

การศึกษาโครงสร้างธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคในจังหวัดสงขลา พัทลุง และตรัง ด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์
A Regional Study of Geological Structure in Changwat Songkhla, Changwat Phatthalung
and Changwat Trang with Geophysical Method.

สุวิทย์ เพชรห้วยลือ
Suwit Phethuayluk

๑

เลขที่.....	QE 48. T52566	NY5 2539	ธ. 2
Bib Key.....	95418		
.....	/..... 2539		

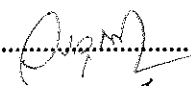
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
Master of Science Thesis in Physics
Prince of Songkla University

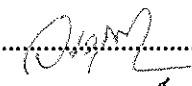
2539


ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาโครงสร้างธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคในจังหวัดสงขลา พัทลุง
และตรัง ด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์
ผู้เขียน นายสุวิทย์ เพชรห้วยลึก
สาขาวิชา ฟิสิกส์

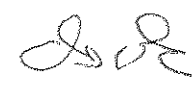
คณะกรรมการที่ปรึกษา


คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรุฒิ โลหะวิจารณ์)

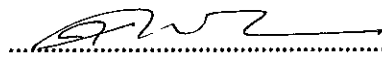
.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรุฒิ โลหะวิจารณ์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ชงชัย ฟุ้งรัมย์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ชงชัย ฟุ้งรัมย์)

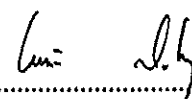
.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัช ชิตตระการ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัช ชิตตระการ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติชัย วัฒนานิก)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล อารีย์กุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

.....
(ดร.ไพรัตน์ สงวนไพร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ สงวนไพร
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่
ได้รับทราบ
บันทึกที่จดจำที่ ๒๕๒ ๒/๐
วันที่.....เดือน.....ปี ๒๕๖๒

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาโครงสร้างธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคในจังหวัดสงขลา พัทลุง และตรัง ด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์
ผู้เขียน	นายสุวิทย์ เพชรห้วยลึก
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2538

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการวัดค่าความถ่วงของโลกเชิงภูมิภาค และแปลความข้อมูลธรณีฟิสิกส์ที่ได้จากการบินสำรวจทางอากาศ ในพื้นที่ของจังหวัดสงขลา จังหวัดพัทลุง และจังหวัดตรัง หรือระหว่างละติจูด $7^{\circ}00'N - 8^{\circ}00'N$ และลองจิจูด $99^{\circ}30'E - 100^{\circ}45'E$ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดโครงสร้างธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคของพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า ค่าผิดปกติบัวร์แกร์สัมบูรณ์ที่มีค่าต่ำกว่า 140 gu จะวางตัวในแนว N15W เหนือบริเวณที่มีหิน โผล่แกรนิต และจะมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในบริเวณที่ปกคลุมด้วยตะกอนควอเทอร์นารีด้านตะวันออกและตะวันตกของแนวเทือกเขาแกรนิต ในขณะที่ข้อมูลกัมมันตรังสีที่ได้จากการบินสำรวจทางอากาศแสดงความเข้มของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล บริเวณที่เป็นหิน โผล่แกรนิตสูงกว่าบริเวณที่เป็นตะกอนควอเทอร์นารี ส่วนค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กโลกที่ได้จากการบินสำรวจทางอากาศมีค่าต่ำ และปรากฏเป็นหย่อมๆ กระจายอยู่เหนือบริเวณหิน โผล่แกรนิต

ผลจากการแปลความภาคตัดขวางความถ่วงและความเข้มสนามแม่เหล็ก ด้วยโปรแกรม Geo Vista AB-GMM สามารถสร้างแบบจำลองภาคตัดขวางโครงสร้างธรณีวิทยาให้หินแกรนิต (2600 kg/m^3) ที่วางอยู่ใต้ชั้นหินตะกอน โดยที่หินแกรนิตวางอยู่บนชั้นหินเปลือกโลก (Crustal Material) ที่มีความหนาแน่นมากกว่า (2800 kg/m^3) นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกหินแกรนิตออกเป็น 2 ส่วน คือ หินแกรนิตระดับต้นที่มีสารแม่เหล็กเป็นส่วนประกอบอยู่เล็กน้อย และหินแกรนิตระดับลึกที่ไม่มีสารแม่เหล็กเป็นส่วนประกอบอยู่เลย

Thesis Title A Regional Study of Geological Structure in Changwat Songkhla,
Changwat Phatthalung and Changwat Trang with Geophysical
Method.

Author Mr.Suwit Phethuayluk

Marjor Program Physics

Academic Year 1995

Abstract

A regional gravity measurement and airborne geophysical data interpretation were carried out in the study area of Changwat Songkhla, Changwat Phatthalung and Changwat Trang, between latitude $7^{\circ}00'N - 8^{\circ}00'N$ and longitude $99^{\circ}30'E - 100^{\circ}45'E$. The objective of the present work is to delineate geological boundaries of the study area.

Results obtained from the present work show absolute Bouguer Anomaly of less than 140 gu with N15W trending on the granitic outcrops. The anomaly gradually increases toward the east and the west which are covered by Quaternary sediments. In addition airborne geophysical data show high radioactivities K, eU and eTh on granitic outcrop than those on Quaternary sediments. However low magnetic anomaly is observed in the study area and it is difficult to directly correlate the anomaly with the geological structure.

Some selected gravity and magnetics profiles were interpreted with the Geo-Vista AB GMM program. The interpreted geological model of the profiles show that the granite (2600 kg/m^3) which is underlain the surface sedimentary rocks upon an expected crustal rocks (2800 kg/m^3). Moreover the granite comprises two parts, the upper part which contains small amount of magnetic minerals and the lower part which countains no magnetic minerals.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัย สถาบัน IPPS มหาวิทยาลัย Uppsala ประเทศสวีเดน สำหรับเครื่องมือวิจัย กรมทรัพยากรธรณี สำหรับข้อมูลการบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ พร้อมทั้งคำชี้แนะทางวิชาการ และภาควิชาเหมืองแร่และโลหะวิทยา สำหรับการอนุญาตให้ใช้เครื่องบดละเอียดหิน

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.วรุฒิ โลหะวิจารณ์ ผศ.ดร.รัช ชิตตระการ รศ.ธงชัย พึ่งรัมย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ครูสมยศ วิชชุวดีญช์ คุณแจ่ม พรหมพัฒน์ คุณเคชา ปีตรวรรณ คุณสุรศักดิ์ แก้วอ่อน และคุณเทิดทูน ทองเจิม สำหรับคำแนะนำทางวิชาการ งานภาคสนาม และงานในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คุณพีริยะลักษณ์ ธรรมศิลา สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ในการทำฉบับวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ๆ ตระกูล“เพชรห้วยลึก”ทุกคน ที่ได้โอกาส กำลังใจ และทุนการศึกษาด้วยดีตลอดมา จนกระทั่งประสบความสำเร็จในวันนี้

สุวิทย์ เพชรห้วยลึก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
Abstract.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(7)
รายการภาพประกอบ.....	(8)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
บทนำค้นเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	3
วัตถุประสงค์.....	16
2. วิธีการวิจัย.....	17
วัสดุ.....	17
อุปกรณ์.....	18
วิธีดำเนินการ.....	26
3. ผลและอภิปรายผล.....	51
4. บทวิจารณ์และสรุป.....	97
บรรณานุกรม.....	101
ภาคผนวก.....	106
ประวัติผู้เขียน.....	170

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1. ค่าที่ใช้ปรับแก้ภูมิภาคในโซน B ถึง E	28
2. ตารางบันทึกค่าปรับแก้ภูมิภาคในโซน A ถึง E	29
3. ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลความถี่และความสูงในภาคสนาม	30
4. ความเข้มข้นและน้ำหนักรวมของสารรังสีมาตรฐาน	34
5. ตัวประกอบปรับเทียบ (calibration factor) ของเกรวี่มิเตอร์แบบลาออสท์และ รอมเบิร์ก หมายเลข G-565	37
6. ตัวอย่างการปรับแก้ครีฟของความถี่	39
7. ตัวอย่างการปรับแก้ครีฟของความถี่.....	41
8. ตารางบันทึกค่าปรับแก้ภูมิภาคในโซน F ถึง J	46
9. ค่าที่ใช้ปรับแก้ภูมิภาคในโซน F ถึง J	46
10. ตัวอย่างการคำนวณค่าผิดปกติบูร์แกร์	47
11. ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวอย่างหินในพื้นที่ศึกษา	56
12. ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล ในหินแกรนิตยุคจูแรสซิก-ไทรแอสซิก	90
13. ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล ในหินทรายยุคครีเตเชียส-จูแรสซิก	91
14. ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล ในหินปูนยุคเพอร์เมียน	91
15. ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล ในหินดินดานยุคคาร์บอนิเฟอรัส	91
16. ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล ในหินดินดานเนื้อปนทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ไซลูเรียน	92
17. ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล ในหินปูนยุคออร์โดวิเชียน	92
18. ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล ในหินทรายยุคแคมเบรียน	93

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1. ตำแหน่งของพื้นที่ศึกษาวิจัย	2
2. ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาวิจัย	5
3. กราฟแสดงลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดสงขลาในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2536 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2538	6
4. แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย	9
5. แผนที่แนวการกระจายตัวของหินแกรนิตในประเทศไทย	13
6. ตำแหน่งเหมืองแร่	14
7. แกรวิตมิเตอร์แบบลาโคสท์และรอมเบิร์ก	19
8. แก้วโครงของแกรวิตมิเตอร์แบบลาโคสท์และรอมเบิร์ก	20
9. มาตรฐานระดับความสูงชนิดความดัน	22
10. แคลป์มิเตอร์ KT-5	23
11. แก้วโครงหัววัดเขามาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe)	24
12. การต่ออุปกรณ์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุกัมมันตรังสี	25
13. ตำแหน่งวัดความถ่วงและความสูง	27
14. ตัวอย่างวงรอบของการวัดค่าความถ่วงและความสูง โดยใช้เวลาวงรอบละ 2.5 ชม. 29	
15. หน้าปัทม์แคลป์มิเตอร์ KT-5	31
16. การปรับแก๊ฟรี-แอร์ของจุดวัดที่ระดับความสูง h เหนือระดับอ้างอิง	43
17. การปรับแก๊บบูร์แกร์	43
18. การปรับแก๊ภูมิประเทศ	44
19. แผนภูมิแฮมเมอร์	45
20. ตำแหน่งของตัวอย่างหิน	52
21. ความหนาแน่นตัวอย่างหินบนพื้นที่ศึกษาวิจัย	53
22. การกระจายความหนาแน่นตัวอย่างหินแต่ละชนิด	54
23. การกระจายความหนาแน่นของตัวอย่างหินแกรนิตและหินชนิดอื่นๆ	55
24. แผนที่คอนทิวรัค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ในหน่วย $g\mu$ ซ้อนทับบน แผนที่ภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาวิจัย	59

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
25. แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ในหน่วย g_u ชั้นทับบน แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย	60
26. ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินบนแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์ สัมบูรณ์ ที่ชั้นทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย	61
27. ภาคตัดขวางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัยในแนว AB และ CD	62
28. แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลก(Survey B&C) ชั้นทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย	63
29. ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กชั้นทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	64
30. ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กบนแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก รวมของโลก ที่ชั้นทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย	65
31. แนวภาคตัดขวางชั้นทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย	68
32. พื้นที่ศึกษาวิจัยของ Evan and Crompton. (1946)	69
33. ภาคตัดขวางทางธรณีวิทยาและภาคตัดขวางความถ่วงตามแนวละติจูด 24° ของ Evan and Crompton. (1946)	70
34. แบบจำลองภาคตัดขวางในแนว A1-B1	72
35. แบบจำลองภาคตัดขวางในแนว A2-B2	75
36. แบบจำลองภาคตัดขวางในแนว A3-B3	76
37. แบบจำลองภาคตัดขวางในแนว A4-B4	77
38. แบบจำลองภาคตัดขวางในแนว A5-B5	79
39. คอนทัวร์ความลึกของแกรนิตระดับต้นชั้นทับบนแผนที่ธรณีวิทยา ของพื้นที่ศึกษาวิจัย	81
40. คอนทัวร์ความลึกของแกรนิตระดับลึกชั้นทับบนแผนที่ธรณีวิทยา ของพื้นที่ศึกษาวิจัย	82
41. แผนที่คอนทัวร์โพแทสเซียม(K) ในหน่วย % ชั้นทับบนแผนที่ธรณีวิทยา ของพื้นที่ศึกษาวิจัย	84

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
42. แผนที่คอนทัวร์ยูเรเนียมสมมูล(eU) ในหน่วย ppm ซ้อนทับบนแผนที่ ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย	85
43. แผนที่คอนทัวร์ทอเรียมสมมูล(eTh) ในหน่วย ppm ซ้อนทับบนแผนที่ ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย	86
44. แผนที่คอนทัวร์โพแทสเซียม(K) ที่มีค่าสูง (มากกว่า 1.2 %) ซ้อนทับบน แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย	87
45. แผนที่คอนทัวร์ยูเรเนียมสมมูล(eU) ที่มีค่าสูง (มากกว่า 5 ppm) ซ้อนทับบน แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย	88
46. แผนที่คอนทัวร์ทอเรียมสมมูล(eTh) ที่มีค่าสูง (มากกว่า 16 ppm) ซ้อนทับบน แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย	89
47. ความเข้มข้นของ K ในตัวอย่างหินจากการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์ รังสีแกมมา บนแผนที่คอนทัวร์ K ที่ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยา	94
48. ความเข้มข้นของ eU ในตัวอย่างหินจากการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์ รังสีแกมมา บนแผนที่คอนทัวร์ eU ที่ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยา	95
49. ความเข้มข้นของ eTh ในตัวอย่างหินจากการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์ รังสีแกมมา บนแผนที่คอนทัวร์ eTh ที่ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยา	96

บทที่ 1

บทนำ

จังหวัดสงขลาและจังหวัดใกล้เคียงในภูมิภาคนี้มีการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมอย่างรวดเร็ว จึงมีหน่วยงานของรัฐและเอกชนจำนวนมากทำการศึกษาค้นคว้า วิจัย และสำรวจ เพื่อที่จะรองรับโครงการต่างๆที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เช่น โครงการสามเหลี่ยมเศรษฐกิจ เป็นต้น ดังนั้นทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ในภูมิภาคนี้ จึงมีความสำคัญที่จะถูกนำมาใช้ในการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมดังกล่าว

ทรัพยากรแหล่งแร่ที่เป็นทรัพยากรธรรมชาติชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคม เนื่องจากหินแกรนิตในภูมิภาคนี้เป็นหินก่อกำเนิดแหล่งแร่โลหะ โดยเฉพาะแร่ดีบุก เป็นแหล่งที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ดังนั้นการศึกษาและสำรวจโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคที่เกี่ยวกับหินแกรนิตจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง อันจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่เป็นประโยชน์ในการพิจารณาและวางแผนในการพัฒนาอย่างสอดคล้องและให้ได้ผลอย่างเต็มที่ในอนาคต

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้วิธีธรณีฟิสิกส์ด้านความถ่วง (อาศัยความแตกต่างของค่าความหนาแน่น) เป็นหลัก และมีการแปลความสนามแม่เหล็กและกัมมันตภาพรังสี เพื่อตรวจสอบยืนยันซึ่งกันและกัน

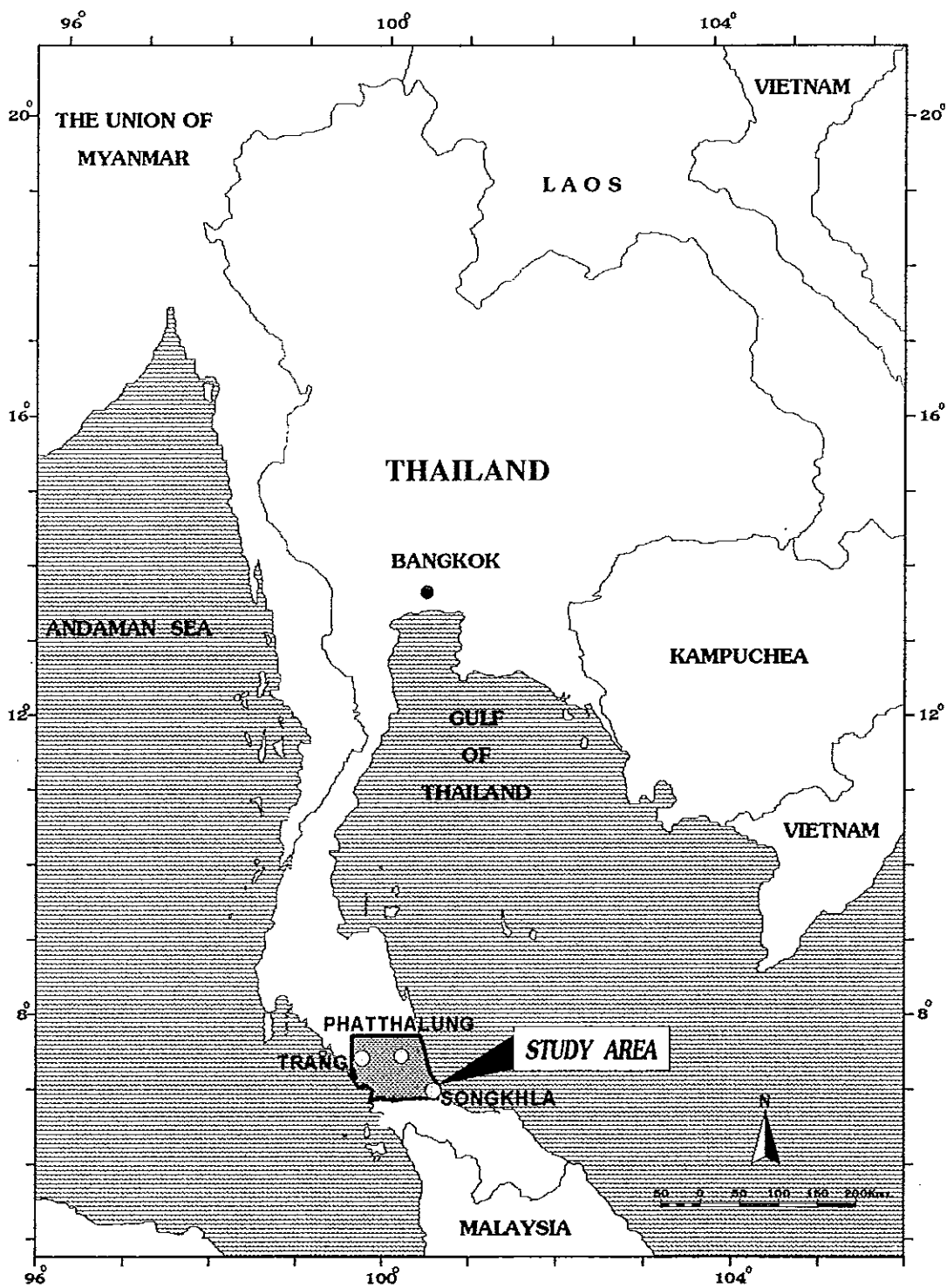
บทนำด้านเรื่อง

พื้นที่ที่ทำการศึกษาอยู่บนคาบสมุทรไทยครอบคลุมจังหวัดสงขลา พัทลุง และตรัง หรือระหว่างละติจูด $7^{\circ}00'N-8^{\circ}00'N$ ($774000N-884000N$) และลองจิจูด $99^{\circ}30'E-100^{\circ}45'E$ ($555000E-687000E$) รวมพื้นที่ประมาณ 8,000 ตารางกิโลเมตร ไม่รวมพื้นที่ที่เป็นทะเลอันดามันและอ่าวไทย (ภาพประกอบ 1)

ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ

1. ส่วนตะวันออก เป็นที่ราบชายฝั่งติดกับอ่าวไทยและทอดตัวยาวนานกับชายฝั่งและปิดกั้นทะเลสาบสงขลา ทะเลหลวง และทะเลน้อย จนถึงที่ราบเชิงเขาค้านตะวันออกของเทือกเขาบรรทัด ประกอบด้วยพื้นที่ของจังหวัดสงขลา จังหวัดพัทลุง และอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช รวมพื้นที่ประมาณ 2,500 ตารางกิโลเมตร

ภาพประกอบ 1 ตำแหน่งของพื้นที่ศึกษาวิจัย



2. ส่วนตะวันตก เป็นที่ราบชายฝั่งติดกับทะเลอันดามัน จนถึงที่ราบเชิงเขาค้านตะวันตกของเทือกเขาบรรทัด เป็นพื้นที่ของจังหวัดตรัง รวมพื้นที่ประมาณ 2,500 ตารางกิโลเมตร

3. ส่วนกลาง เป็นแนวเทือกเขาบรรทัดที่วางตัวในทิศเหนือเฉียงตะวันตก (N15W) มียอดสูงสุดประมาณ 1,200 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 3,000 ตารางกิโลเมตร (ภาพประกอบ 2)

จากข้อมูลของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออกตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2536 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2538 แสดงว่าลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดสงขลาโดยทั่วไปอยู่ในเขตร้อนชื้นและมีเพียง 2 ฤดูเท่านั้น คือฤดูร้อนตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนกรกฎาคม มีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดจากทะเลอันดามันผ่านไปยังอ่าวไทย ทำให้ภูมิอากาศแห้งแล้ง อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 28.1 องศาเซลเซียส ในเดือนเมษายนซึ่งร้อนจัดที่สุดจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 28.6 องศาเซลเซียส และฤดูฝนตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงเดือนมกราคม มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 262.48 มิลลิเมตรต่อเดือน มีลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้พัดผ่าน โดยได้นำไอน้ำเข้ามาด้วยเป็นปริมาณมากและตลอดเวลา ทำให้มีฝนตกและตกชุกในเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม และค่อยๆ น้อยลงในเดือนมกราคม ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 441.45 มิลลิเมตรต่อเดือน อุณหภูมิลดลงเหลือโดยเฉลี่ย 26.9 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์สูงประมาณ 82.76 เปอร์เซ็นต์ (ภาพประกอบ 3)

การตรวจเอกสาร

แสงอาทิตย์ เชื้อวิโรจน์ (2534) ได้กล่าวว่า ธรณีวิทยาของประเทศไทยประกอบด้วย หินฐานธรณีจานไทยและหินฐานธรณีอินโดไชนาสองทวีป (Shan-Thai and Indochina Cratons) เชื่อมต่อกันที่รอยต่อแนวน (Nan Suture) วิวัฒนาการของธรณีวิทยาแปรสัณฐาน (Tectonic revolution) มีประวัติตั้งแต่มหายุคพรีแคมเบรียนถึงพาลีโอโซอิกตอนต้นที่ สลับซับซ้อน โดยหินฐานธรณีทั้งสองนี้ยังเป็นส่วนหนึ่งของทวีปออสเตรเลียกอนด์วานาที่อยู่ทางซีกโลกใต้ (Gondwana Australia) ต่อมาในช่วงมหายุคพาลีโอโซอิกตอนกลางถึงยุค ไทรแอสซิกตอนต้น หินฐานธรณีจานไทยและหินฐานธรณีอินโดไชนาจะเริ่มแยกออกจากแผ่นดินกอนด์วานาพร้อมกับเคลื่อนตัวลอยจากช่วงล่างของซีกโลกใต้ ไปยังช่วงล่างของ

ซีกโลกเหนือในทะเลที่มหาสมุทรพาเลโอโซอิก (Paleotethys) จากหลักฐานและข้อมูลทางภาวะแม่เหล็กบรรพกาล (Paleomagnetic) และบรรพชีวินวิทยา (Paleontology) ซึ่งสันนิษฐานว่า หินฐานธรณีฐานไทยเคลื่อนตัวลอยไปทางทิศเหนือพร้อมกับหมุนรอบตัวเองตามเข็มนาฬิกา 180 องศา ในแนวระนาบระหว่างช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้นถึงยุคไทรแอสซิกตอนต้น ต่อมาในยุคไทรแอสซิกตอนกลาง หินฐานธรณีฐานไทยจะเริ่มเชื่อมต่อกับหินฐานธรณีอินโดจีนมาพร้อมๆ กันกับการเชื่อมต่อกับหินธรณีจีนตอนใต้ จนทำให้ขอบของหินฐานธรณีอินโดจีนมาผูกตัวเข้าไปอยู่ใต้หินฐานธรณีฐานไทย

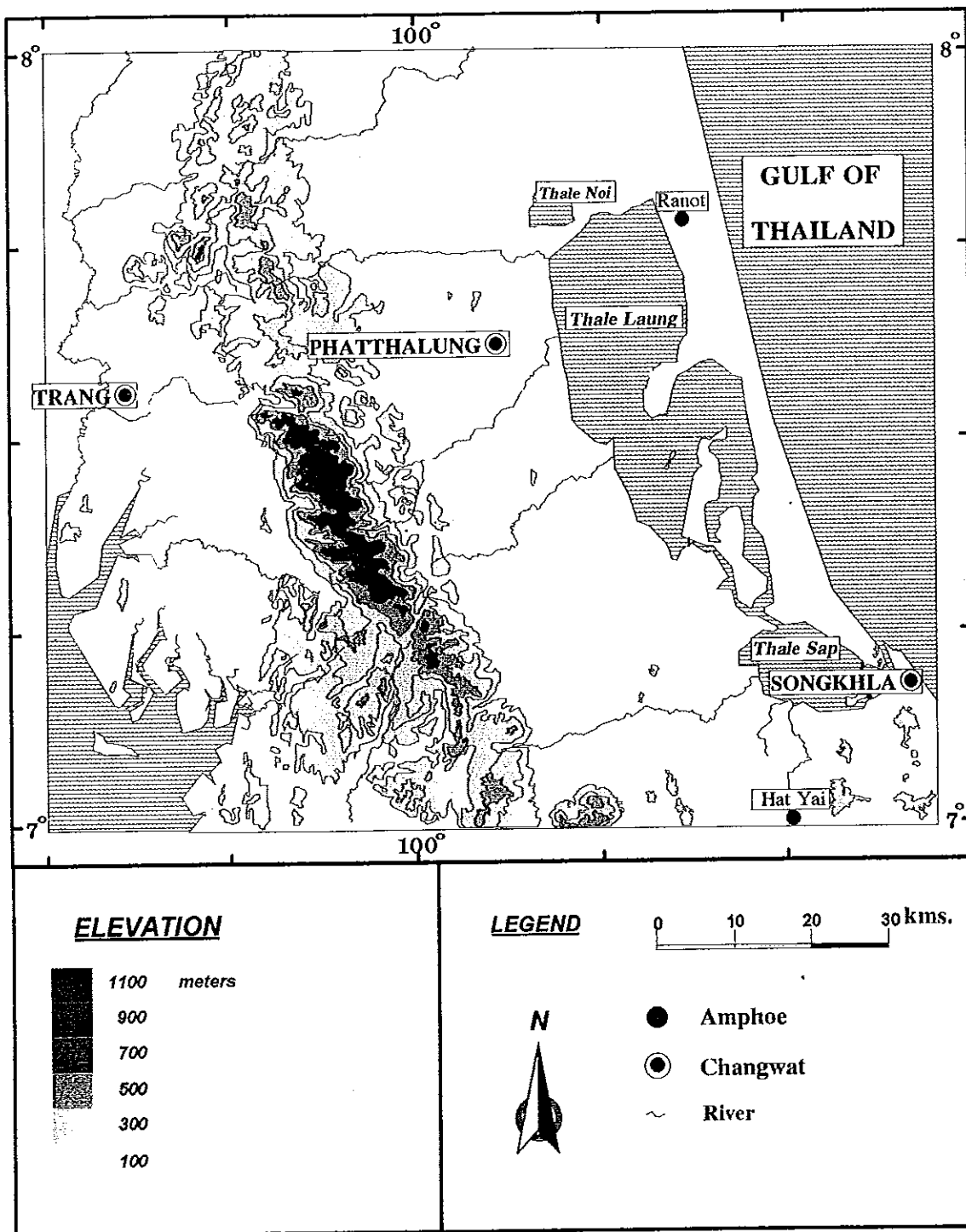
ผลจากการปะทะกันจะทำให้เกิดเทือกเขาตามรอยต่อระหว่างสองทวีป โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอบของหินฐานธรณีฐานไทยที่ถูกคั้นจนเกิดรอยเลื่อนย้อนกลับมุมต่ำ (thrust fault) ในขณะเดียวกันหินแกรนิตจะแทรกตัวค้ำขึ้นมาสูงในชั้นหินของเปลือกโลก

Bunopas (1982) ได้รายงานว่าคาบสมุทรไทยมีรูปร่างแคบมีความยาวประมาณ 1,000 กิโลเมตร จากคอคอดกระและเชื่อมต่อกับคาบสมุทรมาเลเซีย ซึ่งจากการศึกษาทางด้านธรณีวิทยาของประเทศไทยในระหว่างปี 2483-2494 พบว่ามวลหินอัคนีมวลไพศาล (batholiths) ปรากฏอยู่ทางบริเวณภูเขาทางตะวันตกและคาบสมุทรไทย และลำหินอัคนี (stock) ปรากฏอยู่ทางตอนเหนือและตอนกลางของไทย และอ่าวไทยด้านตะวันออก

จงพันธ์ จงลักษณ์ (2518) ได้รายงานถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยาบริเวณอ่าวไทยว่า โครงสร้างเป็นกราเบน (graben) ใหญ่ รอยเลื่อนบางแห่งมีขนาดใหญ่ประมาณ 10,000 ฟุต ซึ่งประกอบด้วยหินตะกอนหนา (มหายุคมีโซโซอิก-พาเลโอโซอิก) ในระหว่างยุคเทอร์เชียรีบริเวณดังกล่าวจะเลื่อนตัวลงมาและเป็นแหล่งรับตะกอนจากบริเวณรอบๆ ที่ยกตัวขึ้นสูง และจากการเจาะสำรวจพบว่ามีตะกอนยุคเทอร์เชียรีสะสมตัวอยู่หนาไม่น้อยกว่า 4000 เมตร ดังนั้นในบริเวณอ่าวไทยจึงมีโอกาสที่เป็นแหล่งน้ำมันและแก๊ส

ส่วนบริเวณทะเลอันดามัน เป็นทะเลกึ่งปิดตัวอยู่ระหว่างมวลทวีปและแนวภูเขาไฟที่ดับแล้วติดกับมหาสมุทรอินเดีย ขอบเขตของเพลท (plate) หรือแนวขนานกับหมู่เกาะโคังซุนดา ต่อขึ้นทางเหนือผ่านตรงหมู่เกาะโคังอันดามัน นิโคบาร์ บริเวณชายฝั่งของไหล่ทวีปนี้มีตะกอนของหินไมโอซีนโอลิโกซีน ไคโนซีน ยุคเทอร์เชียรี สะสมตัวบางๆ และมีความหนามากขึ้นเมื่อเข้าสู่ทะเล ซึ่งวางตัวอยู่บนหินพาเลโอโซอิกที่มีหินแกรนิตแทรกค้ำ จากการสำรวจที่ผ่านมา คาดว่าตะกอนเทอร์เชียรีจะหนาขึ้นอย่างมากตรงบริเวณใกล้ขอบไหล่ทวีป ถ้าเป็นจริงดังนี้ โอกาสที่จะพบแหล่งน้ำมันและแก๊สก็มีมากในส่วนลึกของบริเวณดังกล่าว

ภาพประกอบ 2 ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาวิจัย
(ที่มา : กรมแผนที่ทหาร, 2529)



ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดสงขลาในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2536

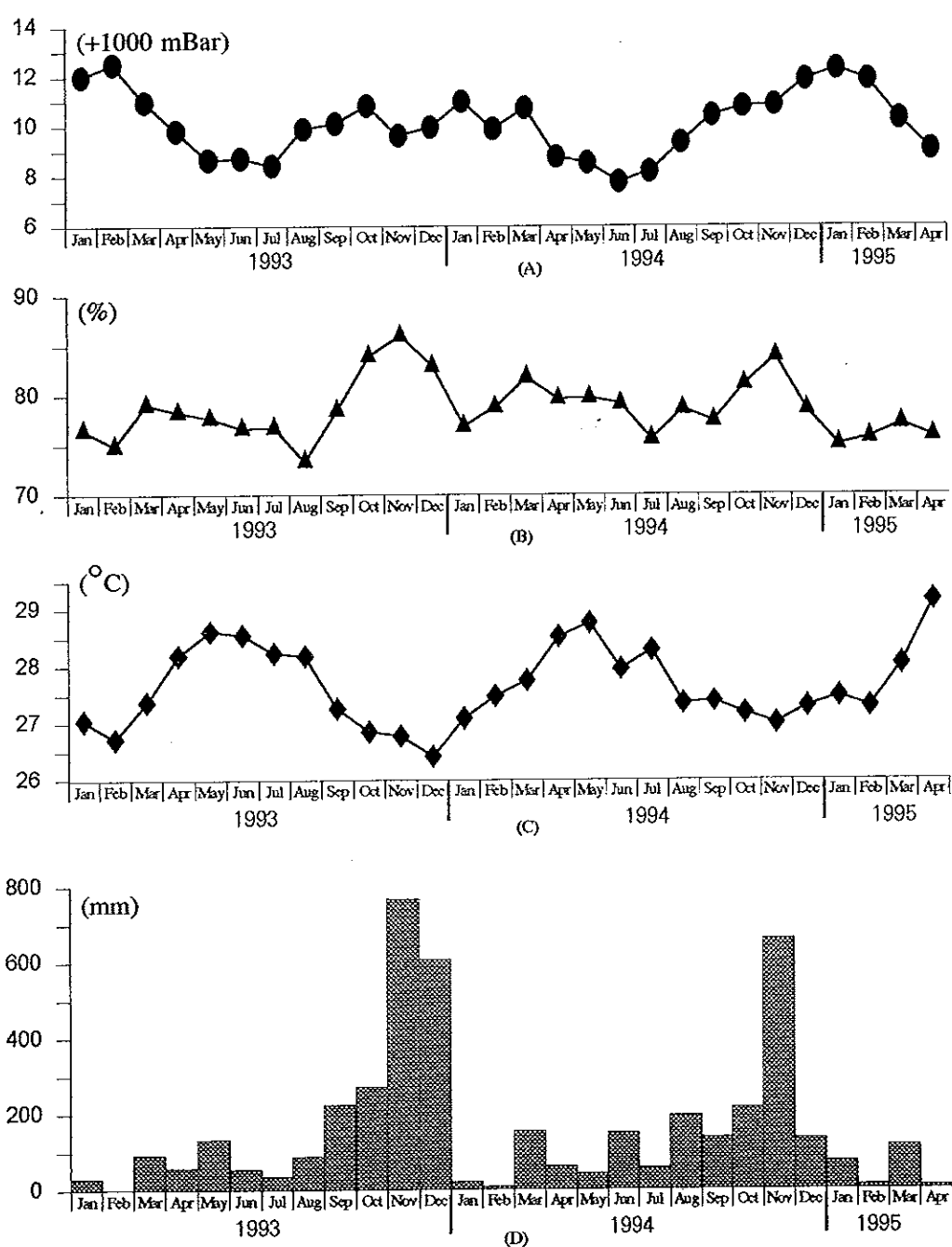
ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2538

(A) แสดงค่าความกดอากาศเฉลี่ยต่อเดือน

(B) แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อเดือน

(C) แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยต่อเดือน

(D) แสดงปริมาณน้ำฝนรวมต่อเดือน



Sawata and Maneeprapun. (1983) ได้รายงานว่ จากการศึกษาธรณีวิทยาควอเทอร์นารีในบริเวณภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย โดยพบว่าแอ่งกราเบนวางตัวยาวในแนวเหนือ-ใต้ อยู่ระหว่างลองจิจูดที่ $100^{\circ}15'E$ และ $100^{\circ}30'E$ ตั้งแต่ชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของจังหวัดนครศรีธรรมราช ลงมาถึงชายแดนไทย-มาเลเซีย ส่วนเทือกเขาและแอ่งขนาดเล็กที่อยู่ถัดไปทางตะวันออกมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบฮอร์สต์ (horst) โครงสร้างกราเบนและฮอร์สต์นี้อาจเป็นส่วนที่ต่อเนื่องลงมาทางใต้ของโครงสร้างธรณีวิทยาในอ่าวไทยซึ่งมีแนวรอยเลื่อนพาดผ่านและเป็นแหล่งกักเก็บน้ำมันปิโตรเลียมและแก๊สธรรมชาติ ส่วนที่เป็นกราเบนนี้มีตะกอนควอเทอร์นารีปกคลุมอยู่หนามากกว่า 200 เมตร ในบริเวณอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ส่วนที่เป็นโครงสร้างฮอร์สต์มีชั้นตะกอนอายุอ่อนค่อนข้างบางปกคลุมอยู่บนฐานรากซึ่งเป็นหินแกรนิต และบางส่วนอาจเป็นหินยุคพาธีโอโซอิกตอนปลาย และยุคมีโซโซอิก

จากข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยาระวางจังหวัดสงขลา (NB 47-3) มาตราส่วน 1:250000 ของกรมทรัพยากรธรณี (2528) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ศึกษาประกอบกับข้อมูลของ ธงชัย พึ่งรัศมี (2532) แสดงว่าพื้นที่ศึกษาจะพบหินที่มีอายุตั้งแต่ยุคแคมเบรียนถึงตะกอนควอเทอร์นารี หินที่พบมากเป็นหินอัคนี คือหินแกรนิตยุคจูแรสซิก-ไทรแอสซิก และตะกอนควอเทอร์นารี สามารถจัดลำดับจากอายุแก่ไปอายุอ่อนได้ดังนี้

หินยุคแคมเบรียน (570-500 ล้านปี) อยู่ในกลุ่มหินตะรุเตา เป็นหินควอร์ตไซต์ มีสีน้ำตาลแกมเหลือง สีน้ำตาลแกมเขียวถึงสีน้ำตาลเข้ม ส่วนหินดินดานและหินทรายมีสีน้ำตาลแกมแดงถึงสีแดงแกมม่วงแทรกสลับ มีไมกาปน พบในบริเวณรอยต่อระหว่างอำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา กับอำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล และทางด้านตะวันตกของอำเภอกงหรา จังหวัดพัทลุง

หินยุคออร์โดวิเซียน (500-435 ล้านปี) อยู่ในกลุ่มหินทุ่งสง เป็นหินปูนเนื้อป่นดิน และหินปูน มีสีเทาแกมน้ำตาล สีเทาถึงสีเทาเข้ม ชั้นหินบางจนถึงชั้นหนามาก บางแห่งมีหินปูนเนื้อโคลโลไมต์ พบในบริเวณอำเภอทุ่งหว้า จังหวัดสตูล อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง อำเภอกงหรา และอำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง

หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ดีโวเนียน-ไซลูเรียน (345-435 ล้านปี) อยู่ในกลุ่มหินตะนาวศรี เป็นหินทราย หินทรายแข็ง หินดินดาน หินดินดานเนื้อป่นทราย หินโคลนเนื้อป่นซิลิกา มีสีน้ำตาลแกมเหลือง สีน้ำตาลแกมเขียว สีน้ำตาลแกมเทา สีเทาแกมเขียวถึงเทาเข้ม มีซากแทนตะกูลไลต์ สไตลิโอไลนา ไทรโลไบต์ ไบรโอซัว และแบรคิโอพอด พบในบริเวณอำเภอทุ่งหว้า จังหวัดสตูล อำเภอย่านตาขาว อำเภอกันตัง อำเภอเมืองตรัง จังหวัดตรัง อำเภอควนขนุนและอำเภอกงหรา จังหวัดพัทลุง

หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส (345-280 ล้านปี) เป็นหินควอร์ตไซต์ หินทรายเนื้อควอร์ตซ์ หินเชิร์ต เป็นชั้นหินดินดาน หินดินดานเนื้อปนทราย หินดินดานเนื้อปนซิลิกา และหินทรายแป้ง มีสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลแกมเหลือง สีขาวแกมเทา สีเทาถึงเทาเข้ม สีน้ำตาลแดง สีแดงแกมม่วงถึงแดงเข้ม มีหินเชิร์ตเป็นกระเปาะและซากแบรคิโอพอด ฟอสซิลพอด ไทรโลไบต์ บางแห่งจะมีหินดินดานเนื้อฟิลิติกแสดงลักษณะเป็นเม็ด หินชนวนและหินฮอร์นเฟลส์ พบในบริเวณตะวันตกของอำเภอสะเดา อำเภอหาดใหญ่ อำเภอรัตนภูมิ จังหวัดสงขลา อำเภอตะโหมด และอำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง

หินยุคเพอร์เมียน (280-230 ล้านปี) อยู่ในกลุ่มหินราชบุรี เป็นหินปูน หินโดโลไมต์ เนื้อปูนและโดโลไมต์ มีสีเทาอ่อนถึงเทาเข้ม สีเทาแกมน้ำตาลและสีเทาแกมแดง ชั้นหินบางถึงหนามาก มีสายแร่แคลไซต์และหินเชิร์ต เป็นกระเปาะขนาดเล็กแทรก มีซากแบรคิโอพอด ไบรโอซัว และไครนอยด์ พบในบริเวณอำเภอเมืองพัทลุง อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง อำเภอรัตนภูมิ จังหวัดสงขลา อำเภอเมืองตรัง และอำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง

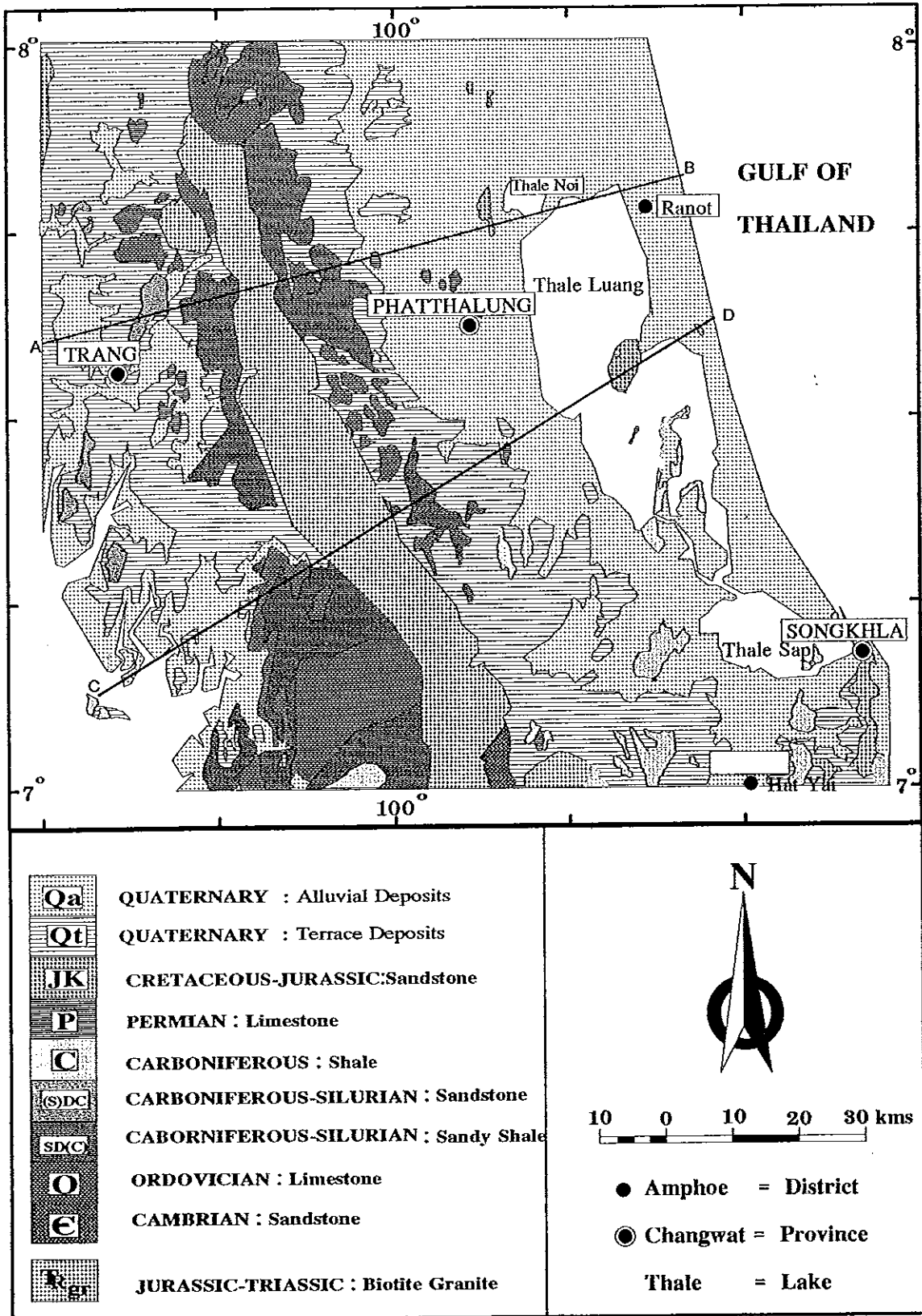
หินยุคไทรแอสซิก (230-180 ล้านปี) อยู่ในกลุ่มหินลำปาง เป็นหินโดโลไมต์เนื้อปนแคลไซต์ และหินทราย มีสีเทาแกมแดง สีเทาแกมเขียวถึงสีเทาแกมน้ำตาล ชั้นหินบางถึงหนามาก มีซากแอมโมไนต์ มีหินดินดานแทรกสลับบ้าง และบางแห่งพบหินโดโลไมต์แตกเป็นเหลี่ยม พบบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช

หินยุคครีเทเชียส-จูแรสซิก (70-180 ล้านปี) เป็นหินกรวดมน หินทรายเนื้อปนกรวด หินทรายเนื้อควอร์ตซ์ หินทรายและหินทรายแป้ง มีสีขาว สีขาวแกมเหลือง สีน้ำตาลแกมเหลือง สีแดงแกมม่วงถึงแดงเข้ม มีรอยชั้นขวางและชั้นหินเรียงขนาดมีหินดินดานแทรกสลับอยู่บ้าง พบในบริเวณตะวันออกของอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช ตะวันออกของอำเภอกวนขนุน จังหวัดพัทลุง และตอนล่างของอำเภอกระแสสินธุ์ จังหวัดสงขลา

ตะกอนยุคควอเทอร์นารี (1.8 ล้านปี-ปัจจุบัน) เป็นตะกอนน้ำพัดพาและตะกอนลุ่มน้ำ มีพวกกรวด ทราย ทรายแป้ง ดินแดง และทรายชายหาด พบอยู่โดยทั่วไปของพื้นที่ศึกษา ยกเว้นบริเวณที่มีหินยุคอื่นและทะเลสาบ

ส่วนหินอัคนี เป็นหินอัคนีแทรกซอน อยู่ในยุคจูแรสซิก-ไทรแอสซิก (141-230 ล้านปี) เป็นหินไบโอไทต์แกรนิต หินทิวร์มาลีนแกรนิต หินแกรนิตเนื้อดอกและสายแร่ควอร์ตซ์ พบอยู่ในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา คือแกนของเทือกเขากระช่อง (เขตจังหวัดสตูล สงขลา พัทลุง ตรัง) อยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เทือกเขาแก้ว (เขตจังหวัดสตูล สงขลา) อยู่ในแนวเหนือ-ใต้ และตอนล่างของอำเภอเมืองสงขลา (ภาพประกอบ 4)

ภาพประกอบ 4 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย
 (ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี, 2528)



ปัญญา จารุศิริ และคณะ (2534) ได้กล่าวว่หินแกรนิตในประเทศไทยเป็นส่วนหนึ่งของแนวหินแกรนิตที่พาดผ่านภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งมีความยาวประมาณ 2,500 กิโลเมตร และมีขนาดความกว้างประมาณ 600 กิโลเมตร แนวหินแกรนิตแถบภูมิภาคนี้เป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นแนวหรือถิ่นกำเนิดแหล่งแร่โลหะที่ใหญ่ที่สุด และสำคัญที่สุดแห่งหนึ่งของโลก ได้มีการประมาณว่าแร่ดีบุกที่ผลิตได้จากภูมิภาคนี้มีประมาณสามในสี่ของการผลิตจากทั้งโลก

สำหรับแนวหินแกรนิตของประเทศไทยและของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 แนวย่อยด้วยกัน คือ แนวตะวันตก แนวตะวันออก และแนวกลาง โดยถือเอาความแตกต่างในเรื่องสภาวะแวดล้อมทางธรณีวิทยา ลักษณะสภาพหินแกรนิต และอายุหินแกรนิต เป็นเกณฑ์ในการแบ่ง (ภาพประกอบ 5)

แนวหินแกรนิตตะวันออก เริ่มต้นจากเกาะบิลิตันประเทศอินโดนีเซีย ผ่านทางตะวันออกของประเทศมาเลเซียไปยังภาคตะวันออกของประเทศไทย ขนานไปตามขอบของที่ราบสูงโคราช แล้วไปสิ้นสุดที่ลาวและทางตอนใต้ของประเทศจีน หินแกรนิตแนวนี้แทรกซอนขึ้นมาในหินตะกอนและหินตะกอนภูเขาไฟที่มีอายุในช่วงมหายุคพาลีโอโซอิกตอนต้น การแทรกซอนนี้เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการระเบิดของภูเขาไฟในช่วงอายุคาร์บอนิเฟอรัสถึงไทรแอสซิกบริเวณที่มีหินแกรนิตแนวนี้อยู่ได้แก่จังหวัดตาก แพร่ น่าน ลำปาง เลย จันทบุรี และนราธิวาส หินแกรนิตแนวนี้มักแสดงการเปลี่ยนแปลงของหินเป็นแนวๆ (Zones) มีตั้งแต่หินแกรนิต "จริงๆ" (True granites) ซึ่งมักอยู่ส่วนกลางของมวลหินอัคนีระดับลึก (Plutons) ไปจนถึงพวกที่มีแร่แมฟิก (Mafic) มากกว่า ซึ่งอยู่ติดกับขอบของมวลหิน เช่น หินควอร์ตซ์ไดออไรต์ (Quartz diorite) และหินแกรโนไดออไรต์ (Granodiorite) หินแกรนิตในแนวนี้จัดอยู่ในประเภทที่เกิดมาจากการตกผลึกลำดับส่วน หรือการหลอมละลายบางส่วนจากหินหนืด (Magma) ซึ่งเรียกว่า I-type และจัดอยู่ในหินแกรนิตประเภทที่มีแร่แมกนีไทต์อยู่ที่เรียกว่า Magnetite-Series ซึ่งจากการศึกษาโดยวิธี $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ พบว่ามีอายุอยู่ระหว่าง 210-245 ล้านปี (ยุคไทรแอสซิก - ยุคเพอร์เมียน)

แนวหินแกรนิตตอนกลาง วางตัวเกือบขนานกับแนวตะวันออกและแผ่ปกคลุมประเทศไทยตั้งแต่เหนือจรดใต้ นับได้ว่าครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยมากที่สุด โดยเริ่มตั้งแต่ภาคเหนือของประเทศทั้งหมด ยกเว้นทางตะวันตกของภาคเหนือเรื่อยลงมาทางตอนกลางของประเทศ และต่อเลยไปจนถึงคาบสมุทรไทย-มาเลเซีย ผ่านภาคใต้ของประเทศไทยและทางตะวันตกของมาเลเซีย และต่อไปจนถึงสิ้นสุดที่ตอนเหนือและตอนกลางของเกาะสุมาตรา อาณา

