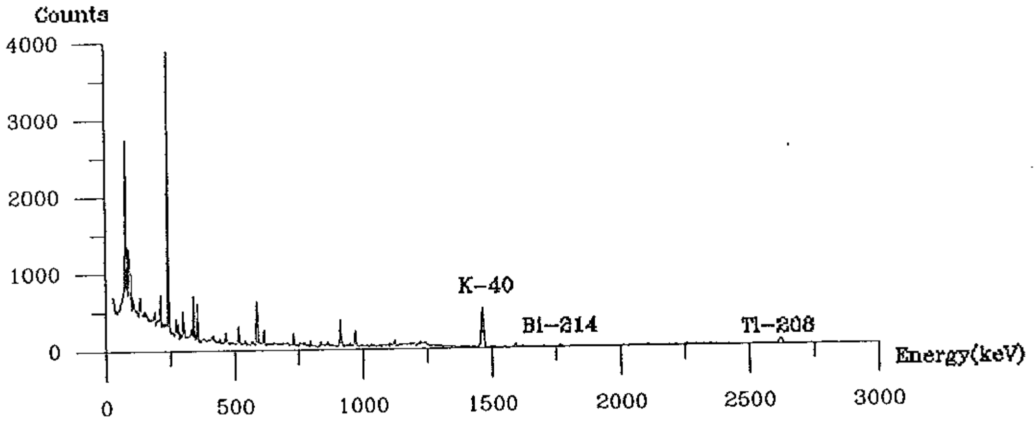
ภาพประกอบ R_21 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H12)



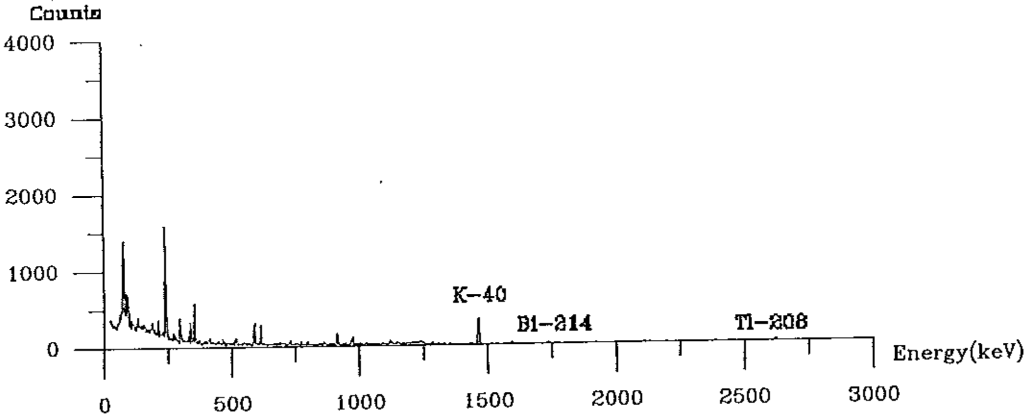
ภาพประกอบ R_22 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H001)



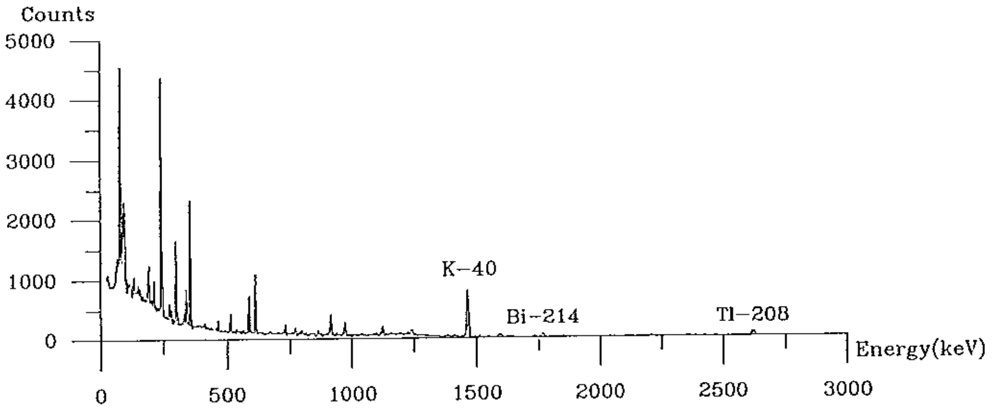
ภาพประกอบ R_23 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H003)