บริเวณที่แนวหินแกรนิตนี้พาดผ่านได้แก่ บริเวณเขตจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง ลำพูน ในภาคเหนือ เขตจังหวัดชลบุรี ระยอง ในภาคตะวันออก เขตจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี นราธิวาส และยะลา ในภาคใต้ของประเทศไทย แนวแกรนิตนี้แตกต่างจากแนวแกรนิตตะวันออกทั้งในแง่การเกิดและสภาวะแวดล้อมทางธรณีวิทยา กล่าวคือแนวแกรนิตดังกล่าวนี้จะไม่เกิดปะปนอยู่กับตะกอนภูเขาไฟหรือหินภูเขาไฟแต่อย่างใด แต่มักจะคั่นตัวอยู่กับหินตะกอนเศษชิ้นซึ่งส่วนใหญ่มีอายุประมาณ มหายุคพาลีโอโซอิก

หินแกรนิตในแนวนี้ประมาณมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นหินที่แสดงลักษณะและส่วนประกอบที่จัดว่าเป็นหินแกรนิตจริงๆ ดังนั้นโดยทั่วไปจึงมีส่วนประกอบของแร่แมฟิก (Mafic) เช่น แร่ฮอร์นเบลนด์และแร่ไบโอไทต์ แต่มีอยู่ไม่มากเท่าใดนักเมื่อเทียบกับหินแกรนิตในแนวตะวันออก ส่วนแร่มีสโตไวต์จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เช่นในบริเวณใกล้ๆ เหมือนแร่ดีบุก ทั้งสแตน แร่ควอร์ตซ์มีปริมาณมากพอๆ กับแร่เฟลด์สปาร์ จากการศึกษาธรณีเคมีของหินแกรนิตในแนวนี้พบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการหลอมละลายบางส่วนของหินที่สะสมตัวอยู่เดิมในเปลือกโลก หรือที่เรียกว่า S-type และจัดอยู่ในจำพวกหินแกรนิตที่มีแร่ อิลเมไนต์อยู่ด้วย อย่างไรก็ตามจากการสำรวจธรณีเคมีทำให้ทราบว่าหินแกรนิตชนิด I-type หรือ Magnetite-Series ก็พบอยู่ในแนวนี้แต่มีปริมาณน้อย ซึ่งแต่เดิมเชื่อว่าไม่น่าจะเกิดได้

และจากการศึกษาอายุหิน โดยวิธี $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ทำให้ทราบว่าหินแกรนิตในแนวกลางนี้มีอายุอยู่ระหว่าง 180-220 ล้านปี โดยสามารถแบ่งย่อยได้ 2 ช่วง คือ 200-220 ล้านปี ในภาคเหนือ และ 180-200 ล้านปี ในภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งแหล่งแร่ดีบุกและทั้งสแตน จะมีอายุอยู่ในช่วงเดียวกับหินแกรนิตในแนวนี้เป็นส่วนใหญ่ เช่น แลบคอยหมอก จังหวัดเชียงราย ท่งหลวง จังหวัดลำปาง ท่งโพธิ์-ท่งขมิ้น จังหวัดสงขลา ปีนเมาะ จังหวัดยะลา ฯลฯ อย่างไรก็ตามแหล่งแร่ดีบุกและทั้งสแตนซึ่งมีหลายแหล่งน่าจะมีแร่หายากปนอยู่ด้วย และจะมีอายุแตกต่างกันไปจากมวลหินแกรนิตหลักของพื้นที่นั้น

แนวหินแกรนิตตะวันตก มีลักษณะการวางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ และวางตัวเกือบขนานกับแกรนิตแนวอื่นๆ โดยจะมีการกระจายตัวในประเทศพม่าเป็นส่วนใหญ่ และจะไม่ปรากฏให้เห็นในมาเลเซีย แต่จะต่อเลยไปทางใต้และปรากฏอีกครั้งทางตะวันตกของเกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย สำหรับประเทศไทยจะปรากฏอยู่ทางทิศตะวันตกของประเทศ และวางตัวขนานไปกับพรมแดนไทย-พม่า เช่น บริเวณแถบแม่ลามา จังหวัดแม่ฮ่องสอน แถบปิ๊ลอก จังหวัดกาญจนบุรี และตั้งแต่จังหวัดระนองจนถึงภูเก็ต หินแกรนิตในแนวนี้ของประเทศไทยจะคั่นตัวขึ้นมาปะปนอยู่กับหินข้างเคียงจำพวกหินตะกอนเศษชิ้น (Clastic sediments) ที่

มีอายุประมาณยุคเพอร์เมียนถึงคาร์บอนิเฟอรัส และไม่พบปะปนอยู่กับหินภูเขาไฟและตะกอนภูเขาไฟ ซึ่งเหมือนกับแกรนิตในแนวกลางของประเทศ คือมีแร่ฮอร์นเบลนด์น้อยมาก แต่จะพบแร่ไบโอไทต์ มัสโคไวต์ ควออร์ตซ์ และเฟลด์สปาร์มาก จากการศึกษาธรณีเคมีของหินแกรนิตในแนวนี้พบว่า 98 % เป็นแกรนิตประเภท S-type หรือ Ilmenite-series เป็นส่วนใหญ่ โดยแกรนิตในแนวนี้จะมีอายุประมาณ 55-80 ล้านปี หรือตอนปลายยุคครีเทเชียสถึงกลางยุคเพอร์เซียรี (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2534)

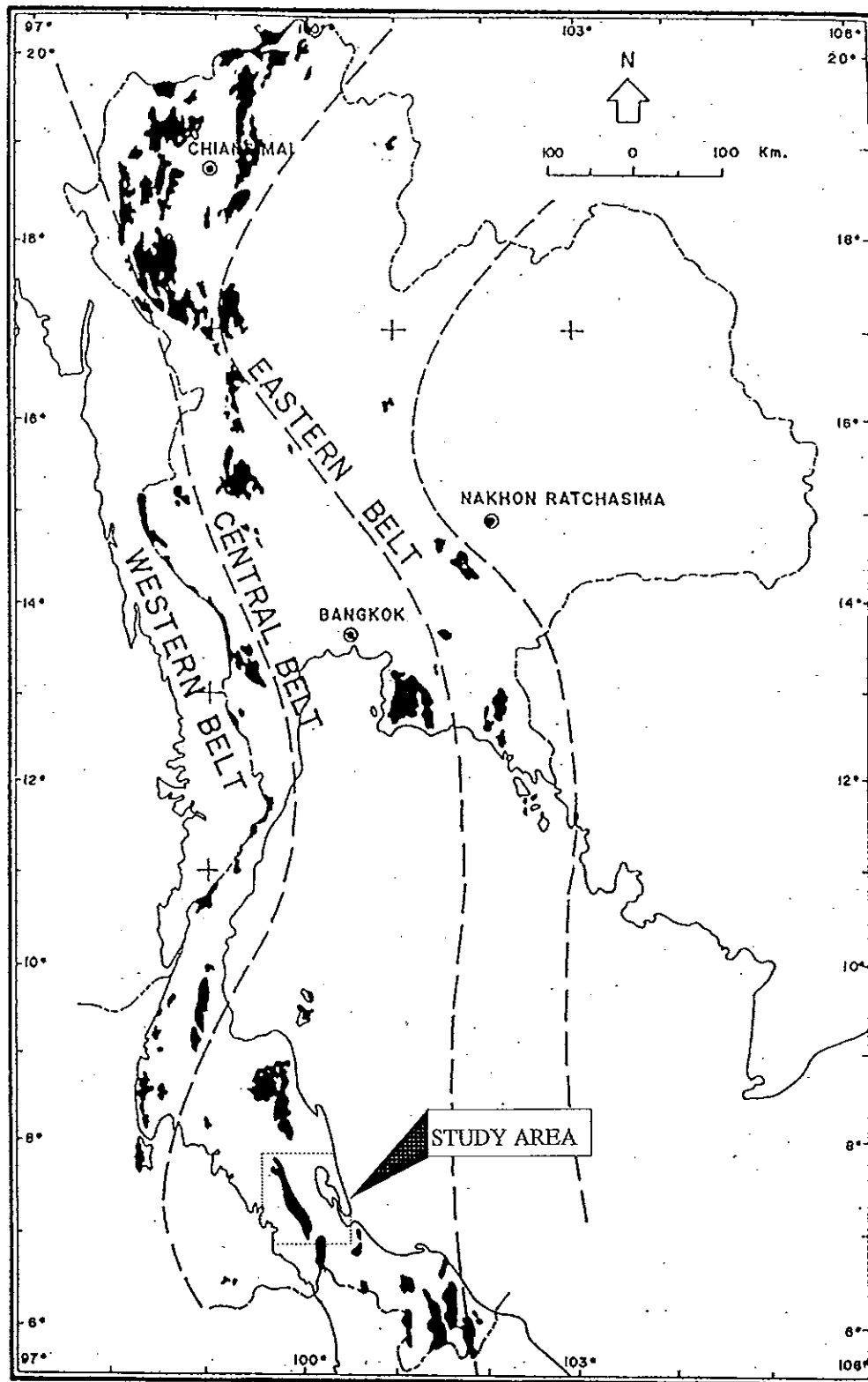
Ishihara, et al. (1980) ได้ศึกษาหินแกรนิตบริเวณคาบสมุทรไทยพบว่า เป็นหินแกรนิตประเภทมัสโคไวต์-ไบโอไทต์แกรนิตซึ่งเกิดมาจากการเย็นตัวของหินหนืด จากลักษณะดังกล่าวจึงเป็นแหล่งหัวแร่ดีบุกและแร่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมากที่สุดแหล่งหนึ่ง ซึ่ง Pungrassami (1986) ได้กล่าวว่าแร่ดีบุกที่ผลิตได้ในบริเวณแอ่งหาคใหญ่ ซึ่งอยู่ในอำเภอหาคใหญ่และตอนล่างของอำเภอเมืองสงขลา ในช่วงปี พ.ศ. 2518-2528 มี ปริมาณถึง 7,900 เมตริกตัน

จากแผนที่ภูมิประเทศ (กรมแผนที่ทหาร, 2529) และ Pungrassami (1986) ได้รายงานตำแหน่งที่มีการทำเหมืองแร่ในพื้นที่ศึกษาพบว่า มีการทำเหมืองแร่ดีบุกในบริเวณอำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง อำเภอรัตภูมิ และอำเภอหาคใหญ่ จังหวัดสงขลา (ภาพประกอบ 6)

กรมทรัพยากรธรณี (2536) โดยกองสิ่งแวดล้อมทรัพยากรธรณีและกองธรณีวิทยา ได้รายงาน ว่า จากการศึกษาลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่ที่มีการทำเหมืองในเขตอำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง พบว่าประกอบด้วยหินแกรนิตยุคไทรแอสซิก เป็นเทือกเขาวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ซึ่งเกิดจากการแทรกดันตัวขึ้นมาของหินหนืด แกรนิตที่พบมักมีสายแร่ควออร์ตซ์ (Quartz Veins) หนาบ้างบางบ้างแทรกตัวอยู่ทั่วไป แกรนิตและสายแร่ควออร์ตซ์นี้เป็นตัวให้แร่ดีบุก นอกจากนั้นยังพบเทือกเขาหินปูนไศลกระจายอยู่ทั่วไปทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ จัดเป็นหินปูนกลุ่มราชบุรี (ยุคเพอร์เมียน-คาร์บอนิเฟอรัส) มีลักษณะเป็นเขาโดด (Monadnoc) มีเนื้อสีเทาอ่อนถึงเทาเข้ม พบสายแร่แคลไซต์แทรกตัวอยู่ทั่วไป ส่วนหินปูนบริเวณทิศใต้ของพื้นที่ เป็นหินปูนกลุ่มทุ่งสง (ยุคออร์โดวิเซียน) เนื้อหินบางบริเวณมีดินสีน้ำตาลแกมเหลืองและพบซากดึกดำบรรพ์ (Fossil) จากการสำรวจศึกษาพบว่าชุดหินเหล่านี้มีรอยแยก (Joint) และรอยเลื่อน (Fault) มากมาย เนื่องจากถูกแรงภายนอกกระทำหลายครั้ง อีกทั้งยังพบการแทรกสลับของหินหลายยุค และพบสายแร่ควออร์ตซ์ ซึ่งเป็นตัวนำแร่ดีบุกแทรกตามรอยแตกอยู่ทั่วไป เมื่อสายแร่ดังกล่าวผุพังสลายตัว แร่ดีบุกจะถูกพัดพาและตกตะกอนสะสมตัวในพื้นที่ตอนล่าง ทำให้กลายเป็นแหล่งแร่ดีบุกแบบลานแร่ (Placer Deposits) จึงมีการทำเหมืองแร่ดีบุกด้วยกรรมวิธีเหมืองสูบและเหมืองฉีด

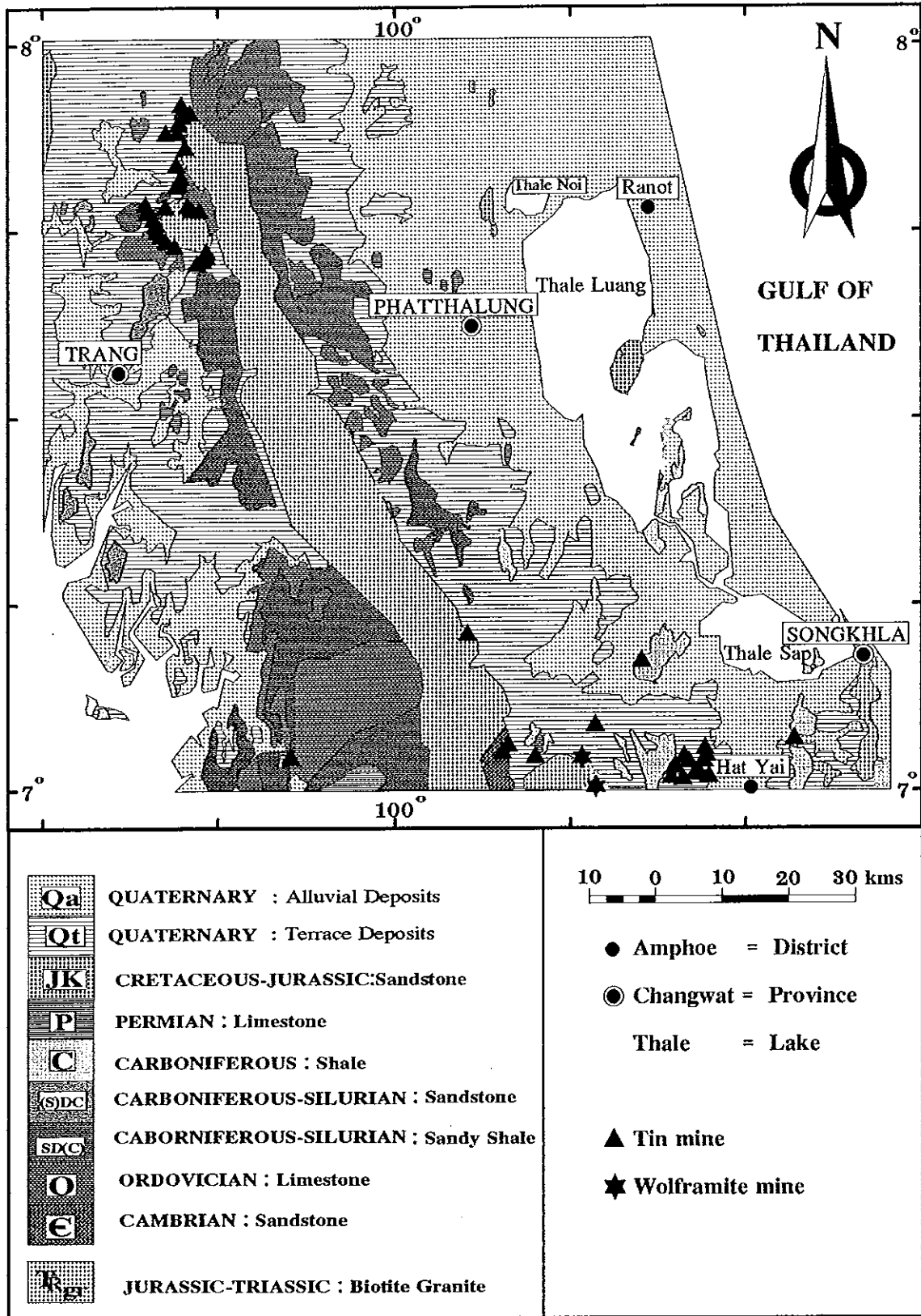
ภาพประกอบ 5 แผนที่แนวการกระจายตัวของหินแกรนิตในประเทศไทย

(ที่มา : Charusiri, et al., 1993)



ภาพประกอบ 6 ตำแหน่งเหมืองแร่

(ที่มา : กรมแผนที่ทหาร, 2529 ; Pungrassami, 1986)



ขงยุทธ ตรีงคขสาร (2523) รายงานว่าแร่คีนุกและวูลแฟรมมีต้นกำเนิดสัมพันธ์ใกล้ชิดกับหินแกรนิต โดยมักจะเกิดอยู่ใกล้เคียงกับบริเวณสัมผัสของหินแกรนิตส่วนบนตอนที่โป่งนูนขึ้นมากับหินที่อยู่ข้างเคียง ซึ่งแร่ต่างๆเหล่านี้จะเกิดในช่วงหลังจากที่หินแกรนิตแข็งตัวแล้วหรือกำลังแข็งตัว โดยสารละลายร้อนหรือแก๊สที่เหลืออยู่ซึ่งมีคีนุกและวูลแฟรมรวมอยู่ด้วยถูกนำพาขึ้นมาตามรอยแตกของหินแกรนิตที่แข็งตัวแล้ว บางส่วนก็พุ่งผ่านหินแกรนิตเข้าไปตกเป็นสายแร่ควออร์ตซ์ล้วน ๆ และสายแร่ควออร์ตซ์ที่มีแร่คีนุก หรือปนกับแร่วูลแฟรมอยู่ในรอยแตกของหินข้างเคียง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินทรายหรือควออร์ตไซต์ในส่วนที่ถูกแปรสภาพโดยความร้อนจากหินแกรนิต แต่แร่คีนุกและแร่วูลแฟรมบางส่วนจะเกิดร่วมกับสายควออร์ตซ์หรือเกิดฝังประอยู่ในหินแกรนิต ต่อมาเมื่อหินข้างเคียงหรือหินแกรนิตที่มีแร่คีนุกและวูลแฟรมเกิดผุพังถูกทำลายไป สายควออร์ตซ์ที่มีแร่ซึ่งมีความทนต่อการผุพังได้ดีกว่าหินที่มันแทรกตัวอยู่ก็จะตกหลุดออกมาจากสายแร่เดิม และบางส่วนของแร่คีนุกและวูลแฟรมจะแตกหลุดออกมาจากสายแร่ควออร์ตซ์ พวกหินและแร่เหล่านี้จะถูกพัดพาไปสู่ที่ต่ำกว่า เกิดเป็นแหล่งแร่พลัดตกตามท้องห้วยในที่ใกล้ๆต้นกำเนิด

สำหรับการศึกษาด้านความถ่วง ได้มีการศึกษาไว้ดังนี้

Baker and Wahlenberg. (1971, อ้างถึงใน กิตติชัย วัฒนานิก, 2536) ได้ศึกษาค่าผิดปกติความถ่วงของเขตแยกตัวด้านตะวันออกของทวีปแอฟริกา (The East African Rift) ซึ่งเป็นส่วนที่ต่อเนื่องเข้ามาในทวีปของเทือกเขากลางสมุทรในบริเวณอ่าวเอเดนและทะเลแดง เขตการแยกตัวนี้ตัดผ่านประเทศเอธิโอเปียทางด้านเหนือ ไปจนถึงประเทศซิมบับเวทางด้านใต้ ผลจากการแปลความหมายโดยสร้างแบบจำลองที่ตัดผ่านเขตแยกตัวบริเวณประเทศเคนยา โดยมีแอมพลิจูดของค่าผิดปกติบูร์แกร์เชิงภูมิภาคมีค่าประมาณ 90 mgal พบว่ามีหินความหนาแน่นสูง ($3,050 \text{ kg/m}^3$) จากชั้นแมนเทิล ($3,300 \text{ kg/m}^3$) แทรกชั้นเปลือกโลก ($2,900 \text{ kg/m}^3$) ขึ้นมา แม้ว่าหินที่แทรกคั้นขึ้นมาจะมีความหนาแน่นสูงกว่าหินรอบด้านในชั้นเปลือกโลก แต่มีความหนาแน่นน้อยกว่าหินในชั้นแมนเทิลส่วนบนที่ระดับลึกเดียวกัน ความหนาแน่นที่น้อยกว่านี้เชื่อว่าเกิดจากความร้อนและการหลอมละลายเป็นบางส่วนของหินในชั้นแมนเทิลส่วนบนในบริเวณดังกล่าว

นอกจากนี้การบิณสำรวจปริมาณกัมมันตภาพรังสีก็เป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งสามารถใช้กำหนดขอบเขตของแกรนิตในแนวราบได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

Tulyatid (1992) ได้ศึกษาบริเวณหัวหิน-ปราณบุรี ซึ่งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย ห่างจากกรุงเทพฯประมาณ 170-230 กิโลเมตร อยู่ในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และเพชรบุรี ซึ่ง

ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยหินแปรและหินแกรนิต มีหินตะกอนยุคไทรแอสซิก วางอยู่บนหินตะกอนยุคไซลูเรียน-เพอร์เมียน และมหายุคพรีแคมเบรียน หินแกรนิตแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ หินแกรนิตที่แปรไปเป็นหินไนส์ซึ่งมีลักษณะเป็นริ้วขนาน (foliated granite) และแกรนิตที่มีลักษณะไม่เป็นริ้วขนาน (non foliated granite) หินแกรนิตที่มีลักษณะเป็นริ้วขนาน มี 3 กลุ่ม คือ กลุ่มหุบกะพง (Hub Kapong) กลุ่มหัวหิน (Hua Hin) และกลุ่มปราณบุรี (Pran Buri) กลุ่มหัวหินและหุบกะพงเป็นชนิด S-type กลุ่มปราณบุรีเป็นชนิด I-type ส่วนหินแกรนิตที่มีลักษณะไม่เป็นริ้วอยู่ทางตะวันตกของแกรนิตพลูตอน เกิดขึ้นจากถ้ำหินอัคนีขนาดเล็ก (stock) รอยเลื่อนในแนว N-S ปรากฏอยู่ทางด้านขวาของพื้นที่ศึกษา ซึ่งอาจเกิดจากรอยแตกของรอยเลื่อนระยอง-คลองมะรุ่ย และรอยเลื่อนพาโคคา แหล่งแร่สัมพัทธ์อยู่กับหินแกรนิตที่มีลักษณะไม่เป็นริ้ว พบอยู่ทางตะวันตกเฉียงเหนือ เช่น ดีบุกและสังกะสีที่ขอบของพลูตอน หุบกะพง นอกจากนี้ข้อมูลความเข้มข้นแม่เหล็กได้แสดงรอยเลื่อน คือ ปรากฏความเข้มข้นแม่เหล็กผิดปกติเล็กๆไปตามรอยเลื่อนในแนว N-S การเปลี่ยนแปลงสภาพแบบน้ำร้อน (hydrothermal alteration) ทำให้มีปริมาณ K สูง บริเวณที่ K สูงจะมี eU และ eTh ปริมาณต่ำถึงปานกลาง อัตราส่วนของ eTh/K ต่ำมากและเป็นไปได้ว่า eU/eTh มีปริมาณปานกลางถึงสูง ผลการศึกษาเชื่อว่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำร้อนสัมพัทธ์กับแกรนิตลิวโททางตอนเหนือของพลูตอน หุบกะพง ซึ่งมีศักยภาพสูงในการเกิดแร่ ผลจากการศึกษาข้อมูลรังสีสามารถจำแนกเฟสของหินแกรนิตได้ และพบว่าแหล่งแร่สัมพัทธ์กับแกรนิตที่มีลักษณะไม่เป็นริ้วขนาน และสามารถจำแนกความแตกต่างในหินแกรนิตและความแตกต่างระหว่างมีแร่และไม่มีแร่ได้ด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและกำหนดลักษณะ โครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคระดับลึกของพื้นที่ที่ทำการวิจัย โดยวิธีการวัดค่าความโน้มถ่วงโลก
2. เพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้โดยวิธีการวัดค่าความโน้มถ่วงโลกกับค่าสนามแม่เหล็กและค่ากัมมันตภาพรังสี ที่ได้จากการบินสำรวจ และแผนที่ธรณีวิทยา
3. เพื่อปรับปรุงข้อมูลด้านธรณีวิทยาระดับลึกของพื้นที่ศึกษา ด้วยข้อมูลที่ได้รับการศึกษาด้านธรณีฟิสิกส์

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยประกอบด้วย

- 1) การวัดข้อมูลความถ่วงและเก็บตัวอย่างหินในภาคสนาม
- 2) การวัดความหนาแน่นของตัวอย่างหิน
- 3) การวัดค่ากัมมันตภาพรังสีในห้องปฏิบัติการ
- 4) การวิเคราะห์ข้อมูลความถ่วง
- 5) การวิเคราะห์ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ
- 6) กำหนดโครงสร้างธรณีเชิงภูมิภาคของพื้นที่ศึกษาวิจัย โดยได้ใช้วัสดุ อุปกรณ์ และระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

วัสดุ

วัสดุทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แสดงตามหัวข้อต่อไปนี้ คือ

1. วัสดุที่ต้องใช้สำหรับศึกษาความหนาแน่นของตัวอย่างหิน ประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้
 - 1.1 ตัวอย่างหิน โผล่ ซึ่งเก็บมาจากพื้นที่ศึกษา ตำแหน่งละ 2-10 ก้อนๆละ ไม่เกิน 3000 กรัม
 - 1.2 น้ำเปล่า สำหรับใช้ในการหามวลของตัวอย่างหินในน้ำ
2. วัสดุที่ต้องใช้สำหรับศึกษาค่าความถ่วง ประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้
 - 2.1 ตะปูขนาด 3 นิ้ว สำหรับทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งของจุดวัดค่าความถ่วงและความสูง บนเส้นทางกม.นาคม
 - 2.2 สีนํ้ามัน/สีพลาสติก(สีแดง) สำหรับเขียนรหัสของจุดวัดไว้บนเส้นทางกม.นาคม หรือต้นไม้ หรือเสาไฟฟ้า ที่อยู่ใกล้จุดวัดมากที่สุด
 - 2.3 ฝาขวดน้ำอัดลม สำหรับรองหัวตะปูที่ใช้ทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งของจุดวัดค่าความถ่วงและความสูง

3. วัสดุที่ต้องใช้สำหรับศึกษาค่าความสูงของพื้นที่ศึกษาวิจัย เนื่องจากการศึกษาความสูงอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกับการศึกษาค่าความถ่วง ดังนั้นจึงใช้วัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาค่าความถ่วงนั่นเอง
4. วัสดุที่ต้องใช้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณ K, eU และ eTh ประกอบไปด้วย
 - 4.1 หินตัวอย่างซึ่งเก็บมาจากพื้นที่ที่ทำการศึกษา มีมวลประมาณ 400 กรัม
 - 4.2 กล้องพลาสติก สำหรับใส่หินตัวอย่างและสารมาตรฐานที่บดแล้วในข้อ 4.1 ซึ่งเขียนรหัสแสดงตำแหน่งที่ทำการเก็บหินตัวอย่างข้างกล่องไว้เรียบร้อยแล้ว
 - 4.3 สารมาตรฐานรหัส RG K-1, RG Th-1 และ RG U-1
 - 4.4 ธาตุกัมมันตรังสีตัวอย่าง ในที่นี้ใช้ Co-60
5. วัสดุอื่นๆที่ใช้ร่วมกัน
 - 5.1 ตารางบันทึกค่าปรับแก้ภูมิประเทศและอื่นๆ
 - 5.2 สมุดบันทึก
 - 5.3 แผ่นบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แบ่งอุปกรณ์ต่างๆแยกตามประเภทของแต่ละส่วนของการวิจัย ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาค่าความหนาแน่น
 - 1.1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตัวเลขยี่ห้อ METTLER รุ่น BB3000 ผลิตโดยบริษัท Mettler-Toledo AG Switzerland มีพิกัดจำกัด 3,000 กรัม และมีความละเอียดสุด 0.1 กรัม สำหรับชั่งมวลตัวอย่างหิน และดัดแปลงให้สามารถชั่งมวลในน้ำได้ โดยมีแขนพิเศษสำหรับเกี่ยวห้วงตะแกรงที่ใส่ตัวอย่างหินให้จมอยู่ในน้ำ
 - 1.2 ภาชนะบรรจุน้ำ ขนาดความจุ 16 ลิตร สำหรับใช้ใส่น้ำขณะทำการวัดมวลตัวอย่างหินในน้ำ
 - 1.3 ฝอย สำหรับใช้เกาะหินจากมวลก้อนขนาดใหญ่ ณ ตำแหน่งที่เก็บ เพื่อนำมาเป็นตัวอย่างหินวัดค่าความหนาแน่น
 - 1.4 สกัด สำหรับเจาะจัดหินออกจากมวลก้อนขนาดใหญ่

2. อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับวัดค่าความถ่วงและความสูง ดังต่อไปนี้

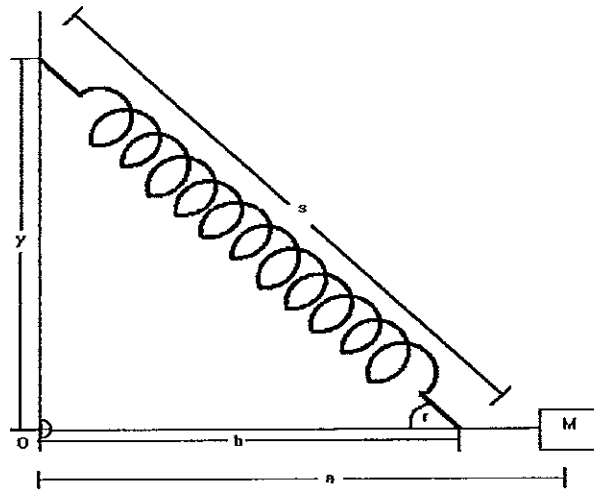
2.1 จานรอง เพื่อปรับให้แกรวิติมิเตอร์อยู่ในแนวระดับอย่างเหมาะสม

2.2 เครื่องแกรวิติมิเตอร์ (gravity meter) แบบไมเสถียรยี่ห้อลาคอสท์และรอมเบิร์ก (La Coste & Romberg) รุ่น G-565 มีความแม่นยำถึง 0.01 มิลลิเกิล เพื่อใช้วัดค่าความถ่วงสัมพัทธ์ระหว่างจุดวัด ผลิตโดยบริษัท Lacoste & Romberg, inc. Austin, Texas, U.S.A. (ภาพประกอบ 7) แกรวิติมิเตอร์ชนิดนี้ อาศัย zero-length spring คือ สปริงที่แรงดึงของตัวสปริงเอง เป็นปฏิภาคกับความยาวของสปริง

ภาพประกอบ 7 แกรวิติมิเตอร์แบบลาคอสท์และรอมเบิร์ก



ภาพประกอบ 8 เค้จ็โครงของแกรวิติมิเตอร์แบบลาคอสท์และรอมเบิร์ก
(ที่มา : กิตติชัย วัฒนานิกกร, 2536.)



หลักการท้งานของ Lacoste and Romberg gravimeter ได้แสดงไว้ดังภาพประกอบ 8 โดยกำหนดให้ $k(s-z)$ แทนแรงดึงของสปริง

k แทนค่าคงที่ของสปริง

s แทนความยาวของสปริงเมื่อมีแรงภายนอกกระทำ

z แทนความยาวของสปริงเมื่อไม่มีแรงภายนอกกระทำ

ในกรณี zero-length spring ค่าของ z จะน้อยมาก และถ้าให้จุดหมุนอยู่ที่จุด O สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Mga = k(s-z)b \sin \gamma$$

$$= k(s-z) \frac{by}{s}$$

นั่นคือ

$$g = \frac{k}{M} \frac{b}{a} \left(1 - \frac{z}{s}\right) y$$

เมื่อ g เปลี่ยนไป dg ความยาวของสปริงเปลี่ยนไป ds โดยที่

$$dg = \left(\frac{k}{M} \right) \left(\frac{b}{a} \right) \left(\frac{z}{s} \right) \left(\frac{y}{s} \right) ds$$

สำหรับค่า dg ใดๆ สามารถทำให้ ds มีค่ามากได้โดยการให้ค่าอื่นๆ ทางด้านขวาของสมการมีค่าน้อย จากสมการนี้จะเห็นได้ว่า เมื่อ z เข้าใกล้ศูนย์เท่าไร หรือสปริงซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียง zero-length spring มากขึ้นเท่าไร ก็ทำให้ ds มีค่ามากขึ้นเท่านั้น

ดังนั้นการวัด dg ก็โดยการพยายามปรับคานให้กลับไปอยู่ในระดับแนวเดิม เช่น โดยใช้สปริงอื่นช่วย ปริมาณการปรับสปริงตัวนี้จะใช้เป็นตัวกำหนด dg (กิตติชัย วัฒนานิกกร, 2524)

2.3 นาฬิกาจับเวลา สำหรับอ่านเวลาขณะที่ทำการวัดค่าความถ่วง เพื่อนำไปปรับแก้ไขค่าครีฟท์

2.4 เครื่องอ่านพิกัด (GPS) ยี่ห้อ Trimble Basic Pathfinder สำหรับอ่านตำแหน่งของจุดวัดค่าความถ่วง

2.5 แผนที่ภูมิประเทศ (กรมแผนที่ทหาร, 2532) มาตรฐาน 1:250,000 ระวัง NB 47-3 จังหวัดสงขลา

2.6 แผนที่ธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรธรณี, 2528) มาตรฐาน 1:250,000 ระวัง NB 47-3 จังหวัดสงขลา

2.7 แผนที่ภูมิประเทศ (กรมแผนที่ทหาร, 2529) มาตรฐาน 1:50,000 ระวังต่างๆดังนี้

2.7.1 ระวัง 4923 I บ้านโพรงจระเข้

2.7.2 ระวัง 4923 II อ.ทุ่งหว้า

2.7.3 ระวัง 4923 III อ.ปะเหลียน

2.7.4 ระวัง 4923 IV อ.กันตัง

2.7.5 ระวัง 4924 I บ้านเขาพระ

2.7.6 ระวัง 4924 II บ้านช่อง

2.7.7 ระวัง 4924 III จ.ตรัง

2.7.8 ระวัง 4924 IV อ.ห้วยยอด

2.7.9 ระวัง 5023 I อ.สทิงพระ

2.7.10 ระวัง 5023 II อ.หาดใหญ่

2.7.11 ระวัง 5023 III บ้านนาสีทอง

2.7.12 ระวัง 5023 IV อ.เขาชัยสน

2.7.13 ระวัง 5024 I อ.ระโนด

2.7.14 ระวัง 5024 II อ.กระแสสินธุ์

2.7.15 ระวัง 5024 III จ.พิทลุง

2.7.16 ระวัง 5024 IV อ.ชะอวด

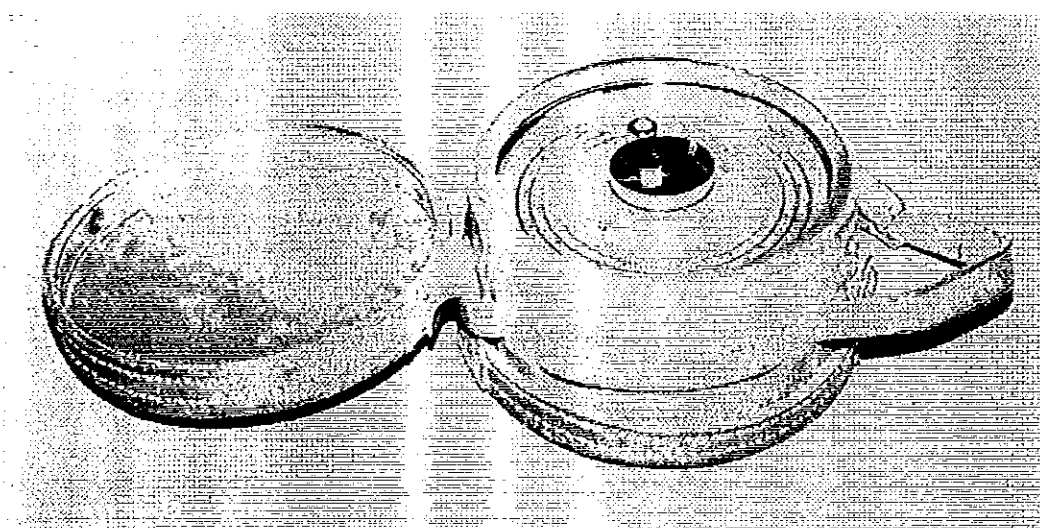
2.7.17 ระวัง 5123 III จ.สงขลา

2.8 เทอร์โมมิเตอร์ปรอท (0-100°C) สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศขณะที่ทำการวัดค่าความสูง

2.9 มาตรฐานระดับความสูง (altimeter) ประเภทความดันบรรยากาศสำหรับวัดระดับความสูงของจุดวัดค่าความถ่วง เพื่อนำไปปรับแก้ค่าความถ่วง ผลิตใน U.S.A. โดยบริษัท American Paulin System รุ่น MDM-5 ซึ่งมีพิสัยการวัด -100 ถึง 2,500 เมตร และค่าความละเอียดสุด 0.5 เมตร (ภาพประกอบ 9)

สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนของมาตรฐานระดับความสูงนี้ พวงทิพย์ รุ่งเล็ก (2538) ได้เปรียบเทียบผลการวัดจากมาตรฐานระดับความสูงและการทำรังวัดระดับ จากจำนวนจุดวัดเปรียบเทียบ 8-10 จุดวัด มีพิสัยของความคลาดเคลื่อน -4 ถึง +4 เมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 0.2 เมตร มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3 เมตร พบว่าลักษณะภาคตัดขวางของความถ่วงคล้ายกัน แต่ระดับของค่าความถ่วงต่างกัน โดยค่าความถ่วงซึ่งความสูงของจุดวัดได้จากการทำรังวัดระดับมีค่าสูงกว่าค่าความถ่วงซึ่งความสูงของจุดวัดได้จากการใช้มาตรฐานความสูงประมาณ 40 gu

ภาพประกอบ 9 มาตรฐานระดับความสูงชนิดความดัน



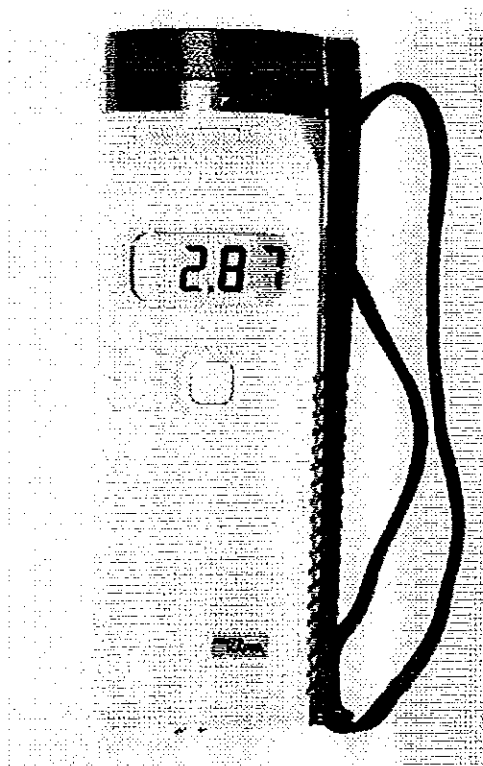
3. อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการศึกษานามแม่เหล็ก ประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้

3.1 เครื่องวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก(Kappameter) ผลิตโดยบริษัท Geofyzika Brno, Czecholovakla รุ่น KT-5 สำหรับวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility) ของหิน โสลิถิ่นเคิม (in site) (ภาพประกอบ 10)

3.2 แผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กรวมของโลก มาตรฐาน 1:250,000 ระวัง NB47-3 จังหวัดสงขลา สำหรับศึกษาและวิเคราะห์ความเข้มสนามแม่เหล็กโลก

3.3 ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กรวมของโลกจากการบินสำรวจที่ระยะ 400 ฟุต MTC (survey B&C) ของกรมทรัพยากรธรณีปี พ.ศ. 2532

ภาพประกอบ 10 แคลปป์มิเตอร์ KT-5



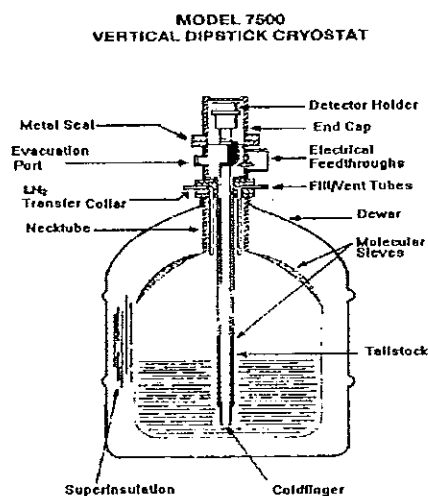
4. อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการศึกษาความเข้มกัมมันตรังสี มีดังต่อไปนี้

4.1 อุปกรณ์ ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณ eU ,eTh และ K ประกอบด้วยรายการดังต่อไปนี้

4.1.1 หัววัดรังสีแบบเยอมาเนียมบริสุทธิ์ (High purity Ge : HPGe) เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจจับรังสี รุ่น Ge1319 เส้นผ่าศูนย์กลาง 44.5 มม. ความยาว 40.5 mm ปริมาตรหัววัด (Active Volume) 59.5 cm³ หัววัดเป็นรูปแบบร่วมแกนปลายปิด (closed ended coaxial) ค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 13% FWHM ที่ 1.33 MeV เป็น 1.75 keV พร้อม Cryostat รุ่น 7500 (vertical dipstick cryostat)

ภาพประกอบ 11 แก้วโครงหัววัดเยอมาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe)

(ที่มา : Germanium detector User's Manual)



4.1.2 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง(เอ็มซีเอ) ทำงานที่ 4,000 โวลต์ ผลิต

โดยบริษัท Canberra Industries, Inc., ยี่ห้อ Canberra รุ่น Series 35 plus

4.1.3 หน่วยจ่ายไฟฟ้ากำลังสูง Canberra รุ่น 4261A

4.1.4 เครื่องขยายสัญญาณ

4.1.5 เครื่องคอมพิวเตอร์และแผ่นแม่เหล็กบันทึกข้อมูล

4.1.6 โปรแกรม PC UTIL สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล

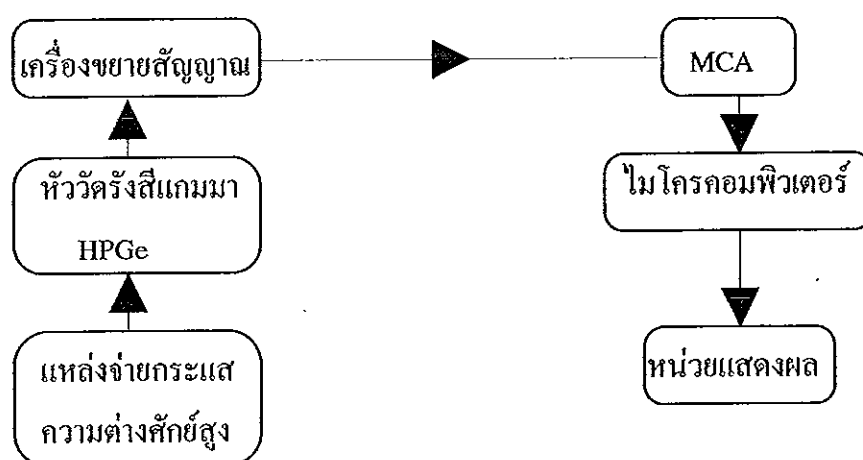
4.1.7 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง

4.1.8 เครื่องชั่งตัวอย่างหิน

4.1.9 เครื่องบดหินยี่ห้อ Denver Equipment ผลิตโดยบริษัท Joy Manufacturing ผลิตใน U.S.A.

4.1.10 ผ้าเทปพันสายไฟ

ภาพประกอบ 12 การต่ออุปกรณ์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุกัมมันตรังสี



4.2 ข้อมูลรังสีจากการบินสำรวจได้แก่ โพแทสเซียม (K) ยูเรเนียมสมมูล (eU) และทอเรียมสมมูล (eTh) ของกรมทรัพยากรธรณี (2532) ซึ่งถูกบันทึกลงในแผ่นบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก

5. อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ร่วมกัน

5.1 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

5.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้วิเคราะห์และแปลความข้อมูล

5.2.1 โปรแกรม Lotus 123 สำหรับปรับแก้และวิเคราะห์ข้อมูล

5.2.2 โปรแกรม Winsurf version 5.0 สำหรับทำแผนที่คอนทัวร์และภาคตัดขวาง ความถ่วง ความเข้มสนามแม่เหล็กโลกและกัมมันตภาพรังสีที่ได้จากการบินสำรวจ

5.2.3 โปรแกรม Geo Vista AB-GMM, version 1.31 สำหรับสร้างแบบจำลอง ภาคตัดขวางตามข้อมูลความถ่วงและความเข้มสนามแม่เหล็กโลก

วิธีดำเนินการ

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ได้แบ่งการดำเนินการวิจัยออกเป็น 2 ตอน ประกอบด้วย:

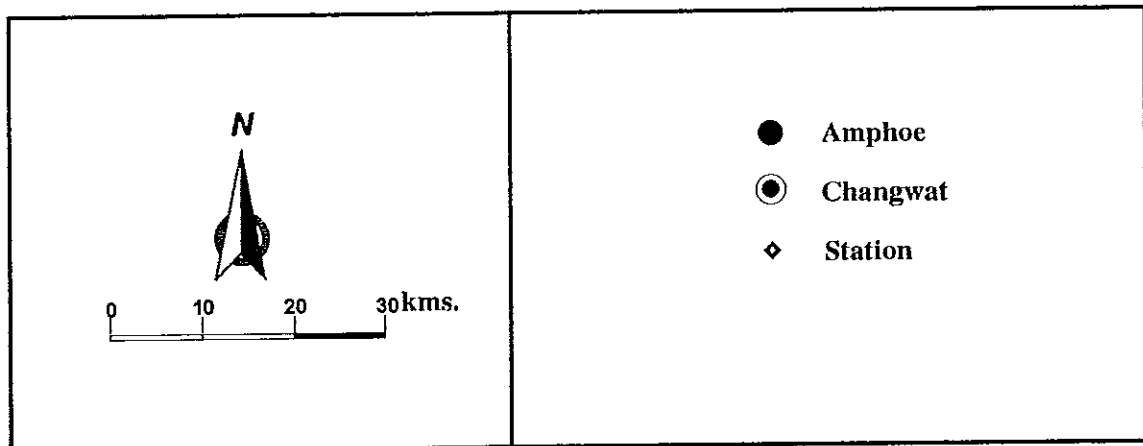
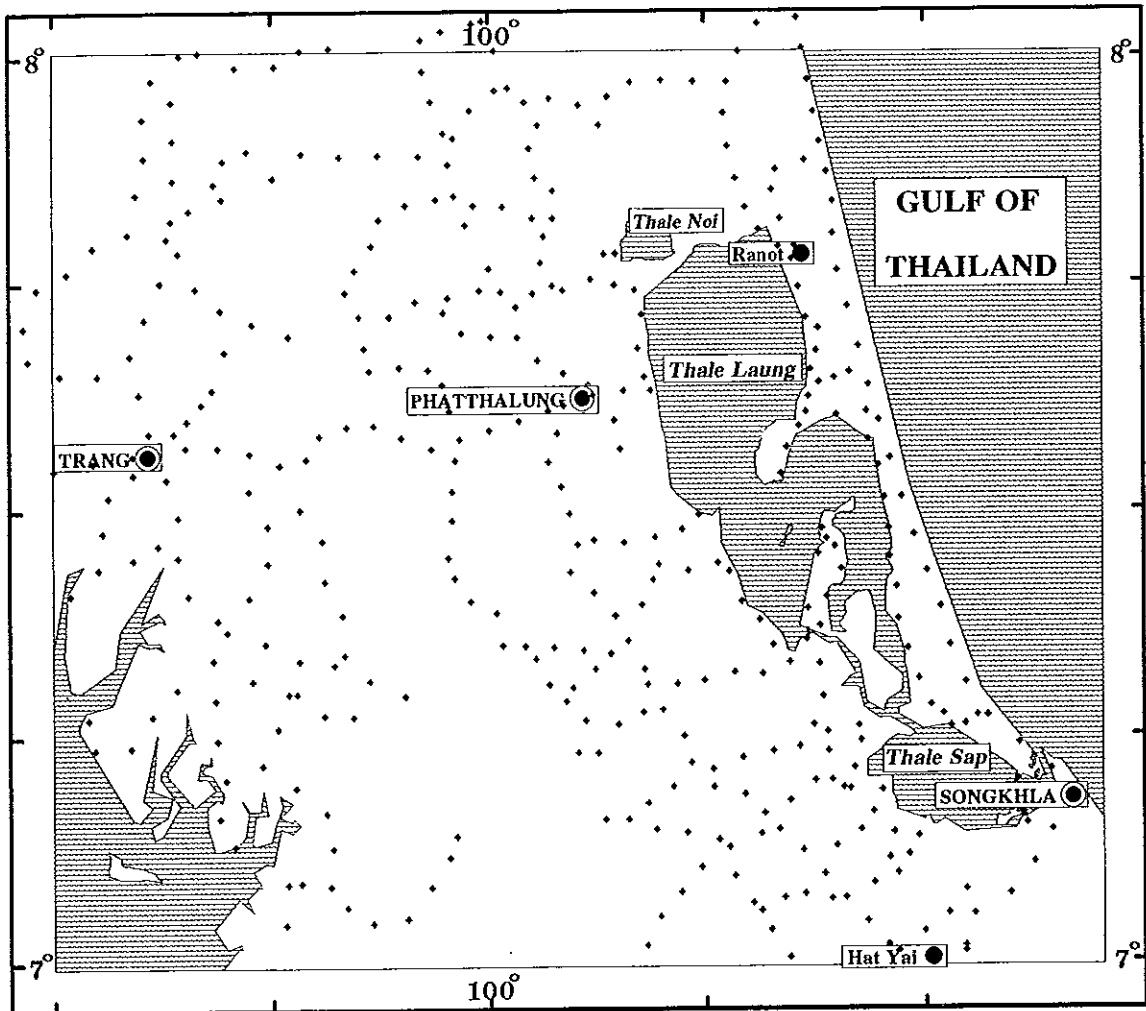
- ตอนที่ 1. การดำเนินการวิจัยในภาคสนาม
- ตอนที่ 2. การดำเนินการวิจัยในห้องปฏิบัติการ

ตอนที่ 1. การดำเนินการวิจัยในภาคสนาม

การดำเนินการวิจัยในภาคสนาม มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดจุดวัดค่าความถ่วงบนเส้นทางคมนาคมที่มีอยู่เดิมในพื้นที่ที่ศึกษา ดังภาพประกอบ 13 และกำหนดให้ระยะห่างระหว่างจุดวัดเท่ากับ 5 กิโลเมตร รวม 130 จุด คือตั้งแต่รหัส G456 ถึง G585 ในภาคผนวก ก. และมีข้อมูลเดิมบางส่วนระยะห่างระหว่างจุดวัดเท่ากับ 4 กิโลเมตร อีก 305 จุด (วรวิทย์ โลหะวิจารณ์, การติดต่อส่วนบุคคล) รวมจุดวัดทั้งหมด 435 จุด ซึ่งอ่านตำแหน่งของจุดวัดโดยเครื่องอ่านพิกัด GPS และแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000. (กรมแผนที่ทหาร, 2529)
2. ทำเครื่องหมายของจุดวัดลงบนขอบเส้นทางคมนาคม โดยใช้ตะปูซึ่งมีฝาขวดน้ำอัดลมรองหัวตะปูแล้วเขียนรหัสของจุดวัดด้วยสีน้ำมันลงบนขอบเส้นทางคมนาคม หรือต้นไม้ หรือเสาไฟฟ้า ที่อยู่ใกล้จุดวัดมากที่สุด เพื่อความสะดวกในการทำการวัดซ้ำจุดเดิมเมื่อครบวงจรรอบ
3. วางจากรักษาระดับพร้อมเครื่องหมายของจุดวัด ปรับลูกน้ำรักษาระดับให้อยู่ตรงกลาง แล้วจึงยกเกรวิติมิเตอร์ออกจากกล่องมาวางบนจากรักษาระดับ ปรับลูกน้ำทั้งซ้ายและขวาให้สมดุล หลังจากนั้นจึงเปิดปุ่มสวิตช์ไฟและคลายปุ่มล็อกมวล (Clamp) ปรับสเกลให้ได้ตรงตำแหน่งเส้นอ่าน (reading line) แล้วจึงบันทึกหรัสของจุดวัด เวลาขณะทำการวัด ค่าจากมิเตอร์ของเกรวิติมิเตอร์ที่อ่านได้ และอุณหภูมิ หลังจากนั้นล็อกปุ่มล็อกมวล ปิดสวิตช์ไฟ เก็บเกรวิติมิเตอร์เข้ากล่อง
4. วางมาตรฐานระดับความสูงลงบนจากรอง ปรับเข็มที่อ่านค่าให้ตรงกับจุดศูนย์ แล้วบันทึกค่าความสูงที่อ่านได้
5. ทำการวัดค่าพิกัดของตำแหน่งจุดวัดด้วยเครื่องอ่านพิกัด GPS หรืออ่านจากแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000

ภาพประกอบ 13 ตำแหน่งวัดความถี่และความสูง



6. ทำการบันทึกค่าความสูงเฉลี่ยของภูมิประเทศลงในตารางบันทึกค่าปรับแก้ภูมิประเทศ โดยทำการบันทึกในโซน B ถึง E โดยแต่ละโซนเป็นการบันทึกค่าความแตกต่างของค่าความสูงเฉลี่ยของแต่ละห้องของโซนต่างๆ กับความสูงของจุดวัด โดยที่รัศมีและจำนวนของห้องแต่ละโซนแสดงไว้ในตาราง 1 และตาราง 2 ตามลำดับ ส่วนโซน F ถึง J จะบันทึกจากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000

ตาราง 1 ค่าที่ใช้ปรับแก้ภูมิประเทศในโซน B ถึง E

โซน	รัศมีวงใน (m)	รัศมีวงนอก (m)	จำนวนห้อง
B	2.0	16.6	4
C	16.6	53.3	6
D	53.3	170.1	6
E	170.1	390.1	8

7. เก็บเครื่องมือขึ้นรถ แล้ววัดระยะกับมาตรวัดระยะทางของรถเพื่อที่จะกำหนดจุดวัดต่อไป ตามที่ได้กำหนดไว้แล้วในข้อ 1.

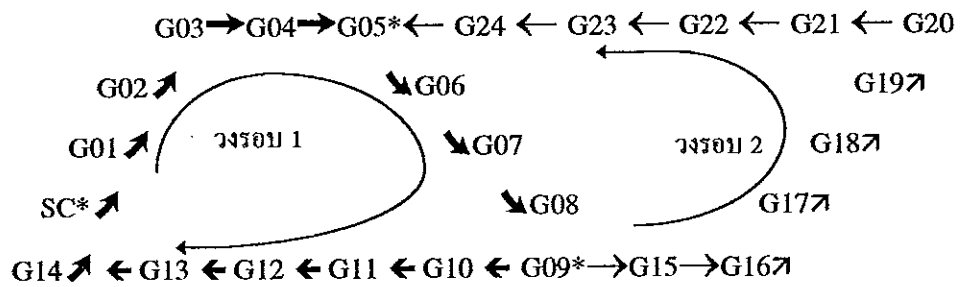
8. เมื่อทำการวัดนานประมาณ 2.5 ชั่วโมง แล้วต้องกลับไปวัดที่จุดอ้างอิง (base station) ก็จะได้จุดที่ทำการวัดเป็นวงรอบ ดังภาพประกอบ 14 ซึ่ง SC เป็นจุดอ้างอิง G0-G14 เป็นจุดที่วัดค่าความถ่วงในช่วงเวลาประมาณ 2.5 ชั่วโมง และผลที่บันทึกได้ดังตาราง 3

ตาราง 2. ตารางบันทึกค่าปรับแก้ภูมิประเทศในโซน A ถึง E

CLIENT _____ AREA _____ OBSERVER _____ DATE / / _____

STATION		ALTTITUDE								TOTAL CORRECTION	
		1	2	3	4	5	6	7	8		
ZONE											
A											
B	ALT.										
	DIF.										
	COR.										
C	ALT.										
	DIF.										
	COR.										
D	ALT.										
	DIF.										
	COR.										
E	ALT.										
	DIF.										
	COR.										

ภาพประกอบ 14 ตัวอย่างวงรอบของการวัดค่าความถ่วงและความสูง โดยใช้เวลาวงรอบละประมาณ 2.5 ชั่วโมง



ตาราง 3. ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลความถี่และความสูงในภาคสนาม

วันที่	รหัส	E	N	เวลา hr:min	ค่ามิเตอร์	ความสูง (m)	อุณหภูมิ (°C)
2 ธค. 36	SC*	666000	774637	08:23	1650.780	24.0	27.5
	G01	665400	775300	08:37	1649.830	19.0	28.0
	G02	666150	776950	09:00	1655.130	8.0	30.0
	G03	666450	779200	09:07	1655.905	9.0	31.0
	G04	668350	780600	09:17	1657.200	4.5	31.0
	G05	670700	781650	09:27	1655.715	1.0	30.0
	G06	672300	783300	09:35	1655.950	8.0	30.0
	G07	673600	785450	09:45	1658.945	5.0	31.0
	G08	674100	787650	09:52	1660.370	4.0	31.0
	G09	675800	789450	10:02	1661.860	1.0	31.0
	G10	677450	794300	10:11	1663.080	-3.0	31.0
	G11	678600	793400	10:19	1664.240	-4.0	32.0
	G12	676600	794800	10:27	1665.070	3.0	32.0
	G13	675600	796750	10:40	1670.090	5.0	32.0
	G14	674650	798850	10:50	1677.295	4.0	32.0
SC*	666000	774637	11:30	1650.790	26.0	31.0	

9. วัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กด้วยแถบปามีเตอร์ (Kappameter) ณ บริเวณที่มีมวลหินโผล่ขนาดใหญ่โดย

9.1 กดสวิทช์ ON/OFF ทางด้านใต้ของเครื่องมือเพื่อเปิดเครื่องดังในภาพประกอบ 15

9.2 หันหน้าปัทม์ของเครื่องมือไปในทิศทางที่ไม่มีมวลหิน กดสวิทช์ C/M ซึ่งอยู่ด้านข้างของเครื่องมือเพื่อให้เครื่องมือพร้อมที่จะบันทึกข้อมูล

9.3 เสร็จแล้วนำเครื่องมือไปวางลงบนผิวเรียบของมวลแล้วกดสวิทช์ C/M อีกครั้ง

9.4 ทำเช่นนี้ประมาณ 2-3 ครั้ง ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนผิวเรียบของมวลหินก้อนเดียวกัน

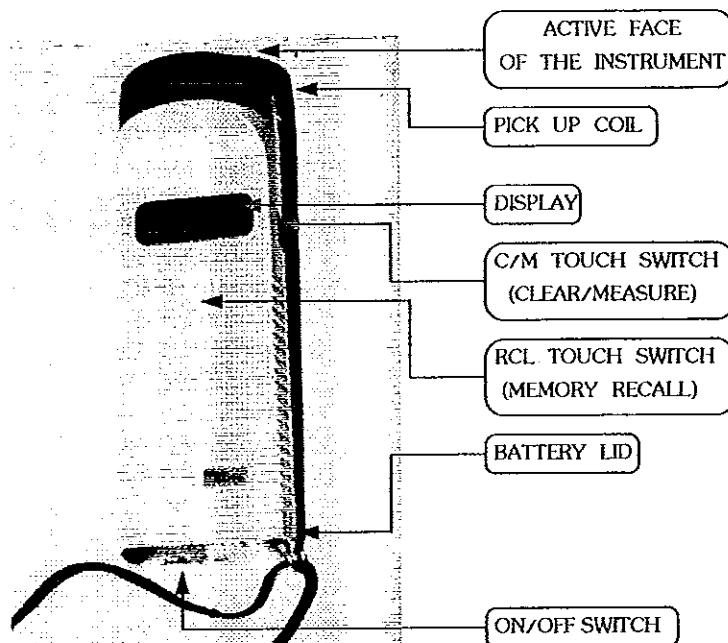
9.5 บันทึกผลเฉลี่ยจากการวัด

9.6 ผลที่วัดได้นี้นำไปคูณ ด้วย 10^{-3} จะมีหน่วยเป็น SI

10. เก็บตัวอย่างหิน โสล์ประมาณ 2-10 ก้อนในแต่ละบริเวณที่มวลหินโสล่ ก้อนละไม่เกิน 3 กิโลกรัม เพื่อนำไปวัดค่าความหนาแน่น และวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม (K) ยูเรเนียม สมมูล (eU) และทอเรียมสมมูล (eTh) ในห้องปฏิบัติการต่อไป โดยจะทำการเก็บตัวอย่างหิน หลังจากทำการวัดค่าความถ่วงและความสูงในพื้นที่ศึกษาเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้เพื่อลดเวลา สำหรับวัดค่าความถ่วงในแต่ละวงรอบ

11. เขียนรหัสของจุดวัดติดไว้ที่ตัวอย่างหินทุก ๆ ก้อน ทั้งนี้เพื่อสะดวกต่อการกำหนดตำแหน่ง ของตัวอย่างหินนี้ในแผนที่

ภาพประกอบ 15 หน้าปัดหม้แคลป์าไมเตอร์ KT-5



ตอนที่ 2. การดำเนินการวิจัยในห้องปฏิบัติการ

การดำเนินการวิจัยในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย:

1. การวัดความหนาแน่นของตัวอย่างหินของหินโผล่
2. การวัดปริมาณธาตุกัมมันตรังสีของตัวอย่างหินของหินโผล่
3. การวิเคราะห์ค่าความถ่วง
4. การวิเคราะห์ความเข้มข้นของแม่เหล็กโลกและกัมมันภาพรังสีที่ได้จากการบินสำรวจทางอากาศ

1. การวัดความหนาแน่นของตัวอย่างหินของหินโผล่

การวัดความหนาแน่นของตัวอย่างหินของหินโผล่ ซึ่งได้นำมาเก็บไว้แล้วในห้องที่มีความชื้นของอากาศต่ำมาก โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1 นำเครื่องชั่งน้ำหนักวางบนโต๊ะที่มีความแข็งแรงและพื้นโต๊ะราบเรียบ ปรับให้ได้ระดับแล้วทำการชั่งมวลของตัวอย่างหินในอากาศโดยบันทึกค่าเป็น W_1

1.2 นำตัวอย่างหินที่ผ่านขั้นตอนข้อ 1.1 แล้ว มาแช่ให้จมน้ำในภาชนะตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน เมื่อครบกำหนดแล้วนำมาชั่งในน้ำ โดยที่ใช้แขนพิเศษและตะแกรงซึ่งคัดแปลงให้ชั่งในน้ำได้ ค่าที่ได้จะบันทึกเป็น W_2

1.3 นำผลที่ได้ในข้อ 1.1 และข้อ 1.2 มาคำนวณหาค่าความหนาแน่นดังสมการ

$$\rho_d = \left(\frac{W_1}{W_1 - W_2} \right) \times \rho_w \dots \dots \dots (1)$$

เมื่อ ρ_d : ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหิน มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ρ_w : ค่าความหนาแน่นของน้ำที่ใช้ในการชั่งตัวอย่างหินในน้ำ มีหน่วยเป็น
กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

W_1 : น้ำหนักของตัวอย่างหินที่ชั่งในอากาศ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

W_2 : น้ำหนักของตัวอย่างหินที่ชั่งในน้ำ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

2. การวัดกัมมันตรังสีของตัวอย่างหินของหินโพลี

การวัดกัมมันตรังสีของตัวอย่างหินของหินโพลี มีขั้นตอนดังนี้

2.1. นำหินที่ที่วัดค่าความหนาแน่นเรียบร้อยแล้ว มาตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือน ในห้องที่มีความชื้นของอากาศต่ำมาก แล้วนำมาชั่งน้ำหนักให้แต่ละตัวอย่างก่อนละประมาณ 1 ลูกบาศก์นิ้ว โดยแต่ละตัวอย่างมีน้ำหนักประมาณ 400 กรัม แล้วนำมาผ่านเครื่องบดละเอียดหิน

2.2. นำหินบดที่ได้มาอบในตู้อบไฟฟ้า โดยตั้งอุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นบรรจุในกระปุกพลาสติกขนาดความจุ 300 มิลลิลิตร โดยจะต้องปิดฝาให้แน่นและใช้ผ้าเทปพันสายไฟพันรอบอีกครั้ง เขียนรหัสและน้ำหนักไว้ข้างกระปุก แล้วตั้งทิ้งไว้ในห้องที่มีความชื้นน้อยมากเป็นเวลาประมาณ 1 เดือน เพื่อให้เกิดภาวะสมดุลกัมมันตภาพรังสีแบบถาวร

2.3 เตรียมสารมาตรฐาน ซึ่งกล่าวไว้แล้วในภาคผนวก จ

2.3 เมื่อครบกำหนดแล้วนำมาทำการวัดรังสีแกมมา ด้วยหัววัดรังสีแกมมาแบบเยอมาเนียมบริสุทธิ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.4 เตรียมเครื่องมือให้พร้อมที่จะทำการวิเคราะห์

2.4.1 ต่อเครื่องวิเคราะห์รังสีแกมมาแบบหลายช่อง (MCA) เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูล ส่วนอีกด้านต่อเข้ากับเครื่องขยายสัญญาณที่ต่อมาจากหัววัดรังสีแกมมาชนิดเยอมาเนียมบริสุทธิ์ ต่อหัววัดเข้ากับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

2.4.2 เปิดเครื่องมือวัดรังสีแกมมาหลังจากเปิดเครื่องให้ตรวจดูในโตรเจนเหลว ว่าอยู่ในระดับปลอดภัยหรือไม่ โดยดูไฟที่ Preamp ถ้าสีเขียวสว่างแสดงว่าอยู่ในระดับปลอดภัยแต่ถ้าไฟสีแดงสว่างให้รีบปิดเครื่อง แล้วเติมในโตรเจนเหลวก่อน จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 4 ชั่วโมง จึงเริ่มเปิดเครื่องใหม่

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

2.4.4 เปิดเครื่องทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ในระหว่างนี้ให้นำ Co-60 ขนาด 1 μ Ci (สีแดง) มาวางไว้ในตำแหน่งหัววัด ให้กดปุ่ม Energy ที่เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (MCA) เมื่อยอดของ Co-60 อยู่ที่ตำแหน่ง 1170 และ 1332 KeV แสดงว่าเครื่องมือพร้อมที่จะเริ่มทำงานแล้ว

2.4.5 นำ Co-60 ออกจากตำแหน่งหัววัด ลบข้อมูลของ Co-60 บนหน้าจอ

ระดับพลังงานนี้มาจาก ^{214}Bi สำหรับการหาปริมาณทอเรียมสมมูลได้ใช้ยอดสเปกตรัมที่ระดับพลังงาน 2623.02 keV คือช่อง 913-919 เป็นตัวเปรียบเทียบ รังสีแกมมาที่ระดับพลังงานนี้เป็นผลมาจาก ^{208}Tl ซึ่งเป็นลูกของ ^{232}Th

2.9 คำนวณค่าความผิดพลาด ใช้ความสัมพันธ์

$$\sigma_s = \sqrt{N} \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ σ_s : ค่าความผิดพลาด

N : จำนวนนับได้ยอดสเปกตรัม

ดังนั้น จำนวนนับได้ยอดสเปกตรัมสุทธิเท่ากับ $N \pm \sigma_s \dots\dots\dots(4)$

2.10 เขียนกราฟเส้นตรงระหว่างจำนวนนับได้ยอดสเปกตรัมกับความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล เพื่อหาสมการเส้นตรงจากกราฟ

2.11 ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 2.5 ถึง ข้อ 2.10 แต่เปลี่ยนเวลาจาก 3 ชั่วโมง เป็น 5, 7 และ 9 ชั่วโมง เพื่อหาเวลาและสมการเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุด ที่จะนำไปคำนวณความเข้มข้นของตัวอย่างหิน

2.12 ทำการวัดกัมมันตภาพรังสีและคำนวณจำนวนนับได้ยอดสเปกตรัมของตัวอย่างหินบดที่เตรียมไว้แล้ว โดยทำการวัดเช่นเดียวกับการวัดกัมมันตภาพรังสีของสารรังสีมาตรฐาน แต่เปลี่ยนมาใช้เวลาทำการวัดที่ได้จากข้อ 2.11

2.13 คำนวณความเข้มข้นของตัวอย่างหินบดโดยใช้สมการที่ได้จากข้อ 2.11 ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$Y = aN + b \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อ Y : ความเข้มข้นของตัวอย่างหินบด

N : จำนวนนับได้ยอดสเปกตรัม

a, b : ค่าคงที่

3. การวิเคราะห์ค่าความถ่วง

การเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงระหว่างจุดอ้างอิงและจุดอื่นๆ จะเป็นผลมาจากปัจจัยหลายประการนอกเหนือไปจากการเปลี่ยนสภาพธรณีวิทยาใต้ดิน ปัจจัยที่สำคัญได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของค่าที่อ่านได้โดยแกรวิติมิเตอร์เมื่อเวลาผ่านไป โลกมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมแบนขั้ว (oblate spheroid) รัศมีสูงที่ไม่เท่ากันของจุดวัด และความขรุขระของลักษณะภูมิประเทศในบริเวณสำรวจ ด้วยเหตุนี้ค่าความถ่วงระหว่างจุดอ้างอิง (base station) และจุดอื่นต้องได้รับการปรับแก้ไขเพื่อตัดการเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงเนื่องจากสาเหตุที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป ได้แก่ การแก้ไขครีฟท์ (drift correction) การแก้ไขละติจูด (latitude correction) การแก้ไขฟรี-แอร์ (free-air correction) การแก้ไขบูร์แกร์ (Bouguer correction) และการแก้ไขลักษณะภูมิประเทศ (terrain correction)

การคำนวณค่าความถ่วง ประกอบด้วย

- 3.1 การปรับแก้ครีฟท์
- 3.2 การปรับแก้ละติจูด
- 3.3 การแก้ไขระดับความสูง
- 3.4 ค่าผิดปกติฟรี-แอร์และบูร์แกร์

3.1 การปรับแก้ครีฟท์

การปรับแก้ครีฟท์ของเครื่องมืออาศัยการอ่านค่าซ้ำที่หมุดฐานที่เวลาต่างๆกันตลอดทั้งวัน ซึ่งเป็นข้อมูลการวัดความถ่วงและความสูงคงตราบ 2 โดยได้แบ่งการปรับแก้ครีฟท์ออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย:

- 3.1.1 การปรับแก้ครีฟท์ความถ่วง
- 3.1.2 การปรับแก้ครีฟท์ความสูง

3.1.1 การปรับแก้ครีฟท์ความถ่วง มีขั้นตอนดังนี้

3.1.1.1 เปลี่ยนเวลาวัดเป็นชั่วโมง

3.1.1.2 นำค่าที่อ่านได้จากตัวนับ(counter) ของแกรวิติมิเตอร์ (gravity meter)

คูณด้วยตัวประกอบปรับเทียบ(calibration factor) ของแกรวิติมิเตอร์ เพื่อเปลี่ยนเป็นค่าความถ่วงในหน่วยมิลลิเกิล(milligal) สำหรับทุกๆจุด โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$g_{\text{mgal}} = \{(g_{\text{read}} - A) \times B\} + C \dots \dots \dots (6)$$

เมื่อ g_{mgal} : ค่าความถ่วง มีหน่วยเป็นมิลลิเกล (10^{-5} m/s^2)

g_{read} : ค่าที่อ่านได้จากตัวนับบนแกรวิติมิเตอร์

A : ค่าเฉพาะในช่วงการอ่านของแกรวิติมิเตอร์แบบ

ลาคอส์ท์และรอมเบิร์ก หมายเลข G-565

B, C : ค่าคงที่ ซึ่งขึ้นกับค่าของ A

ตาราง 5 ตัวประกอบปรับเทียบ (calibration factor) ของแกรวิติมิเตอร์แบบลาคอส์ท์และรอมเบิร์ก หมายเลข G-565

A	B	C
1600-1699	1629.10	1.01860
1700-1799	1730.96	1.01874

3.1.1.3 จากข้อ 3.1.1.2 และข้อ 3.1.1.2 นำมาคำนวณหาค่าคริปท์ โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{Drift} = \frac{(g_{\text{mgalE}} - g_{\text{mgalB}}) + \text{Dr}}{T_E - T_B} \dots \dots \dots (7)$$

เมื่อ Drift : ค่าคริปท์ของการวัดในวงรอบนี้ มีหน่วยเป็น mGal/hr

g_{mgalB} : ค่าความถ่วงของจุดอ้างอิงที่เริ่มต้นวัด มีหน่วยเป็น mGal

g_{mgalE} : ค่าความถ่วงของจุดอ้างอิงที่สิ้นสุดการวัด มีหน่วยเป็น mGal

Dr : ค่าความแตกต่างของความถ่วงสัมบูรณ์ของจุดอ้างอิงที่เริ่มต้นกับ

จุดอ้างอิงที่สิ้นสุดการวัดของวงรอบ มีหน่วยเป็น mGal

T_B, T_E : เวลาของการวัดความถ่วงของจุดอ้างอิงที่เริ่มต้นและจุดอ้างอิงสิ้นสุด

การวัดของวงรอบ มีหน่วยเป็น hr

3.1.1.4 นำค่าครีฟท์ที่คำนวณได้ไปหักลบค่าความถ่วงของจุดวัดใดๆในวงรอบ เพื่อให้ได้ค่าความถ่วงที่เวลาเดียวกันทั้งหมด

$$\text{corg}_{\text{mgaln}} = g_{\text{mgaln}} - \text{Drift} \times (T_n - T_B) \dots \dots \dots (8)$$

เมื่อ n : 1, 2, 3,

$\text{corg}_{\text{mgaln}}$: ค่าความถ่วงใดๆที่ปรับแก้ครีฟท์แล้ว มีหน่วยเป็น mGal

g_{mgaln} : ค่าความถ่วงจุดใดๆ มีหน่วยเป็น mGal

T_n, T_B : เวลาของจุดวัดใดๆและจุดวัดเริ่มต้นของวงรอบตามลำดับ มีหน่วยเป็น hr

3.1.1.5 จำนวนค่าความถ่วงสัมบูรณ์ของจุดวัดใดๆ โดยการหาค่าความแตกต่างของความถ่วงที่ปรับแก้ครีฟท์แล้วของจุดวัดและจุดอ้างอิง แล้วมารวมกับค่าความถ่วงสัมบูรณ์ของจุดอ้างอิง ดังสมการ

$$g_{\text{obs}_n} = (\text{corg}_{\text{mgaln}} - \text{corg}_{\text{mgal}(n-1)}) \times 10 + g_{\text{obs}_{n-1}} \dots \dots \dots (9)$$

เมื่อ n = 1, 2, 3,

$g_{\text{obs}_n}, g_{\text{obs}_{n-1}}$: ค่าความถ่วงสัมบูรณ์ของจุดวัดที่ n และที่ $n-1$ ตามลำดับ มีหน่วยเป็น gu

$\text{corg}_{\text{mgaln}}, \text{corg}_{\text{mgal}(n-1)}$: ค่าความถ่วงที่ปรับแก้ครีฟท์ที่จุดวัดที่ n และที่ $n-1$ ตามลำดับ มีหน่วยเป็น mGal

สำหรับการวัดค่าความถ่วงในการวิจัยครั้งนี้ ได้อ้างอิงค่าความถ่วงสัมบูรณ์ของจุดอ้างอิงหลัก SC ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (กริด 666000, 774637) ซึ่งมีค่าความถ่วงสัมบูรณ์เท่ากับ 9781219.8 gu ($\mu\text{m/s}^2$) ดังตาราง 6

ตาราง 6 ตัวอย่างการปรับแก้ครีฟท์ของความถ่วง

รหัส	เวลา hr:min	ค่าที่อ่าน	เวลา (hr)	ความถ่วง ที่จุดวัดใดๆ (mGal)	ค่าที่ปรับแก้ ครีฟท์แล้ว (mGal)	ความถ่วง สัมบูรณ์ (gu) 9781_____	ค่าครีฟท์ (mGal/hr)
SC*	08:23	1650.780	0.00	1680.825	1680.825	219.8	0.0032682
G01	08:37	1649.830	0.23	1679.857	1679.856	210.1	
G02	09:00	1655.130	0.62	1685.255	1685.253	264.1	
G03	09:07	1655.905	0.73	1686.045	1686.042	272.0	
G04	09:17	1657.200	0.90	1687.364	1687.361	285.2	
G05	09:27	1655.715	1.07	1685.851	1685.848	270.0	
G06	09:35	1655.950	1.20	1686.091	1686.087	272.4	
G07	09:45	1658.945	1.37	1689.141	1689.137	302.9	
G08	09:52	1660.370	1.48	1690.593	1690.588	317.4	
G09	10:02	1661.860	1.65	1692.111	1692.105	332.6	
G10	10:11	1663.080	1.80	1693.353	1693.347	345.0	
G11	10:19	1664.240	1.93	1694.535	1694.529	356.8	
G12	10:27	1665.070	2.07	1695.380	1695.374	365.3	
G13	10:40	1670.090	2.28	1700.494	1700.486	416.4	
G14	10:51	1677.295	2.47	1707.833	1707.825	489.8	
SC*	11:30	1650.790	3.12	1680.835	1680.825	219.8	

3.1.2 การปรับแก้ครีฟท์ความสูง

3.1.2.1 ทำการเปลี่ยนหน่วยเวลาที่ใช้ในการวัดของแต่ละจุด เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิง เช่นเดียวกับข้อ 3.1.1.1 ของการปรับแก้ครีฟท์ความถ่วง

3.1.2.2 นำค่าที่อ่านได้จากมาตรระดับความสูงมาปรับเทียบกับอุณหภูมิ ขณะที่ทำการวัด ดังสมการ

$$\Delta H_n = (H_n - H_{n-1}) \times \left\{ 1 + 0.0036 \times \left[\left(\frac{T_{em_n} + T_{em_{n-1}}}{2} \right) - 10 \right] \right\} \dots\dots (10)$$

เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots$

ΔH_n : ค่าความสูงที่ปรับเทียบกับอุณหภูมิมิ มีหน่วยเป็น เมตร

H_n, H_{n-1} : ค่าความสูงที่อ่านได้จากมาตรระดับความสูงที่จุด n และ $n-1$ ตามลำดับ

Tem_n, Tem_{n-1} : อุณหภูมิขณะทำการวัดที่จุด n และ $n-1$ ตามลำดับ มีหน่วยเป็น $^{\circ}C$

3.1.2.3 คำนวณค่าความสูงขณะทำการวัดของแต่ละจุดที่เวลาใดๆ เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงเริ่มต้น ดังสมการ

$$\text{cor}H_n = \Delta H_n + \text{cor}H_{n-1} \dots \dots \dots (11)$$

เมื่อ $n : 1, 2, 3, \dots$

$\text{cor}H_n, \text{cor}H_{n-1}$: ค่าความสูงที่เวลาใดๆ ที่ทำการวัดที่จุด n และ $n-1$ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงเริ่มต้น มีหน่วยเป็นเมตร

ΔH_n : ค่าความสูงที่ปรับเทียบกับอุณหภูมิมิ มีหน่วยเป็นเมตร(m)

3.1.2.4 จากข้อ 3.1.2.1 และข้อ 3.1.2.3 นำมาคำนวณหาค่าครีฟท์ โดยใช้
ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{Drift} = \frac{\text{cor}H_E - \text{cor}H_B + Dr}{T_E - T_B} \dots \dots \dots (12)$$

เมื่อ Drift : ค่าครีฟท์ของการวัดในวงรอบนี้ มีหน่วยเป็น m/hr

$\text{cor}H_B$: ค่าความสูงที่ปรับเทียบแล้วของจุดอ้างอิงที่เริ่มต้น มีหน่วยเป็น m

$\text{cor}H_E$: ค่าความสูงที่ปรับเทียบแล้วของจุดอ้างอิงที่สิ้นสุดการวัด มีหน่วยเป็น m

Dr : ค่าความแตกต่างของความสูงสัมบูรณ์ของจุดอ้างอิงที่เริ่มต้นกับจุดอ้างอิงที่สิ้นสุดการวัดของวงรอบ มีหน่วยเป็น m

T_B, T_E : เวลาของการวัดความสูง ของจุดอ้างอิงที่เริ่มต้นและสิ้นสุดการวัดของวงรอบ ตามลำดับ มีหน่วยเป็น hr

3.1.2.5 คำนวณค่าความสูงที่ปรับแก้ครีฟท์แล้วของจุดวัดใดๆ โดยการนำค่าความสูงที่ปรับเทียบกับจุดวัดเริ่มต้นแล้ว มาหักลบกับค่าครีฟท์ของเวลาใดๆ แล้วจึงรวมกับค่าความสูงสัมบูรณ์ของจุดอ้างอิงหลัก ดังสมการ

$$\text{Hobs}_n = \text{corH}_n - \left[\text{Drift} \times (T_n - T_B) \right] + \text{Hsc} \dots \dots \dots (13)$$

เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots \dots \dots$

Hobs_n : ค่าความสูงสัมบูรณ์ของจุดวัดใดๆที่ปรับแก้ครีฟท์แล้ว มีหน่วยเป็น m

corH_n : ค่าความสูงใดๆที่ปรับเทียบแล้วกับจุดอ้างอิงที่เริ่มต้น มีหน่วยเป็น m

T_n, T_B : เวลาของจุดวัดใดๆ และจุดอ้างอิงที่เริ่มต้นของวงรอบ มีหน่วยเป็น hr

Hsc : ค่าความสูงสัมบูรณ์ของจุดอ้างอิงหลักที่ใช้ มีหน่วยเป็น m

สำหรับการวัดค่าความถ่วงในการวิจัยครั้งนี้ ได้อ้างอิงค่าความสูงสัมบูรณ์ของจุดอ้างอิงหลัก SC ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งมีค่าความสูงเท่ากับ 24.4 เมตร โดยมีตัวอย่างปรับแก้ครีฟท์ของความสูง ดังตาราง 7

ตาราง 7 ตัวอย่างการปรับแก้ครีฟท์ของความสูง

รหัส	เวลา hr:min	ความสูง (m)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (hr)	ความแตกต่าง (m)	ความสูง (m)	ความสูง สัมบูรณ์ (m)	ครีฟท์ (m/hr)
SC*	08:23	24.0	27.5	0.00		0.00	24.2	0.750
G01	08:37	19.0	28.0	0.23	-5.32	-5.32	18.9	
G02	09:00	8.0	30.0	0.62	-11.75	-17.07	6.9	
G03	09:07	9.0	31.0	0.73	1.07	-16.00	7.9	
G04	09:17	4.5	31.0	0.90	-4.84	-20.84	2.9	
G05	09:27	1.0	30.0	1.07	-3.76	-24.60	-1.0	
G06	09:35	8.0	30.0	1.20	7.50	-17.09	6.4	
G07	09:45	5.0	31.0	1.37	-3.22	-20.31	3.1	
G08	09:52	4.0	31.0	1.48	-1.08	-21.39	1.9	
G09	10:02	1.0	31.0	1.65	-3.23	-24.62	-1.5	
G10	10:11	-3.0	31.0	1.80	-4.30	-28.92	-5.9	
G11	10:19	-4.0	32.0	1.93	-1.08	-30.00	-7.0	
G12	10:27	3.0	32.0	2.07	7.55	-22.44	0.4	
G13	10:40	5.0	32.0	2.28	2.16	-20.28	2.4	
G14	10:51	4.0	32.0	2.47	-1.08	-21.36	1.2	
SC*	11:30	26.0	31.0	3.12	23.07	2.34	24.4	

3.2 การปรับแก้ละติจูด (latitude correction)

ความถ่วงเปลี่ยนแปลงตามละติจูดเนื่องจากโลกมีรูปร่างทรงกลมแบนขั้ว และเนื่องจากความเร็วเชิงมุมของจุดบนผิวโลกมีค่าลดลงจากค่ามากที่สุดที่ศูนย์สูตร จนเป็นศูนย์ที่ขั้วโลก ความเร่งสู่ศูนย์กลางซึ่งเกิดจากการหมุนนี้จะมีองค์ประกอบในแนวรัศมีที่เป็นลบ ทำให้ค่าความถ่วงลดลงจากขั้วโลกไปยังบริเวณศูนย์สูตร (วรวิทย์ โลหะวิจารณ์, 2537)

ดังนั้นจึงต้องทำการปรับแก้อิทธิพลดังกล่าว โดยใช้ความสัมพันธ์ (Parasnis, 1986) ดังนี้

$$g_{\phi} = 97803185 \times (1 + 0.005278895(\sin^2 \phi) + 0.000023462(\sin^4 \phi)) \dots (14)$$

เมื่อ g_{ϕ} : ค่าความถ่วงที่ละติจูด ϕ ที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง มีหน่วยเป็น g_u

ϕ : ค่าละติจูดของจุดวัด

3.3 การแก้ไขระดับความสูง

การปรับแก้อิทธิพลของระดับความสูงที่มีต่อค่าความถ่วงของจุดวัด สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

3.3.1 การปรับแก้ฟรี-แอร์ (free-air correction, FAC)

เป็นการปรับแก้การลดลงของค่าความถ่วงกับความสูงในอากาศอิสระ ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของระยะทางจากจุดศูนย์กลางของโลก จากภาพประกอบ 16 สามารถคำนวณค่าปรับลดสำหรับจุดวัดที่ระดับความสูง h มายังระดับอ้างอิงโดยใช้สมการ

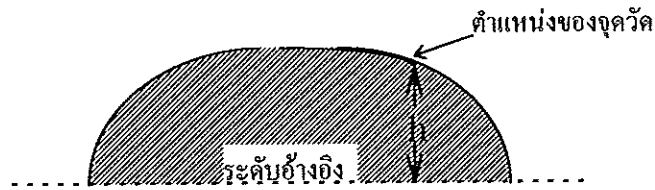
$$FAC = 3.072 \times h \dots \dots \dots (15)$$

เมื่อ FAC : ค่าปรับแก้ฟรีแอร์ จะมีค่าเป็นบวกสำหรับจุดวัดที่อยู่สูงกว่าระดับ

อ้างอิง มีหน่วยเป็น $g_u (\mu m/s^2)$

h : ค่าความสูงของจุดวัดเหนือระดับอ้างอิง มีหน่วยเป็น m

ภาพประกอบ 16 การปรับแก้ฟรี-แอร์ของจุดวัดที่ระดับความสูง h เหนือระดับอ้างอิง



3.3.2. การปรับแก้บูร์แกร์ (Bouguer correction, BC)

เป็นการปรับแก้อิทธิพลโน้มถ่วงเนื่องจากความหนาแน่น ρ ระหว่างชั้นหินมีลักษณะเป็นแผ่นมวลขนาดใหญ่และวางอยู่ในแนวนอน และมีความหนาเท่ากับ h วางอยู่ ดังภาพประกอบ 17 ค่าปรับแก้คำนวณได้จากความสัมพันธ์ (Parasnis, 1986)

$$BC = 0.0004191 \times \rho \times h \dots \dots \dots (16)$$

เมื่อ BC : ค่าปรับแก้บูร์แกร์ มีหน่วยเป็น g_u

ρ : ค่าความหนาแน่นของหินใต้จุดวัด มีหน่วยเป็น kg/m^3

h : ค่าระดับความสูงของจุดวัดเหนือระดับอ้างอิง มีหน่วยเป็น m

ค่าปรับแก้ BC จะมีค่าเป็นลบ เมื่อ h เป็นบวก (จุดวัดอยู่สูงกว่าระดับอ้างอิง)

ภาพประกอบ 17 แสดงการปรับแก้บูร์แกร์

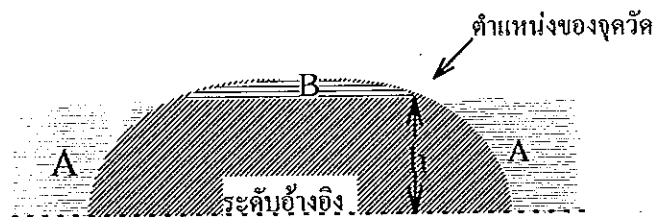


3.3.3 การปรับแก้ภูมิประเทศ (terrian correction, TC)

ในกรณีที่ภูมิประเทศมีลักษณะสูงต่ำและอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับจุดวัด ค่าปรับแก้ภูมิประเทศจะเป็นบวกเสมอ ดังภาพประกอบ 18 โดยบริเวณ A เป็นส่วนของแผ่นมวลปรับแก้บูร์แกร์ แม้ว่าโดยความเป็นจริงไม่ได้มีหินอยู่ในบริเวณนี้เลย ดังนั้นการปรับแก้บูร์แกร์ในบริเวณนี้จะปรับแก้ค่ามากเกินไป การปรับแก้คืนมาโดยค่าปรับแก้ภูมิประเทศที่เป็นบวก

บริเวณ B ประกอบด้วยหินที่ต้องตัดออกไปเนื่องจากการปรับแก้บัวร์แกร์ และบริเวณ B จะทำให้เกิดแรงดึงจุดที่จุดวัดในทิศขึ้น จึงทำให้ค่าความถ่วงที่วัดได้มีค่าลดลง การดึงจุดของบริเวณ B จะต้องได้รับการปรับแก้ด้วยค่าปรับแก้ภูมิประเทศที่เป็นบวก (วรวิจิตร โลหะวิจารณ์, 2537)

ภาพประกอบ 18 การปรับแก้ภูมิประเทศ



การปรับแก้ภูมิประเทศ มีขั้นตอนดังนี้

3.3.3.1 การบันทึกข้อมูลปรับแก้ภูมิประเทศในภาคสนาม ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในการดำเนินการวิจัยภาคสนาม

3.3.3.2 การบันทึกข้อมูลปรับแก้ภูมิประเทศในห้องปฏิบัติการ มีรายละเอียดดังนี้

ก. ใช้แกรติคูลวงกลม(circular graticule) ซึ่งแบ่งออกเป็นห้องๆ โดยมีรัศมีและเส้นรอบวงของวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน เรียกว่าแผนภูมิแฮมเมอร์ (Hammer chart) ดังภาพประกอบ 19 วางลงบนแผนที่ประเทศมาตราส่วน 1: 50,000 โดยให้จุดศูนย์กลางของแผนภูมิอยู่ที่จุดวัด แล้วทำการประเมินค่าระดับความสูงเฉลี่ยในแต่ละห้องของแกรติคูลบันทึกลงในตารางบันทึกข้อมูล ดังตาราง 8 โดยมีค่ารัศมีและจำนวนห้องของแต่ละโซน ดังตาราง 9

ข. คำนวณอิทธิพลด้านความถ่วงของห้องทุกห้องบนแกรติคูลดังสมการ

$$T = 0.0004191 \left(\frac{\rho}{n} \right) \left(r_2 - r_1 + \left(\sqrt{r_2^2 + z^2} \right) - \left(\sqrt{r_1^2 + z^2} \right) \right) \dots \dots \dots (17)$$

เมื่อ T : ค่าปรับแก้ภูมิประเทศของแต่ละโซน มีหน่วยเป็น gu

ρ : ค่าความหนาแน่นของแผ่นมวลหินใต้จุดวัดเหนือระดับอ้างอิงมีหน่วยเป็น kg/m^3

n : จำนวนห้องของแต่ละโซน

r_2, r_1 : รัศมีวงนอกและวงในของแต่ละโซน มีหน่วยเป็น m

z : ค่าความสูงเฉลี่ยรวมเหนือระดับอ้างอิงของแต่ละโซน มีหน่วยเป็น m

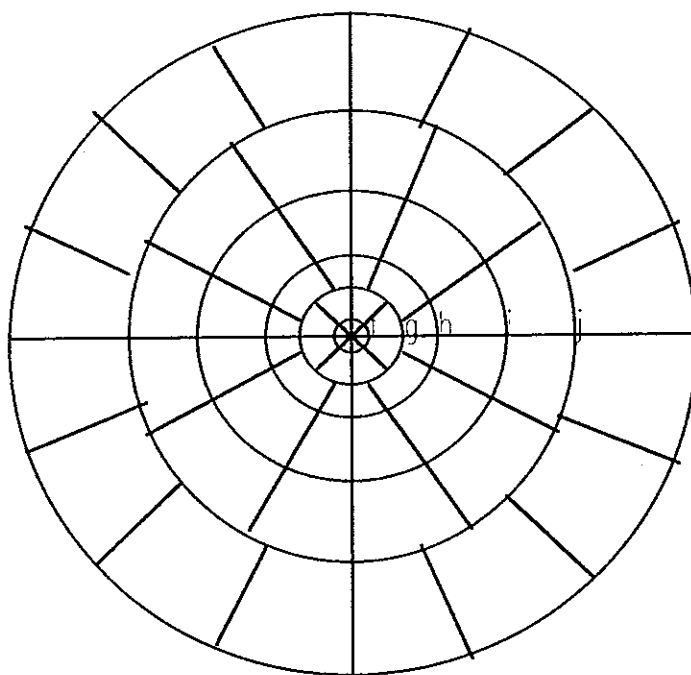
ค. นำค่าปรับแก้ภูมิประเทศของแต่ละแตรติจูดที่ได้ในข้อ ข. มารวมเป็น
ค่าปรับแก้ภูมิประเทศของจุดวัด ดังสมการ

$$TC = T_B + T_C + T_D + T_E + T_F + T_I + T_J \dots\dots\dots (18)$$

เมื่อ TC : ค่าปรับแก้ภูมิประเทศของจุดวัด มีหน่วยเป็น gu

$T_B, T_C, T_D, T_E, T_F, T_I, T_J$: ค่าปรับแก้ภูมิประเทศของแต่ละแตรติจูดตั้งแต่ B ถึง J มี
หน่วยเป็น gu

ภาพประกอบ 19 แผนภูมิแฮมเมอร์



ตาราง 8 ตารางบันทึกค่าปรับแก้ภูมิประเทศในโซน F ถึง J

CLIENT _____ AREA _____ OBSERVER _____ DATE ____ / ____ / ____

STATION _____ ALTITUDE _____ TOTAL CORRECTION _____		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
COMPARTMENT																	
ZONE																	
F	ALT.																
	DIF.																
	COR.																
G	ALT.																
	DIF.																
	COR.																
H	ALT.																
	DIF.																
	COR.																
I	ALT.																
	DIF.																
	COR.																
J	ALT.																
	DIF.																
	COR.																

ตาราง 9 ค่าที่ใช้ปรับแก้ภูมิประเทศในโซน F ถึง J

โซน	รัศมีวงใน (m)	รัศมีวงนอก (m)	จำนวนห้อง
F	390.1	894.8	8
G	894.8	1529.4	12
H	1529.4	2614.4	12
I	2641.4	4468.8	12
J	4468.8	6652.5	16

3.4 ค่าผิดปกติบูร์แกร์ (Bouguer anomaly)

3.4.1 เป็นการนำค่าความถ่วงสัมบูรณ์ของจุดวัด มาหักลบด้วยค่าปรับแก้ละติจูด แล้วรวมกับค่าปรับแก้ฟรี-แอร์ หลังจากนั้นหักลบด้วยค่าปรับแก้บูร์แกร์ แล้วจึงรวมกับค่าปรับแก้ภูมิประเทศ ก็จะเป็นค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ ดังตาราง 10 ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$BA = gobs - gf + FAC - BC + TC \dots \dots \dots (19)$$

เมื่อ BA : ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ มีหน่วยเป็น gu

gobs : ค่าความถ่วงสัมบูรณ์ มีหน่วยเป็น gu

gf : ค่าปรับแก้ละติจูด มีหน่วยเป็น gu

FAC : ค่าปรับแก้ฟรีแอร์ มีหน่วยเป็น gu

BC : ค่าปรับแก้บูร์แกร์ มีหน่วยเป็น gu

TC : ค่าปรับแก้ภูมิประเทศ มีหน่วยเป็น gu

3.4.2 นำค่าพิกัดของจุดวัดและค่าผิดปกติบูร์แกร์ที่ได้จากข้อ 3.4.1 มาทำแผนที่
คอนทัวร์ความถ่วงมาตราส่วน 1 : 500,000 แล้วจึงตัดภาคตัดขวางความถ่วง โดยใช้โปรแกรม
Winsurf version 5.0 (วิธีการแบบ Inverse Distance Power Two, Search Type : Quadrant,
Search radius : 18,000 m., Data Per Sectors : 6, Minimum Total Data : 5, Max Empty
Sectors : 4, Spacing : 1,000 m.)

3.4.3 นำภาคตัดขวางความถ่วงที่ได้ในข้อ 3.4.2 มาสร้างแบบจำลองภาคตัดขวางด้วย
โปรแกรม Geo Vista AB-GMM, version 1.31

ตาราง 10 ตัวอย่างการคำนวณค่าผิดปกติบูร์แกร์

รหัส	E	N	ละติจูด (degree)	ปรับแก้ละติจูด (gu) 9781xxx.x	ความถ่วงสัมบูรณ์ (gu) 9781xxx.x	ความสูง (m)	ปรับแก้ ภูมิประเทศ (gu)	ผิดปกติ บูร์แกร์ (gu)
SC	666000	774637	7.01	086.3	219.8	24.4	0.056	184.3
G01	665400	775300	7.01	087.6	210.1	18.9	0.047	161.9
G02	666150	776950	7.03	090.9	264.1	6.9	0.093	189.4
G03	666450	779200	7.05	095.4	272.0	7.9	0.154	196.4
G04	668350	780600	7.06	098.1	285.2	2.9	0.075	194.7
G05	670700	781650	7.07	100.2	270.0	-1.0	0.031	168.6
G06	672300	783300	7.09	103.5	272.4	6.4	0.015	182.2
G07	673600	785450	7.10	107.8	302.9	3.1	0.018	201.8
G08	674100	787650	7.12	112.2	317.4	1.9	0.015	209.4
G09	675800	789450	7.14	115.8	332.6	-1.5	0.042	214.9
G10	677450	791300	7.16	119.6	345.0	-5.9	0.033	214.4
G11	678600	793400	7.16	123.8	356.8	-7.0	0.003	218.9
G12	676600	794800	7.19	126.6	365.3	0.4	0.004	239.6
G13	675600	796750	7.21	130.6	416.4	2.4	0.004	290.8
G14	674650	798850	7.23	134.8	489.8	1.2	0.003	357.4

4. การวิเคราะห์ความเข้มสนามแม่เหล็กโลกและกัมมันตภาพรังสีที่ได้จากการบินสำรวจ

การบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศดำเนินการโดยกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งได้ว่าจ้างบริษัท KENTING EARTH SCIENCES INTERNATIONAL LIMITED (KESIL) ทำการบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ขึ้นในปี พ.ศ. 2527 ถึง พ.ศ. 2530 ประกอบด้วยการบินสำรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็กโลก การบินสำรวจวัดกัมมันตภาพรังสี และการบินวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วประเทศ พื้นที่จังหวัดสงขลา พัทลุง และตรัง ก็เป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่สำรวจ SURVEY B&C ซึ่งบินสูงประมาณ 400 ฟุต เหนือพื้นดิน (MTC) โดยทำการบินสำรวจในทิศเหนือ-ใต้ มีเส้นสำรวจการบินห่างกัน 1 กิโลเมตร และมีเส้นควบคุมด้วยระยะห่าง 14 กิโลเมตร

สำหรับการวิเคราะห์การบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

4.1 การวิเคราะห์ความเข้มสนามแม่เหล็กโลก

4.2 การวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสี

4.1 การวิเคราะห์ความเข้มสนามแม่เหล็กรวมของโลก

ข้อมูลความเข้มสนามแม่เหล็กที่ได้รับมาจากกรมทรัพยากรธรณี (2532) ซึ่งได้รับมาอยู่ในแผ่นบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก โดยข้อมูลจะบันทึกไว้ในพื้นที่มาตราส่วน 1:50,000 ตามระวางแผนที่ภูมิประเทศซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในส่วนที่เป็นอุปกรณ์ข้างต้น โดยจะบันทึกไว้ระวางละ 1 แผ่นบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก รวมทั้งสิ้น 17 แผ่น ดังนั้นการวิเคราะห์ความเข้มสนามแม่เหล็กโลก จึงมีขั้นตอนดังนี้

4.1.1 ทำการกริดข้อมูลออกมาเป็นตารางข้อมูล ให้ครอบคลุมพื้นที่แต่ละระวางซึ่งมีระยะห่างกันเท่ากับ 1 กิโลเมตร แล้วรวมเป็นข้อมูลชุดเดียวกันเพื่อจะได้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด

4.1.2 นำข้อมูลทั้งหมดมาทำแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กโลก มาตราส่วน 1:500,000 และทำการตัดภาคตัดขวางตามแนวภาคตัดขวางของแผนที่ความถ่วงข้างต้น โดยโปรแกรม winsurfer version 5.0 (วิธีการแบบ Inverse Distance Power Two, Search Type : Quadrant, Search radius : 18,000 m., Data Per Sectors : 6, Minimum Total Data : 5, Max Empty Sectors : 4, Spacing : 1,000 m.)