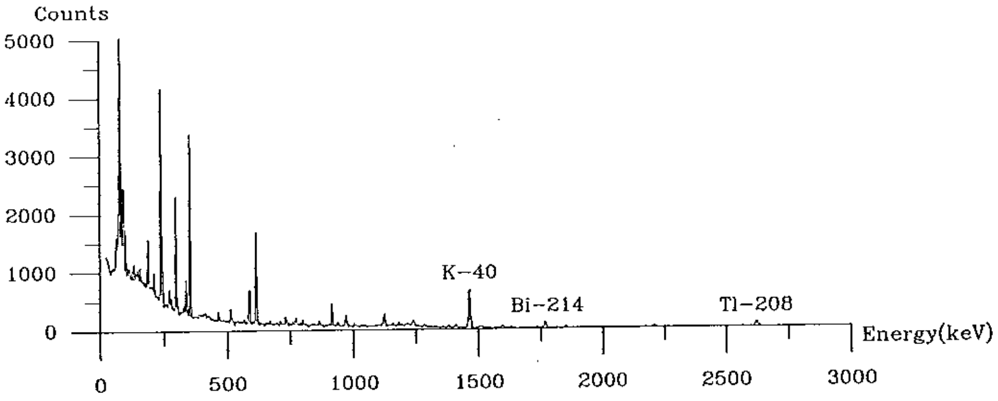
ภาพประกอบ R_24 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H14)



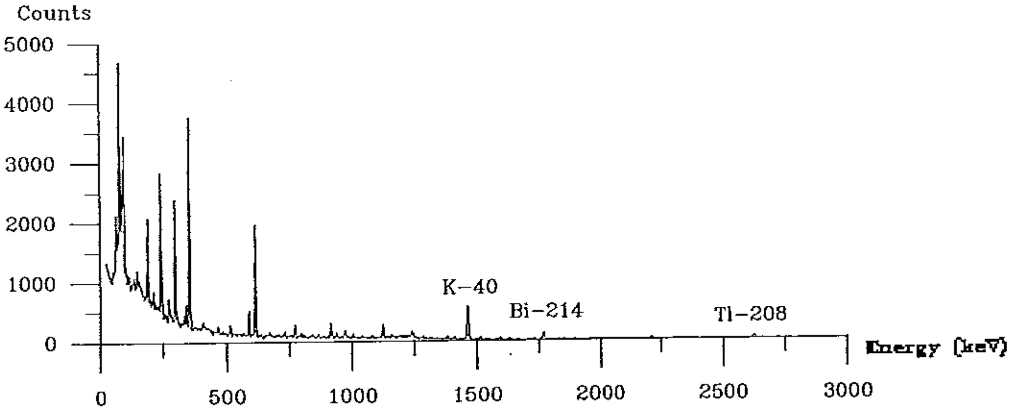
ภาพประกอบ R_25 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H04)



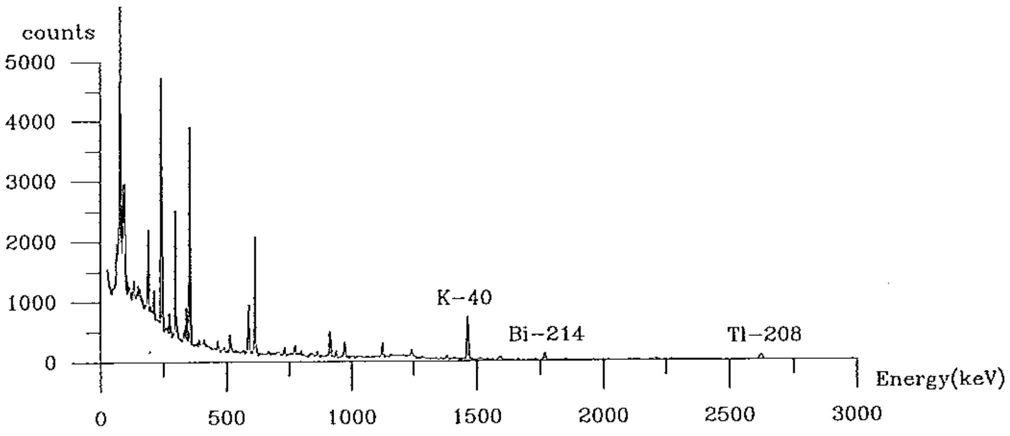
ภาพประกอบ R_26 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H05)