สำหรับความเข้มสนามแม่เหล็กผิดปกติได้จากผลต่างของความเข้มสนามแม่เหล็กโลก รวมกับความเข้มเนื่องจากสนามไดโพล และความเข้มเนื่องจากสนามไดโพลนี้ที่ตำแหน่งต่างๆ บนผิวโลกขึ้นอยู่กับค่าละติจูดและลองจิจูดดังนี้ (Parkinson, 1983)

เมื่อ x, y, z แทนองค์ประกอบของสนามแม่เหล็กในแนวทิศเหนือ, ทิศตะวันออก และแนวตั้งตามลำดับ

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

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

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

ถ้าใช้ระบบพิกัดแบบทรงกลม r, θ, ϕ เมื่อ r คือรัศมีของโลก θ คือค่าละติจูดและ ϕ คือค่าลองจิจูด

เมื่อ a คือรัศมีของโลก 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 มา

คำนวณ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในภาคผนวก ข.

ดังนั้นจะได้สนามโคโพลรวมที่ θ, ϕ ตำแหน่งใดๆบนผิวโลกดังนี้

$$F = (x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}$$

นำความเข้มสนามแม่เหล็กนี้ไปลบออกจากความเข้มสนามแม่เหล็กรวมของโลกที่ได้จากการบินสำรวจจะได้ค่าผิดปกติของความเข้มสนามแม่เหล็กรวมของโลกของพื้นที่ศึกษา

4.1.3 ทำการสร้างแบบจำลองตามข้อมูลของภาคตัดขวาง และค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ได้ ด้วยโปรแกรม Geo Vista AB-GMM, version 1.31

4.1.4 แผลความและวิเคราะห์เทียบกับแบบจำลองความถ่วง

4.2 การวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสี

ข้อมูลกัมมันตภาพรังสีถูกบันทึกอยู่ในแผ่นบันทึกข้อมูลแม่เหล็กเช่นเดียวกับข้อมูลสนามแม่เหล็ก แต่อยู่ในมาตราส่วน 1:250,000 ระวัง NB 47-3 ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล อย่างละ 1 แผ่นบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก ดังนั้นขั้นตอนการวิเคราะห์จึงเหมือนกับข้อมูลสนามแม่เหล็ก แต่ไม่ต้องรวมข้อมูลที่ทำการกริดแล้ว เพราะข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดแล้วและไม่ต้องสร้างแบบจำลองภาคตัดขวาง เพียงแต่นำภาคตัดขวางมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับภาคตัดขวางความถ่วงและสนามแม่เหล็กโลกเท่านั้น

บทที่ 3

ผลและอภิปรายผล

สำหรับบทนี้ได้แสดงผลการศึกษาและอภิปรายผลการวิจัย โดยเสนอผลการศึกษาตามลำดับดังนี้

1. ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหิน
2. ผลการศึกษาค่าความถ่วงของพื้นที่ศึกษา
3. ผลการศึกษาแผนที่ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกของพื้นที่ศึกษา
4. การแปลความแผนที่ค่าผิดปกติของความถ่วงและค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลก
5. ผลการศึกษาแผนที่กัมมันตภาพรังสีและการวิเคราะห์ปริมาณ K, eU, และ eTh

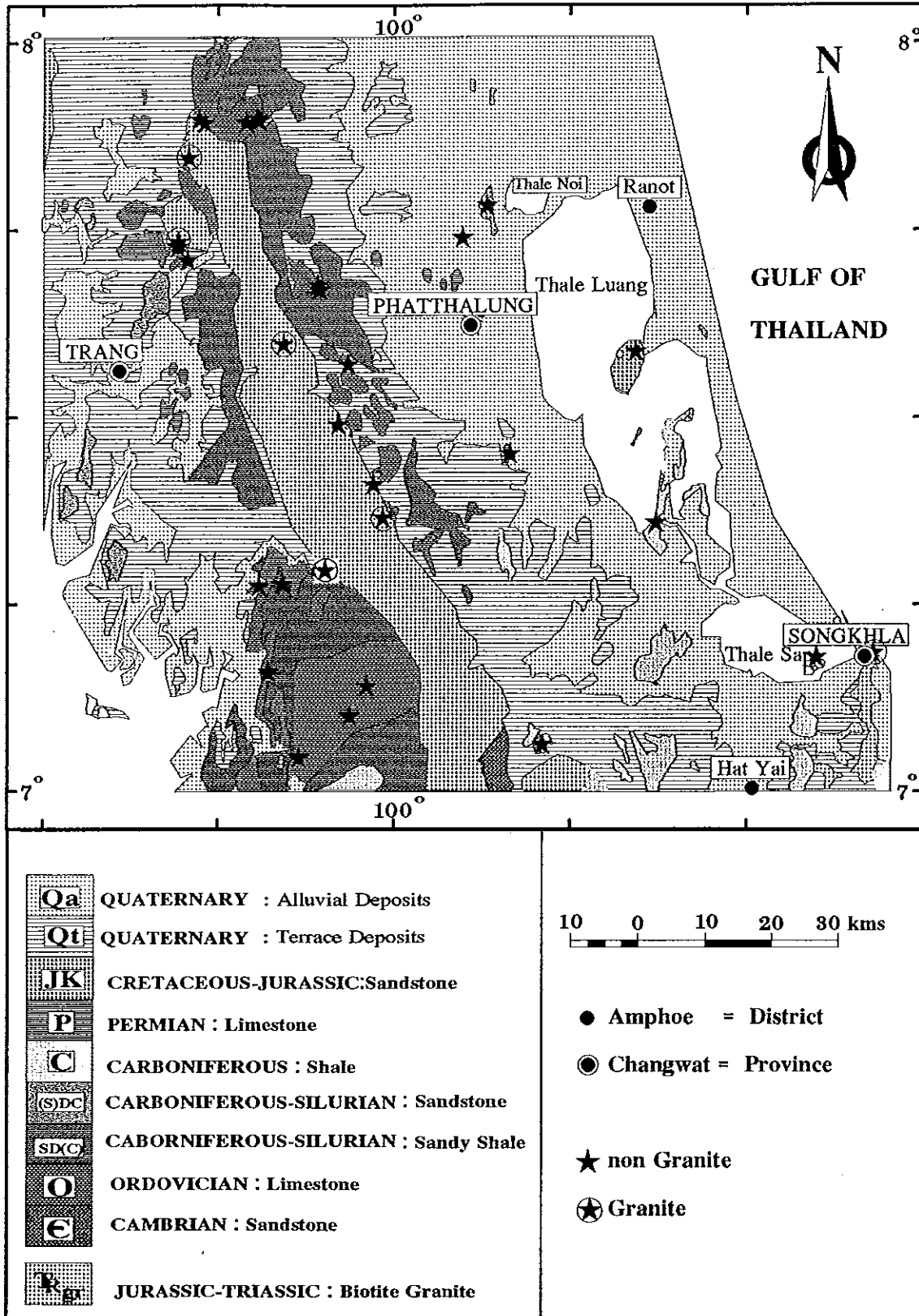
1. ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหิน

การศึกษาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินมีวัตถุประสงค์ เพื่อนำค่าความหนาแน่นนี้ไปใช้ในการแปลความค่าผิดปกติบูร์แกร์สมบูรณ์

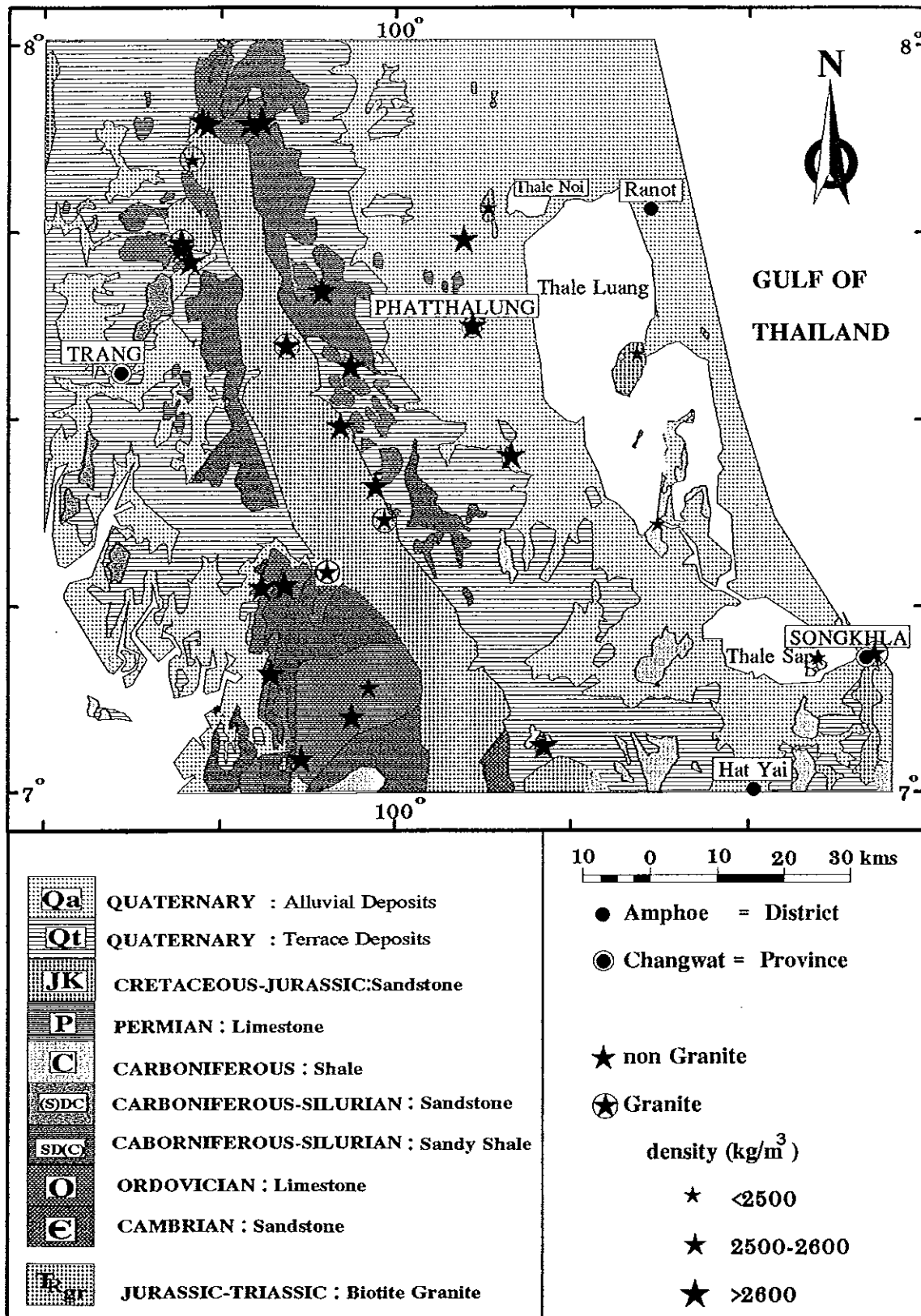
สำหรับตัวอย่างหินที่เก็บในพื้นที่ศึกษา ได้เก็บมาจากเส้นทางที่ทำการวัดค่าความถ่วงรวม 34 ตำแหน่ง แบ่งออกเป็นหิน 7 ชนิดด้วยกัน คือ หินแกรนิตยุคจูเรสซิก-ไทรแอสซิก 6 ตำแหน่ง หินทรายยุคครีเทเชียส-จูเรสซิก 3 ตำแหน่ง หินปูนยุคเพอร์เมียน 3 ตำแหน่ง หินดินดานยุคคาร์บอนิเฟอรัส 3 ตำแหน่ง หินดินดานเนื้อปนทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ไซลูเรียน 2 ตำแหน่ง หินปูนยุคออร์โดวิเซียน 13 ตำแหน่ง และหินทรายยุคแคมเบรียน 4 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งจะเก็บตัวอย่างหินประมาณ 2-10 ก้อนๆ ละไม่เกิน 3,000 กรัม ตามตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 20 โดยให้สัญลักษณ์ ★ แทนตำแหน่งตัวอย่างหิน

ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินในพื้นที่ศึกษาแสดงไว้ในภาพประกอบ 21 ส่วนค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวอย่างหินแสดงไว้ในตาราง 11 และการกระจายของค่าความหนาแน่นแสดงไว้ในภาพประกอบ 22 และ 23

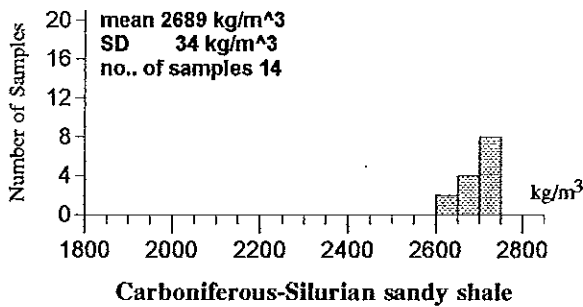
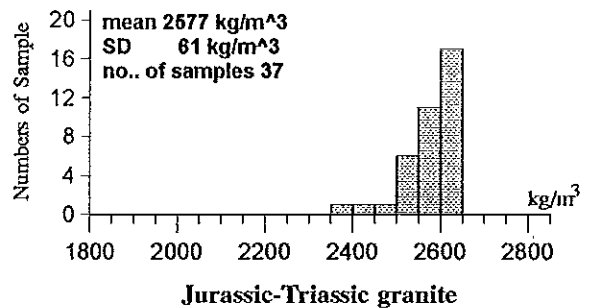
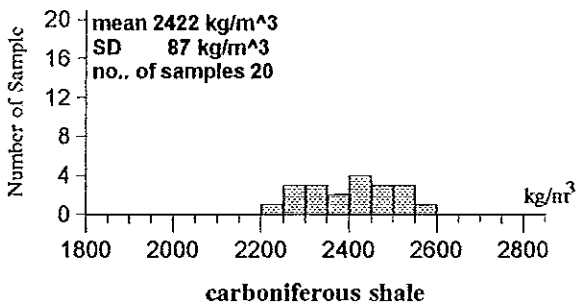
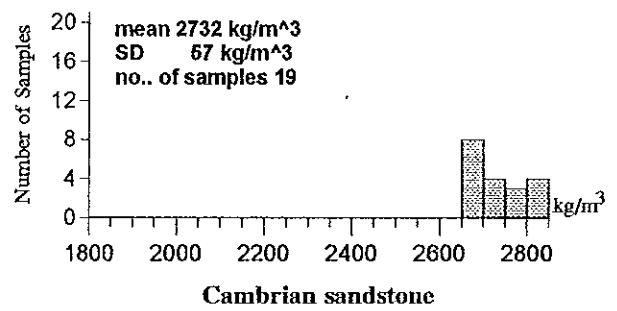
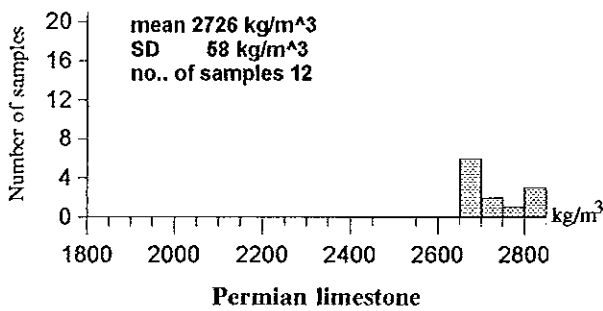
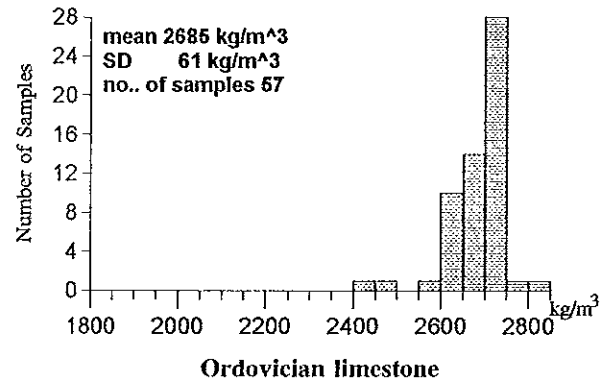
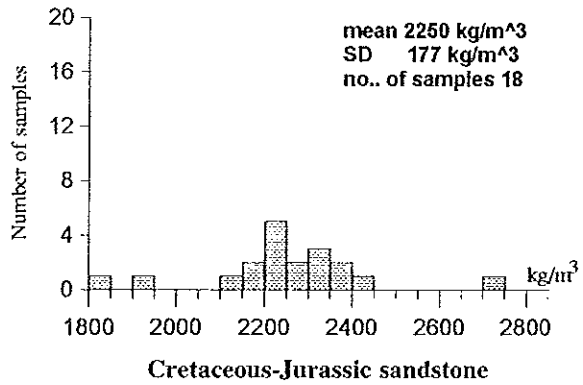
ภาพประกอบ 20 ตำแหน่งของตัวอย่างหิน



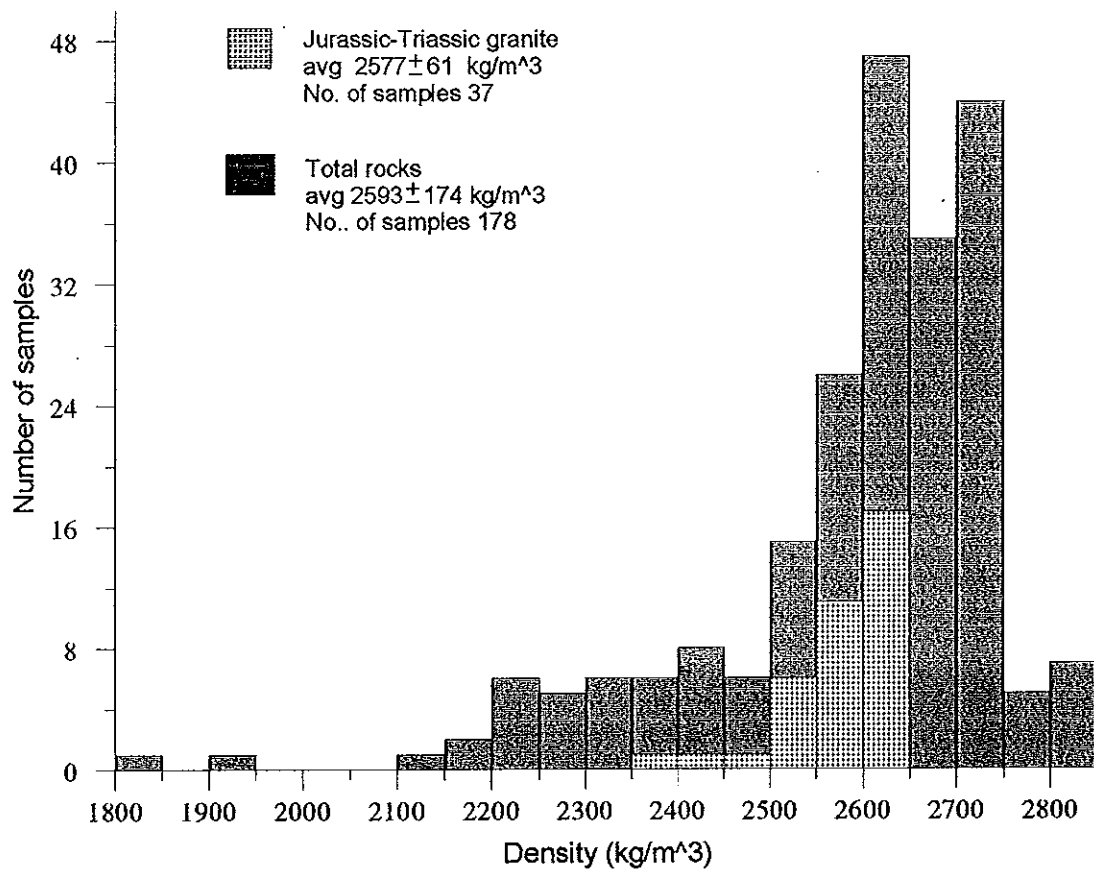
ภาพประกอบ 21 ความหนาแน่นตัวอย่างหินบนพื้นที่ศึกษาวิจัย



ภาพประกอบ 22 การกระจายความหนาแน่นตัวอย่างหินแต่ละชนิด



ภาพประกอบ 23 การกระจายความหนาแน่นของตัวอย่างหินแกรนิตกับหินชนิดอื่นๆ



ตาราง 11 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวอย่างหินในพื้นที่ศึกษา

หิน	ค่าความหนาแน่น(kg/m^3) พิสัยของความหนาแน่น	จำนวน ตำแหน่ง	จำนวนตัวอย่างหิน รวม
หินทราย ยุคครีเทเชียส-จูแรสซิก	2250 ± 178 1836 - 2712	3	19
หินปูน ยุคเพอร์เมียน	2726 ± 58 2653 - 2817	3	12
หินดินดาน ยุคคาร์บอนิเฟอรัส	2401 ± 96 2220 - 2578	3	20
หินดินดานเนื้อปนทราย ยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ไซลูเรียน	2680 ± 37 2597 - 2730	2	14
หินปูน ยุคออร์โดวิเซียน	2685 ± 61 2409 - 2813	13	57
หินทราย ยุคแคมเบรียน	2732 ± 57 2659 - 2847	4	19
หินแกรนิต ยุคจูแรสซิก-ไทรแอสซิก	2577 ± 61 2390 - 2644	6	37

จากตาราง 11 หินทรายยุคแคมเบรียนมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ $2732 \pm 57 \text{ kg/m}^3$ ซึ่งมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือหินปูนยุคเพอร์เมียนมีค่าความหนาแน่น $2726 \pm 58 \text{ kg/m}^3$ ตามด้วยหินปูนยุคออร์โดวิเซียนมีค่าความหนาแน่น $2685 \pm 61 \text{ kg/m}^3$ หินดินดานเนื้อปนทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ไซลูเรียนมีค่าความหนาแน่น $2689 \pm 34 \text{ kg/m}^3$ หินแกรนิตยุคจูแรสซิก-ไทรแอสซิก มีค่าความหนาแน่น $2577 \pm 61 \text{ kg/m}^3$ หินดินดานยุคคาร์บอนิเฟอรัสมีค่าความหนาแน่น $2401 \pm 96 \text{ kg/m}^3$ และหินทรายยุคครีเทเชียส-จูแรสซิกมีค่าความหนาแน่น $2213 \pm 148 \text{ kg/m}^3$ ตามลำดับ สำหรับหินที่ไม่ได้เก็บตัวอย่างหิน คือตะกอนยุคควอเตอร์นารีเนื่องจากจับตัวกันอย่างหลวมๆ (ซึ่งค่าความหนาแน่นขึ้นอยู่กับส่วนประกอบและความพรุนของหิน) และหินทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ไซลูเรียน เนื่องจากไม่มีเส้นทางที่จะเข้าถึงตำแหน่งของหิน โผล่ได้

จากค่าความหนาแน่นข้างต้น จะเห็นว่าหินแกรนิตจะมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่า หินปูนและหินดินดานยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ไซลูเรียน แต่จะมีค่าสูงกว่าหินทรายยุคครีเทเชียส-จูแรสซิก และหินดินดานยุคคาร์บอนิเฟอรัส ซึ่งเมื่อพิจารณาภาพประกอบ 20 จะเห็นว่าแนวหินแกรนิตทอดตัวยาวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ(N15W) อย่างต่อเนื่อง ส่วนหินปูนและหินทราย โผล่ขึ้นมาเป็นคอกขนาดเล็กที่มีรัศมีจำกัด

2. ผลการศึกษาค่าความถ่วงของพื้นที่ศึกษา

การศึกษาค่าความถ่วงนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อกำหนดโครงสร้างธรณีวิทยาเชิงภูมิภาค ด้วยค่าความถ่วง สำหรับผลการศึกษาค่าความถ่วงซึ่งแสดงด้วยแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติ บัวร์แกร์สัมบูรณ์ของพื้นที่ศึกษา ดังภาพประกอบ 24 ซึ่งมีระยะห่างระหว่างเส้นชั้นค่าผิดปกติ บัวร์แกร์สัมบูรณ์เท่ากับ 40 gu โดยทั่วไปค่าผิดปกติบัวร์แกร์ในพื้นที่ศึกษามีค่าอยู่ระหว่าง -60 ถึง 420 gu และพบว่า (1) ค่าผิดปกติบัวร์แกร์สัมบูรณ์ที่มีค่าสูง (140-420 gu) จะครอบคลุมพื้นที่ราบทางด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษาไปจนถึงอ่าวไทย เช่น พื้นที่ของจังหวัดสงขลา ถิ่นอำเภอ ระโนด อำเภอสทิงพระ อำเภอกระแสรังสินธุ์ อำเภอลิงหนคร อำเภอเมือง อำเภอกวนเนียง และพื้นที่ของจังหวัดพัทลุงบางส่วน คืออำเภอปากพะยูน อำเภอบางแก้ว อำเภอเขาชัยสน อำเภอเมือง อำเภอกวนขนุน และทางด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษาไปจนถึงทะเลอันดามัน เช่น พื้นที่ของ จังหวัดตรังบางส่วนคืออำเภอกันตังและอำเภอเมือง (2) ค่าผิดปกติบัวร์แกร์สัมบูรณ์ที่มีค่าต่ำ (-60 ถึง 140 gu) ครอบคลุมพื้นที่ส่วนที่เป็นเทือกเขาซึ่งอยู่บริเวณตรงกลางของพื้นที่ศึกษา เช่น พื้นที่ของจังหวัดสงขลาคืออำเภอรัตภูมิ พื้นที่ของจังหวัดพัทลุงคืออำเภอป่าบอน อำเภอตะ โหมด อำเภอกงหรา และอำเภอป่าพะยอม และพื้นที่ของจังหวัดตรังคืออำเภอปะเหลียน อำเภอ ย่านตาขาว อำเภอนาโยง และอำเภอห้วยยอด และทางด้านตะวันออกตอนล่างของพื้นที่ศึกษา เช่น อำเภอหาดใหญ่จังหวัดสงขลา

เมื่อนำแผนที่ค่าผิดปกติบัวร์แกร์สัมบูรณ์ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในภาพประกอบ 25 จะพบว่าคอนทัวร์ค่าผิดปกติบัวร์แกร์สัมบูรณ์ที่มีค่าสูง(140-420gu) ปรากฏอยู่เหนือบริเวณหินตะกอนควอเทอร์นารี ส่วนคอนทัวร์ค่าผิดปกติบัวร์แกร์สัมบูรณ์ที่มี ค่าต่ำ (-60 ถึง 140 gu) จะครอบคลุมเทือกเขาหินแกรนิตและหมู่หินปูนข้างเคียง และเมื่อนำ ตำแหน่งและค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินของพื้นที่ศึกษาซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาและ แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบัวร์แกร์ดังแสดงในภาพประกอบ 26 พบว่าค่าความหนาแน่นของหิน

ในบริเวณตะกอนควอเตอร์นารีมีค่าต่ำ (น้อยกว่า 2500 kg/m^3) แต่จะมีค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์สูง คาดว่าอาจจะเป็นเพราะหินซึ่งมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าหินแกรนิตวางตัวอยู่ในระดับตื้น ส่วนหินแกรนิตและหมู่หินปูนข้างเคียงมีค่าความหนาแน่นสูง (มากกว่า 2500 kg/m^3) แต่มีค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ต่ำ คาดว่าอาจจะเป็นเพราะหินแกรนิตมีรากลึกลงไปโดยมีหินอีกชนิดหนึ่งที่มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าค่าความหนาแน่นของหินแกรนิตรองรับอยู่ ส่วนหินปูนข้างเคียงปรากฏเป็นบริเวณแคบๆ จึงคาดว่าอาจจะมีรากไม้ลึก และจากภาพตัดขวางธรณีวิทยาแนวคิ่งตามแนว AB และ CD ของแผนที่ธรณีวิทยาระวางจังหวัดสงขลา กรมทรัพยากรธรณี (2528) ก็ได้สร้างแบบจำลองว่าหินแกรนิตมีรากลึกลงไป ส่วนหินปูนและตะกอนควอเตอร์นารีอยู่ในระดับตื้น ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 27

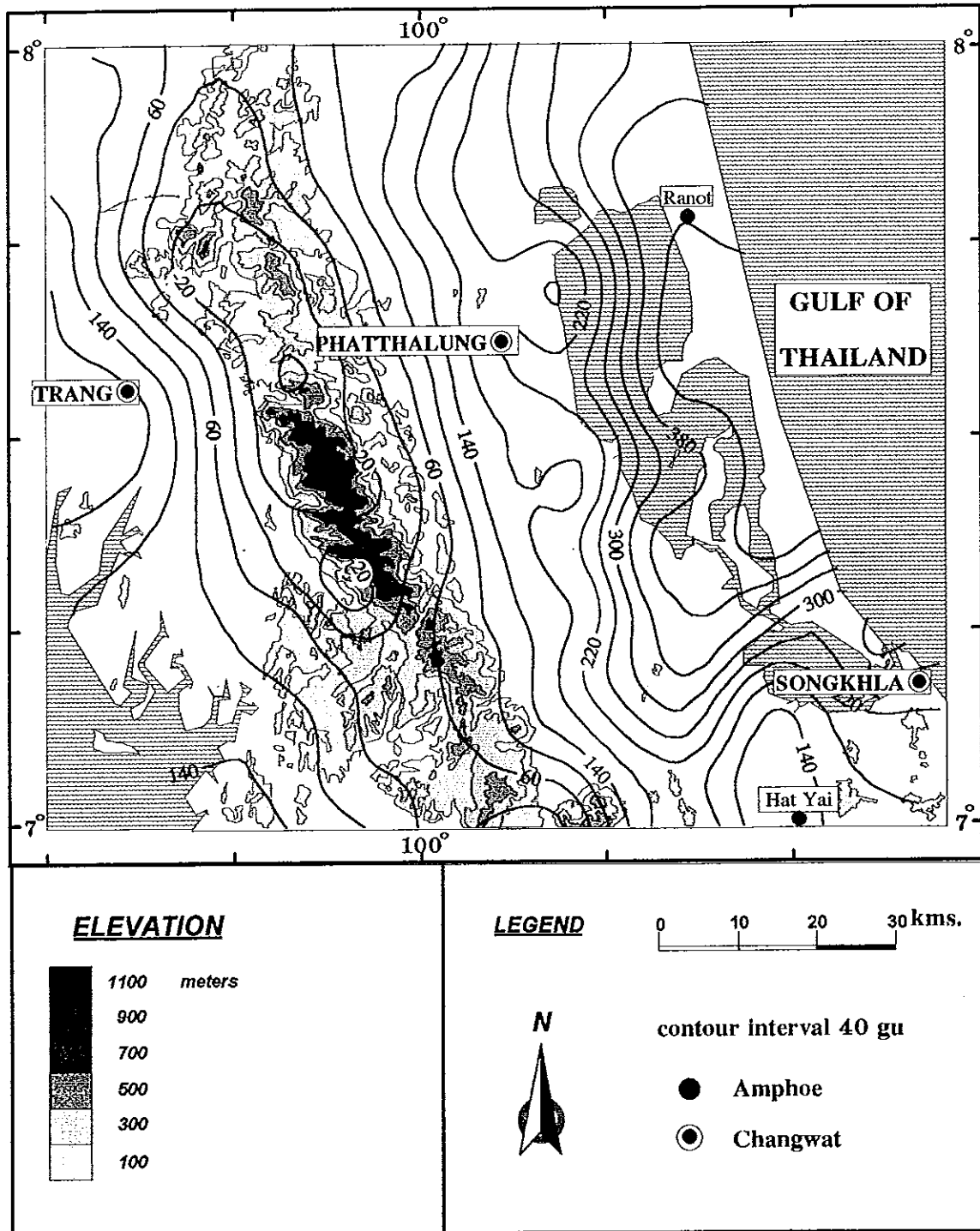
3. ผลการศึกษาแผนที่ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กกรวมของโลกของพื้นที่ศึกษา

การศึกษาค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กกรวมของโลกนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อกำหนดโครงสร้างธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคเช่นกัน

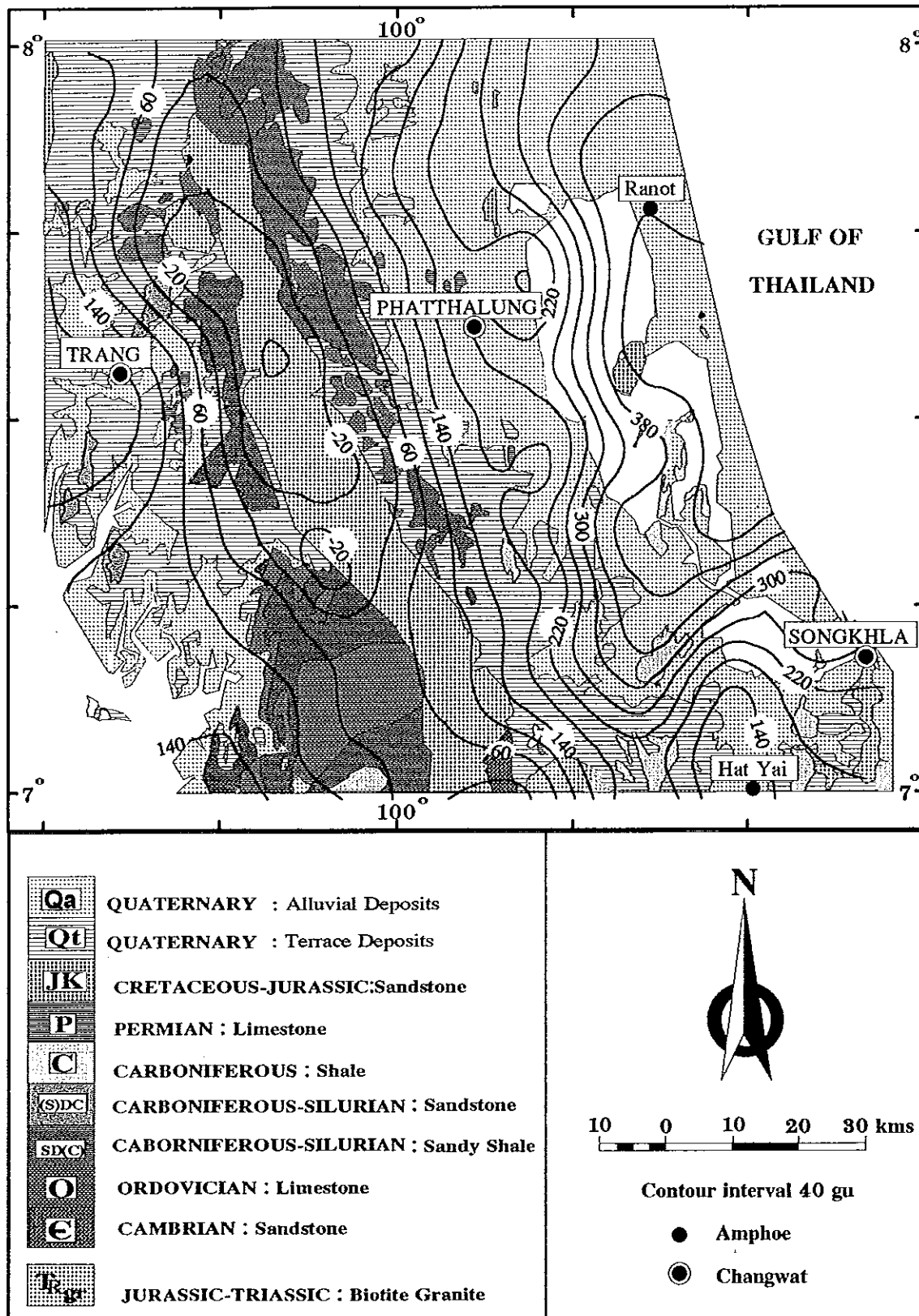
แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กกรวมของโลก (survey B&C) ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยา โดยมีระยะห่างระหว่างเส้นชั้นค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กโลกเท่ากับ 5 nT ดังแสดงในภาพประกอบ 28 พบว่ามีลักษณะเป็นคอนทัวร์ค่าผิดปกติเชิงตำบล(ต่ำกว่า 50 nT) วางตัวเรียงกันอยู่ตรงกลางเหนือหินแกรนิตและหมู่หินปูนข้างเคียง โดยมีคอนทัวร์ค่าผิดปกติเชิงภูมิภาค (มากกว่า 50 nT) วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ในส่วนบนของพื้นที่ศึกษา และวางตัวในแนวตะวันออก-ตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ซึ่งครอบคลุมตะกอนควอเตอร์นารี

สำหรับผลการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในพื้นที่ศึกษาดังภาพประกอบ 29 พบว่าหินแกรนิตมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูงกว่า 0.0005 SI ส่วนหินปูนบางตำแหน่งก็มีค่าใกล้เคียงกับหินแกรนิต ทั้งนี้เนื่องจากหินปูนเหล่านี้มีส่วนประกอบที่เป็น Fe_2O_3 สูง (Tonnyopas, et al., 1995) ส่วนหมู่หินอื่นๆมีค่าเป็น 0.00 SI และเมื่อนำตำแหน่งและค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กมาซ้อนทับแผนที่ธรณีวิทยา และแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กโลก ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 30 พบว่าค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่มีค่าสูงจะอยู่ในตำแหน่งที่มีค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กโลกสูง ส่วนค่าสภาพไว้ได้ทางแม่เหล็กที่มีค่าต่ำจะอยู่ในตำแหน่งที่มีค่าผิดปกติทางแม่เหล็กโลกต่ำ

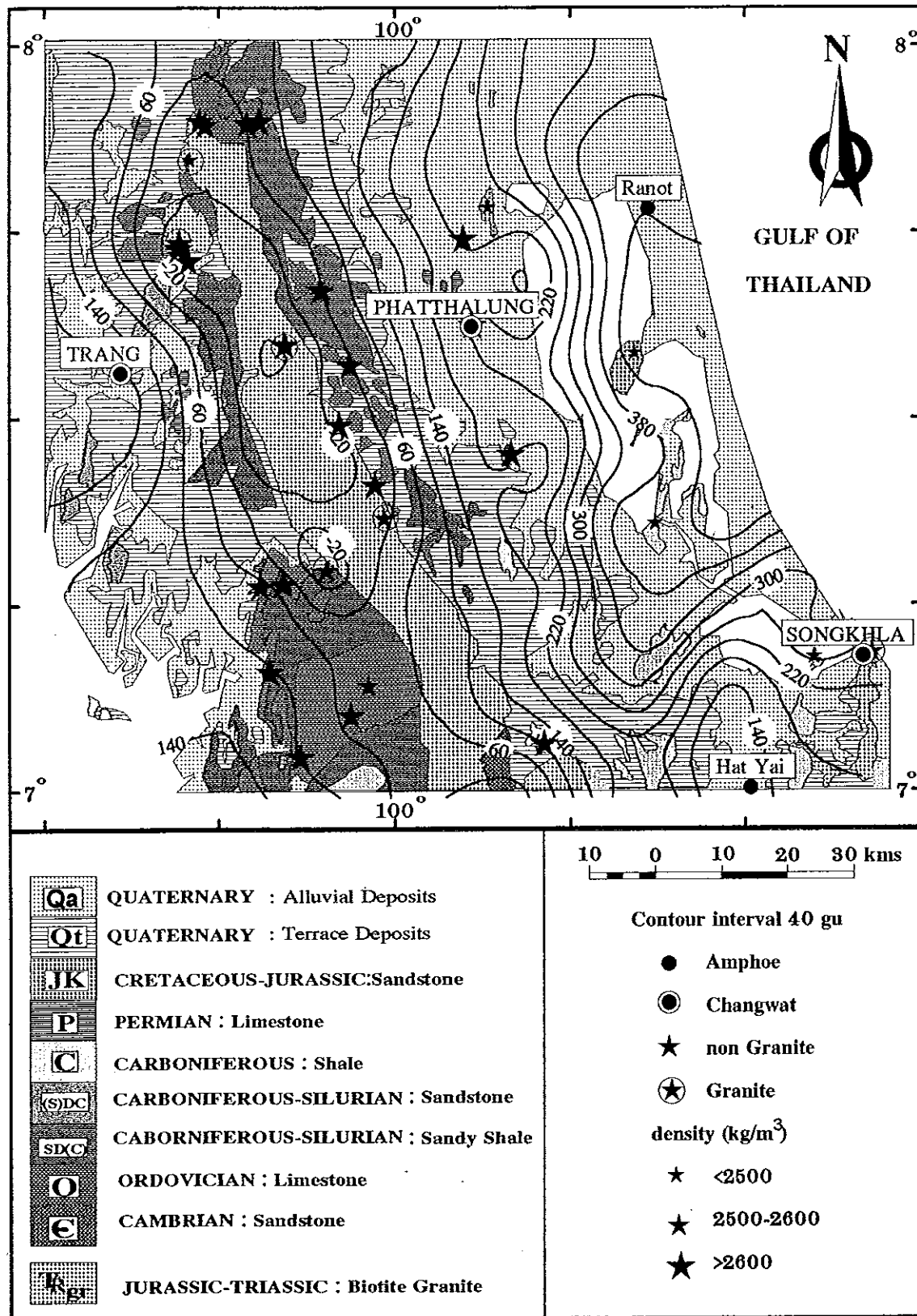
ภาพประกอบ 24 แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ในหน่วย gu ซ้อนทับบนแผนที่ภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาวิจัย



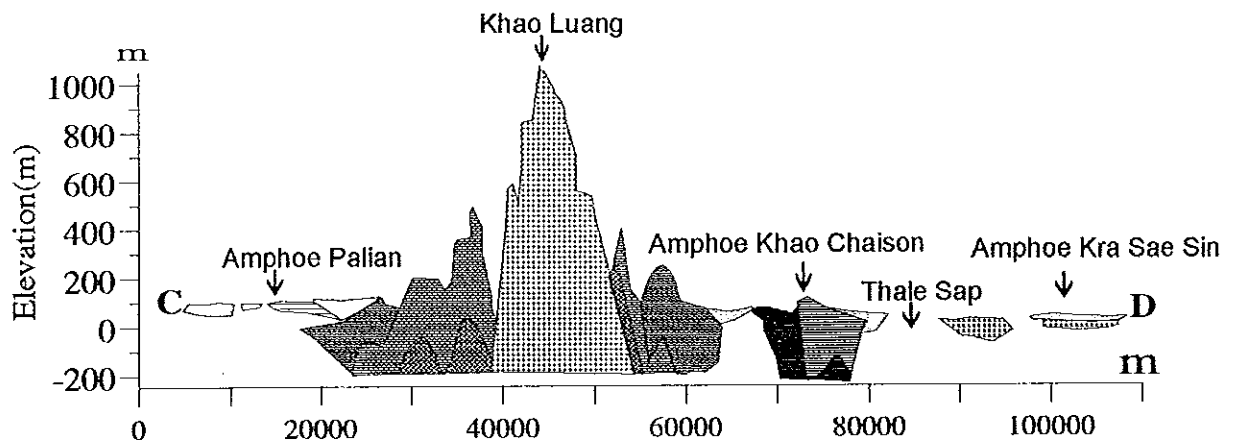
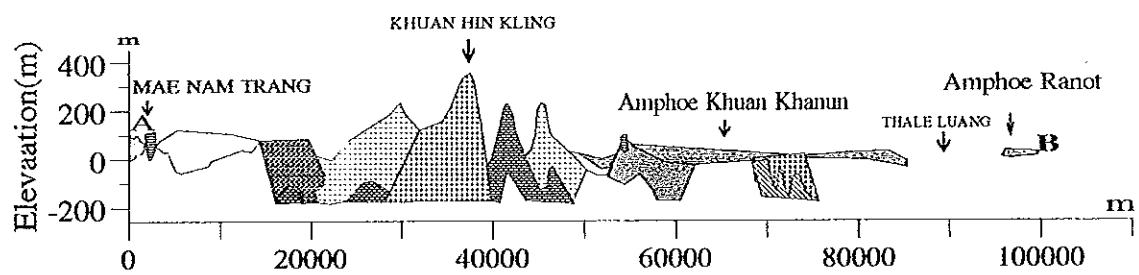
ภาพประกอบ 25 แผนที่คอนทัวร์ค่าพิกัดปดิปูร์แกร์สัมบูรณ์ในหน่วย gu ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย



ภาพประกอบ 26 ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินบนแผนที่คอนทัวร์ค่าผิปกติบูร์แกร์
 สัมบูรณ์ ที่ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย

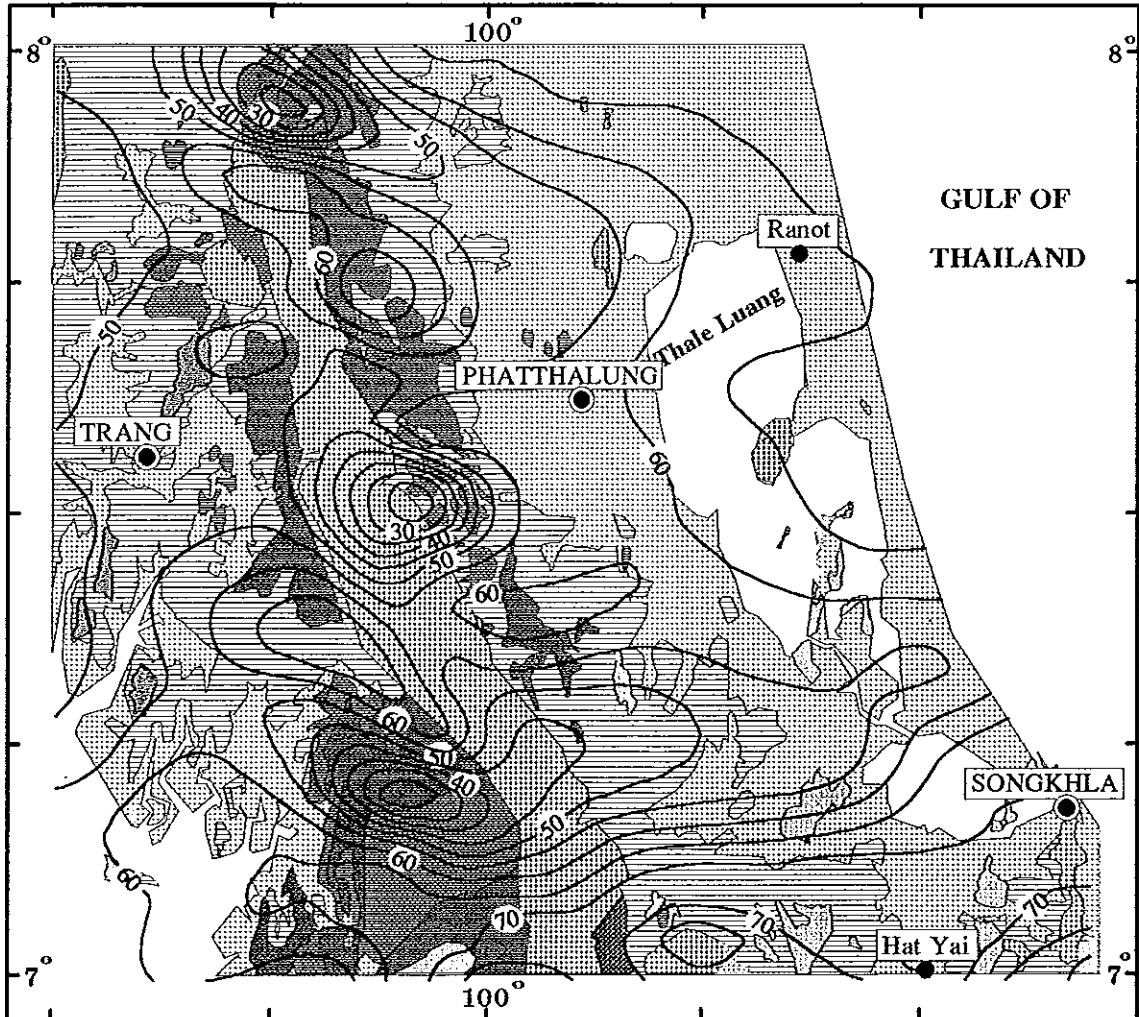


ภาพประกอบ 27 ภาคตัดขวางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัยในแนว AB และ CD
(ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี, 2528)

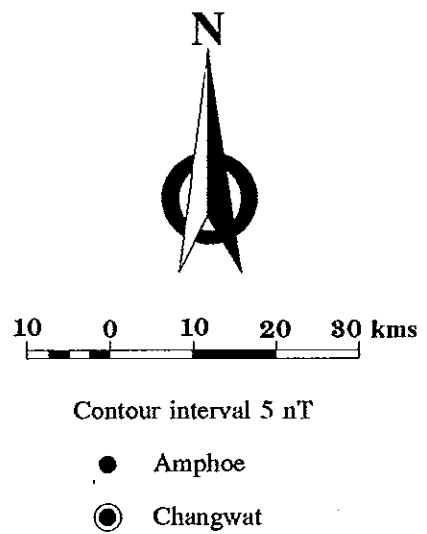


ภาพประกอบ 28 แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลก(survey B&C)

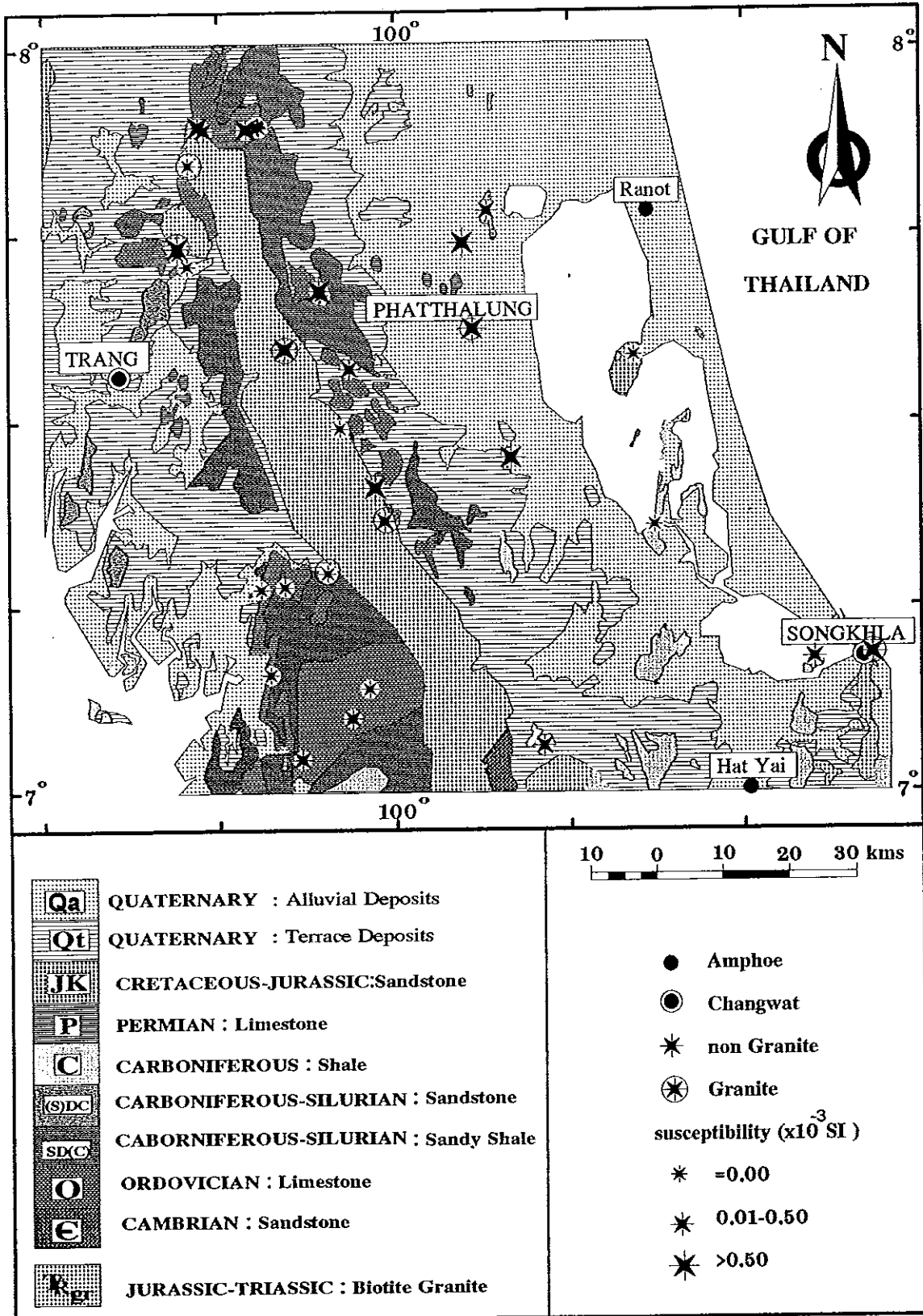
ชั้นทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย



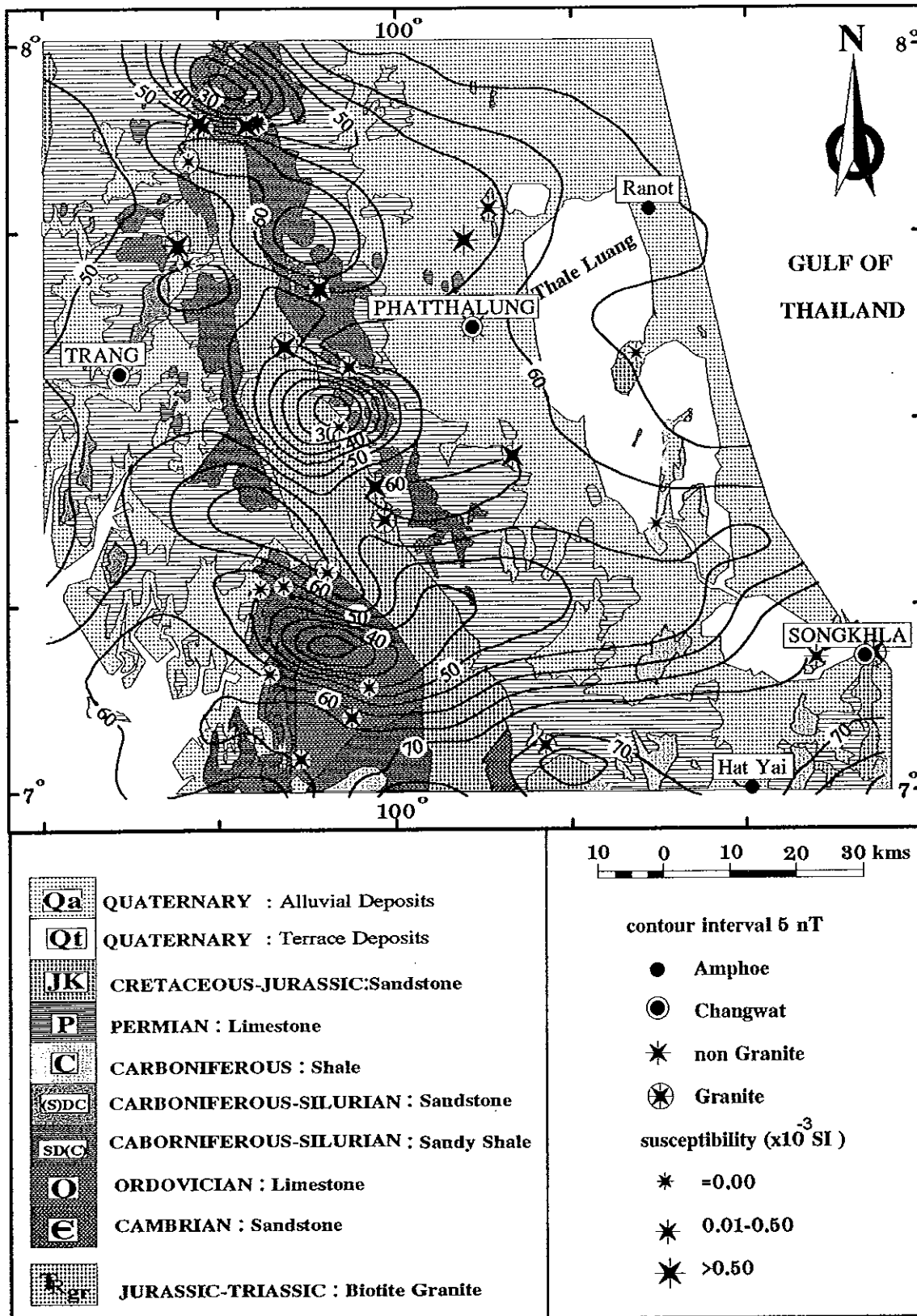
Qa	QUATERNARY : Alluvial Deposits
Qt	QUATERNARY : Terrace Deposits
JK	CRETACEOUS-JURASSIC: Sandstone
P	PERMIAN : Limestone
C	CARBONIFEROUS : Shale
(S)DC	CARBONIFEROUS-SILURIAN : Sandstone
SDC	CABORNIFEROUS-SILURIAN : Sandy Shale
O	ORDOVICIAN : Limestone
e	CAMBRIAN : Sandstone
J_{gr}	JURASSIC-TRIASSIC : Biotite Granite



ภาพประกอบ 29 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กชั้นอนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบ 30 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กบนแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็ก
รวมของโลก ที่ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย



4. การแปลความแผนที่ค่าผิดปกติของความถ่วงและค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กกรวมของโลก

การแปลความผลการศึกษาความถ่วงและความเข้มสนามแม่เหล็กกรวมของโลก มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดโครงสร้างธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคในแนวราบและในแนวตั้ง

จากภาคตัดขวางธรณีวิทยาในแนวตั้งตามแนว AB และ CD ของแผนที่ธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรธรณี, 2528) ดังภาพประกอบ 28 ซึ่งตัดตั้งแต่ 555957E, 840865N ถึง 658215E, 864306N ในแนวทิศตะวันตกไปตะวันออก และตั้งแต่ 567489E, 790225N ถึง 663174E, 846163E ตามลำดับ มาสร้างแบบจำลองธรณีวิทยาได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง ในแนวขนานกับแนว AB จำนวน 5 แนว โดยมีระยะห่างระหว่างแนวเท่ากับ 20 กิโลเมตร ดังภาพประกอบ 31

เมื่อพิจารณาค่าผิดปกติความถ่วงที่วัดได้ในแนว AB จะเห็นได้ชัดเจนว่าค่าผิดปกติความถ่วงเหนือแนวแกรนิตจะมีค่าต่ำกว่าบริเวณข้างเคียง ทั้งที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน และบริเวณที่เป็นตะกอนควอเทอร์นารีที่มีค่าความหนาแน่นต่ำ (ประมาณ 2000 kg/m^3) แต่จะมีค่าผิดปกติความถ่วงสูง และจากการที่มีน้ำพุร้อนในอำเภอเขาชัยสน ทางด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษาและอำเภอห้วยยอดทางด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ซึ่งทั้ง 2 ตำแหน่งอยู่ในบริเวณที่เป็นตะกอนควอเทอร์นารี แสดงว่าในบริเวณดังกล่าวน่าจะมีหินอัคนีอยู่ใกล้ผิวมาก โดยคาดว่าน่าจะเป็นหินแกรนิตรองรับตะกอนควอเทอร์นารี แต่จากค่าผิดปกติความถ่วงที่ปรากฏแสดงว่าค่าผิดปกติความถ่วงสูงไม่ได้เกิดจากหินแกรนิต แต่น่าจะมีหินฐานที่มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าหินแกรนิตรองรับหินแกรนิตอยู่อีกชั้นหนึ่ง ซึ่งหินฐานนี้น่าจะดันแทรกขึ้นมาใกล้ผิวมากในบริเวณที่เป็นตะกอนควอเทอร์นารีที่ผิว และน่าจะอยู่ลึกในบริเวณที่เป็นหินแกรนิต โผล่ขึ้นมาที่ผิว แสดงว่าที่บริเวณนี้หินแกรนิตมีรากลึกลงไป

จากทฤษฎีดุลสมอภาคของเปลือกโลก (Isostatic Theory) ของแอร์ ได้กล่าวว่า เนินหินและภูเขาที่มีความหนาแน่นน้อยจะมีส่วนที่เป็นราก และวางตัวอยู่บนหินอีกชนิดที่มีความหนาแน่นมากกว่า (Stacey, 1977 ; กิตติชัย วัฒนานิก, 2536) ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้จึงคาดว่าหินแกรนิตที่มีความหนาแน่นน้อยกว่ามีรากลึกวางตัวอยู่บนหินฐานที่มีความหนาแน่นมากกว่า ตามทฤษฎีดุลสมอภาคของเปลือกโลกของแอร์

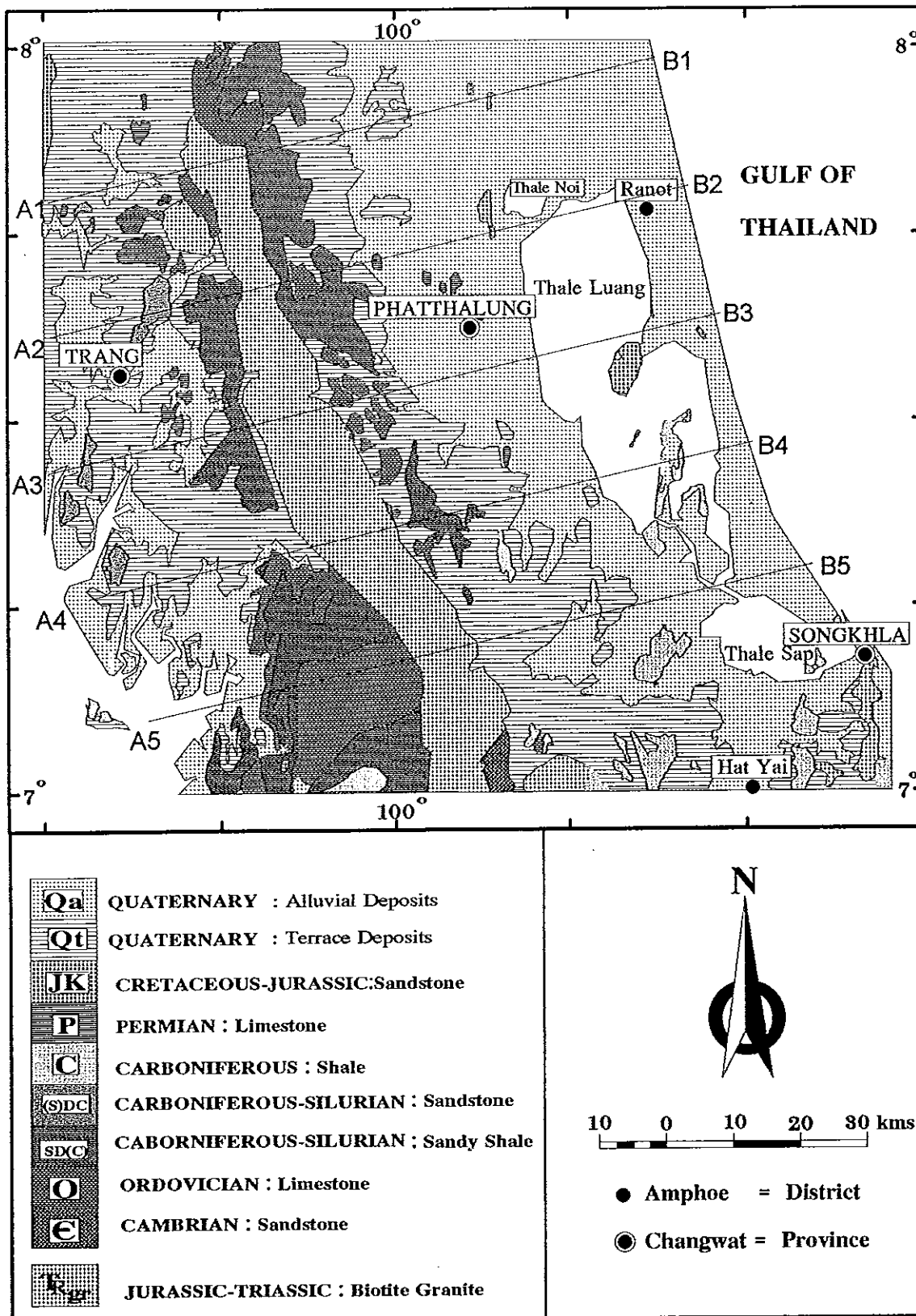
แสงอาทิตย์ เชื้อวิโรจน์ (2534) ได้รายงานไว้ว่า จากการศึกษาทางธรณีฟิสิกส์ด้านความถ่วงเพื่อศึกษาการแผ่กระจายของกลุ่มแนวชั้นหินคดโค้งสูงโขทัยจากอำเภอแม่สอด จังหวัดตากถึงจังหวัดขอนแก่น พบว่าบริเวณของหมู่เกาะรูปโค้งส่วนหลังจะมีความเข้มสนามความถ่วงค่อนข้างสูงตลอดแนวของพื้นสมุทรที่เป็นชั้นธรณีภาคที่แน่น (dense lithosphere) และมีส่วน

ประกอบของหินชนิดเบสิก (basic rock) โดยมีตะกอนปกคลุมอยู่บางๆ ในบริเวณแอ่งของหมู่เกาะรูปโค้งส่วนหน้าจะมีค่าผิดปกติสนามความถ่วงค่อนข้างสูงทางลบ (strong negative gravity anomaly) แสดงถึงการสะสมตัวของตะกอนที่หนาบนที่ลาดทวีปร่องลึกก้นสมุท (minor - trench slope) บริเวณเขตการมุดตัว ส่วนความเข้มสนามความถ่วงบริเวณหมู่เกาะภูเขาไฟรูปโค้งที่อยู่ระหว่างแอ่งทั้งสองนี้ไม่แสดงค่าผิดปกติของความถ่วงเลย การที่บริเวณทิศตะวันออกในแอ่งรูปโค้งส่วนหน้ามีความเข้มสนามความถ่วงสูงแสดงถึงพื้นสมุทรถูกดันตัวขึ้นมา (obducted) ตรงรอยต่อธรณี (geosuture) ระหว่างหินฐานธรณีฐานไทยและอินโดจีนได้แก่บริเวณที่เป็นแนวหินอัลตราเมฟิกผาช่อม (Pha Som Ultramafic Belt)

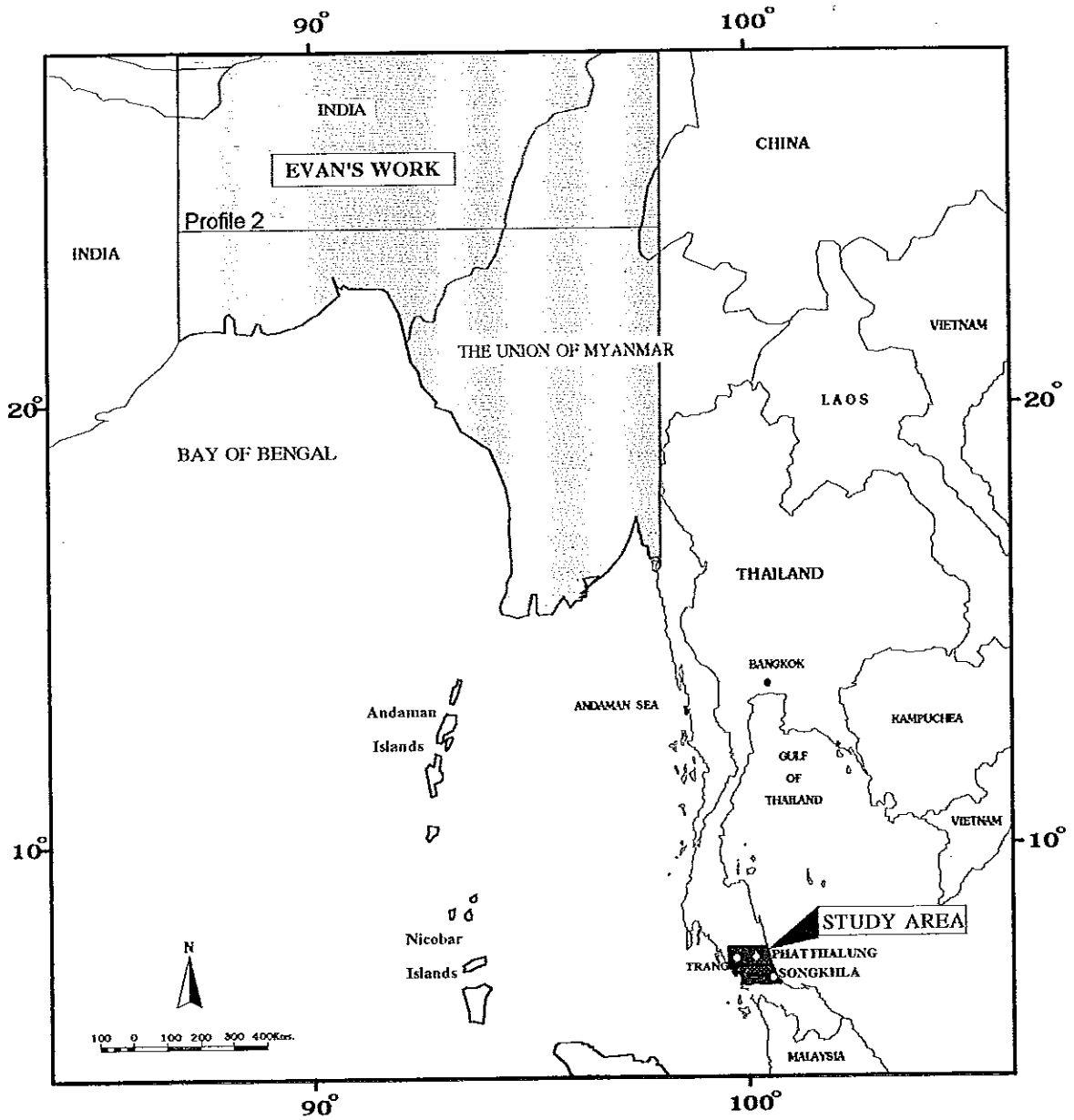
ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าหินอัลตราเมฟิกรองรับหินแกรนิตในบริเวณพื้นที่ศึกษาครั้งนี้ แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาไม่พบอัลตราเมฟิกโพลในบริเวณพื้นที่ศึกษาเลย และจากตัวอย่างหินเซอร์เพนไทต์ เพรโดไทต์ (Serpentinite Peridotite) ในจังหวัดนราธิวาสและจังหวัดปราจีนบุรี (ธงชัย พึ่งรัมย์, การติดต่อส่วนบุคคล) โดยมีค่าความหนาแน่น 2490 kg/m^3 และ 2420 kg/m^3 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าหินแกรนิตในพื้นที่ศึกษา เพราะฉะนั้นหินอัลตราเมฟิกจึงไม่น่าที่จะเป็นหินฐานที่รองรับหินแกรนิต

Evans and Crompton. (1946) ได้ทำการวัดค่าความถ่วงเพื่อศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาในระดับลึกครอบคลุมพื้นที่ประเทศพม่าและอินเดีย หรือระหว่างละติจูด 16°N - 28°N และลองจิจูด 86°E - 98°E ดังแสดงในภาพประกอบ 32 พบว่าค่าผิดปกติความถ่วงตามแนวละติจูด 24°N มีค่าอยู่ในช่วง -130 mgal ถึง 30 mgal ($1 \text{ mgal} = 10 \text{ gu}$) โดยค่าผิดปกติความถ่วงต่ำจะปรากฏอยู่เหนือบริเวณหินแกรนิต ดังนั้นภาคตัดขวางธรณีวิทยาตามแนวละติจูด 24°N จึงได้กำหนดให้หินแกรนิตรองรับด้วยหินฐานเบสิกที่ระดับความลึกประมาณ 15 กิโลเมตร และมีหินฐานอัลตราเบสิกรองรับอีกชั้นที่ระดับความลึกประมาณ 40 กิโลเมตร ดังภาพประกอบ 33 โดยกำหนดให้หินแกรนิตและหินชั้น (Granitic and sedimentary rocks) มีความหนาแน่น 2670 kg/m^3 หินฐานเบสิก (Basic) มีความหนาแน่น 2870 kg/m^3 และหินฐานอัลตราเบสิก (Ultra-Basic) มีความหนาแน่น 3270 kg/m^3 จากภาพประกอบ 33A ค่าผิดปกติความถ่วงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของหินแกรนิตและหินชั้น โดยที่รอยต่อระหว่างหินฐานเบสิกกับหินฐานอัลตราเบสิกคงที่ ส่วนภาพประกอบ 33B ค่าผิดปกติความถ่วงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของรอยต่อระหว่างหินฐานเบสิกกับหินฐานอัลตราเบสิก โดยที่ความหนาแน่นของหินฐานเบสิกคงที่ ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวนี้สร้างขึ้นตามทฤษฎีดุลสมอภาคของเปลือกโลก (Isostatic Theory) ของเฮอริ (Heiskanen and Meinesz. 1958, cited in Stacey, 1977)

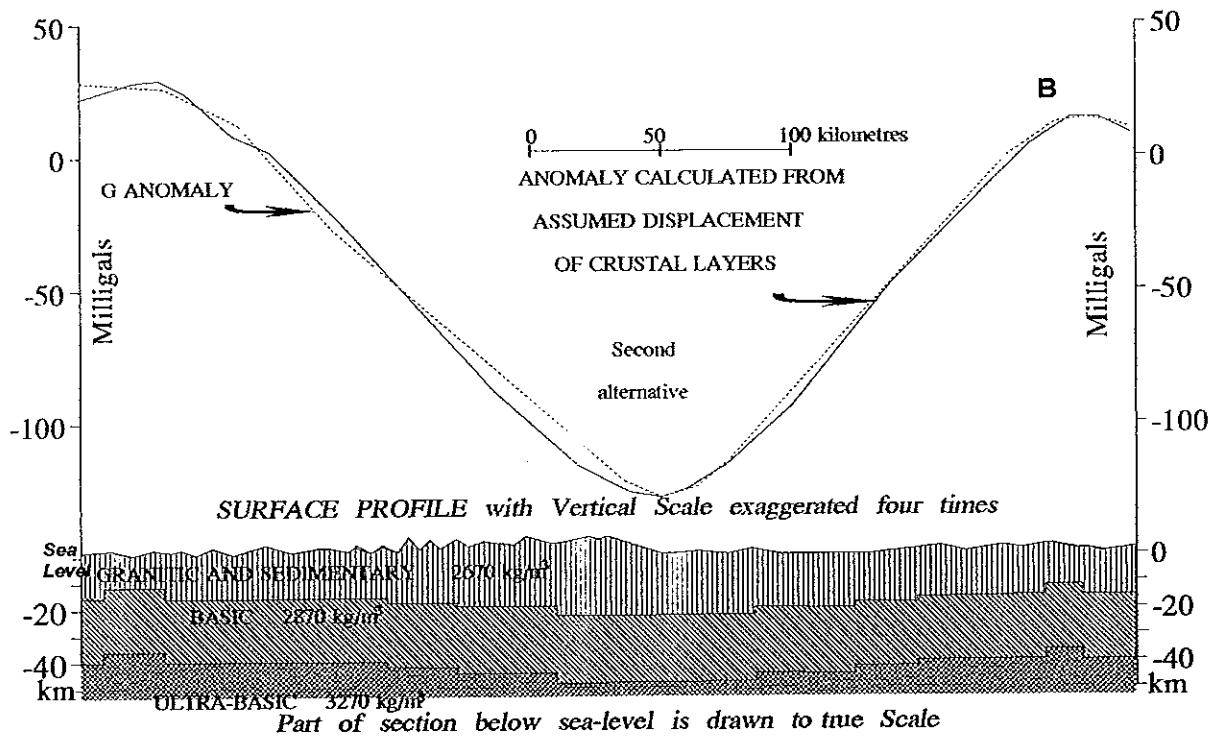
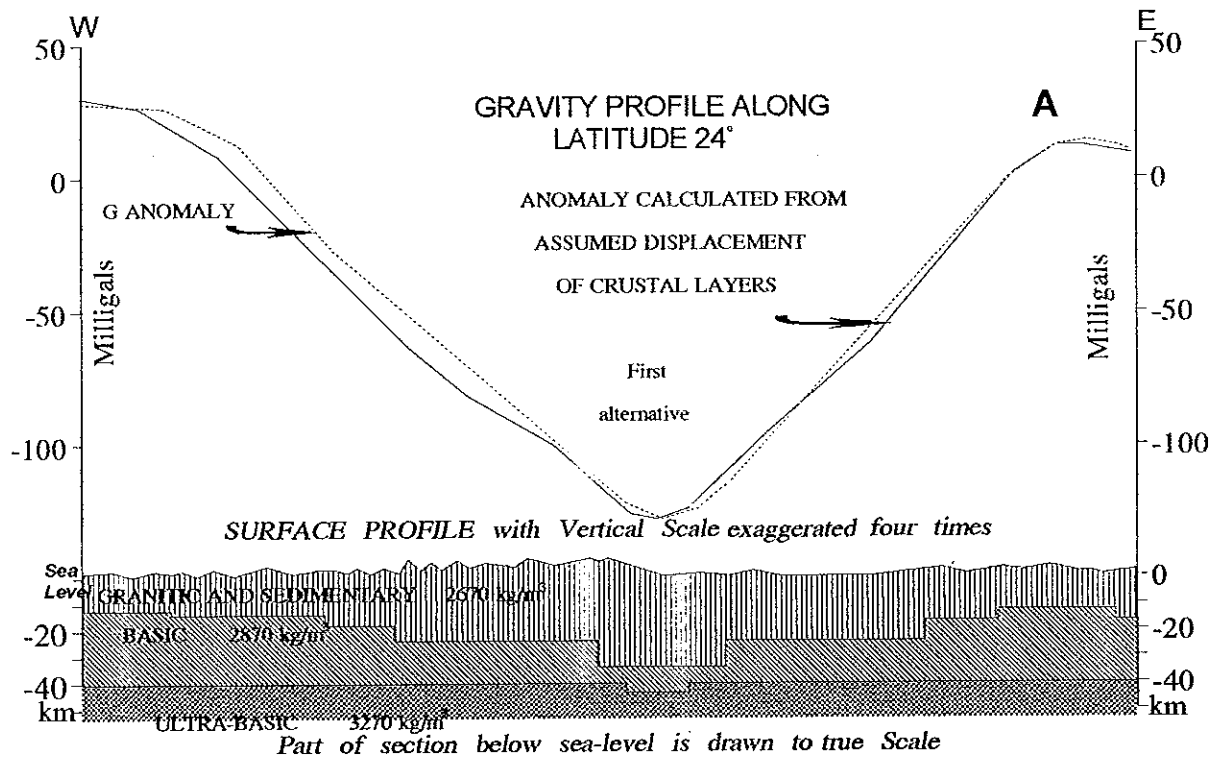
ภาพประกอบ 31 แนวภาคตัดขวางชั้นทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย



ภาพประกอบ 32 พื้นที่ศึกษาวิจัยของ Evan and Crompton. (1946)



ภาพประกอบ 33 ภาคตัดขวางทางธรณีวิทยาและภาคตัดขวางความถ่วง ตามแนวละติจูด 24°
ของ Evan and Crompton. (1946)



ดังนั้นการแปลความค่าผิดปกติความถ่วงและค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ในแนวขนานกับ AB จำนวน 5 แนว โดยใช้โปรแกรม GMM ,version 1.31 โดย x แทนค่าผิดปกติความถ่วงที่วัดได้, — แทนค่าผิดปกติที่คำนวณโดยโปรแกรม GMM, + แทนค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกที่วัดได้ และ — แทนค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกที่คำนวณโดยโปรแกรม GMM และได้กำหนดให้หินตะกอนและหมู่หินแปร มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 2400 kg/m^3 และมีค่าสภาพรับไว้ทางแม่เหล็กเท่ากับ 0.00 SI ซึ่งถูกรองรับด้วยหินแกรนิตที่มีค่าความหนาแน่น 2600 kg/m^3 และมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กเท่ากับ 0.00062 SI ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้ และถูกรองรับด้วยหินชั้นเปลือกโลก (Crustal Material) ที่มีความหนาแน่น 2800 kg/m^3 (Stacey,1977) และมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กเท่ากับ 0.00 SI โดยหินแกรนิตจะมีรากแทรกดันลงไป ในบริเวณที่มีหินแกรนิตโผล่หรือตอนกลางของพื้นที่ศึกษา และหินชั้นเปลือกโลกจะดันสูงขึ้นในบริเวณที่ปกคลุมด้วยตะกอนควอเทอร์นารี

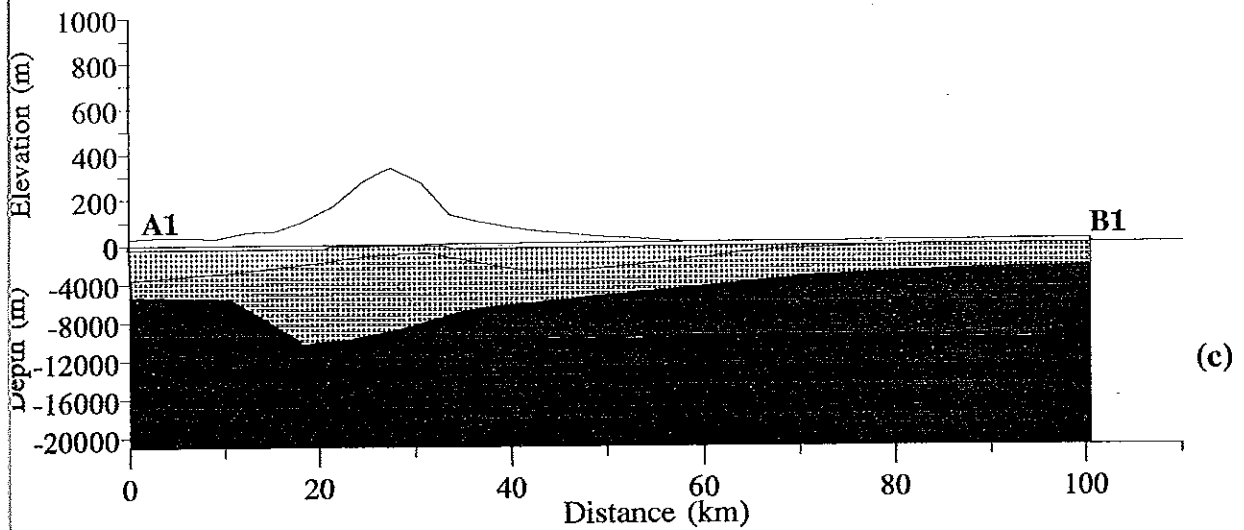
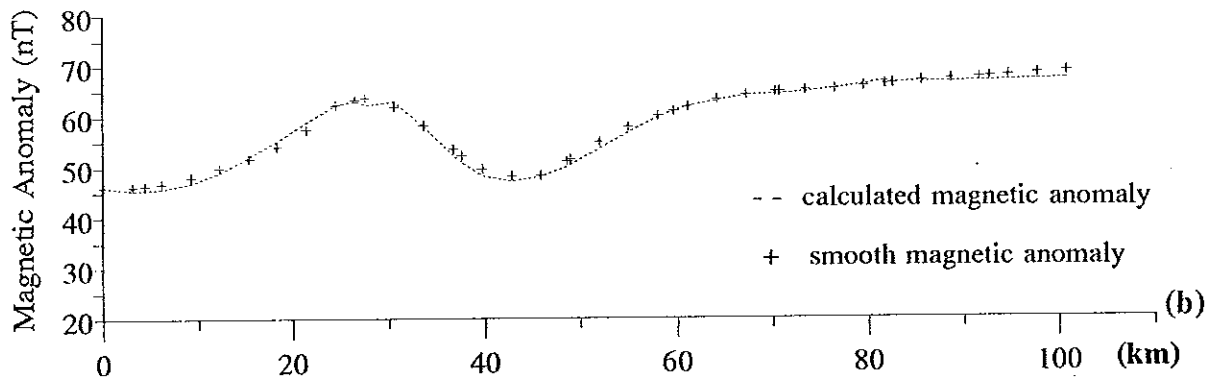
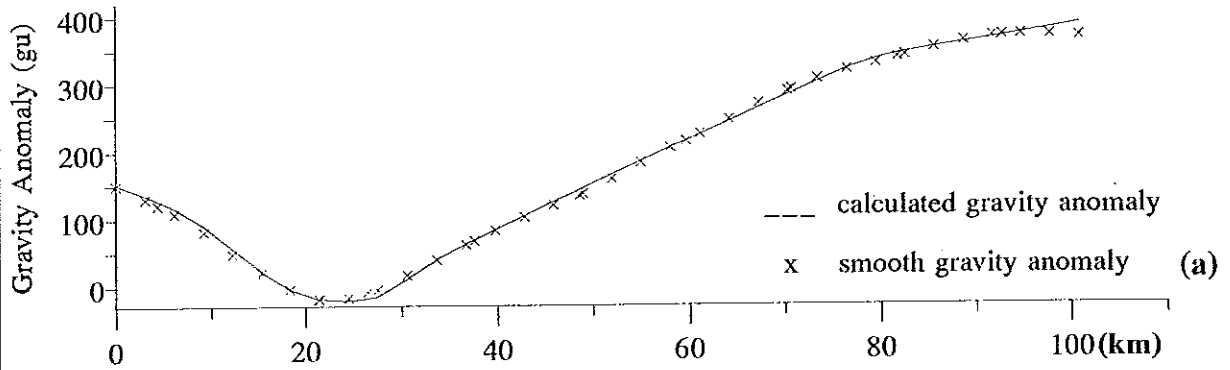
แต่จากผลการสร้างแบบจำลองดังกล่าวข้างต้นปรากฏว่า ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกที่คำนวณได้จากแบบจำลอง ไม่สอดคล้องกับค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกที่วัดได้ ดังนั้นเป็นไม่ได้ที่แกรนิตก่อนนี้จะเป็นแหล่งกำเนิดค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกที่ปรากฏ จึงกำหนดให้มีแกรนิตระดับตื้นขึ้นมาอีกชั้นรองรับหินตะกอนควอเทอร์นารีและหมู่หินแปรที่มีค่าความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 2400 kg/m^3 โดยหินแกรนิตระดับตื้นมีค่าความหนาแน่น 2600 kg/m^3 และสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.015 SI ซึ่งเป็นค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกที่คำนวณได้จากแบบจำลอง สอดคล้องกับค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกที่วัดได้

สำหรับค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินแกรนิตระดับตื้นที่ได้จากแบบจำลองนี้ เมื่อนำไปคำนวณหาค่าแมกนีไทต์ (ภาคผนวก ง) ปรากฏว่าค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก $15 \times 10^{-3} \text{ SI}$ มีแมกนีไทต์ 0.3 Vol.% ซึ่งจากรายงานของ Ishihara, et al. (1979) หินแกรนิตในแหลมมาลายูจะมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กไม่เกิน $30 \times 10^{-3} \text{ SI}$ มีแมกนีไทต์ 0.45 Vol.% ดังนั้นผลการแปลความภาคตัดขวางมวลผิดปกติในแต่ละแนวจึงมีลักษณะดังนี้

4.1 ภาคตัดขวางมวลผิดปกติในแนว A1-B1 (ภาพประกอบ 34)

ภาคตัดขวางค่าผิดปกติความถ่วงในแนว A1-B1 นี้มีค่าผิดปกติความถ่วงต่ำประมาณ 0 gu ที่ระยะ 21 km (กิโลเมตร) จากจุด A1 โดยมีค่าผิดปกติความถ่วงสูงประมาณ 150 gu ปรากฏที่ระยะ 0 km จากจุด A1 และประมาณ 350 gu ที่ระยะ 80-100 km จากจุด A1 ส่วนตอนกลางค่าผิดปกติความถ่วงจะลดลงเรื่อยๆ จากจุด A1 จนถึงจุดต่ำสุดแล้วจึงเพิ่มขึ้น

ภาพประกอบ 34 แบบจำลองภาคตัดขวางในแนว A1-B1



Susceptibility(SI)	0.00	0.0150	0.000001	0.000001
Density(kg/m ³)	2400	2600	2600	2800

ส่วนภาคตัดขวางของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกมีลักษณะค่าสูงและต่ำ สลับกันอยู่ตอนต้นของภาคตัดขวาง A1-B1 โดยมีค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกที่มีค่า สูงประมาณ 63 nT ปรากฏที่ระยะ 23-30 km และประมาณ 65 nT ที่ระยะ 60-100 km จากจุด A1 ส่วนค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกต่ำประมาณ 46 nT ปรากฏที่ระยะ 0-12 km และ ที่ระยะ 40-46 km จากจุด A1

ดังนั้นแบบจำลองที่ได้จะมีหินตะกอนและหมู่หินแปรที่มีความหนาประมาณ 300 m (เมตร) วางอยู่ที่ระยะ 0-21 km และที่ระยะ 32-100 km จากจุด A1 โดยถูกรองรับด้วยหิน แกรนิตระดับต้นที่มีความหนา 4,000 m ที่ระยะ 0 km และความหนา 3,000 m ที่ระยะ 42 km จากจุด A1 และมีหินแกรนิตระดับลึกแทรกคั่นขึ้นมาที่ระยะ 26-32 km จากจุด A1 โดยหิน แกรนิตระดับลึกนี้วางอยู่บนหินชั้นเปลือกโลก โดยมีความหนาประมาณ 5,500 m ที่ระยะ 0-12 km และความหนาประมาณ 3,500-6,000 m ที่ระยะ 36-100 km จากจุด A1 ส่วนที่แทรกคั่น ลงไปในหินชั้นเปลือกโลก จนมีความหนามากที่สุดประมาณ 10,000 m อยู่ที่ระยะ 20 km จาก จุด A1

4.2 ภาคตัดขวางมวลผิดปกติในแนว A2-B2 (ภาพประกอบ 35)

ภาคตัดขวางค่าผิดปกติความถ่วงในแนว A2-B2 มีลักษณะคล้ายรูปประฆังหงาย โดยมี ค่าผิดปกติความถ่วงมีค่าสูงประมาณ 370 gu ที่ระยะ 85-105 km ประมาณ 250 gu ที่ระยะ 60-72 km และประมาณ 190 gu ที่ระยะ 0-5 km จากจุด A2 และส่วนตอนกลางค่าผิดปกติ ความถ่วงจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงจุดต่ำสุดประมาณ -50 gu ที่ระยะ 25-34 km จากจุด A2

ส่วนภาคตัดขวางของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกมีลักษณะค่าและต่ำสลับ กันในบริเวณตอนกลางของภาคตัดขวาง โดยค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกมีค่าสูง ประมาณ 50-55 nT ที่ระยะ 0-25 km ประมาณ 63 nT ที่ระยะ 40-48 km และประมาณ 63-72 nT ที่ระยะ 75-105 km จากจุด A2 ส่วนค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกต่ำสุดประมาณ 49 nT จะปรากฏที่ระยะ 33 km และที่ระยะ 60 km จากจุด A2

ดังนั้นแบบจำลองที่ได้จะมีหินตะกอนและหมู่หินแปรที่มีความหนาประมาณ 300 m วางอยู่ที่ระยะ 0-28 km และที่ระยะ 38-105 km จากจุด A2 โดยถูกรองรับด้วยหินแกรนิตระดับ ต้นที่มีความหนา 2,000-4,000 m ที่ระยะ 0-30 km และความหนา 3,000 m ที่ระยะ 60 km จากจุด A2 ส่วนตอนกลางจะแทรกคั่นลงไปในหินแกรนิตระดับลึกจนถึงความหนาประมาณ 3,800 m ที่ระยะ 34-38 km จากจุด A2 ส่วนหินแกรนิตระดับลึกวางอยู่บนหินชั้นเปลือกโลก

โดยมีความหนาประมาณ 4,700 m ที่ระยะ 0-11 km ความหนาประมาณ 3,500 m ที่ระยะ 62-78 km และความหนาประมาณ 1,500 m ที่ระยะ 85-105 km จากจุด A2 ส่วนตอนกลางจะแทรกคั่นลงไปในพื้นที่ชั้นเปลือกโลกจนมีความหนามากที่สุดประมาณ 9,500 เมตร ที่ระยะ 29 km จากจุด A2

4.3 ภาคตัดขวางมวลผิดปกติในแนว A3-B3 (ภาพประกอบ 36)

ภาคตัดขวางค่าผิดปกติความถ่วงในแนว A3-B3 นี้มีลักษณะคล้ายรูปประฆังหงาย โดยค่าผิดปกติความถ่วงที่มีค่าสูงประมาณ 430 gu ที่ระยะ 88-110 km ประมาณ 240 gu ที่ระยะ 64-75 km และประมาณ 190 gu ที่ระยะ 0-14 km จากจุด A3 และส่วนตอนกลางค่าผิดปกติความถ่วงจะลดลง จนมีค่าต่ำสุดประมาณ -40 gu ที่ระยะ 30-43 m จากจุด A3 แล้วจึงเพิ่มขึ้น

ส่วนภาคตัดขวางของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กกรวมของโลกมีค่าต่ำประมาณ 25 nT ที่ระยะ 43 km จากจุด A3 และที่มีค่าสูงประมาณ 52 nT ที่ระยะ 0-28 km และประมาณ 60-70 nT ที่ระยะ 58-110 km จากจุด A3

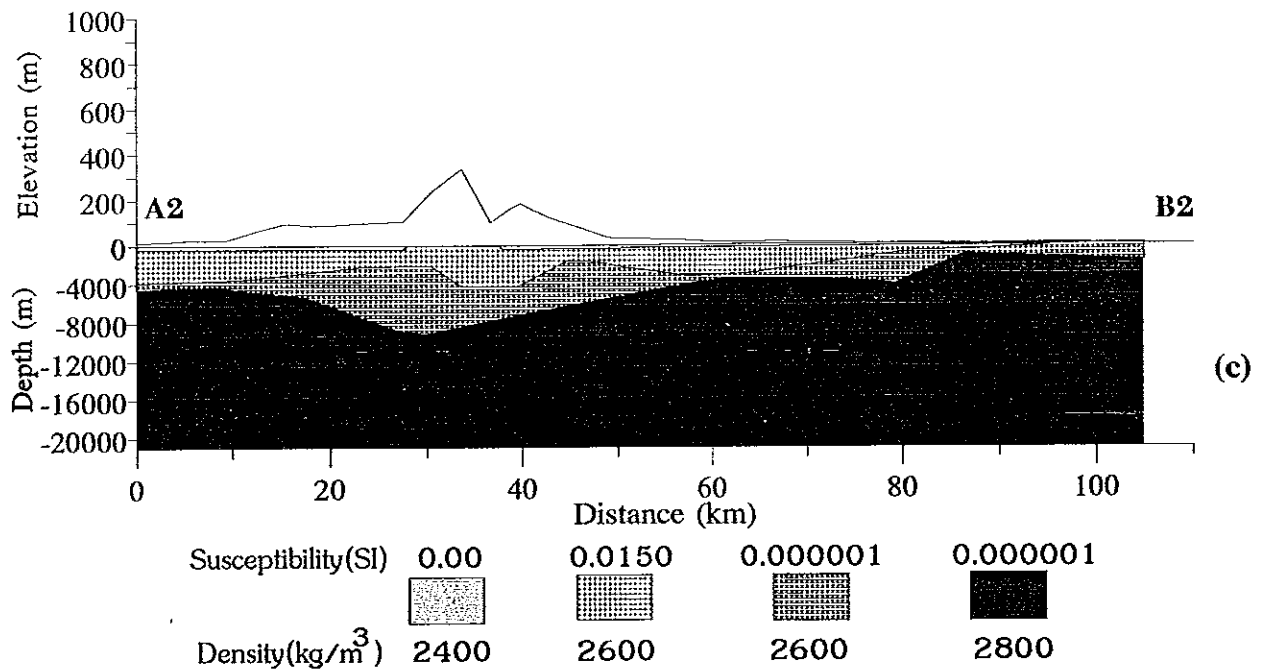
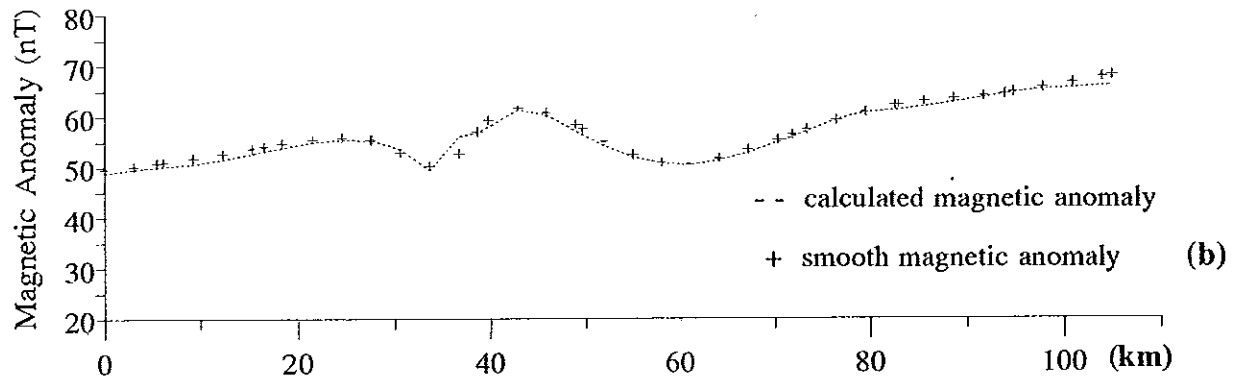
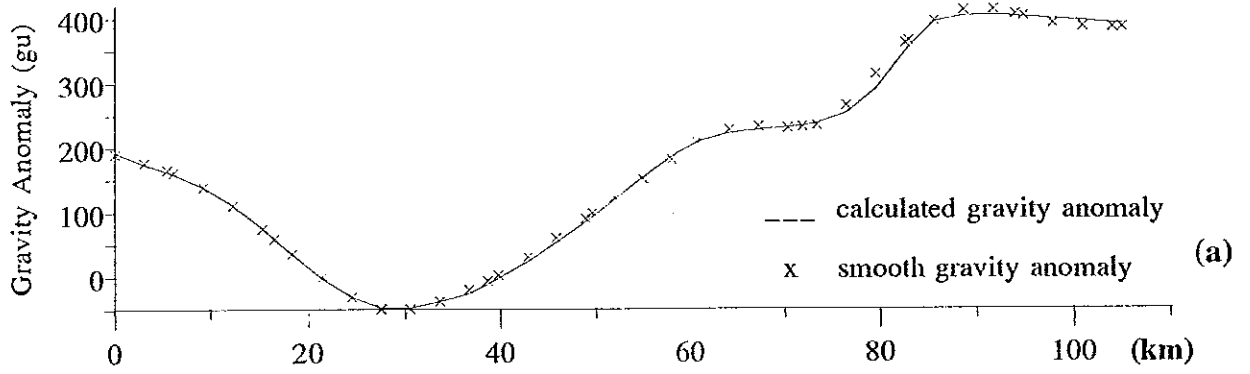
คั้งนั้นแบบจำลองที่ได้จะมีหินตะกอนและหมู่หินแปรที่มีความหนาประมาณ 300 m วางอยู่ที่ระยะ 0-30 km และที่ระยะ 46-110 km จากจุด A3 โดยวางอยู่บนหินแกรนิตระดับตื้นที่มีความหนา 1,500-3,000 m ที่ระยะ 0-33 km และความหนา 1,000-2,000 m ที่ระยะ 52-85 km จากจุด A3 ส่วนตอนกลางจะมีความหนาเพิ่มขึ้นเป็น 6,000 m ที่ระยะ 42-49 km จากจุด A3 ส่วนหินแกรนิตระดับลึกวางอยู่บนหินชั้นเปลือกโลกระดับลึก โดยมีความหนาประมาณ 5,000 m ที่ระยะ 0-20 km ความหนาประมาณ 4,000 m ที่ระยะ 63-80 km และความหนาประมาณ 2,000 m ที่ระยะ 88-110 km จากจุด A3 และจะมีความหนามากที่สุดประมาณ 7,000 m ที่ระยะ 25-57 km จากจุด A3

4.4 ภาคตัดขวางมวลผิดปกติในแนว A4-B4 (ภาพประกอบ 37)

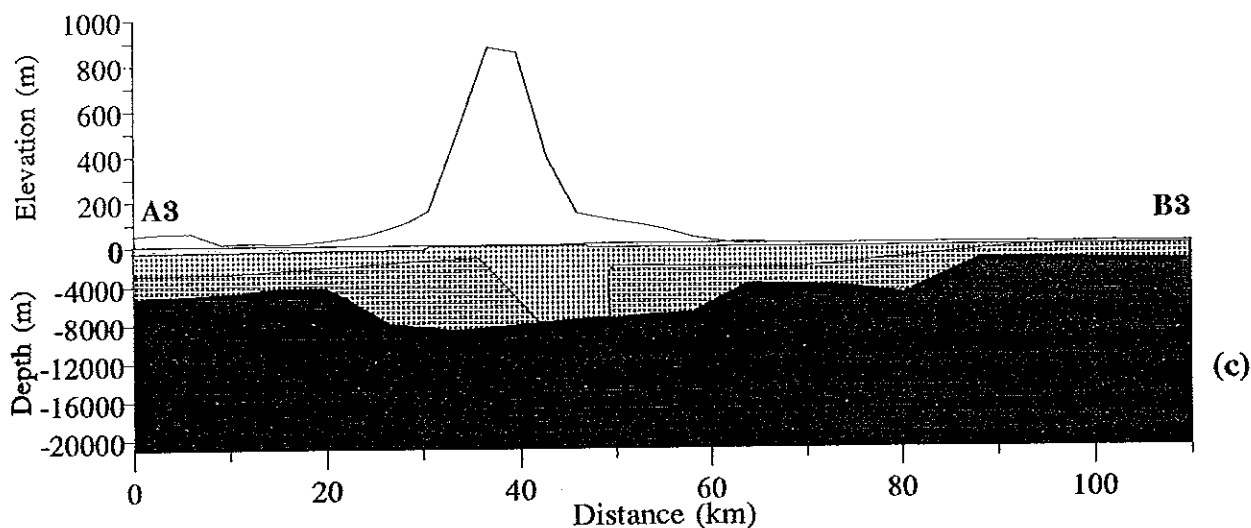
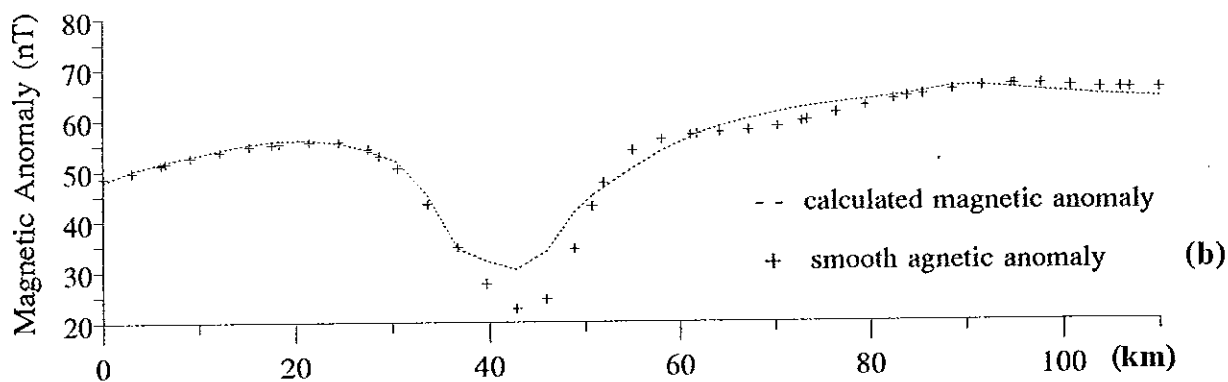
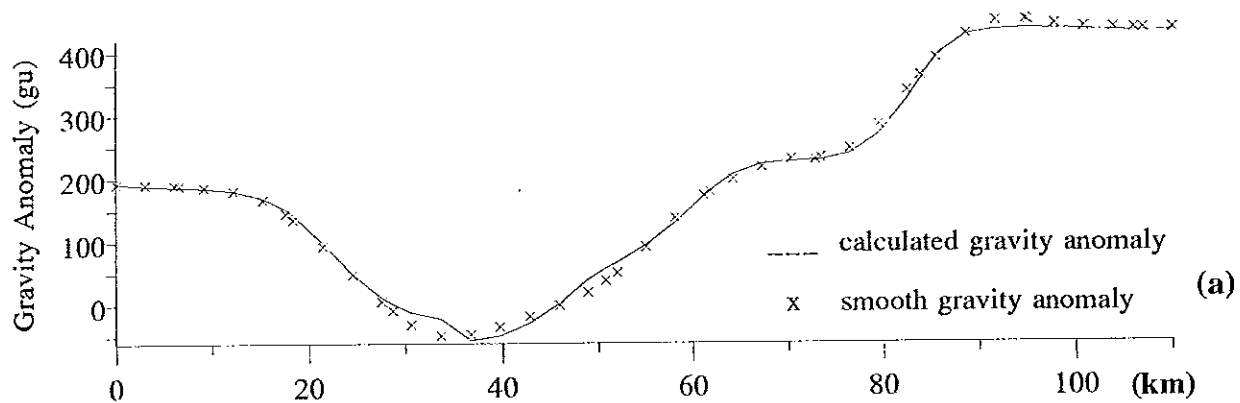
ภาคตัดขวางค่าผิดปกติความถ่วงในแนว A4-B4 แสดงค่าผิดปกติความถ่วงสูงประมาณ 380-420 gu ที่ระยะ 82-107 km ประมาณ 150 gu ที่ระยะ 0-18 km และที่ระยะ 58-70 km จากจุด A4 และค่าผิดปกติความถ่วงจะมีค่าต่ำสุดประมาณ 0 gu ที่ระยะ 25-43 km จากจุด A4

ส่วนภาคตัดขวางของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กกรวมของโลกมีค่าสูงประมาณ 67 nT ที่ระยะ 33 km จากจุด A4 และมีค่าต่ำเฉลี่ย 55 nT ที่ระยะ 0-25 km และประมาณ 60 nT ที่ระยะ 43-107 km จากจุด A4

ภาพประกอบ 35 แบบจำลองภาคตัดขวางในแนว A2-B2

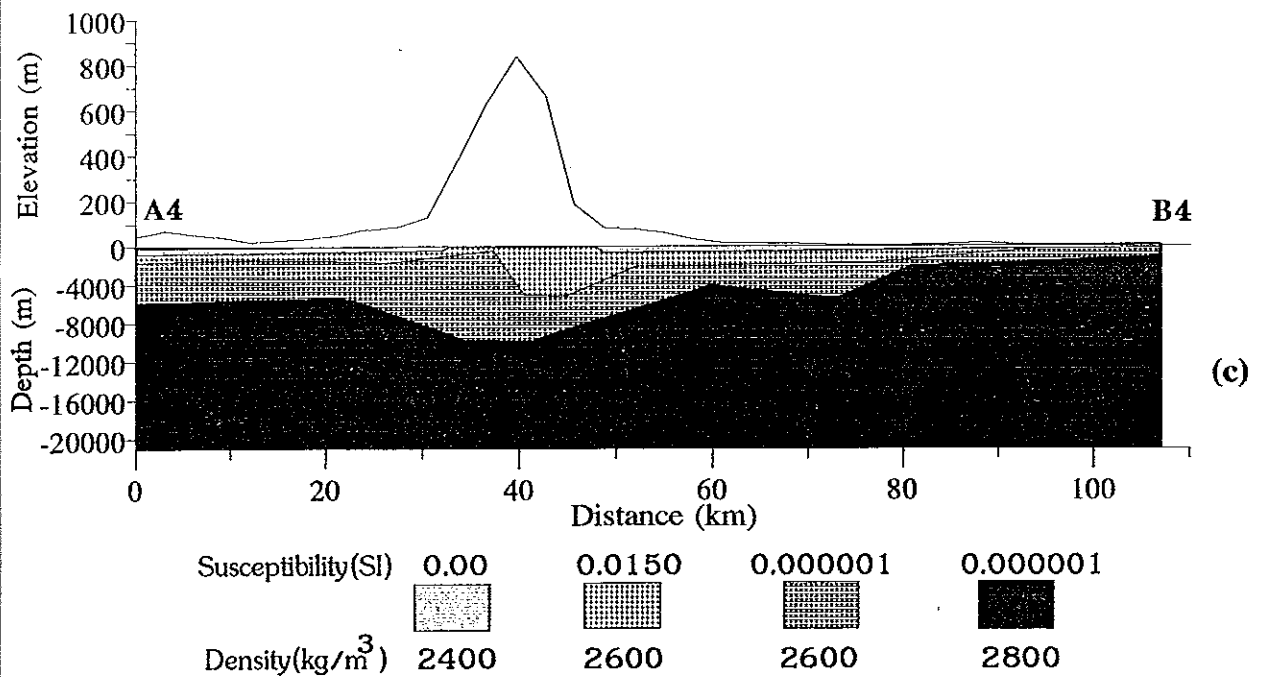
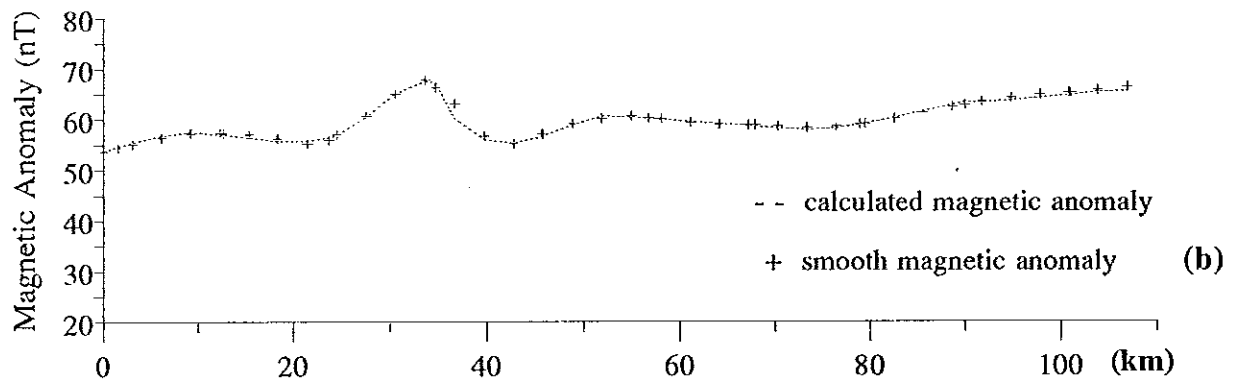
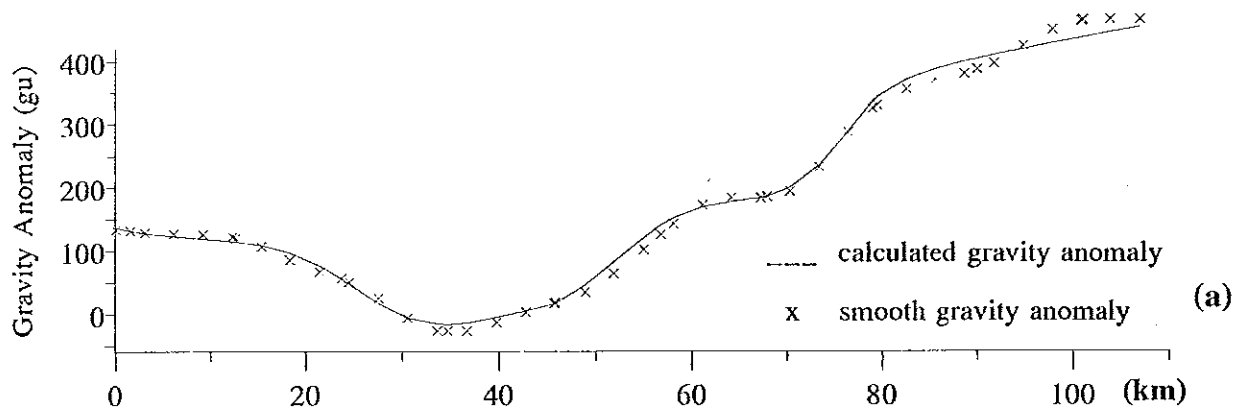


ภาพประกอบ 36 แบบจำลองภาคตัดขวางในแนว A3-B3



Susceptibility(SI)	0.00	0.0150	0.000001	0.000001
Density(kg/m ³)	2400	2600	2600	2800

ภาพประกอบ 37 แบบจำลองภาคตัดขวางในแนว A4-B4



ดังนั้นแบบจำลองที่ได้จะมีหินตะกอนและหมู่หินแปรที่มีความหนาประมาณ 300 m วางอยู่ที่ระยะ 0-33 km และที่ระยะ 48-107 km จากจุด A4 โดยวางอยู่บนหินแกรนิตระดับตื้นที่มีความหนา 2,000 m ที่ระยะ 0-30 km และความหนา 1,000-2,000 m ที่ระยะ 45-85 km จากจุด A4 สำหรับหินแกรนิตระดับลึกวางอยู่บนหินชั้นเปลือกโลกระดับลึก รอยต่อระหว่างหินแกรนิตระดับลึกกับหินชั้นเปลือกโลกอยู่ที่ความลึกประมาณ 6,000 m ที่ระยะ 0-23 km ความลึกประมาณ 3,500 m ที่ระยะ 59-73 m จากจุด A4 และมีความลึกมากที่สุดประมาณ 9,000 m ที่ระยะ 34-42 km จากจุด A4

4.5 ภาคตัดขวางมวลผิดปกติในแนว A5-B5 (ภาพประกอบ 38)

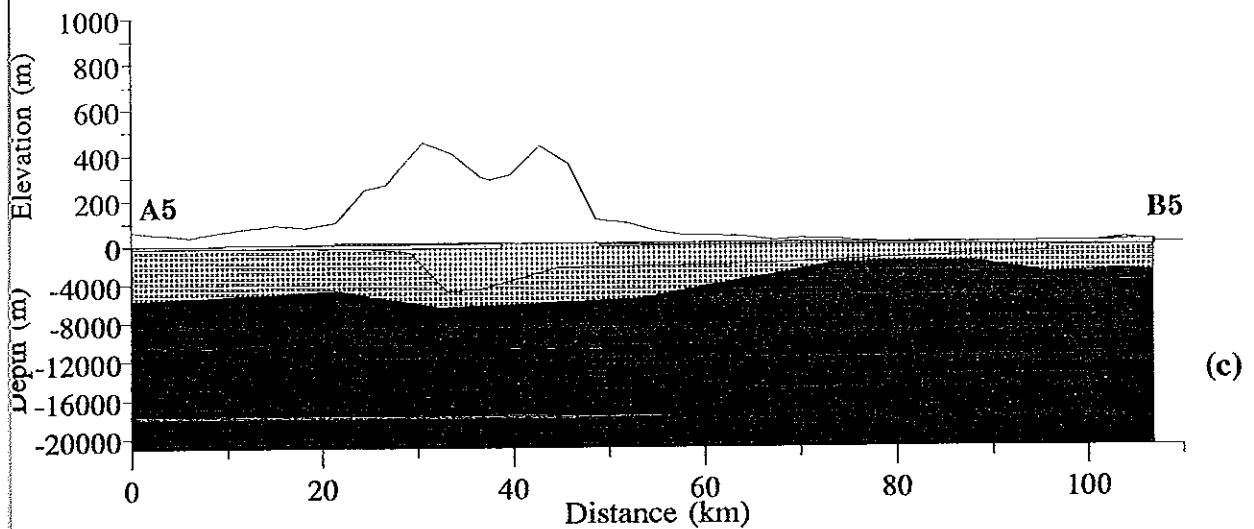
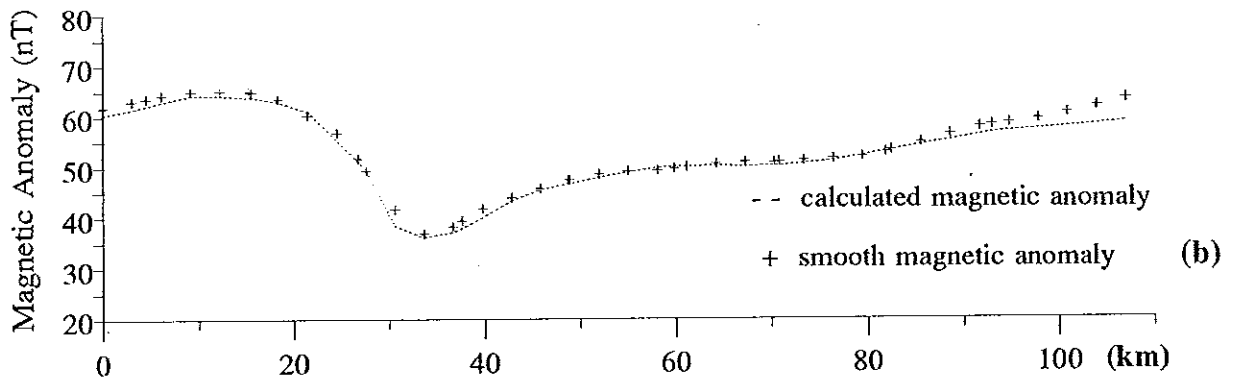
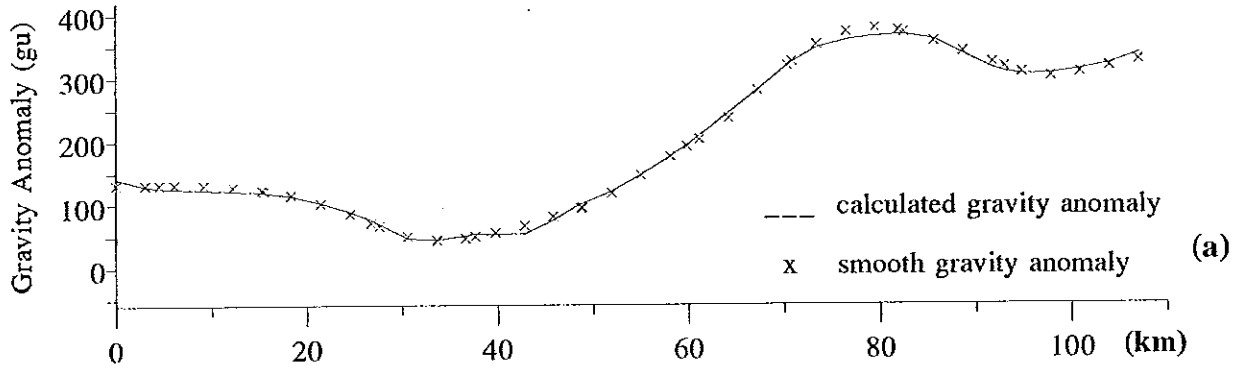
ภาคตัดขวางค่าผิดปกติความถ่วงในแนว A5-B5 นี้ค่าผิดปกติความถ่วงที่มีค่าสูงเฉลี่ย 320 gu ที่ระยะ 75-108 m ประมาณ 130 gu ที่ระยะ 0-20 km และมีค่าต่ำสุดประมาณ 60 gu ที่ระยะ 33-39 km จากจุด A5

ส่วนภาคตัดขวางของค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลกมีค่าสูงประมาณ 62 nT ที่ระยะ 0-22 km และที่มีค่าต่ำประมาณ 38 nT ที่ระยะ 35,000 เมตร จากจุด A5

ดังนั้นแบบจำลองที่ได้จะมีหินตะกอนและหมู่หินแปรที่มีความหนาประมาณ 300 m วางอยู่ที่ระยะ 0-38 km และที่ระยะ 50-108 km จากจุด A5 โดยวางอยู่บนหินแกรนิตระดับตื้นที่มีความหนาประมาณ 2,000 m ที่ระยะ 45-95 km ส่วนที่มีความหนา 4,000 m ที่ระยะ 32-36 km จากจุด A5 ส่วนหินแกรนิตระดับลึกวางอยู่บนหินชั้นเปลือกโลกระดับลึก โดยรอยต่อระหว่างหินทั้ง 2 ชนิดอยู่ที่ความลึกประมาณ 5,000 m ที่ระยะ 0-33 km ส่วนตอนปลายจะมีความลึกประมาณ 3,000 m ที่ระยะ 95-107 km จากจุด A5

จากแบบจำลองภาคตัดขวางทั้งหมดนี้ ได้กำหนดให้มวลหินเปลือกโลกระดับลึก (Crustal Material) มีความหนาแน่น 2800 kg/m^3 และมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก 0.000001 SI ทั้งนี้เกิดจากการที่กำหนดให้หินเปลือกโลก (Crustal Material) มีความลึกต่อเนื่องลงไปถึง 30 กิโลเมตร แต่เนื่องจากอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิตามลึกลับความลึกของโลก (geothermal gradient) มีค่าประมาณ 30°C ต่อ 1 กิโลเมตร (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2527) ดังนั้นที่ความลึก 30 กิโลเมตร อุณหภูมิของโลกจะสูงขึ้นเป็น 900°C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิคูรี (Curie temperature) ของแมกนีไทต์ (580°C) จึงทำให้หินเปลือกโลกระดับลึกสูญเสียอำนาจแม่เหล็ก ดังนั้นค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของชั้นหินเปลือกโลกระดับลึกจึงมีค่าเป็นศูนย์

ภาพประกอบ 38 แบบจำลองภาคตัดขวางในแนว A5-B5



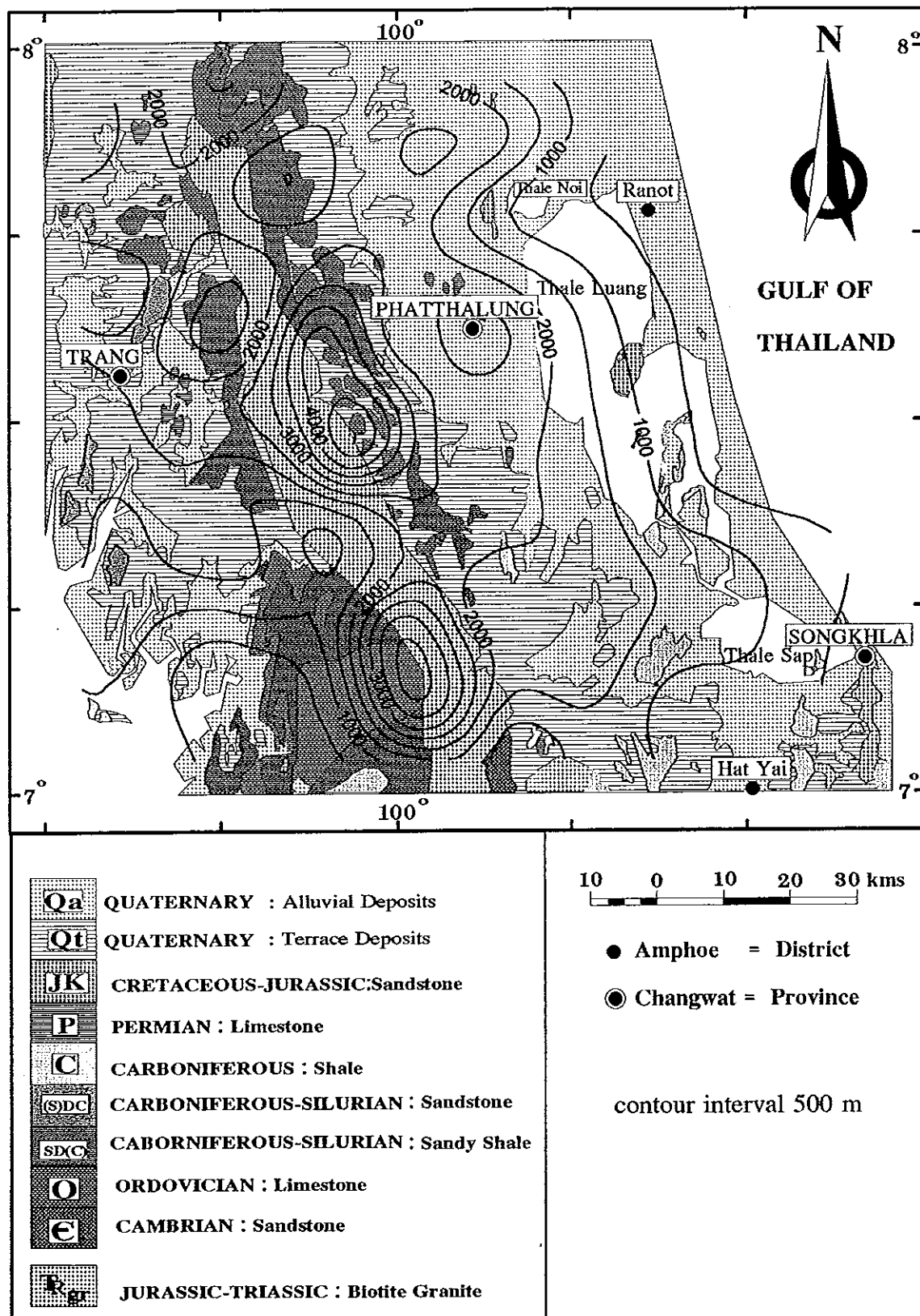
Susceptibility(SI)	0.00	0.0150	0.000001	0.000001
Density(kg/m ³)	2400	2600	2600	2800

ค่าผิดปกติของความถ่วงซึ่งคำนวณได้จากแบบจำลองภาคตัดขวางทั้งหมดนี้ เป็นอิทธิพลหลักจากมวลหินชั้นเปลือกโลก (Crustal Material) (ความหนาแน่นประมาณ 2800 kg/m^3 และค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก 0 SI) ที่รองรับหินแกรนิตระดับลึก (ความหนาแน่นประมาณ 2600 kg/m^3 และค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก 0.000001 SI) ในบริเวณที่หินชั้นเปลือกโลกแทรกดันขึ้นมาอยู่ในระดับตื้น จะส่งผลให้ค่าผิดปกติของความถ่วงบริเวณนั้นมีค่าสูง ส่วนบริเวณใดที่หินชั้นเปลือกโลกนี้วางตัวอยู่ในระดับลึก ค่าความถ่วงบริเวณนั้นจะมีค่าต่ำ สำหรับค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลกเป็นผลเนื่องมาจากมวลของแกรนิตระดับตื้น ซึ่งอยู่ที่ระดับตื้น (ความหนาแน่นประมาณ 2600 kg/m^3 และค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก 0.015 SI) ส่งผลให้ค่าผิดปกติของความถ่วงและค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลกที่คำนวณได้จากแบบจำลองภาคตัดขวางสอดคล้องเป็นอย่างดีกับค่าผิดปกติที่ได้จากการวัด

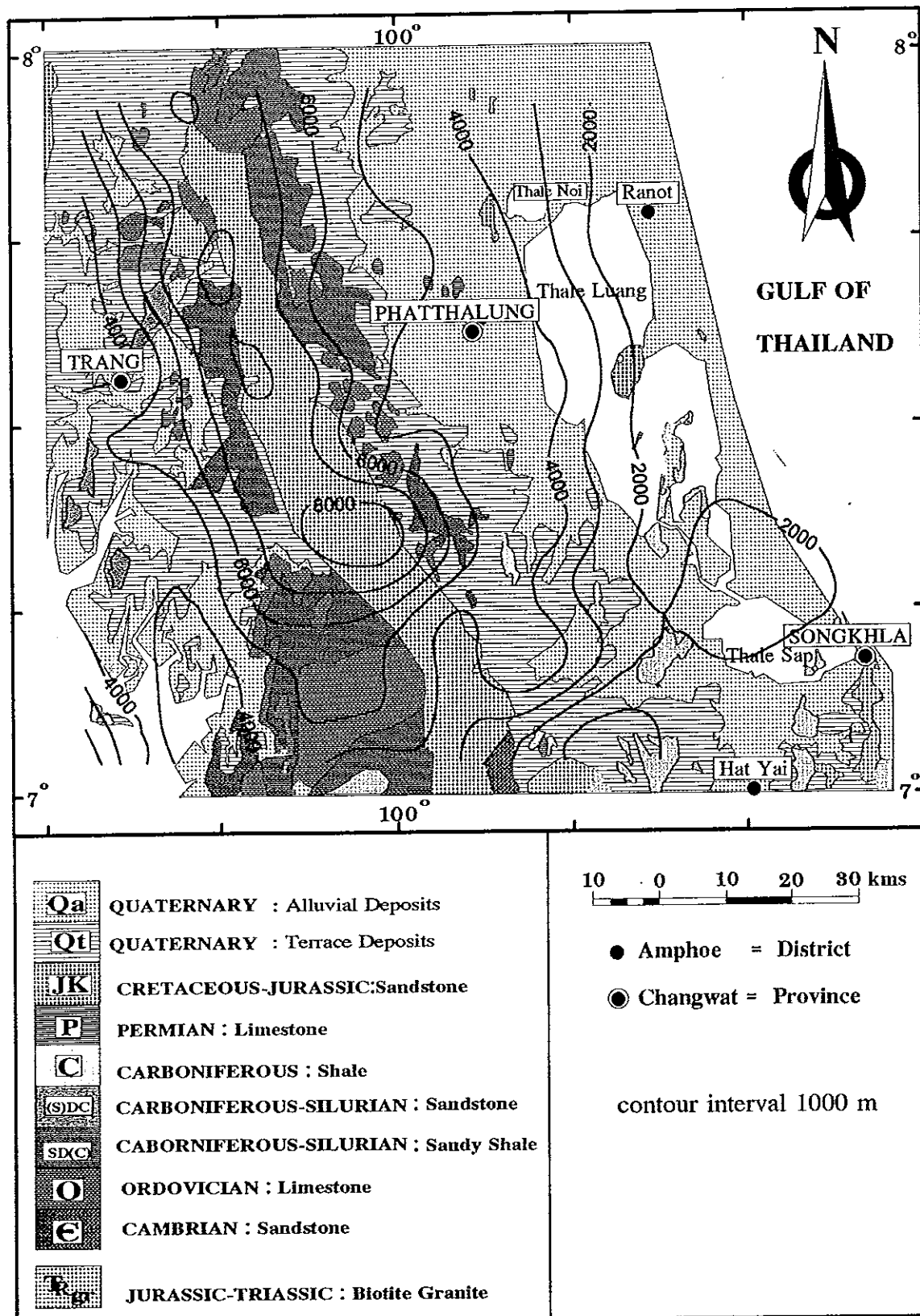
จากแบบจำลองที่ได้นี้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีคุณสมบัติของเปลือกโลกของแอร์สำหรับการคำนวณหาขนาดความลึกของราก (d) ที่สัมพันธ์กับขนาดความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (h) จะได้สมการ $d = hp_{gr}/(\rho_{sr} - \rho_{gr})$ เมื่อ ρ_{gr} คือ ค่าความหนาแน่นของหินแกรนิต (2600 kg/m^3) และ ρ_{sr} คือ ค่าความหนาแน่นของหินชั้นเปลือกโลก (2800 kg/m^3) พบว่าเทือกเขาแกรนิตมีขนาดความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางเฉลี่ย 610 เมตร จะมีขนาดความลึกเฉลี่ยของรากของหินแกรนิตจากที่คำนวณได้จากทฤษฎีเท่ากับ 7,930 เมตร โดยที่ขนาดความลึกเฉลี่ยของรากของหินแกรนิตที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 8,100 เมตร ดังนั้นความลึกของรากหินแกรนิตที่ได้จากทฤษฎีกับที่ได้จากแบบจำลองมีค่าความแตกต่างเฉลี่ย 170 เมตร

เมื่อนำแผนที่คอนทัวร์ความลึกของแกรนิตระดับตื้นและแกรนิตระดับลึกซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา ดังภาพประกอบ 39 และ 40 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าคอนทัวร์ที่ลึกมากที่สุดของหินแกรนิตระดับตื้น(ประมาณ 5,000 เมตร) จะวางตัวเป็นบริเวณแคบๆ และไม่ต่อเนื่องตามแนวหินแกรนิตที่ปรากฏในแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับคอนทัวร์ผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลก และคอนทัวร์ความลึกของหินแกรนิตระดับลึกแสดงตำแหน่งของหินแกรนิตระดับลึกที่ลึกมากที่สุด(ประมาณ 8000 เมตร)อยู่ตรงกับตำแหน่งของหินแกรนิตที่ปรากฏในแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับคอนทัวร์ผิดปกติความถ่วง แสดงว่าแกรนิตระดับตื้นเป็นตัวกำเนิดค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลก และรอยต่อระหว่างหินแกรนิตระดับลึกกับหินชั้นเปลือกโลกเป็นตัวกำเนิดของค่าผิดปกติความถ่วง

ภาพประกอบ 39 คอนทัวร์ความลึกของแกรนิตระดับต้นซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยา
ของพื้นที่ศึกษาวิจัย



ภาพประกอบ 40 คอนทัวร์ความลึกของแกรนิตระดับลึกซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยา
ของพื้นที่ศึกษาวิจัย



5. ผลการศึกษาแผนที่กัมมันตภาพรังสีและการวิเคราะห์ปริมาณ K, eU, และ eTh

การศึกษาแผนที่กัมมันตภาพรังสีและการวิเคราะห์ปริมาณ K, eU, และ eTh มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดโครงสร้างธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคในแนวราบของพื้นที่ศึกษา

โดยปกติหินจะมีสารกัมมันตรังสีอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่สารเหล่านี้เมื่อแผ่รังสีออกรวมกับรังสีคอสมิกที่มาจากนอกโลกและรวมเป็นรังสีของสิ่งแวดล้อม ซึ่งในหินแกรนิตภาคโปแตสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม จะมีปริมาณสูงกว่าปกติ นอกจากนี้ยังมีหินบางชนิดที่มีส่วนประกอบของเฟลด์สปาร์และไมกาจะมีปริมาณธาตุโพแทสเซียมสูง ซึ่งจะทำให้ระดับกัมมันตภาพรังสีในบริเวณหินเหล่านี้สูงขึ้นเช่นกัน (พวงทิพย์ รุ่งเล็ก, 2538) เพื่อตรวจสอบว่ากัมมันตภาพรังสีสูงมาจากหินแกรนิตเท่านั้นหรือไม่ใช่มาจากหินตะกอนหรือหินชนิดอื่นๆ จึงได้เก็บตัวอย่างหินโผล่มาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และเปรียบเทียบกับแผนที่กัมมันตภาพรังสีจากการบินสำรวจ

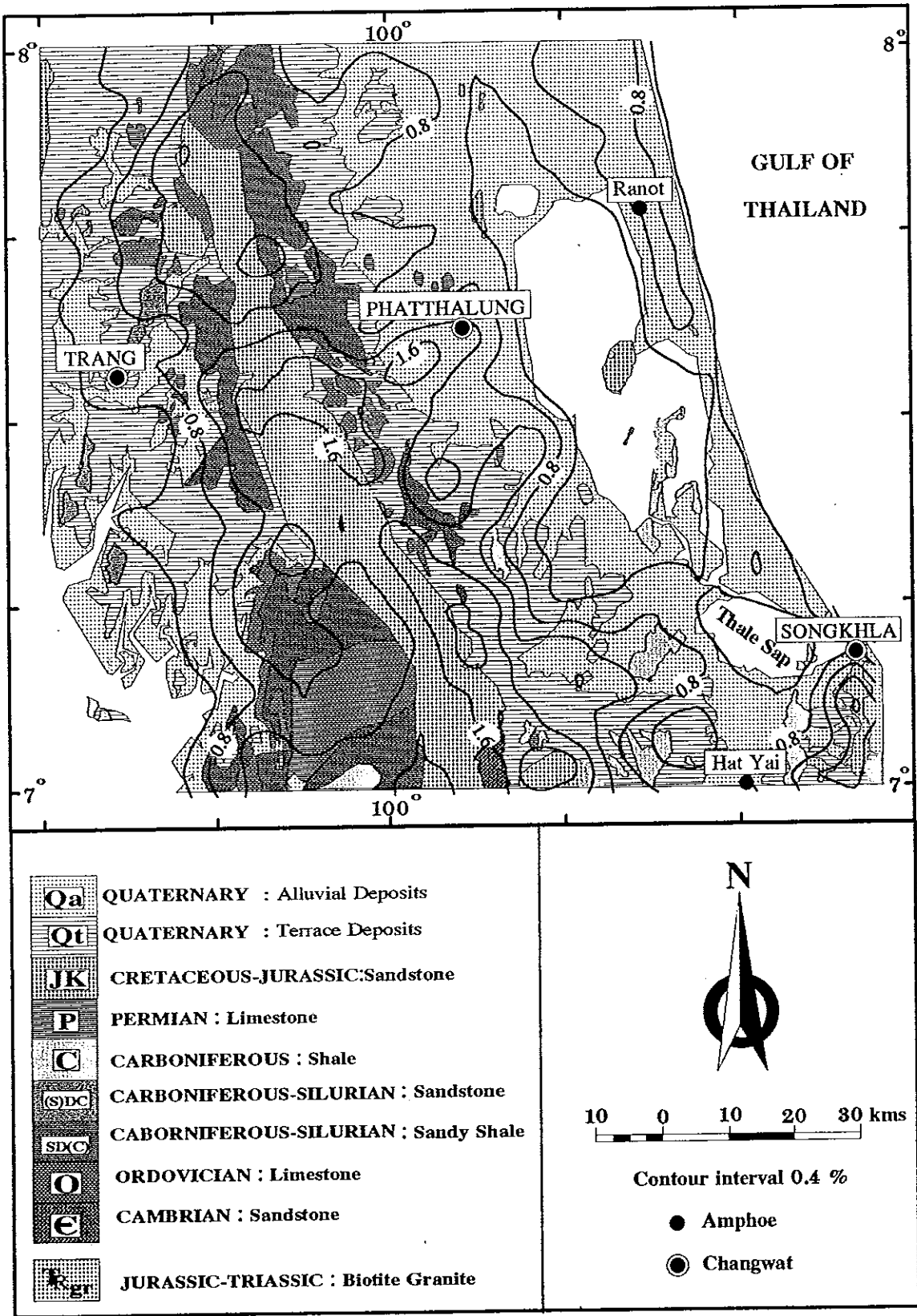
5.1 ผลการศึกษาปริมาณกัมมันตภาพรังสี จากการบินสำรวจ

ผลจากการศึกษาแผนที่กัมมันตภาพรังสีจากการบินสำรวจทางอากาศ ที่ระดับความสูง 400 ฟุต ของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2532 พบว่าพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณที่มีปริมาณความเข้มของโพแทสเซียม (K) มากกว่า 0.4% ปริมาณความเข้มของยูเรเนียมสมมูล (eU) มากกว่า 2 ppm และปริมาณความเข้มของทอเรียมสมมูล (eTh) มากกว่า 8 ppm ดังภาพประกอบ 41, 42 และ 43 ตามลำดับ ส่วนที่มีความเข้มของกัมมันตภาพรังสีสูงจะครอบคลุมบริเวณที่เป็นหินแกรนิต ซึ่งอยู่ตอนกลางของพื้นที่ศึกษา และบริเวณตะกอนควอเทอร์นารีด้านตะวันออกของหินแกรนิต โดยจะมีความเข้มโพแทสเซียม (K) มากกว่า 1.2 % ปริมาณความเข้มของยูเรเนียมสมมูล (eU) มากกว่า 5 ppm และปริมาณความเข้มของทอเรียมสมมูล (eTh) มากกว่า 16 ppm ดังภาพประกอบ 44, 45 และ 46 ตามลำดับ

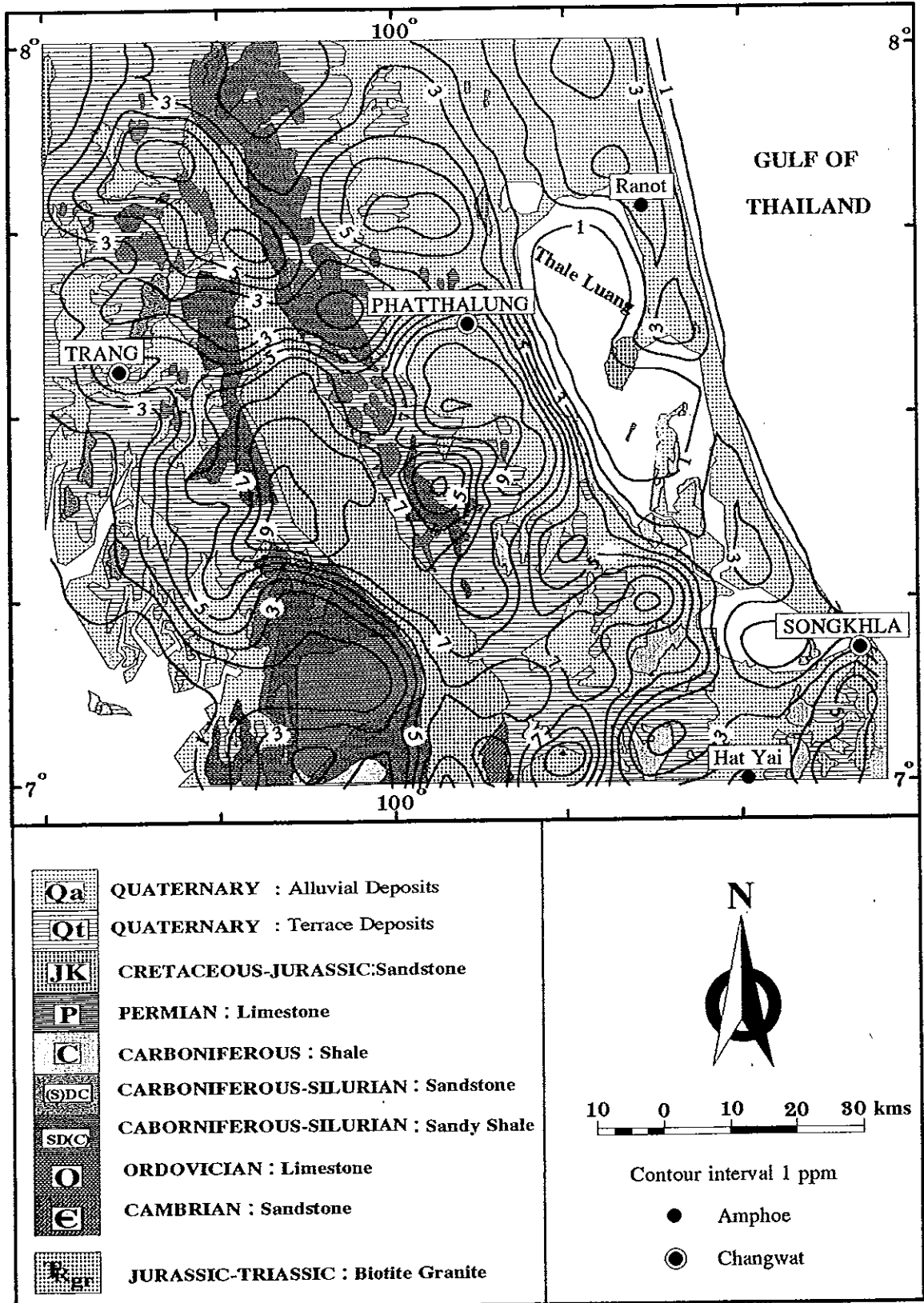
5.2 การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณความเข้มของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล

ได้เก็บตัวอย่างหินโผล่ในบริเวณพื้นที่ที่ศึกษามาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อตรวจหาปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล โดยใช้สเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา ทั้งนี้เพื่อกำหนดให้ชัดเจนว่าเป็นธาตุกัมมันตรังสีต้นกำเนิดชนิดใด และมีปริมาณมากน้อยเพียงใด

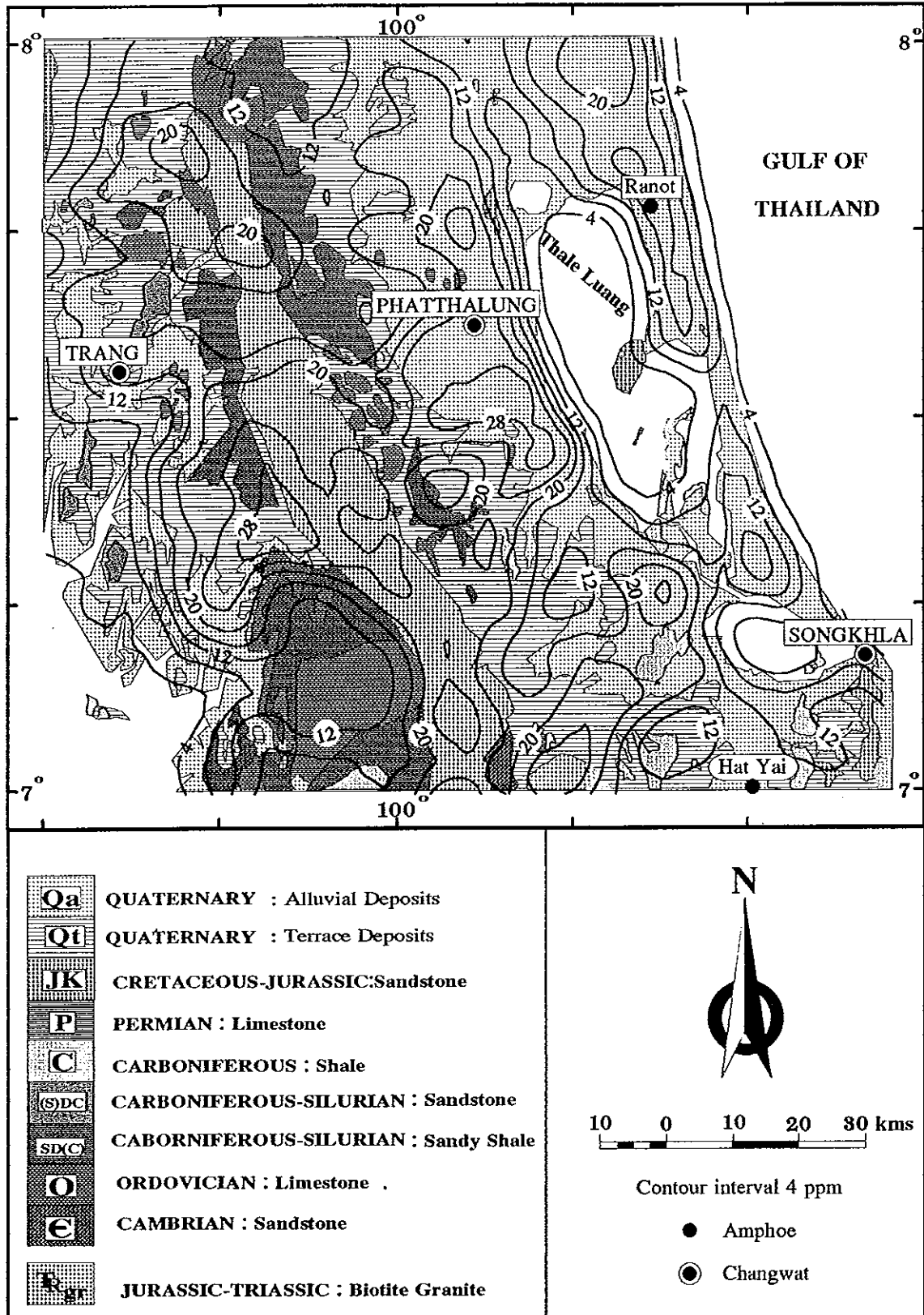
ภาพประกอบ 41 แผนที่คอนทัวร์โพแทสเซียม(K) ในหน่วย % ซ่อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย (ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี, 2532)



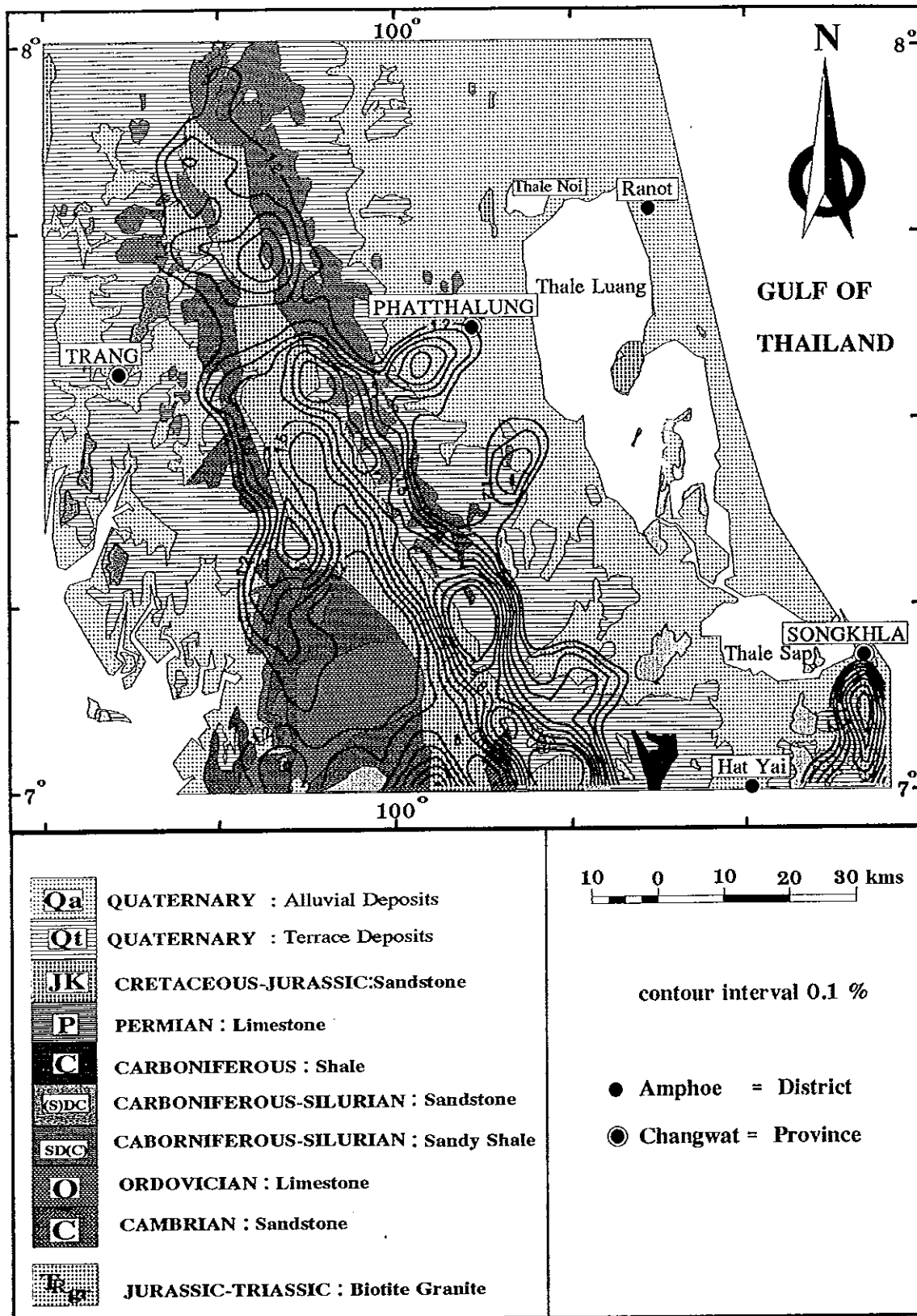
ภาพประกอบ 42 แผนที่คอนทัวร์ยูเรเนียมสมมูล(eU) ในหน่วย ppm ชั้นทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย (ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี, 2532)



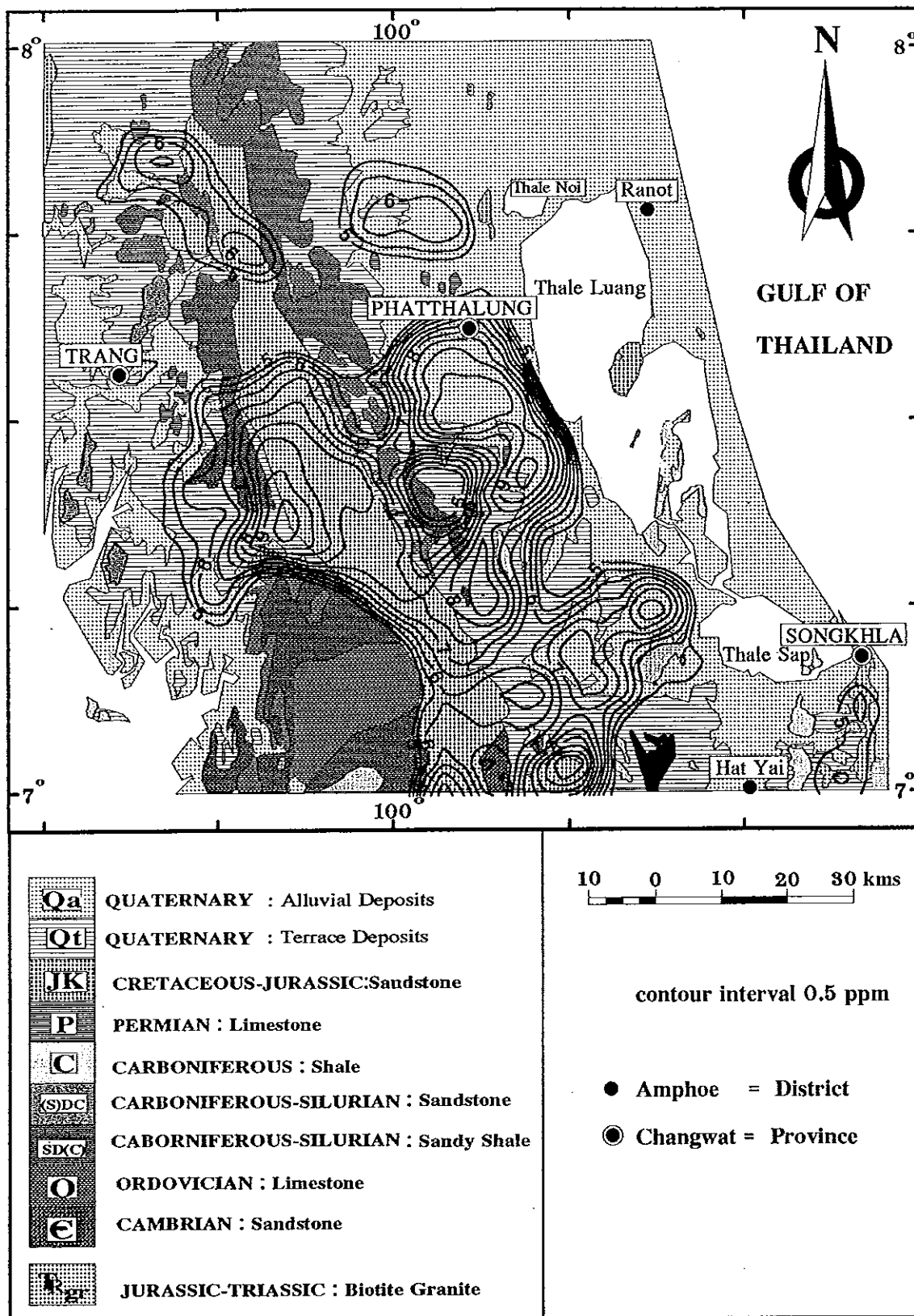
ภาพประกอบ 43 แผนที่คอนทัวร์ทอเรียมสมมูล(eTh) ในหน่วย ppm ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย (ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี, 2532)



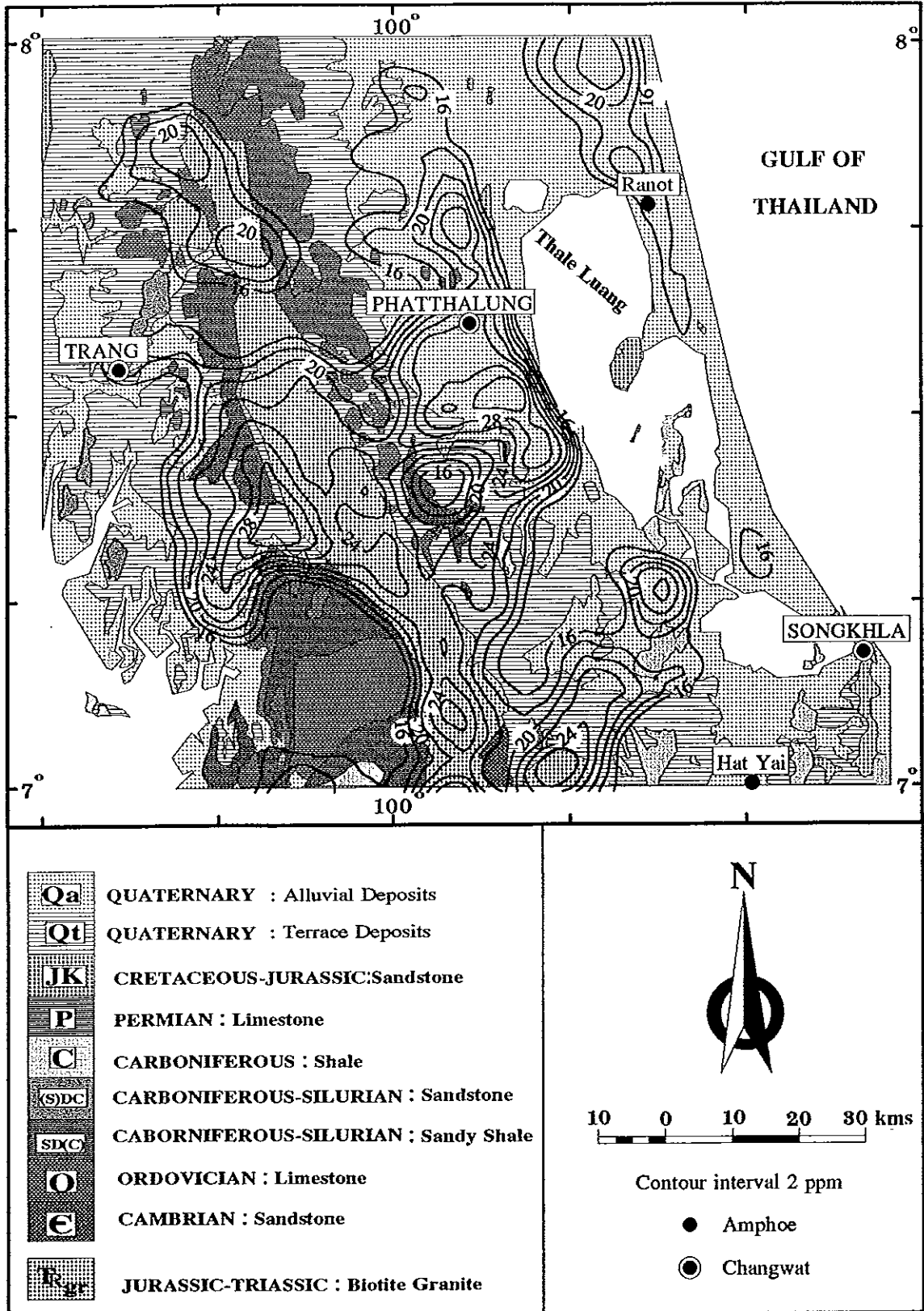
ภาพประกอบ 44 แผนที่คอนทัวร์โพแทสเซียม(K) ที่มีค่าสูง (มากกว่า 1.2 %) ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย (ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี, 2532)



ภาพประกอบ 45 แผนที่คอนทัวร์ยูเรเนียมสมมูล(eU) ที่มีค่าสูง (มากกว่า 5 ppm) ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย (ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี, 2532)



ภาพประกอบ 46 แผนที่คอนทัวร์ทอเรียมสมมูล(eTh) ที่มีค่าสูง (มากกว่า 16 ppm) ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัย (ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี, 2532)



จากการวิเคราะห์ที่ได้ใช้เวลาและสมการที่เหมาะสมในการวัดและคำนวณความเข้มข้นที่ 7 ชั่วโมง (ภาคผนวก จ) และให้ผลดังตาราง 12, 13, 14, 15, 16, 17 และ 18 และภาพประกอบ 47, 48 และ 49 ตามลำดับ

ตาราง 12 ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูล ในหินแกรนิตยุคจูแรสซิก-ไทรแอสซิก

ตัวอย่าง	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)
G487.5	2.08 ± 0.20	8.49 ± 0.24	15.67 ± 0.72
G551.0	2.21 ± 0.20	8.04 ± 0.24	27.77 ± 1.01
G569.0	2.65 ± 0.21	8.36 ± 0.24	20.37 ± 0.87
L006.0	1.95 ± 0.20	8.17 ± 0.24	22.93 ± 0.87
L012.0	2.58 ± 0.21	12.42 ± 0.31	22.22 ± 1.01
L014.0	2.15 ± 0.20	7.20 ± 0.18	10.69 ± 0.58
เฉลี่ย	2.27 ± 0.21	8.78 ± 0.24	19.94 ± 0.84

จากตาราง 12 ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมเฉลี่ย $2.27 \pm 0.21\%$ ยูเรเนียมสมมูลเฉลี่ย 8.78 ± 0.24 ppm และทอเรียมสมมูลเฉลี่ย 19.94 ± 0.84 ppm ทั้งปริมาณโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล มีค่าต่ำกว่าที่เคยรายงานไว้โดย พวงทิพย์ รุ่งเล็ก (2538) ว่าหินแกรนิตบริเวณลิวงพลูดอนมีปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ย $6.40 \pm 0.05\%$ ยูเรเนียมสมมูลเฉลี่ย 19.63 ± 0.41 ppm และทอเรียมสมมูลเฉลี่ย 32.17 ± 4.24 ppm แต่มีค่าใกล้เคียงกับที่เคยรายงานไว้โดยธงชัย พึ่งรัมย์ (2535) ว่าหินแกรนิตบริเวณลิวงพลูดอนมีปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ย 3.34% และโดย กิตติชัย วัฒนานิกกร และคณะ (2527) ว่าหินแกรนิตมีค่าปริมาณธาตุโพแทสเซียม $3.3-3.8\%$ ยูเรเนียมสมมูล $4-5$ ppm และทอเรียมสมมูล $15-18$ ppm

ตาราง 13 ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลในหิน
ทรายยุคครีเทเชียส-จูแรสซิก

ตัวอย่าง	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)
L001.0	0.34 ± 0.18	1.98 ± 0.05	8.70 ± 0.72
L004.0	1.66 ± 0.20	0.95 ± 0.02	6.42 ± 0.44
L016.0	1.75 ± 0.20	2.95 ± 0.11	15.10 ± 0.87
เฉลี่ย	1.25 ± 0.19	1.96 ± 0.06	10.07 ± 0.68

ตาราง 14 ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลในหินปูน
ยุคเพอร์เมียน

ตัวอย่าง	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)
G536.0	0.28 ± 0.02	0.31 ± 0.08	0.87 ± 0.16
L009.0	0.22 ± 0.02	0.56 ± 0.02	0.58 ± 0.16
L002.0	0.20 ± 0.02	1.14 ± 0.02	0.16 ± 0.01
เฉลี่ย	0.23 ± 0.02	0.67 ± 0.04	0.53 ± 0.11

ตาราง 15 ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลในหิน
ดินดาน ยุคคาร์บอนิเฟอรัส

ตัวอย่าง	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)
G574.5	1.20 ± 0.20	1.79 ± 0.05	4.85 ± 0.44
L013.0	0.18 ± 0.02	0.00	0.30 ± 0.01
L015.0	1.80 ± 0.20	1.92 ± 0.05	12.11 ± 0.72
เฉลี่ย	1.03 ± 0.14	1.23 ± 0.03	5.75 ± 0.39

ตาราง 16 ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลในหิน
ดินดานเนื้อปนทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ไซลูเรียน

ตัวอย่าง	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)
G487.5	0.31 ± 0.18	0.00	1.01 ± 0.16
L017.0	0.33 ± 0.18	0.00	1.01 ± 0.16
เฉลี่ย	0.32 ± 0.18	0.00	1.01 ± 0.16

ตาราง 17 ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลในหินปูน
ยุคออร์โดวิเซียน

ตัวอย่าง	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)
G487.0	0.16 ± 0.02	0.00	0.00
G562.0	0.24 ± 0.02	0.11 ± 0.03	0.16 ± 0.01
G562.5	0.31 ± 0.18	0.00	1.86 ± 0.30
G572.0	0.16 ± 0.02	0.00	0.00
G574.6	0.37 ± 0.18	0.24 ± 0.08	1.29 ± 0.16
G574.7	0.43 ± 0.18	0.00	1.29 ± 0.16
G579.0	0.22 ± 0.02	0.05 ± 0.01	0.72 ± 0.16
G582.5	0.69 ± 0.18	0.82 ± 0.02	2.15 ± 0.30
G583.0	2.11 ± 0.21	2.43 ± 0.11	10.97 ± 0.72
G586.0	0.34 ± 0.18	0.31 ± 0.08	1.15 ± 0.16
L005.0	0.28 ± 0.02	0.24 ± 0.08	0.00
L007.0	0.27 ± 0.02	0.24 ± 0.08	0.58 ± 0.16
เฉลี่ย	0.46 ± 0.10	0.37 ± 0.04	1.68 ± 0.18

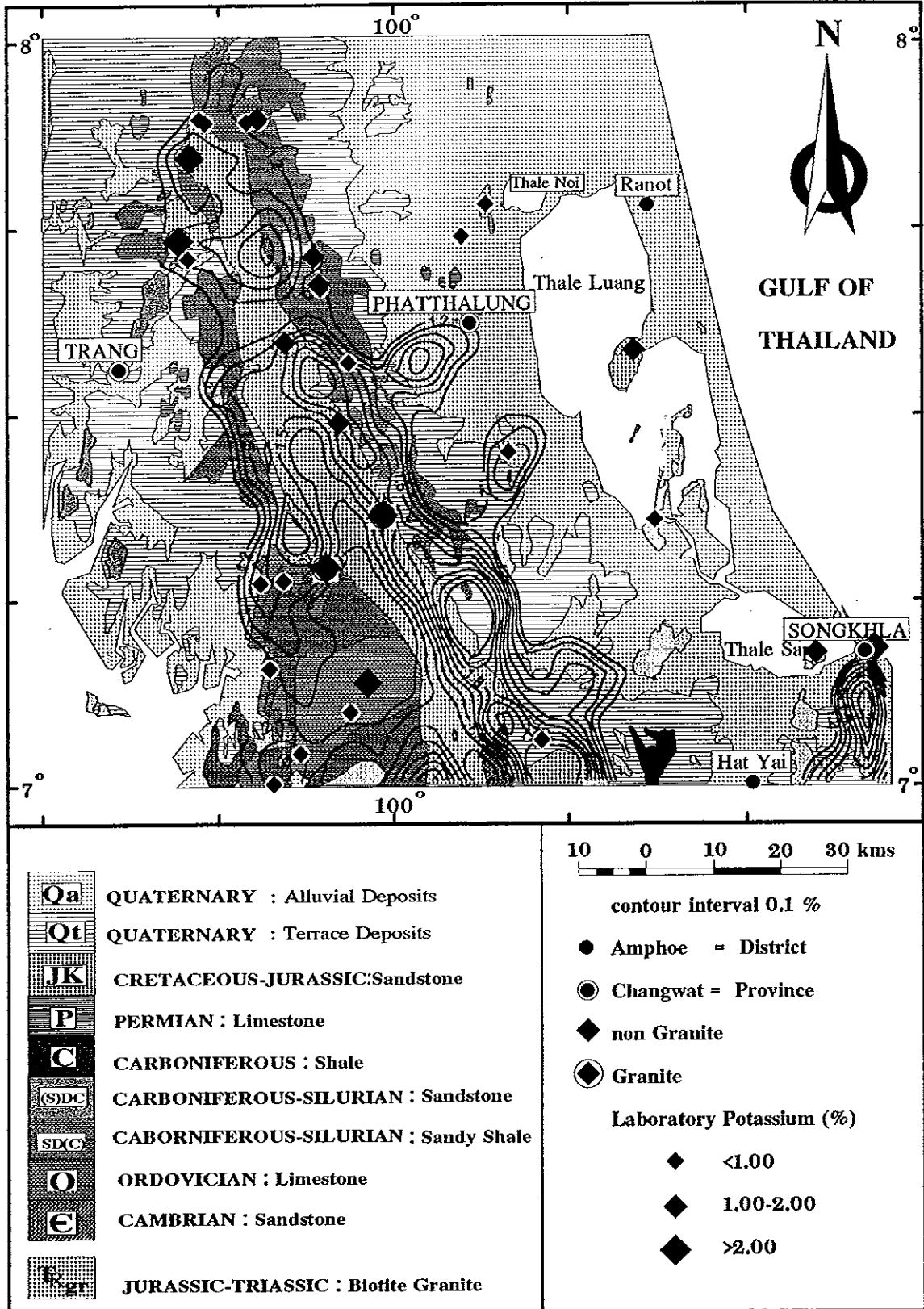
ตาราง 18 ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลในหินทรายยุคแคมเบรียน

ตัวอย่าง	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)
G572.5	0.52 ± 0.18	0.56 ± 0.02	1.86 ± 0.30
G574.5	0.29 ± 0.03	0.44 ± 0.08	0.87 ± 0.16
L008.0	0.17 ± 0.02	0.18 ± 0.08	0.16 ± 0.01
L010.0	1.60 ± 0.20	4.04 ± 0.11	11.68 ± 0.72
เฉลี่ย	0.65 ± 0.11	1.30 ± 0.07	3.64 ± 0.30

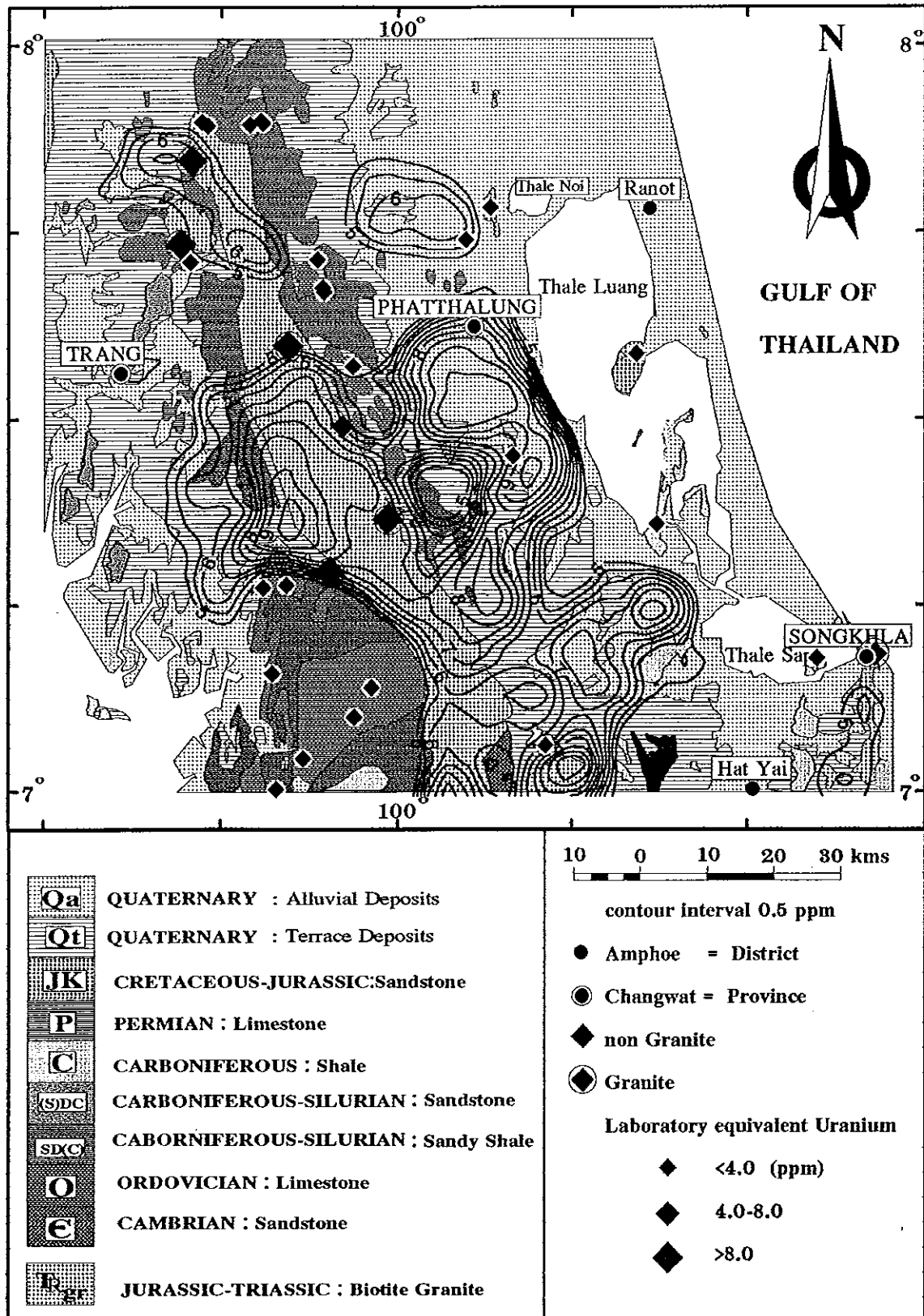
จากตาราง 12, 13, 14, 15, 16, 17 และ 18 พบว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลในหินแกรนิตมีมากกว่า

จากการศึกษาการวัดกัมมันตรังสีของทราย ที่ใช้ในการก่อสร้างในเขตเทศบาลเมืองหาดใหญ่ของ Chittrakam, et al. (1995) พบว่าปริมาณความเข้มข้นของกัมมันตรังสีที่ได้จากทรายดังกล่าวมีค่าสูง คือ โพแทสเซียม (1.62%) ยูเรเนียม (3.7 ppm) และทอเรียม (4.58 ppm) ดังนั้นจึงคาดว่าในทรายเหล่านี้จะเป็นต้นกำเนิดของค่ากัมมันตรังสีสูงที่วัดได้จากการบินสำรวจเหนือบริเวณตะกอนควอเทอร์นารี ทรายเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นทรายที่ได้จากแม่น้ำ ลำคลอง และบางส่วนมาจากเหมืองแร่ดีบุกร้างในพื้นที่ซึ่งปกคลุมด้วยตะกอนควอเทอร์นารีที่ใกล้เคียงกับเขตเทศบาลเมืองหาดใหญ่ และ Pungrassami and Sanguansai. (1991) ได้รายงานการตรวจพบแร่โมนาไซต์ (Monazite) และซีโนไทม์ (Xenotime) ในพื้นที่ที่มีการทำเหมืองแร่ดีบุกและแร่โลหะหนักในบริเวณแหลมไทย ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าทั้งโมนาไซต์และซีโนไทม์ มีธาตุยูเรเนียมและทอเรียมรวมอยู่ในปริมาณสูงกว่าแร่อื่นๆ ดังนั้นจากภาพประกอบ 45 และ 46 พบว่าความเข้มข้นของยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลมีค่าสูงในบริเวณที่เป็นตะกอนควอเทอร์นารี จึงคาดว่าอาจจะเกิดจากการที่มีแร่โมนาไซต์และซีโนไทม์ ในบริเวณดังกล่าว

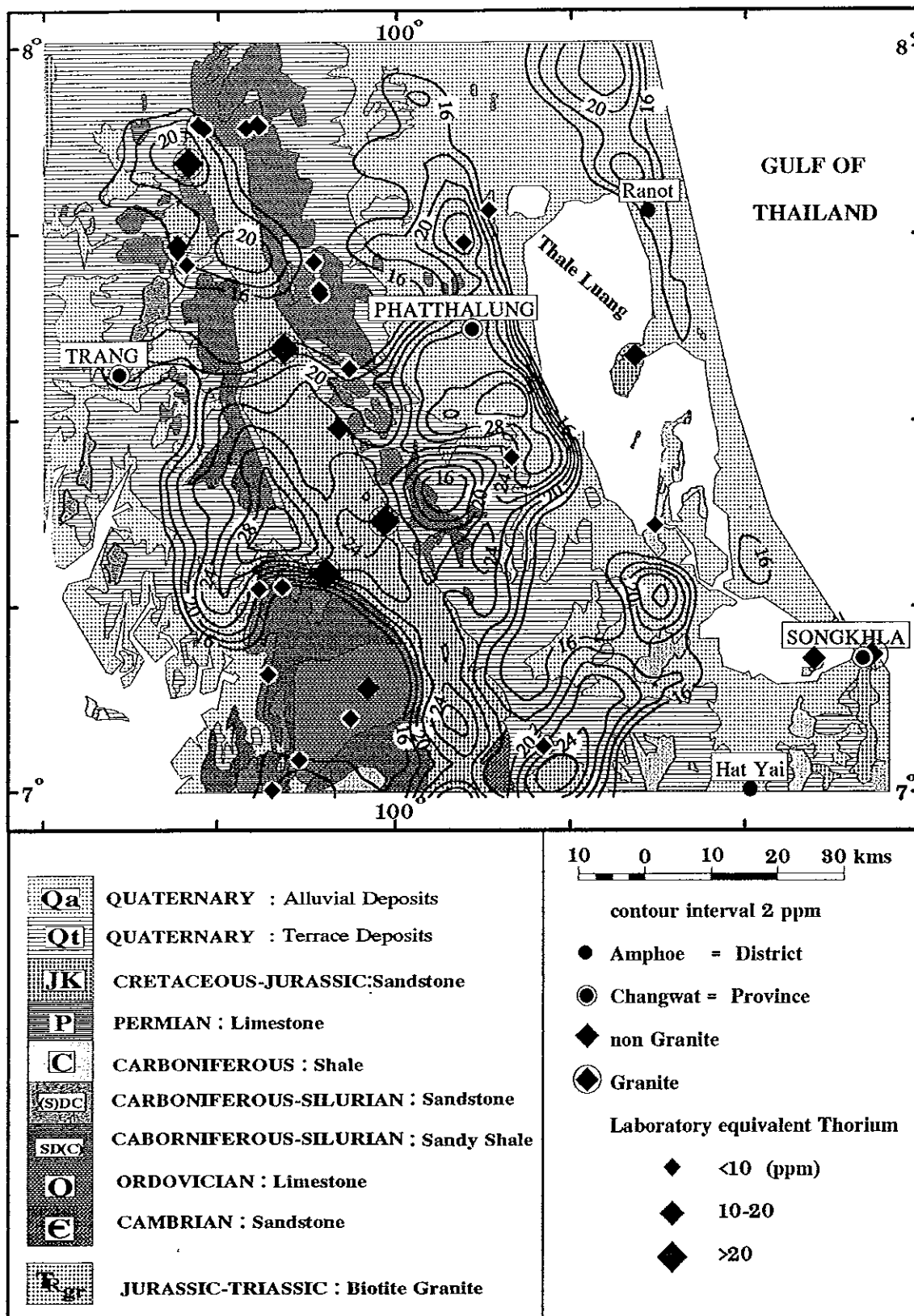
ภาพประกอบ 47 ความเข้มข้นของ K ในตัวอย่างหินจากการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์ รังสีแกมมา บนแผนที่คอนทัวร์ K ที่ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยา



ภาพประกอบ 48 ความเข้มข้นของ eU ในตัวอย่างหินจากการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์
รังสีแกมมา บนแผนที่คอนทัวร์ eU ที่ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยา



ภาพประกอบ 49 ความเข้มข้นของ eTh ในตัวอย่างหินจากการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์
รังสีแกมมา บนแผนที่ที่คอนทัวร์ eTh ที่ซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยา



บทที่ 4

บทวิจารณ์และสรุป

ได้จำแนกบทวิจารณ์และสรุปผลออกเป็นข้อ ๆ ดังต่อไปนี้

1. ข้อวิจารณ์ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหิน ในพื้นที่ศึกษา
2. ข้อวิจารณ์ค่าผิดปกติของความถ่วง
3. ข้อวิจารณ์ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กรวมของโลก
4. ข้อวิจารณ์ผลการแปลความค่าผิดปกติของความถ่วงและค่าผิดปกติของความเข้มสนามแม่เหล็กรวมของโลก
5. ข้อวิจารณ์ค่าผิดปกติของกัมมันตภาพรังสี

1. ข้อวิจารณ์ค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา

จากผลความหนาแน่นของตัวอย่างหิน ซึ่งเก็บมาจากหินโผล่ในบริเวณพื้นที่ศึกษา จำนวน 36 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งได้เก็บรวบรวมมาประมาณ 2-10 ตัวอย่าง เป็นดังนี้คือ หินทรายยุคแคมเบรียนมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ $2732 \pm 57 \text{ kg/m}^3$ ซึ่งมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือหินปูนยุคเพอร์เมียนมีค่าความหนาแน่น $2726 \pm 58 \text{ kg/m}^3$ ตามด้วยหินปูนยุคออร์โดวิเซียนมีค่าความหนาแน่น $2685 \pm 61 \text{ kg/m}^3$ หินดินดานเนื้อปนทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ไซลูเรียนมีค่าความหนาแน่น $2689 \pm 34 \text{ kg/m}^3$ หินแกรนิตยุคจูแรสซิก-ไทรแอสซิก มีค่าความหนาแน่น $2577 \pm 61 \text{ kg/m}^3$ หินดินดานยุคคาร์บอนิเฟอรัสมีค่าความหนาแน่น $2401 \pm 96 \text{ kg/m}^3$ และหินทรายยุคครีเทเชียส-จูแรสซิกมีค่าความหนาแน่น $2213 \pm 148 \text{ kg/m}^3$ ตามลำดับ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหินแกรนิตยุคจูแรสซิก-ไทรแอสซิก ไม่ได้เป็นหินที่มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด แต่จะมีหินบางชนิดที่มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าและหินบางชนิดก็มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าหินแกรนิตยุคจูแรสซิก-ไทรแอสซิก ในพื้นที่ศึกษา

2. ข้อวิจารณ์ค่าผิดปกติของความถ่วง

ค่าผิดปกติความถ่วงต่ำ(ประมาณ -60 ถึง 140 gu) จะครอบคลุมเหนือบริเวณหินแกรนิตโดยมีแนวการวางตัวขนานกับแนวของชั้นหินในพื้นที่ศึกษา ส่วนค่าผิดปกติความถ่วงสูง ประมาณ 220-420 gu) จะครอบคลุมเหนือบริเวณหินตะกอนควอเทอร์นารี ทั้งๆที่หิน

แกรนิตมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าตะกอนควอเตอร์นารี แสดงว่าค่าความหนาแน่นของหินโพล์ที่ผิวโลกมีผลกับค่าผิดปกติความถ่วงที่วัดได้น้อยมาก ดังนั้นจึงคาดว่าน่าจะมีหินที่มีความหนาแน่นมากกว่าหินแกรนิตและหินข้างเคียง วางอยู่ข้างล่างหินเหล่านี้

3. ข้อวิจารณ์ค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กกรวมของโลก

ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กกรวมของโลกที่ได้จากการบินสำรวจทางอากาศ (survey B&C) ในพื้นที่ศึกษา ไม่สามารถกำหนดขอบเขตในแนวราบทางธรณีวิทยาได้ชัดเจน แต่เป็นที่น่าสังเกตว่ามีคอนทัวร์ค่าผิดปกติเชิงตำบลปรากฏอยู่เหนือแนวของหินแกรนิต

ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินแกรนิตเฉลี่ย (0.00062 ± 0.00022 SI จากการวัด 4 ตำแหน่ง) มีค่าสูงกว่าค่าสภาพรับไว้ทางแม่เหล็กของหินชนิดอื่น ยกเว้นในหินปูนบางตำแหน่งมีค่าสูงกว่าของหินแกรนิต แสดงว่าสารแมกนีไทต์ในหินแกรนิตในพื้นที่ศึกษามีค่าสูงกว่าหินชนิดอื่นๆ

4. ข้อวิจารณ์ผลการแปลความค่าผิดปกติของความถ่วง และค่าผิดปกติของความเข้มสนามแม่เหล็กกรวมของโลก

ผลจากการศึกษาด้านความถ่วงและความเข้มสนามแม่เหล็กกรวมของโลกได้แสดงเป็นแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์(ค่าผิดปกติของความถ่วง) และแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กกรวมของโลก แผนที่ประกอบด้วยเส้นคอนทัวร์ที่ลากผ่านจุดต่าง ๆ ที่มีค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์และ ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลกเท่ากัน

ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาในแนวตั้ง ได้จากการแปลความหมายค่าผิดปกติของความถ่วง และค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กกรวมของโลกของพื้นที่ศึกษาวิจัย บนภาคตัดขวางซึ่งมีทิศอยู่ในแนว SW-NE จำนวน 5 แนว ซึ่งขนานกับแนว AB ของแผนที่ธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรธรณี, 2528) โดยแต่ละแนวห่างกัน 20 กิโลเมตร แล้วสร้างแบบจำลองขึ้น โดยอาศัยโปรแกรม GMM และข้อมูลทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

แบบจำลองที่ได้จากการแปลความแสดงแบบจำลองของโครงสร้างธรณีวิทยาระดับลึกที่เป็นหินแกรนิตรองรับหมู่หินแปรและหินตะกอนควอเตอร์นารี ซึ่งมีความหนาแน่นที่ประมาณ 300 เมตร โดยที่หินแกรนิต(ความหนาแน่น 2600 kg/m^3)มีรากลึกวางอยู่บนหินชั้นเปลือกโลก(ความหนาแน่น 2800 kg/m^3)ในบริเวณที่มีหินแกรนิตโพล์ โดยแกรนิตมีรากลึกลงไปประมาณ 8,000 เมตร ส่วนบริเวณที่ปกคลุมด้วยหินตะกอนควอเตอร์นารี ชั้นหินเปลือกโลกจะแทรกคั่น

ขึ้นมาอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 2,000 เมตร และ 4,000 เมตร ในด้านตะวันออกและด้านตะวันตกของเทือกเขาแกรนิต ซึ่งค่าผิดปกติของความถ่วงและค่าผิดปกติสนามแม่เหล็กกรวมของโลก ที่คำนวณได้จากแบบจำลองสอดคล้องกับค่าผิดปกติที่วัดได้พอดี

5. ข้อวิจารณ์ค่าผิดปกติกัมมันตภาพรังสี

แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติของกัมมันตรังสีทั้ง 3 ชนิดคือ โพแทสเซียม ยูเรเนียม สมมูล และทอเรียมสมมูล พบว่าแผนที่ค่าผิดปกติโพแทสเซียมสามารถกำหนดขอบเขตของแกรนิตในแนวราบได้ชัดเจนที่สุด ส่วนยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล ให้ภาพเหมือนกัน กล่าวคือ มีคอนทัวร์ค่าผิดปกติที่มีค่าสูงปรากฏอยู่เหนือทั้งหินแกรนิต และหินตะกอน ควอเทอร์นารี

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล โดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาพบว่าหินแกรนิตมีปริมาณโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลสูงกว่าหินชนิดอื่นๆ โดยหินแกรนิตมีปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ย 2.27 ± 0.21 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณยูเรเนียมสมมูลเฉลี่ย 8.78 ± 0.24 ppm และปริมาณทอเรียมสมมูลเฉลี่ย 19.94 ± 0.84 ppm ส่วนในหินทรายยุคครีเทเชียส-จูแรสซิกมีโพแทสเซียมเฉลี่ย 1.25 ± 0.19 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณยูเรเนียมสมมูลเฉลี่ย 1.96 ± 0.06 ppm และปริมาณทอเรียมสมมูลเฉลี่ย 10.07 ± 0.68 ppm ในหินปูนยุคเพอร์เมียนมีโพแทสเซียมเฉลี่ย 0.23 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณยูเรเนียมสมมูลเฉลี่ย 0.67 ± 0.04 ppm และปริมาณทอเรียมสมมูลเฉลี่ย 0.53 ± 0.11 ppm หินดินดานยุคคาร์บอนิเฟอรัสมีโพแทสเซียมเฉลี่ย 1.03 ± 0.14 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณยูเรเนียมสมมูลเฉลี่ย 1.23 ± 0.03 ppm และปริมาณทอเรียมสมมูลเฉลี่ย 5.75 ± 0.39 ppm หินดินดานเนื้อปนทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ไซลูเรียนมีโพแทสเซียมเฉลี่ย 0.32 ± 0.18 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณยูเรเนียมสมมูลเฉลี่ย 0.0 ppm และปริมาณทอเรียมสมมูลเฉลี่ย 1.01 ± 0.16 ppm หินปูนยุคออร์โดวิเซียนมีโพแทสเซียมเฉลี่ย 0.46 ± 0.10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณยูเรเนียมสมมูลเฉลี่ย 0.37 ± 0.04 ppm และปริมาณทอเรียมสมมูลเฉลี่ย 1.68 ± 0.18 ppm และในหินทรายยุคแคมเบรียนมีโพแทสเซียมเฉลี่ย 0.65 ± 0.11 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณยูเรเนียมสมมูลเฉลี่ย 1.30 ± 0.07 ppm และปริมาณทอเรียมสมมูลเฉลี่ย 3.64 ± 0.30 ppm ดังนั้นบริเวณที่เส้นคอนทัวร์ของโพแทสเซียมที่มีค่าสูงจึงปรากฏอยู่เหนือหินแกรนิต ส่วนเส้นคอนทัวร์ของยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลที่มีค่าสูงจะปรากฏอยู่เหนือหินแกรนิตและหินอื่นๆด้วย

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคในพื้นที่ศึกษาด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์ในครั้งนี้ได้ตรวจพบว่ามีหินฐานที่กำหนดให้เป็นหินชั้นเปลือกโลก (Crustal Material) ซึ่งมีความหนาแน่นมาก รองรับหินแกรนิตอยู่ โดยหินแกรนิตจะมีรากลึกลงไปประมาณ 8,000 เมตร ในหินชั้นเปลือกโลก (Crustal Material) ตรงบริเวณที่มีหินโพล์แกรนิต ส่วนบริเวณที่เป็นตะกอนควอเตอร์นารี หินชั้นเปลือกโลก (Crustal Material) จะแทรกคั่นขึ้นมาที่ระดับความลึกประมาณ 2,000 เมตร และ 4,000 เมตร ในด้านตะวันออกและด้านตะวันตกของเทือกเขาแกรนิต ตามลำดับ

สำหรับวิธีการศึกษาทางธรณีฟิสิกส์ในครั้งนี้ประกอบด้วยระเบียบวิธีด้านความถ่วง ซึ่งใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่น ระเบียบวิธีแม่เหล็กซึ่งใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก และระเบียบวิธีกัมมันตภาพรังสีซึ่งใช้ประโยชน์จากปริมาณกัมมันตภาพรังสีจากหินและแร่ เมื่อนำมาใช้สำหรับการกำหนดขอบเขตโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคของพื้นที่ศึกษาทั้งในแนวคิงและแนวราบ พบว่าระเบียบวิธีทางด้านความถ่วงสามารถกำหนดขอบเขตโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคทั้งในแนวราบและแนวคิงได้ชัดเจน ระเบียบวิธีกัมมันตภาพรังสีของโพแทสเซียมสามารถกำหนดขอบเขตในแนวราบ (ระดับผิวดิน) ได้ชัดเจน โดยปรากฏอยู่เหนือบริเวณที่มีหินโพล์ของแกรนิต ทั้งนี้เนื่องจากกัมมันตภาพรังสีถูกดูดกลืนไว้ได้ง่าย โดยหินซึ่งหนาไม่กี่เซนติเมตร ระเบียบวิธีแม่เหล็กสามารถจำแนกหินแกรนิตได้เป็นหินแกรนิตระดับต้นและหินแกรนิตระดับลึก ระเบียบวิธีกัมมันตภาพรังสีของยูเรเนียมสมมูลและทอเรียมสมมูลสามารถกำหนดขอบเขตในแนวราบของบริเวณที่เป็นตะกอนควอเตอร์นารีที่ปะปนด้วยแร่ที่ประกอบด้วยธาตยูเรเนียมและทอเรียม

โดยลักษณะความกำกวมที่มีอยู่เป็นธรรมชาติของข้อมูลสนามศักย์ (ความถ่วง และสนามแม่เหล็กรวมของโลก) แบบจำลองที่ได้จากการศึกษานี้จึงเป็นเพียงแบบจำลองหนึ่งของโครงสร้างธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคที่ได้ของพื้นที่ศึกษา ในอนาคตถ้ามีการวัดความหนาแน่นของตัวอย่างหินสด ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินโพล์ และมีจำนวนแนววัดค่าความถ่วงของเทือกเขาแกรนิตมากขึ้น จะทำให้การสร้างแบบจำลองภาคตัดขวางโครงสร้างธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคที่ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

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.
- จงพันธ์ จงลักษณ์ณี. 2518. “ธรณีวิทยาแหล่งน้ำมันและแก๊สธรรมชาติในบริเวณอ่าวไทยและทะเลอันดามัน”, ข่าวสารธรณี. 20 (พฤศจิกายน 2518), 32-43.
- เชียงใหม่, มหาวิทยาลัย. คณะวิทยาศาสตร์. ภาควิชาธรณีวิทยา. 2527. ธรณีวิทยา เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- ทรัพยากรธรณี, กรม. 2528. แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตรฐาน 1:250000 ระวัง NB47-3 จังหวัดสงขลา. กรุงเทพฯ : กรมแผนที่ทหาร.
- 2532. ข้อมูลกัมมันตรังสีและสนามแม่เหล็กรวมของโลก Survey B&C. (แผ่นบันทึกข้อมูล) กรุงเทพฯ : กรมทรัพยากรธรณี.
- 2536. โครงการสำรวจข้อมูลพื้นที่ที่มีการทำเหมืองแร่ด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ในเขตพื้นที่จังหวัดตรัง. กรุงเทพฯ : กองสิ่งแวดล้อมและกองธรณีวิทยา.
- เท็ดทูน ทองเจิม. 2538. “การวิเคราะห์ไอโซโทปกัมมันตรังสีและจำแนกชนิดสารประกอบพื้นฐานในฝุ่นภูเขาไฟปิनाตูกุโบ”. สงขลา : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

ธงชัย พึ่งรัมย์. 2532. "ข้อมูลเบื้องต้นของสภาพธรณีวิทยาและแหล่งทรัพยากรแร่ ตามแนวคลองหมายเลข 5A (สตูล - สงขลา)". สงขลา : ภาควิชาเหมืองแร่และโลหะวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

_____. 2535. "ธรณีวิทยาแหล่งแร่ดีบุกบริเวณหินแกรนิตลิวง อำเภोजะนะ-นาทวิ-เทพา จังหวัดสงขลา". สงขลา : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

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

แผนที่ทหาร, กรม. 2529. แผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:50,000 ระวัง 4923I-4924IV, 5023I-5024IV และ 5123III. กรุงเทพฯ : กรมแผนที่ทหาร.

_____. 2532. แผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:250,000 ระวัง NB 47-3 จังหวัดสงขลา. กรุงเทพฯ : กรมแผนที่ทหาร.

พวงทิพย์ รุ่งเล็ก. 2538. "การศึกษาพลูตอนลิวง จังหวัดสงขลา ด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์", วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา).

ยงยุทธ ตรีงคชสาร. 2523. ธรณีวิทยาและแหล่งแร่ในบริเวณจังหวัดสงขลา. สงขลา : สำนักงานทรัพยากรธรณีเขตสงขลา.

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

แสงอาทิตย์ เชื้อวิโรจน์. 2534. ธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทย. กรุงเทพฯ : ฝ่ายแปลภาพถ่ายทางอากาศและดาวเทียม กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.

- Baker, B.H. and Wohlenberg, J. 1971. "Structure and Evolution of the Kenya Rift Valley", Nature. 229, 538.
- Bunopas, S. 1982. "Paleogeographic history of Western Thailand and adjacent parts of South-East Asia : A Plate Tectonics interpretation", Ph.d.Thesis Victoria University of Wellington, New Zealand. (reprinted 1982, Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Thailand)
- Charusiri, P., Clark, A.H., Archibald, D., and Charusiri, B. 1993. "Granite belts in Thailand : evidence from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological and geological syntheses", Journal of Southeast Asian Earth Sciences. 8 (November 1-4, 1993), 127-136.
- Chittrakarn, T., Santhiasri, P. and Bhongsuwan, T. 1995. "Quantitative Analysis of K-40, Uranium and Thorium in Sand Used in Construction in Hat-Yai District Area", In 21st Congress on Science and Technology of Thailand, October 25-27, 1995, Burapha University, Chonburi. 96-97
- Evans, P. and Crompton, W. 1946. "Geological factors and Gravity interpretation illustrated by evidence from India and Burma", Q.J.G.S. 102, 211-250.
- Heiskanen, W.A., and Meinesz, F.A.V. 1958. The Earth and its gravity field. New York : McGraw-Hill.
- Ishihara, S., Sawata, K., Terashima, S., Arrykul, S., and Sata, K. 1980. "Granites and Sn-W Deposits of Peninsular Thailand", Mining Geol. Spec. Issue. 8, 223-241. Japan : Tokyo.
- _____. 1979, "The magnetite-series and ilmenite-series granitoids and their bearing on tin mineralization particularly of the Malay Peninsula region", Geol. Soc. Malaysia; Bulletin. 11 (1979). 103-110.

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

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

Punggrassami, T. 1986, "Cassiterite and Wolframite deposits in and around the Hat Yai Basin, Songkhla province, Thailand", In Proceedings on The Workshop on Economic Geology, Tectonics Sedimentary Processes and Environment of the quaternary in Southeast Asia. 135-155. Hat Yai, Thailand.

_____. and Sanguansai, P. 1991. "An overview on Rare Earth Resources/Reserves of Active Tin Mines in Thailand", In International Conference on Rare Earth Minerals for Electronic Uses, Prince of Songkhla University, HatYai, Thailand, January 23-25, 1991. 557-575.

Sawata, H. and Maneerapun, K. 1983. "A hypothetical Idea on The Formation of Hat Yai Basin and The Songkhla Lagoon". In Proceeding The Annual Technical Meeting 1982, Department of Geological Sciences Chaing Mai University, Febaury 1-2, 1983. 109-120.

Stacey, F.D. 1977. Physics of the Earth. 2 nd ed. U.S.A : John Wiley & Sons.

Tulyatid, J. 1992. "Airborne Radiometric data Interpretation as an Aid to Granite Terrian mapping : A Case study for Hua Hin - Pra Buri Area, South Central Thailand", In Proceedings of National Conference on Geologic Resources of Thailand : Potential for future development, pp.86-104. Piancharoen, C. Bangkok : Department of Mineral Resources.

Tonnayopas, D., Kooptamond, K. and Theechawiwatthanakam, P. 1995. "Geotechnical Characterization of Carbonate Rocks in Trang Province". In International Conference on Geology, Geotechnology, and Mineral Resources of Indochina, November 21-25, 1995, Khon Kean, Thailand. 391-400.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลความถ่วงที่ได้จากการวัดในจังหวัดสงขลา พัทลุง และตรัง

gravimeter : LACOSTE & ROMBERGE G-565 และ G-490

$g_{lat} : 9780318 \times (1 + 0.00503024 \times [\sin(lat)]^2) - 0.0000059 \times [\sin^2(2lat)]^2$

FC : $3.027 \times H$

BC : $0.0004191 \times \text{density} \times H$

BA : $(g_{obs}) - (g_{lat}) + FC - BC + TC$

density : 2500 kg/m^3

STN	X-GRID	Y-GRID	lat	g_{lat}	g_{obs}	H	FC	BC	TC	BA
			(deg)	(gu)	(gu)	(m)	(gu)	(gu)	(gu)	(gu)
			9781....	9781....						
GA1	666850	803400	7.27	144.1	406.4	-1.1	-3.4	-1.2	0.01	260
GA3	665400	802300	7.26	141.9	375.9	3.5	10.9	3.7	0.01	241
GA5	663700	802100	7.26	141.5	371.4	-2.5	-7.6	-2.6	0.01	225
GA7	662800	803600	7.27	144.5	408.6	-3.1	-9.4	-3.2	0.00	258
GA9	661350	804650	7.28	146.7	447.1	-2.5	-7.8	-2.7	0.02	296
GA11	659900	807900	7.31	153.3	546.8	-0.1	-0.2	-0.1	0.02	394
GA13	659800	811000	7.34	159.7	621.2	1.2	3.7	1.2	0.02	464
GA15	658600	811550	7.34	160.9	629.3	1.0	3.2	1.1	0.02	471
GA17	657400	815150	7.37	168.3	642.7	0.7	2.3	0.8	0.02	476
GA19	657250	819050	7.41	176.4	649.7	-1.7	-5.3	-1.8	0.02	470
GA21	656400	822750	7.44	184.2	629.2	-0.2	-0.5	-0.2	0.02	445
GA23	656350	826200	7.47	191.4	634.9	-0.9	-2.8	-1.0	0.02	442
GA25	655800	829900	7.51	199.2	636.1	-2.0	-6.1	-2.1	0.02	433
GA27	655100	833800	7.54	207.4	635.3	-2.4	-7.5	-2.5	0.01	423
GA29	653900	836950	7.57	214.1	638.5	-4.5	-13.7	-4.7	0.01	416
GA31	653700	840400	7.60	221.5	662.0	-6.1	-18.7	-6.4	0.02	429
GA33	651900	839900	7.60	220.4	656.5	-9.1	-28.1	-9.6	0.01	418
GA35	650050	839900	7.60	220.4	665.9	-8.8	-26.9	-9.2	0.01	428

GA37	648200	839800	7.60	220.2	677.1	-8.0	-24.5	-8.4	0.01	441
GA39	646400	840300	7.60	221.3	689.0	-5.5	-16.9	-5.8	0.01	457
GA41	651650	845100	7.64	231.6	668.8	3.5	10.7	3.6	0.02	445
GA43	649800	844400	7.64	230.0	678.7	2.5	7.8	2.7	0.02	454
GA45	648000	843900	7.63	229.0	684.9	5.5	16.8	5.7	0.01	467
GA47	646700	842150	7.62	225.2	696.0	2.9	9.0	3.1	0.00	477
GA49	645600	838600	7.59	217.6	683.9	2.9	8.9	3.0	0.00	472
GA51	644100	836000	7.56	212.1	635.8	3.3	10.1	3.4	0.04	431
GA53	643450	832800	7.53	205.3	611.5	18.3	56.2	19.2	0.03	444
GA55	647000	845450	7.65	232.3	701.6	1.8	5.6	1.9	0.02	473
GA57	647700	847700	7.67	237.1	700.7	-1.2	-3.8	-1.3	0.00	461
GA59	647900	850400	7.69	243.0	696.4	-6.8	-20.9	-7.1	0.01	440
GA61	646400	851700	7.70	245.8	712.6	-5.4	-16.5	-5.6	0.02	456
GA63	645600	855450	7.74	253.9	718.0	-7.6	-23.2	-7.9	0.02	449
GA65	644750	858850	7.77	261.3	709.1	-6.9	-21.3	-7.3	0.00	434
GA67	649700	865850	7.83	276.7	653.1	-3.5	-10.7	-3.6	0.00	369
GA69	649000	869400	7.86	284.5	667.0	-2.9	-9.0	-3.1	0.01	377
GA71	646350	870800	7.88	287.6	715.9	-0.1	-0.3	-0.1	0.00	428
GA73	642850	869750	7.87	285.3	725.0	3.5	10.6	3.6	0.01	447
GA75	642400	867250	7.84	279.8	713.7	2.5	7.7	2.6	0.02	439
GA77	643450	863700	7.81	271.9	703.7	1.5	4.5	1.5	0.02	435
GA79	645100	860450	7.78	264.8	706.7	-2.2	-6.7	-2.3	0.00	437
G00	665400	775300	7.01	87.6	210.1	18.9	58.1	19.8	0.05	162
G02	666450	779200	7.05	95.4	272.0	7.9	24.1	8.2	0.15	196
G04	670700	781650	7.07	100.2	270.0	-1.0	-3.1	-1.0	0.03	169
G06	673600	785450	7.10	107.8	302.9	3.1	9.4	3.2	0.02	202
G08	675800	789450	7.14	115.8	332.6	-1.5	-4.5	-1.5	0.04	215
G10	678600	793400	7.18	123.8	356.8	-7.0	-21.7	-7.4	0.00	219
G12	675600	796750	7.21	130.6	416.4	2.4	7.4	2.5	0.00	291
G14	672700	790200	7.15	117.3	343.6	-2.2	-6.6	-2.3	0.01	222
G16	672250	791450	7.16	119.9	364.1	0.8	2.5	0.9	0.08	248

G18	671650	795650	7.20	128.3	448.1	0.2	0.7	0.2	0.11	323
G20	671750	800000	7.24	137.2	483.3	3.3	10.0	3.4	0.00	353
G22	668050	803350	7.27	144.0	417.4	2.8	8.6	2.9	0.00	279
G24	665450	807400	7.30	152.3	439.2	1.7	5.1	1.7	0.00	290
G26	663550	811900	7.34	161.6	553.2	2.5	7.7	2.6	0.00	397
G28	662500	816650	7.39	171.4	624.4	1.3	4.1	1.4	0.00	456
G30	660900	821000	7.43	180.5	668.6	0.3	0.9	0.3	0.00	489
G32	659300	825350	7.47	189.6	673.1	-0.8	-2.5	-0.8	0.00	482
G34	657900	829950	7.51	199.3	656.4	2.5	7.7	2.6	0.00	462
G36	656500	834700	7.55	209.3	653.6	0.9	2.8	0.9	0.00	446
G38	655200	839300	7.59	219.1	650.3	3.5	10.7	3.7	0.00	438
G40	653900	843550	7.63	228.2	659.3	2.8	8.8	3.0	0.00	437
G42	652750	848250	7.67	238.3	662.2	2.2	6.8	2.3	0.01	428
G44	651450	853100	7.72	248.8	666.4	1.0	3.2	1.1	0.01	420
G46	650200	857450	7.76	258.3	661.8	0.7	2.2	0.7	0.02	405
G48	649650	861900	7.80	268.0	656.6	-3.3	-10.1	-3.4	0.04	383
G50	652150	797140	7.21	131.4	473.8	-13.5	-41.4	-14.1	0.00	315
G52	652900	800400	7.24	138.0	524.1	-15.2	-46.7	-15.9	0.02	356
G54	652700	802150	7.26	141.6	553.7	-15.0	-46.2	-15.7	0.00	382
G56	648900	801450	7.25	140.1	563.2	-14.7	-45.1	-15.4	0.00	393
G58	645600	799650	7.23	136.5	532.7	-10.0	-30.8	-10.5	0.00	376
G60	642450	799100	7.23	135.4	464.0	4.4	13.4	4.6	0.01	338
G62	638700	798350	7.22	133.8	435.5	13.4	41.1	14.0	0.00	329
G64	635150	796950	7.21	131.0	419.4	7.6	23.2	7.9	0.01	304
G66	635205	794750	7.19	126.5	390.5	9.8	30.0	10.2	0.01	284
G68	638900	793855	7.18	124.7	437.6	6.7	20.4	7.0	0.00	326
G70	641300	791550	7.16	120.1	417.2	5.7	17.6	6.0	0.02	309
G72	632500	797750	7.22	132.6	278.0	26.8	82.3	28.1	0.03	200
G74	631650	801000	7.25	139.2	194.8	44.0	135.3	46.2	0.03	146
G76	629150	804200	7.27	145.8	299.0	4.8	14.9	5.1	0.00	163
G78	627250	807200	7.30	151.9	369.0	-2.4	-7.4	-2.5	0.01	212

G80	630900	807300	7.30	152.1	263.3	-9.7	-29.9	-10.2	0.01	92
G82	634150	807750	7.31	153.0	394.2	8.2	25.2	8.6	0.01	258
G84	637800	808700	7.31	155.0	525.8	-5.1	-15.5	-5.3	0.00	361
G86	641200	808500	7.31	154.6	575.1	-7.0	-21.6	-7.4	0.00	406
G88	644450	809850	7.33	157.4	633.5	-21.9	-67.4	-23.0	0.02	432
G90	646400	812700	7.35	163.2	604.3	-24.0	-73.6	-25.1	0.02	393
G92	648000	809700	7.32	157.1	584.3	-17.5	-53.7	-18.3	0.02	392
G94	648400	805750	7.29	148.9	583.7	-19.6	-60.4	-20.6	0.01	395
G96	647300	802300	7.26	141.9	556.8	-14.2	-43.8	-14.9	0.01	386
G98	649000	799100	7.23	135.4	556.8	-14.2	-43.8	-14.9	0.01	393
G100	649400	795600	7.20	128.2	522.3	-11.0	-33.8	-11.5	0.00	372
G102	648050	814350	7.37	166.7	584.4	-19.8	-60.8	-20.7	0.02	378
G104	648800	817900	7.40	174.0	613.5	-21.2	-65.2	-22.2	0.01	397
G106	650600	821250	7.43	181.0	605.6	-32.1	-98.7	-33.6	0.04	360
G108	649850	824000	7.45	186.8	618.5	-33.3	-102.4	-34.9	0.00	364
G110	647800	823100	7.45	184.9	601.1	-24.7	-76.0	-25.9	0.06	368
G112	648300	826200	7.47	191.4	609.0	-26.6	-81.7	-27.9	0.01	364
G114	648800	824900	7.46	188.7	623.5	-25.6	-78.7	-26.8	0.00	383
G116	646550	816500	7.39	171.1	618.0	-21.8	-66.9	-22.8	0.01	403
G118	626900	809100	7.32	155.8	386.8	-8.1	-24.9	-8.5	0.01	215
G120	624900	812600	7.35	163.0	383.3	-8.7	-26.9	-9.2	0.00	203
G122	623350	815600	7.38	169.3	399.6	-11.4	-35.0	-11.9	0.01	207
G124	620750	818400	7.40	175.1	376.1	-13.1	-40.3	-13.7	0.02	175
G126	617850	820950	7.43	180.4	359.3	-13.1	-40.3	-13.7	0.00	152
G128	618750	824300	7.46	187.4	375.1	-16.5	-50.7	-17.3	0.01	154
G130	617800	828000	7.49	195.2	374.6	-17.2	-52.8	-18.0	0.01	145
G132	616800	831300	7.52	202.1	396.5	-16.7	-51.2	-17.5	0.00	161
G134	615200	834250	7.55	208.4	415.1	-12.9	-39.7	-13.5	0.00	181
G136	616300	837800	7.58	215.9	438.5	-14.4	-44.3	-15.1	0.01	194
G138	617100	841150	7.61	223.1	464.5	-19.4	-59.7	-20.4	0.00	202
G140	620700	842400	7.62	225.8	569.4	-25.7	-78.8	-26.9	0.04	293

G142	624450	842950	7.62	226.9	501.8	-32.8	-100.9	-34.4	0.00	208
G144	627750	842950	7.62	226.9	445.4	-30.4	-93.5	-31.9	0.00	157
G146	623250	839350	7.59	219.2	528.7	-18.4	-56.4	-19.2	0.00	272
G148	623950	835800	7.56	211.7	480.4	-22.2	-68.1	-23.2	0.00	224
G150	626550	816950	7.39	172.1	414.9	-20.5	-62.9	-21.5	0.00	201
G152	627950	819980	7.42	178.4	345.4	-27.0	-83.0	-28.3	0.00	112
G154	632250	821100	7.43	180.7	363.8	-31.4	-96.5	-32.9	0.00	120
G156	635800	822000	7.44	182.6	509.5	-33.6	-103.1	-35.2	0.00	259
G158	637200	821000	7.43	180.5	562.8	-31.3	-96.0	-32.8	0.00	319
G160	638600	817300	7.39	172.8	606.4	-31.2	-95.9	-32.7	0.00	371
G162	640800	815100	7.37	168.2	639.0	-27.8	-85.4	-29.1	0.00	415
G164	642400	812000	7.34	161.8	614.3	-12.8	-39.3	-13.4	0.00	427
G166	620750	824800	7.46	188.5	424.8	-17.9	-54.8	-18.7	0.03	201
G168	624450	824550	7.46	187.9	490.4	-21.2	-65.3	-22.3	0.05	261
G170	628200	825150	7.46	189.2	406.5	-26.1	-80.2	-27.4	0.01	165
G172	631550	826100	7.47	191.2	396.1	-29.9	-91.8	-31.3	0.00	144
G174	633550	827850	7.49	194.9	459.5	-34.0	-104.6	-35.7	0.00	196
G176	628650	821850	7.43	182.3	356.5	-25.6	-78.7	-26.8	0.01	123
G178	617050	845050	7.64	231.4	496.4	-10.5	-32.4	-11.0	0.02	244
G180	613900	846600	7.66	234.8	482.1	-23.5	-72.3	-24.7	0.01	200
G182	611450	849400	7.68	240.8	437.8	-22.5	-69.0	-23.5	0.02	152
G184	611250	853100	7.72	248.8	443.3	-20.3	-62.3	-21.2	0.00	154
G186	609450	855000	7.73	252.9	433.6	-17.0	-52.2	-17.8	0.00	146
G188	607900	857750	7.76	258.9	450.7	-10.4	-32.1	-10.9	0.00	171
G190	626950	844600	7.64	230.5	432.0	-25.0	-76.9	-26.2	0.00	151
G192	626200	848000	7.67	237.8	431.6	-25.3	-77.7	-26.5	0.00	143
G194	626650	852150	7.71	246.8	436.7	-25.1	-77.0	-26.3	0.00	139
G196	625800	855100	7.73	253.2	456.8	-27.4	-84.1	-28.7	0.00	148
G198	623350	855750	7.74	254.6	573.2	-24.4	-74.9	-25.6	0.00	269
G200	623500	859600	7.78	263.0	583.6	-26.4	-81.0	-27.6	0.01	267
G202	622100	859500	7.77	262.7	521.6	-3.0	-9.2	-3.1	0.05	254

G204	620500	856400	7.75	256.0	563.3	-27.4	-84.2	-28.7	0.00	252
G206	617000	855150	7.73	253.3	540.3	-28.9	-88.9	-30.3	0.01	229
G208	613300	854750	7.73	252.4	494.4	-22.9	-70.4	-24.0	0.01	196
G210	605050	863050	7.81	270.5	473.8	-11.3	-34.6	-11.8	0.01	181
G212	603700	866550	7.84	278.2	465.5	-13.2	-40.5	-13.8	0.01	161
G214	603000	870400	7.87	286.7	442.3	-13.5	-41.4	-14.1	0.03	129
G216	603600	873650	7.90	293.9	453.1	-18.7	-57.5	-19.6	0.01	122
G218	605700	876950	7.93	301.2	506.7	-13.0	-40.0	-13.7	0.01	179
G220	608700	879400	7.95	306.7	474.3	-27.5	-84.5	-28.8	0.00	112
G222	606050	865400	7.83	275.7	468.4	-13.5	-41.5	-14.2	0.01	166
G224	609650	865300	7.83	275.5	520.6	-18.4	-56.4	-19.2	0.01	208
G226	613250	863850	7.81	272.3	555.4	-24.5	-75.2	-25.6	0.01	234
G228	614650	861700	7.79	267.6	565.0	-29.3	-89.9	-30.7	0.00	238
G230	614300	858450	7.76	260.5	545.1	-31.7	-97.4	-33.2	0.00	220
G232	615750	855700	7.74	254.5	550.0	-29.4	-90.2	-30.8	0.00	236
G234	608600	884200	8.00	317.5	433.1	-29.9	-91.7	-31.3	0.00	55
G236	607200	887800	8.03	325.6	469.4	-29.6	-90.9	-31.0	0.00	84
G238	607900	890750	8.06	332.2	512.0	-31.0	-95.3	-32.5	0.01	117
G240	610600	893100	8.08	337.5	508.3	-30.2	-92.8	-31.6	0.01	110
G242	614500	891900	8.07	334.8	656.7	-34.1	-104.9	-35.8	0.00	253
G244	617700	892400	8.07	336.0	648.3	-34.7	-106.5	-36.3	0.00	242
G246	620300	894450	8.09	340.6	593.1	-32.2	-98.9	-33.7	0.01	188
G248	605900	887500	8.03	324.9	469.5	-22.0	-67.7	-23.1	0.00	100
G250	602200	886600	8.02	322.9	500.8	-18.0	-55.3	-18.9	0.01	142
G252	599750	885600	8.01	320.6	482.7	-20.0	-61.6	-21.0	0.00	122
G254	599900	881750	7.98	312.0	470.8	-22.0	-67.7	-23.1	0.01	114
G256	600900	878100	7.94	303.8	470.4	-21.7	-66.8	-22.8	0.02	123
G258	602450	874250	7.91	295.2	435.7	-14.4	-44.3	-15.1	0.01	112
G260	648150	873100	7.90	292.7	681.7	-9.2	-28.4	-9.7	0.00	370
G262	647400	876700	7.93	300.7	711.2	-15.5	-47.7	-16.3	0.00	379
G264	646700	880650	7.97	309.5	727.4	-19.9	-61.2	-20.9	0.00	378

G266	646050	884500	8.00	318.1	725.0	-21.8	-67.1	-22.9	0.00	363
G268	645450	888150	8.03	326.3	729.2	-28.1	-86.4	-29.5	0.00	346
G270	642300	889350	8.04	329.1	723.1	-28.7	-88.1	-30.0	0.00	336
G272	638350	889350	8.04	329.1	720.6	-30.9	-94.9	-32.4	0.00	329
G274	624400	894200	8.09	340.0	681.7	-33.5	-102.8	-35.0	0.00	274
G276	628100	893500	8.08	338.4	689.8	-34.5	-106.0	-36.2	0.00	281
G278	631500	891750	8.07	334.5	718.6	-32.7	-100.5	-34.3	0.03	319
G280	634600	889950	8.05	330.4	729.1	-35.3	-108.5	-37.0	0.01	328
G282	615200	840500	7.60	221.7	446.6	-20.0	-61.5	-21.0	0.00	184
G284	611600	839300	7.59	219.1	393.0	-16.7	-51.3	-17.5	0.00	140
G286	607900	838200	7.58	216.8	316.1	-12.3	-37.8	-12.9	0.01	75
G288	604350	837100	7.57	214.4	209.2	10.1	30.9	10.5	0.08	17
G290	600900	835900	7.56	211.9	184.4	6.4	19.5	6.7	2.65	52
G292	597300	837300	7.57	214.9	137.1	16.7	51.4	17.5	0.83	-23
G294	593950	838800	7.59	218.1	46.3	36.9	113.3	38.6	0.38	-88
G296	590600	838650	7.59	217.7	-94.0	96.9	297.5	101.5	0.54	-102
G298	603800	834500	7.55	208.9	217.6	0.7	2.2	0.7	0.06	12
G300	603400	830800	7.51	201.1	199.7	4.2	13.0	4.4	0.23	13
G302	603400	827250	7.48	193.6	170.3	8.8	26.9	9.2	0.30	2
G304	602900	822700	7.44	184.0	101.1	16.4	50.4	17.2	0.55	-36
G306	603700	820200	7.42	178.8	99.9	16.6	51.0	17.4	0.70	-28
G308	605600	817400	7.39	173.0	118.1	18.9	58.0	19.8	0.39	-7
G310	608800	816050	7.38	170.2	163.5	13.8	42.3	14.4	0.09	24
G312	609600	812000	7.34	161.8	132.0	20.6	63.2	21.6	0.22	17
G314	606800	855100	7.73	253.2	419.4	-15.9	-48.9	-16.7	0.01	134
G316	602900	854250	7.73	251.3	362.4	-7.8	-23.8	-8.1	0.01	96
G318	599000	853800	7.72	250.3	291.0	2.6	7.9	2.7	0.05	47
G320	595900	852000	7.71	246.4	156.8	48.7	149.7	51.0	0.18	14
G322	592200	852000	7.71	246.4	178.1	20.0	61.4	20.9	0.46	-17
G324	592800	848150	7.67	238.1	150.2	27.7	85.2	29.1	0.43	-21
G326	593400	845450	7.65	232.3	115.9	42.9	131.8	45.0	0.23	-24

G328	597050	845800	7.65	233.1	161.0	47.0	144.3	49.2	0.26	29
G330	603100	840500	7.60	221.7	222.7	23.9	73.4	25.0	0.05	51
G332	602200	843700	7.63	228.5	247.5	18.5	56.9	19.4	0.04	57
G334	600500	845500	7.65	232.4	238.3	26.7	82.2	28.0	0.11	63
G336	602400	852450	7.71	247.4	342.1	-7.5	-23.2	-7.9	0.03	80
G338	604600	850000	7.69	242.1	337.2	-9.3	-28.6	-9.7	0.03	77
G340	608200	849500	7.68	241.0	390.2	-16.5	-50.8	-17.3	0.01	116
G342	626750	803900	7.27	145.1	337.0	1.8	5.5	1.9	0.01	196
G344	623650	802400	7.26	142.1	278.7	12.2	37.5	12.8	0.01	161
G346	621250	799000	7.23	135.1	204.6	20.5	63.0	21.5	0.03	112
G348	618750	799000	7.23	135.1	156.6	20.2	61.9	21.1	0.17	66
G350	619750	802900	7.26	143.1	240.5	10.1	30.9	10.5	0.02	118
G352	617300	805200	7.28	147.8	227.9	12.5	38.5	13.1	0.03	106
G354	615250	807200	7.30	151.9	213.0	10.5	32.4	11.0	0.06	84
G356	613600	810350	7.33	158.4	208.7	11.3	34.6	11.8	0.09	75
G358	612250	811900	7.34	161.6	193.3	7.6	23.4	8.0	0.03	48
G360	615800	811800	7.34	161.4	266.2	1.5	4.6	1.6	0.02	108
G362	619450	811350	7.34	160.5	307.2	-5.6	-17.2	-5.9	0.01	136
G364	622800	811000	7.34	159.7	351.0	-7.7	-23.8	-8.1	0.02	176
G366	620900	809150	7.32	155.9	321.0	-6.8	-21.0	-7.2	0.01	152
G368	618150	806850	7.30	151.2	258.3	3.5	10.7	3.6	0.02	115
G370	640735	887405	8.03	324.7	737.1	-22.0	-67.7	-23.1	0.00	368
G372	638391	884078	8.00	317.2	699.4	-22.9	-70.5	-24.0	0.01	336
G374	637024	880363	7.96	308.9	680.4	-23.9	-73.3	-25.0	0.01	323
G376	636647	876547	7.93	300.3	691.6	-19.3	-59.3	-20.2	0.01	352
G378	637091	872560	7.89	291.5	691.0	-19.1	-58.6	-20.0	0.01	361
G380	638030	868627	7.86	282.8	709.8	-13.3	-40.7	-13.9	0.00	400
G382	639192	865141	7.83	275.1	709.0	-14.1	-43.2	-14.7	0.00	405
G384	640757	862432	7.80	269.2	701.5	-10.6	-32.5	-11.1	0.00	411
G386	643229	860371	7.78	264.7	694.6	-7.2	-22.0	-7.5	0.01	416
G388	640922	789023	7.14	115.0	378.9	10.6	32.6	11.1	0.00	285

G390	637043	787454	7.12	111.8	315.5	16.8	51.6	17.6	0.00	238
G392	637746	783903	7.09	104.7	280.7	17.0	52.3	17.8	0.00	210
G394	639984	780630	7.06	98.2	254.3	15.7	48.3	16.5	0.01	188
G396	642099	777326	7.03	91.6	189.8	36.0	110.6	37.7	0.15	175
G398	644306	774011	7.00	85.1	222.2	25.0	76.8	26.2	0.07	190
G400	647357	771398	6.98	80.0	287.8	6.4	19.6	6.7	0.04	222
G402	633736	785023	7.10	107.0	252.8	22.0	67.5	23.0	0.00	190
G404	631300	781952	7.07	100.8	168.8	28.2	86.5	29.5	0.05	126
G406	628767	778973	7.05	94.9	72.9	37.3	114.7	39.1	0.10	56
G408	627136	775436	7.01	87.9	-38.4	47.3	145.4	49.6	0.61	-15
G410	626121	771730	6.98	80.6	-59.7	56.2	172.6	58.9	0.99	-2
G412	625630	767803	6.95	72.9	-95.7	70.3	216.0	73.7	0.80	-6
G414	625253	763867	6.91	65.2	-85.0	76.1	233.7	79.7	0.55	17
G416	615813	863882	7.81	272.3	583.8	-31.1	-95.5	-32.6	0.00	249
G418	615838	867231	7.84	279.7	594.6	-33.5	-102.8	-35.1	0.02	248
G420	613583	868805	7.86	283.2	575.1	-27.2	-83.6	-28.5	0.00	237
G422	612904	872399	7.89	291.1	547.4	-31.3	-96.2	-32.8	0.01	193
G424	613948	875201	7.92	297.3	575.1	-29.9	-91.8	-31.3	0.01	217
G426	612340	878038	7.94	303.7	564.3	-30.1	-92.6	-31.6	0.01	200
G428	610361	879732	7.96	307.4	502.4	-29.9	-91.9	-31.4	0.00	134
G430	615434	878501	7.95	304.7	624.6	-30.7	-94.2	-32.1	0.01	258
G432	619024	877641	7.94	302.8	592.2	-35.2	-108.0	-36.8	0.00	218
G434	621580	875193	7.92	297.3	652.2	-29.0	-89.0	-30.3	0.01	297
G436	622580	878649	7.95	305.0	643.4	-24.0	-73.8	-25.2	0.00	290
G438	625334	880355	7.96	308.8	655.0	-21.1	-64.7	-22.1	0.00	304
G440	629125	880554	7.96	309.3	674.4	-25.5	-78.5	-26.8	0.01	314
G442	632997	880427	7.96	309.0	665.5	-30.0	-92.0	-31.4	0.04	297
G444	590460	854955	7.73	252.8	93.7	46.0	141.4	48.2	0.37	-57
G446	591606	857657	7.76	258.7	168.9	44.8	137.7	47.0	0.81	21
G448	593772	860571	7.78	265.1	228.7	39.3	120.7	41.2	0.06	45
G450	594672	863799	7.81	272.2	303.9	20.5	63.0	21.5	0.03	74

G452	597809	865505	7.83	275.9	372.4	-2.2	-6.8	-2.3	0.01	92
G454	601503	866195	7.83	277.4	402.8	-8.9	-27.5	-9.4	0.00	107
G456	587276	837568	7.58	215.4	-90.7	96.8	297.4	101.4	0.83	-89
G457	586992	835923	7.56	211.9	-18.5	56.8	174.6	59.6	2.29	-58
G458	585649	834716	7.55	209.4	95.0	5.2	16.0	5.4	0.55	-90
G459	584059	833439	7.54	206.7	133.6	-0.9	-2.6	-0.9	0.36	-66
G460	582503	834064	7.54	208.0	199.3	-6.9	-21.2	-7.2	2.31	35
G461	580872	835003	7.55	210.0	238.1	-8.5	-26.2	-8.9	0.04	12
G462	578907	835456	7.56	210.9	289.1	-17.3	-53.1	-18.1	0.02	44
G463	577042	835839	7.56	211.8	342.6	-20.7	-63.5	-21.6	0.01	89
G464	575077	836192	7.56	212.5	373.4	-22.5	-69.2	-23.6	0.03	116
G465	573138	836329	7.56	212.8	414.2	-26.4	-81.2	-27.7	0.03	149
G466	571250	836244	7.56	212.6	423.3	-29.1	-89.5	-30.5	0.00	152
G467	569183	835881	7.56	211.9	439.6	-29.8	-91.5	-31.2	0.02	168
G468	578815	830918	7.52	201.3	348.2	-23.3	-71.7	-24.5	0.04	101
G469	581089	826606	7.48	192.2	281.6	-25.0	-76.9	-26.2	0.02	39
G470	581066	822120	7.44	182.8	282.9	-27.7	-85.1	-29.0	0.01	44
G471	578842	817956	7.40	174.1	305.8	-30.5	-93.7	-31.9	0.00	70
G472	575101	815189	7.37	168.4	376.4	-40.9	-125.6	-42.8	0.00	125
G473	571526	818248	7.40	174.8	370.3	-20.9	-64.1	-21.9	0.07	155
G474	570354	822856	7.44	184.4	457.4	-40.4	-124.0	-42.3	0.02	192
G475	570275	827762	7.49	194.7	451.2	-32.1	-98.7	-33.7	0.01	192
G476	568904	832437	7.53	204.5	504.8	-33.2	-102.1	-34.8	0.06	234
G477	564795	835243	7.55	210.5	524.2	-35.5	-108.9	-37.2	0.03	243
G478	560046	834402	7.55	208.7	512.8	-35.6	-109.4	-37.3	0.04	233
G479	555271	833504	7.54	206.8	476.4	-36.9	-113.3	-38.6	0.02	195
G480	566840	837909	7.58	216.2	431.0	-37.8	-116.0	-39.6	0.04	139
G481	565588	842695	7.62	226.4	450.8	-33.6	-103.2	-35.2	0.04	158
G482	564557	847392	7.66	236.5	385.2	-30.5	-93.8	-32.0	0.03	88
G483	566333	851760	7.70	245.9	359.8	-31.7	-97.5	-33.2	0.36	59
G484	568204	856222	7.74	255.6	314.5	-20.7	-63.6	-21.7	0.10	19

G485	570406	859823	7.78	263.5	241.1	0.0	-0.1	0.0	0.06	-21
G486	572487	855515	7.74	254.1	204.7	-0.1	-0.2	-0.1	0.60	-34
G487	575448	852868	7.71	248.3	127.0	9.9	30.4	10.4	0.69	-84
G488	579240	851136	7.70	244.6	166.4	-5.4	-16.4	-5.6	0.40	-79
G489	583644	849653	7.69	241.4	94.3	19.8	60.8	20.7	0.40	-97
G490	575937	847798	7.67	237.4	241.3	-7.7	-23.5	-8.0	0.03	-11
G491	574490	843156	7.63	227.4	295.2	-10.6	-32.5	-11.1	0.03	47
G492	571374	839446	7.59	219.4	383.1	-19.6	-60.3	-20.6	0.02	125
G493	560584	844980	7.64	231.3	479.5	-36.1	-111.0	-37.9	0.01	175
G494	556057	845045	7.64	231.4	449.0	-19.7	-60.6	-20.7	0.05	179
G495	552124	846857	7.66	235.3	520.9	-28.6	-87.9	-30.0	0.01	228
G496	551600	850822	7.70	243.9	525.8	-27.8	-85.5	-29.2	0.06	227
G497	553276	855475	7.74	254.0	496.6	-20.3	-62.3	-21.3	0.02	202
G498	556853	857408	7.76	258.2	506.4	-31.8	-97.6	-33.3	0.06	185
G499	560065	860536	7.78	265.0	473.8	-32.3	-99.2	-33.8	0.04	144
G500	564319	862182	7.80	268.6	439.8	-26.8	-82.2	-28.0	0.01	117
G501	569026	861559	7.79	267.3	284.3	-4.0	-12.2	-4.2	0.04	10
G502	565324	866896	7.84	279.0	446.5	-22.7	-69.6	-23.7	0.02	122
G503	566274	871372	7.88	288.9	444.1	-20.1	-61.7	-21.0	0.02	115
G504	566116	876087	7.92	299.3	481.6	-20.8	-63.8	-21.8	0.04	141
G505	567186	880758	7.97	309.7	477.0	-23.2	-71.4	-24.3	0.02	121
G506	570639	883789	7.99	316.5	427.5	-18.9	-58.0	-19.8	0.00	73
G507	572846	884053	8.00	317.1	399.5	-13.8	-42.2	-14.4	0.02	55
G508	577258	882242	7.98	313.1	308.5	-4.7	-14.4	-4.9	0.07	-12
G509	582001	882453	7.98	313.5	226.3	31.4	96.6	32.9	2.61	42
G510	585066	884343	8.00	317.8	245.1	32.2	99.0	33.8	0.86	14
G511	588634	884640	8.00	318.4	245.1	44.1	135.6	46.2	0.96	40
G512	569592	878167	7.94	304.0	426.0	-17.2	-52.9	-18.0	0.00	87
G513	569795	873495	7.90	293.6	374.7	-15.0	-46.2	-15.8	0.00	51
G514	569757	868620	7.86	282.8	351.6	-9.8	-30.0	-10.2	0.00	49
G515	569554	863690	7.81	271.9	344.2	-19.0	-58.4	-19.9	0.01	34

G516	564900	832954	7.53	205.6	521.5	-38.0	-116.8	-39.8	0.00	239
G517	561901	830232	7.51	199.9	514.5	-40.6	-124.6	-42.5	0.00	232
G518	561223	825941	7.47	190.8	481.1	-41.5	-127.4	-43.4	0.03	207
G519	560657	821505	7.43	181.6	461.6	-43.9	-135.0	-46.0	0.03	192
G520	557259	818364	7.40	175.0	451.5	-43.8	-134.5	-45.9	0.02	188
G521	564871	822672	7.44	184.0	440.0	-37.5	-115.3	-39.3	0.11	183
G522	567899	824376	7.46	187.6	442.2	-35.2	-108.2	-36.9	0.00	183
G523	574598	810385	7.33	158.5	377.4	-38.8	-119.3	-40.7	0.01	141
G524	574778	805528	7.29	148.5	354.6	-33.2	-101.9	-34.8	0.00	139
G525	575029	800589	7.24	138.4	352.4	-34.2	-105.0	-35.8	0.00	145
G526	576037	795866	7.20	128.8	331.9	-38.6	-118.7	-40.5	0.00	125
G527	575277	791171	7.16	119.3	327.7	-47.6	-146.2	-49.8	0.06	114
G528	577006	787745	7.13	112.4	337.4	-45.9	-140.9	-48.1	0.04	133
G529	580322	797572	7.21	132.2	315.0	-43.2	-132.8	-45.3	0.00	95
G530	582223	802038	7.25	141.3	299.6	-35.4	-108.6	-37.0	0.00	87
G531	584547	806218	7.29	149.9	280.2	-33.5	-102.9	-35.1	0.01	63
G532	584862	810223	7.33	158.1	229.6	-15.5	-47.7	-16.3	0.02	40
G533	580765	812324	7.35	162.5	285.8	-31.1	-95.4	-32.5	0.00	61
G534	576203	813813	7.36	165.5	344.7	-43.2	-132.6	-45.2	0.00	92
G535	584363	794823	7.19	126.7	319.6	-43.5	-133.6	-45.6	0.05	106
G536	588052	791700	7.16	120.4	300.8	-39.5	-121.3	-41.4	0.15	104
G537	588835	787422	7.12	111.8	298.7	-38.3	-117.7	-40.1	0.66	126
G538	588571	782794	7.08	102.5	194.7	13.6	41.8	14.3	0.59	135
G539	584980	783163	7.08	103.2	301.3	-28.1	-86.4	-29.5	0.13	144
G540	583380	783022	7.08	103.0	308.8	-30.1	-92.6	-31.6	0.13	148
G541	583110	778142	7.04	93.3	272.0	-13.1	-40.4	-13.8	0.19	157
G542	584083	773454	7.00	84.0	301.4	-20.8	-63.9	-21.8	0.22	181
G543	586067	768877	6.95	75.0	309.1	-26.6	-81.8	-27.9	0.03	181
G544	587395	765465	6.92	68.3	285.3	-26.6	-81.8	-27.9	0.09	165
G545	588534	761113	6.88	59.9	296.2	-25.9	-79.6	-27.1	0.08	186
G546	584893	828558	7.49	196.4	137.9	-3.1	-9.4	-3.2	0.38	-55

G547	587579	824811	7.46	188.5	86.9	-9.0	-27.8	-9.5	0.74	-101
G548	587889	819932	7.42	178.3	143.8	-14.9	-45.9	-15.6	0.32	-57
G549	590086	815804	7.38	169.7	56.2	5.8	17.9	6.1	4.09	1
G550	590282	810929	7.33	159.6	159.4	-19.1	-58.6	-20.0	0.16	-35
G551	597687	805906	7.29	149.3	-38.4	7.9	24.2	8.2	2.02	-121
G552	593462	807828	7.31	153.2	100.0	-13.7	-42.2	-14.4	0.36	-72
G553	589073	809754	7.32	157.2	200.0	-19.9	-61.1	-20.8	0.05	4
G554	570142	806884	7.30	151.3	344.2	-34.4	-105.5	-36.0	0.01	124
G555	567239	803668	7.27	144.7	343.1	-36.4	-111.7	-38.1	0.02	125
G556	564626	799836	7.23	136.8	327.2	-36.8	-113.0	-38.5	0.00	116
G557	560181	799640	7.23	136.4	387.4	-49.6	-152.3	-52.0	0.00	151
G558	559456	803268	7.27	143.9	383.7	-49.5	-151.9	-51.8	0.00	140
G559	579214	807771	7.31	153.1	297.1	-40.4	-124.2	-42.4	0.00	62
G560	583500	806208	7.29	149.9	279.4	-30.9	-94.9	-32.4	0.01	67
G561	587843	803609	7.27	144.5	324.7	-30.7	-94.4	-32.2	0.19	123
G562	591432	803410	7.27	144.1	207.9	15.0	46.2	15.8	0.26	101
G563	569834	837958	7.58	216.3	411.5	-32.4	-99.5	-33.9	0.01	130
G564	573190	841446	7.61	223.7	339.7	-24.1	-74.1	-25.3	0.01	67
G565	575130	845826	7.65	233.1	256.7	-10.3	-31.6	-10.8	0.02	3
G566	577338	850061	7.69	242.2	179.3	-11.1	-34.2	-11.7	0.66	-69
G567	579634	850619	7.69	243.4	153.1	-0.5	-1.5	-0.5	0.26	-85
G568	571743	864936	7.82	274.7	289.2	3.2	9.7	3.3	0.01	21
G569	575693	866323	7.84	277.7	147.0	31.1	95.5	32.6	0.15	-64
G570	574705	868173	7.85	281.8	198.6	23.0	70.7	24.1	0.10	-34
G571	575841	870948	7.88	287.9	153.0	40.2	123.5	42.1	0.26	-47
G572	578658	872165	7.89	290.6	-128.2	174.9	537.2	183.2	0.56	-51
G573	581715	868881	7.86	283.3	69.0	91.2	280.2	95.6	0.15	-26
G574	585242	871840	7.89	289.9	48.0	122.8	377.2	128.7	0.47	18
G575	589877	871438	7.88	289.0	278.6	28.8	88.4	30.2	0.11	50
G576	594600	871596	7.88	289.4	359.6	6.5	20.1	6.9	0.02	84
G577	599473	871440	7.88	289.0	425.1	-7.9	-24.4	-8.3	0.01	120

G578	590566	780255	7.06	97.5	221.2	-17.2	-53.0	-18.1	0.07	91
G579	593770	778287	7.04	93.6	240.8	-24.3	-74.6	-25.5	0.08	100
G580	597914	778841	7.04	94.7	223.7	-29.8	-91.6	-31.2	0.05	70
G581	600744	782647	7.08	102.2	188.7	-22.7	-69.9	-23.8	0.27	47
G582	602966	786250	7.11	109.4	135.6	-15.8	-48.4	-16.5	0.99	19
G583	603891	788841	7.14	114.6	94.4	8.2	25.3	8.6	1.52	34
G584	594039	773652	7.00	84.4	239.8	-22.9	-70.4	-24.0	0.25	115
G585	593268	768898	6.95	75.1	250.0	-26.6	-81.8	-27.9	0.15	125

ภาคผนวก ข

ความหนาแน่นของหินตัวอย่างในพื้นที่ทำการศึกษาวิจัย

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m ³	หิน
L001.0-1	621874E, 859556N	2406	หินทราย (กรีนเทเชียส-จูแรสซิก)
L001.0-2	----"----	2383	----"----
L001.0-3	----"----	2323	----"----
L001.0-4	----"----	2315	----"----
L001.0-5	----"----	2355	----"----
L002.0-1	618150E, 854827N	2668	หินปูน (เพอร์เมียน)
L002.0-2	----"----	2690	----"----
L002.0-3	----"----	2653	----"----
L002.0-4	----"----	2683	----"----
L002.0-5	----"----	2705	----"----
L004.0-1	596624E, 847797N	1904	หินทราย (กรีนเทเชียส-จูแรสซิก)
L004.0-2	----"----	1837	----"----
L004.0-3	----"----	2007	----"----
L004.0-4	----"----	2325	----"----
L005.0-1	596820E, 847200N	2680	หินปูน (ออร์โดวิเซียน)
L005.0-2	----"----	2670	----"----
L005.0-3	----"----	2682	----"----
L005.0-4	----"----	2702	----"----
L005.0-5	----"----	2681	----"----
L005.0-6	----"----	2678	----"----
L005.0-7	----"----	2682	----"----
L005.0-8	----"----	2698	----"----

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m ³	หิน
L006.0-1	591450E, 839176N	2622	หินแกรนิต (จูแรสซิก-ไทรแอสซิก)
L006.0-2	----"----	2626	----"
L006.0-3	----"----	2637	----"
L006.0-4	----"----	2603	----"
L006.0-5	----"----	2609	----"
L006.0-6	----"----	2580	----"
L006.0-7	----"----	2640	----"
L006.0-8	----"----	2624	----"
L007.0-1	601100E, 836187N	2706	หินปูน (ออร์โดวิเซียน)
L007.0-2	----"----	2715	----"
L007.0-3	----"----	2706	----"
L007.0-4	----"----	2712	----"
L007.0-5	----"----	2704	----"
L007.0-6	----"----	2702	----"
L007.0-7	----"----	2695	----"
L007.0-8	----"----	2696	----"
L007.0-9	----"----	2713	----"
L008.0-1	625315E, 823071N	2705	หินทราย (แคมเบรียน)
L008.0-2	----"----	2701	----"
L008.0-3	----"----	2707	----"
L008.0-4	----"----	2677	----"
L008.0-5	----"----	2691	----"
L008.0-6	----"----	2697	----"
L008.0-7	----"----	2669	----"
L008.0-8	----"----	2696	----"
L009.0-1	619560E, 842115N	2789	หินปูน (เพอร์เมียน)

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m ³	หิน
L009.0-2	619560E, 842115N	2812	หินปูน (เพอร์เมียน)
L009.0-3	----"----	2816	----"
L009.0-4	----"----	2817	----"
L010.0-1	599584E, 827358N	2777	หินทราย (แคมเบรียน)
L010.0-2	----"----	2765	----"
L010.0-3	----"----	2847	----"
L011.0-1	604910E, 818566N	2681	หินปูน (ออร์โดวิเซียน)
L011.0-2	----"----	2767	----"
L011.0-3	----"----	2730	----"
L011.0-4	----"----	2724	----"
L011.0-5	----"----	2695	----"
L012.0-1	606283E, 813642N	2595	หินแกรนิต (จูแรสซิก-ไทรแอสซิก)
L012.0-2	----"----	2493	----"
L012.0-3	----"----	2573	----"
L012.0-4	----"----	2578	----"
L012.0-5	----"----	2521	----"
L012.0-6	----"----	2641	----"
L012.0-7	----"----	2542	----"
L013.0-1	647054E, 812995N	2410	หินดินดาน (คาร์บอนิเฟอรัส)
L013.0-2	----"----	2361	----"
L013.0-3	----"----	2365	----"
L013.0-4	----"----	2484	----"
L013.0-5	----"----	2439	----"
L013.0-6	----"----	2333	----"
L013.0-7	----"----	2420	----"
L013.0-8	----"----	2307	----"

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m ³	หิน
L013.0-9	647054E, 812995N	2333	หินดินดาน (คาร์บอนิเฟอรัส)
L013.0-10	----"----	2220	----"----
L014.0-1	679600E, 793800N	2594	หินแกรนิต (จูเรสซิก-ไทรแอสซิก)
L014.0-2	----"----	2582	----"----
L014.0-3	----"----	2599	----"----
L014.0-4	----"----	2506	----"----
L014.0-5	----"----	2623	----"----
L014.0-6	----"----	2611	----"----
L014.0-7	----"----	2570	----"----
L015.0-1	671000E, 793200N	2507	หินดินดาน (คาร์บอนิเฟอรัส)
L015.0-2	----"----	2472	----"----
L015.0-3	----"----	2483	----"----
L015.0-4	----"----	2502	----"----
L015.0-5	----"----	2578	----"----
L015.0-6	----"----	2519	----"----
L015.0-7	----"----	2437	----"----
L016.0-1	644000E, 838100N	2229	หินทราย (ครีเทเชียส-จูเรสซิก)
L016.0-2	----"----	2209	----"----
L016.0-3	----"----	2306	----"----
L016.0-4	----"----	2164	----"----
L016.0-5	----"----	2233	----"----
L016.0-6	----"----	2149	----"----
L016.0-7	----"----	2282	----"----
L016.0-8	----"----	2204	----"----
L016.0-9	----"----	2233	----"----
L016.0-10	----"----	2298	----"----

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m ³	หิน
L017.0-1	630200E, 780300N	2705	หินดินดานเนื้อปนทราย (คาร์บอนิเฟอรัส-ไซลูเรียน)
L017.0-2	----"----	2711	----"----
L017.0-3	----"----	2668	----"----
L017.0-4	----"----	2649	----"----
L017.0-5	----"----	2673	----"----
L017.0-6	----"----	2690	----"----
L017.0-7	----"----	2659	----"----
L017.0-8	----"----	2602	----"----
L017.0-9	----"----	2719	----"----
G486.5-1	575546E, 854228N	2626	หินแกรนิต (จูแรสซิก-ไทรแอสซิก)
G486.5-2	----"----	2546	----"----
G486.5-3	----"----	2644	----"----
G486.5-4	----"----	2616	----"----
G486.5-5	----"----	2617	----"----
G487.0-1	575515E, 853397N	2625	หินปูน (ออร์โดวิเซียน)
G487.0-2	----"----	2646	----"----
G487.0-3	----"----	2644	----"----
G487.0-4	----"----	2640	----"----
G487.0-5	----"----	2645	----"----
G487.0-6	----"----	2649	----"----
G487.0-7	----"----	2639	----"----
G487.5-1	576937E, 581538N	2730	หินดินดานเนื้อปนทราย (คาร์บอนิเฟอรัส-ไซลูเรียน)
G487.5-2	----"----	2704	----"----
G487.5-3	----"----	2703	----"----

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m ³	หิน
G487.5-4	576937E, 581538N	2720	หินดินดานเนื้อปนทราย (คาร์บอนิเฟอรัส-ไซลูเรียน)
G487.5-5	----"----	2712	----"----
G536.0-1	589125E, 790906N	2682	หินปูน (เพอร์เมียน)
G536.0-2	----"----	2687	----"----
G536.0-3	----"----	2712	----"----
G551.0-1	597687E, 805906N	2627	หินแกรนิต (จูแรสซิก-ไทรแอสซิก)
G551.0-2	----"----	2501	----"----
G551.0-3	----"----	2570	----"----
G551.0-4	----"----	2558	----"----
G551.0-5	----"----	2641	----"----
G551.0-6	----"----	2603	----"----
G562.0-1	591250E, 803922N	2733	หินปูน (ออร์โดวิเซียน)
G562.0-2	----"----	2709	----"----
G562.0-3	----"----	2728	----"----
G562.5-1	587722E, 803564N	2683	----"----
G562.5-2	----"----	2728	----"----
G562.5-3	----"----	2721	----"----
G562.5-4	----"----	2647	----"----
G562.5-5	----"----	2700	----"----
G562.5-6	----"----	2727	----"----
G569.0-1	577144E, 866530N	2390	หินแกรนิต (จูแรสซิก-ไทรแอสซิก)
G569.0-2	----"----	2505	----"----
G569.0-3	----"----	2575	----"----
G569.0-4	----"----	2404	----"----
G572.0-1	578658E, 872165N	2590	หินปูน (ออร์โดวิเซียน)

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m ³	หิน
G572.0-2	578658E, 872165N	2590	หินปูน (ออร์โดวิเซียน)
G572.0-3	----"----	2626	----"----
G572.5-1	579483E, 871625N	2809	หินทราย (แคมเบรียน)
G572.5-2	----"----	2832	----"----
G572.5-3	----"----	2768	----"----
G572.5-4	----"----	2804	----"----
G574.0-1	585726E, 871761N	2692	----"----
G574.0-2	----"----	2679	----"----
G574.0-3	----"----	2659	----"----
G574.0-4	----"----	2725	----"----
G574.5-1	587364E, 872338N	2269	หินดินดาน (คาร์บอนิเฟอรัส)
G574.5-2	----"----	2277	----"----
G574.5-3	----"----	2297	----"----
G574.6-1	587520E, 872145N	2715	หินปูน (ออร์โดวิเซียน)
G574.6-2	----"----	2715	----"----
G574.7-1	587674E, 872032N	2702	----"----
G574.7-2	----"----	2724	----"----
G574.7-3	----"----	2718	----"----
G579.0-1	593770E, 778287N	2727	----"----
G579.0-2	----"----	2720	----"----
G582.5-1	601316E, 784446N	2686	----"----
G582.5-2	----"----	2813	----"----
G582.5-3	----"----	2698	----"----
G583.0-1	603891E, 788841N	2455	----"----
G583.0-2	----"----	2409	----"----
G583.0-3	----"----	2712	----"----

รหัส	ตำแหน่ง	ความหนาแน่น kg/m ³	หิน
G586.0-1	589764E, 763379N	2706	หินปูน (ออร์โดวิเซียน)
G586.0-2	----"----	2706	----"----
G586.0-3	----"----	2726	----"----

ภาคผนวก ก

พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคของพื้นที่ศึกษา ด้วยโปรแกรม Geo Vista AB-GMM, version 1.31 มีดังต่อไปนี้

20				;Total number of bodies in model
40997.6				;Magnitude of terrestrial field
-3.4				;Inclination of terrestrial field
.3				;Declination of terrestrial field
2800.0				;Surrounding density
.000001				;Surrounding susceptibility

1				;Internal body number
2600.0				;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
20000.0				;strike length
858900.8				;N-coordinate of body reference point
12.9				;strike angle from North anti-clockw.

11				;Number of comers in body
547064.7	0.0			;E-coord & depth of corner 1
663212.6	0.0			; --- " --- 2 (with strike=0.0)
662779.6	2181.6			; --- " --- 3 -- " --
634424.1	2722.3			; -- " --- 4 -- " --

613644.2	4560.7	;	---	"	---	5	--	"	--
591417.7	6766.1	;	---	"	---	6	--	"	--
578578.7	9651.7	;	---	"	---	7	--	"	--
573600.2	9968.0	;	---	"	---	8	--	"	--
571287.6	8408.4	;	---	"	---	9	--	"	--
566457.2	5534.0	;	---	"	---	10	--	"	--
546976.2	5534.0	;	---	"	---	11	--	"	--

2									
2600.0									
.015000									
.0000									
.0									
.0									
1									
20000.0									
859202.6									
12.9									
12									
548459.3	0.0								
589522.6	0.0	;	---	"	---	2	(with strike=0.0)		
637889.6	100.5	;	---	"	---	3	--	"	--
623387.1	586.2	;	---	"	---	4	--	"	--
616460.6	1071.9	;	---	"	---	5	--	"	--
604555.6	2573.0	;	---	"	---	6	--	"	--
596330.3	2705.4	;	---	"	---	7	--	"	--
586589.8	939.4	;	---	"	---	8	--	"	--
581178.3	1071.9	;	---	"	---	9	--	"	--

858900.8					;N-coordinate of body reference point
12.9					;strike angle from North anti-clockw.
4					;Number of comers in body
587139.3	0.0				;E-coord & depth of corner 1
663212.3	0.0				; --- " --- 2 (with strike=0.0)
663212.3	300.0				; --- " --- 3 -- " --
587139.3	300.0				; --- " --- 4 -- " --
<hr/>					
5					;Internal body number
2600.0					;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
20000.0					;strike length
839340.1					;N-coordinate of body reference point
12.9					;strike angle from North anti-clockw.
12					;Number of comers in body
549272.3	0.0				;E-coord & depth of corner 1
669681.5	0.0				; --- " --- 2 (with strike=0.0)
669425.0	1947.8				; --- " --- 3 -- " --
640403.3	1160.2				; --- " --- 4 -- " --
633421.8	3860.6				; --- " --- 5 -- " --
617210.5	3270.1				; --- " --- 6 -- " --
615630.3	3410.5				; --- " --- 7 -- " --
584746.3	9036.4				; --- " --- 8 -- " --

582269.0	8923.9	;	---	"	---	9	--	"	--
572619.0	5308.2	;	---	"	---	10	--	"	--
566436.3	4243.7	;	---	"	---	11	--	"	--
549869.0	4085.6	;	---	"	---	12	--	"	--

6									
2600.0									
.015000									
.0000									
.0									
.0									
5									
20000.0									
839463.3									
12.9									
13									
549552.0	0.0								
652847.2	0.0	;	---	"	---	2	(with strike=0.0)		
634605.2	717.3	;	---	"	---	3	--	"	--
617271.8	3014.1	;	---	"	---	4	--	"	--
611191.3	3151.9	;	---	"	---	5	--	"	--
602633.3	1819.8	;	---	"	---	6	--	"	--
599480.3	1682.0	;	---	"	---	7	--	"	--
594518.0	4254.4	;	---	"	---	8	--	"	--
588662.5	4254.4	;	---	"	---	9	--	"	--
585517.2	2141.3	;	---	"	---	10	--	"	--
579211.3	2187.3	;	---	"	---	11	--	"	--
566149.2	3611.3	;	---	"	---	12	--	"	--

549926.5 4024.7 ; --- " --- 13 -- " --

7 ;Internal body number
 2400.0 ;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
 5 ;Surrounding body, = 21 if none
 20000.0 ;strike length
 839340.1 ;N-coordinate of body reference point
 12.9 ;strike angle from North anti-clockw.

4 ;Number of corners in body
 549272.3 0.0 ;E-coord & depth of corner 1
 583241.5 0.0 ; --- " --- 2 (with strike=0.0)
 583241.5 300.0 ; --- " --- 3 -- " --
 549272.3 300.0 ; --- " --- 4 -- " --

8 ;Internal body number
 2400.0 ;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
 5 ;Surrounding body, = 21 if none
 20000.0 ;strike length
 839340.1 ;N-coordinate of body reference point
 12.9 ;strike angle from North anti-clockw.

4		;Number of corners in body
592986.0	0.0	;E-coord & depth of corner 1
669681.5	0.0	; --- " --- 2 (with strike=0.0)
669681.5	300.0	; --- " --- 3 -- " --
592986.0	300.0	; --- " --- 4 -- " --
<hr/>		
9		;Internal body number
2600.0		;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
20000.0		;strike length
818755.0		;N-coordinate of body reference point
12.9		;strike angle from North anti-clockw.
13		;Number of corners in body
546163.9	0.0	;E-coord & depth of corner 1
670132.9	0.0	; --- " --- 2 (with strike=0.0)
669679.9	1754.4	; --- " --- 3 -- " --
642055.9	1279.5	; --- " --- 4 -- " --
634027.6	4936.7	; --- " --- 5 -- " --
623397.9	3874.9	; --- " --- 6 -- " --
618675.4	3831.4	; --- " --- 7 -- " --
612516.9	6824.3	; --- " --- 8 -- " --
587981.9	8393.9	; --- " --- 9 -- " --
582314.9	8122.0	; --- " --- 10 -- " --

575444.1 3992.9 ; --- " --- 11 -- " --
 573101.9 4069.0 ; --- " --- 12 -- " --
 546636.1 5762.5 ; --- " --- 13 -- " --

10 ;Internal body number
 2600.0 ;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
 20000.0 ;strike length
 818962.6 ;N-coordinate of body reference point
 12.9 ;strike angle from North anti-clockw.

11 ;Number of corners in body
 547104.5 0.0 ;E-coord & depth of corner 1
 646223.0 0.0 ; --- " --- 2 (with strike=0.0)
 624521.6 2151.8 ; --- " --- 3 -- " --
 619326.8 2248.2 ; --- " --- 4 -- " --
 604427.8 2103.7 ; --- " --- 5 -- " --
 603978.1 3211.4 ; --- " --- 6 -- " --
 603955.5 7449.9 ; --- " --- 7 -- " --
 596871.5 7835.2 ; --- " --- 8 -- " --
 590968.3 1188.5 ; --- " --- 9 -- " --
 565252.5 2922.5 ; --- " --- 10 -- " --
 547070.4 2248.2 ; --- " --- 11 -- " --

600781.6	0.0	;E-coord & depth of corner	1
670132.9	0.0	; --- " ---	2 (with strike=0.0)
670