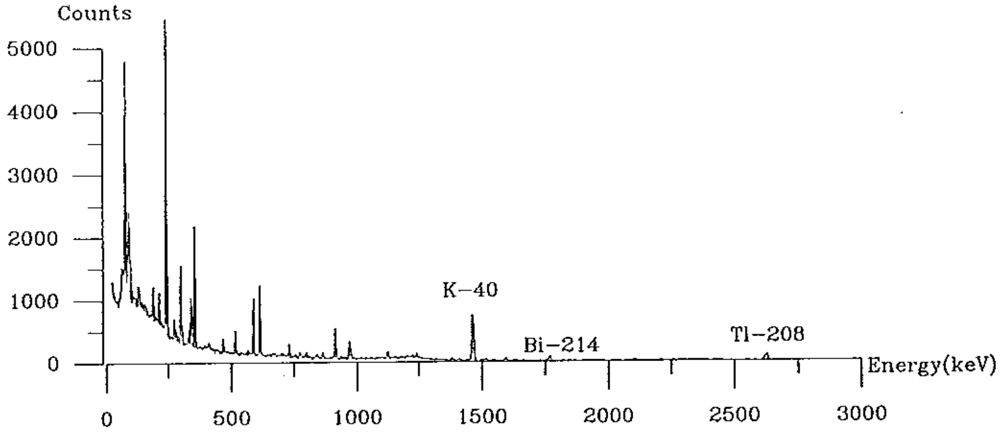
ภาพประกอบ R_27 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H17)



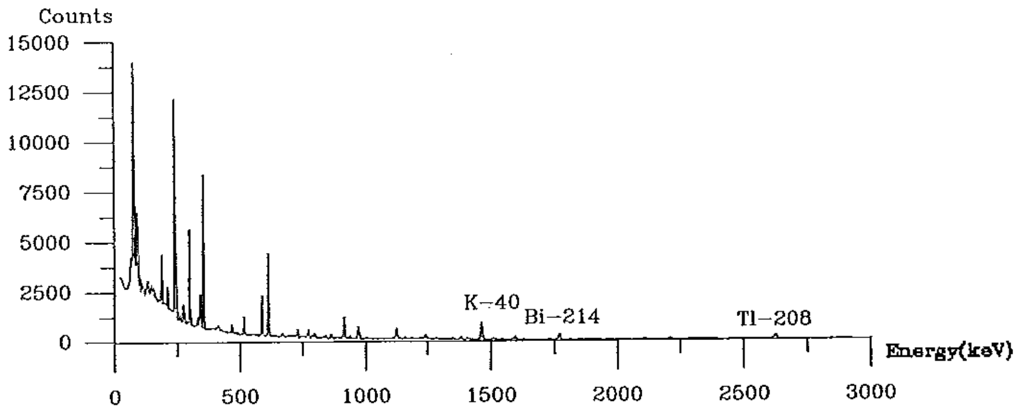
ภาพประกอบ R_28 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H07)



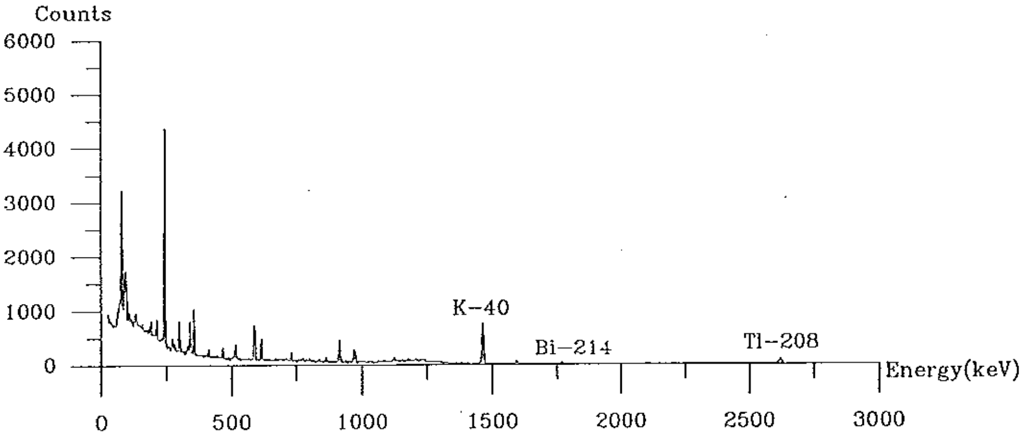
ภาพประกอบ R_29 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H15)



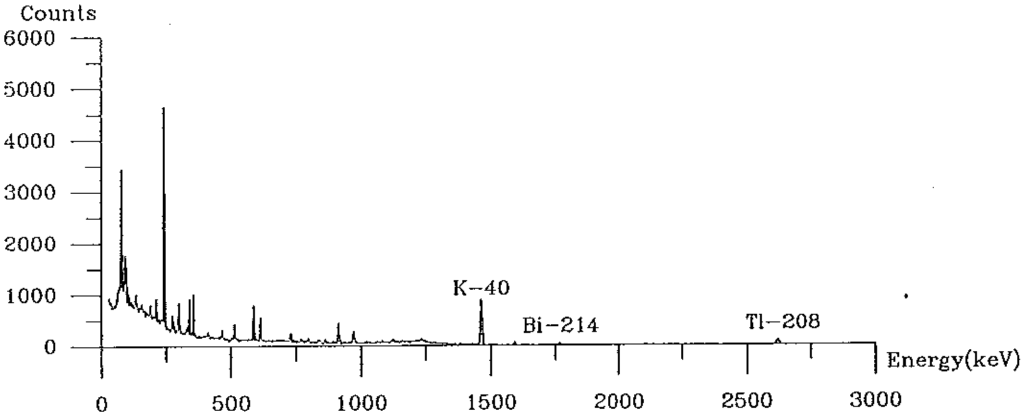
ภาพประกอบ R_30 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H13)



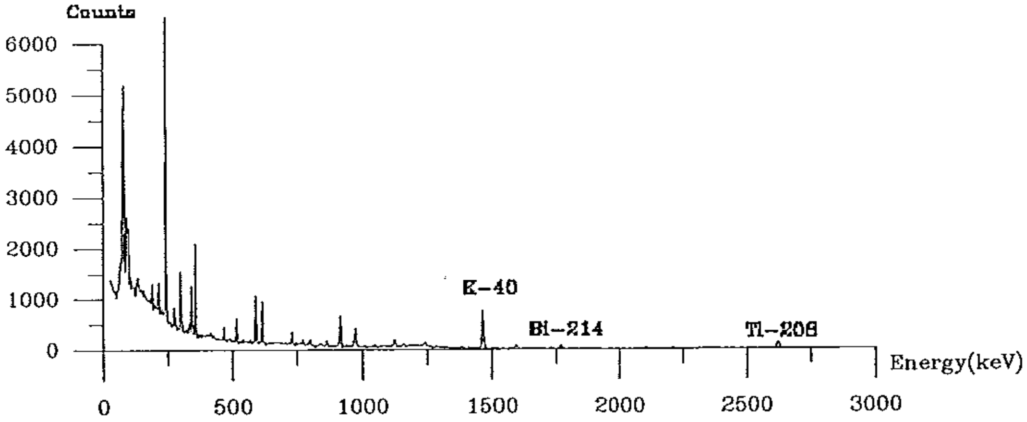
ภาพประกอบ R_31 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H1)



ภาพประกอบ R_32 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H2)



ภาพประกอบ R_33 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่าง(H305)



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายสุรศักดิ์ แก้วอ่อน

วัน เดือน ปีเกิด 11 ตุลาคม 2511

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
การศึกษาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาคใต้	2533

ทุนการศึกษา

ทุนกรมสามัญศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

อาจารย์ 1 ระดับ 3 โรงเรียนอุดมวิทยายน อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง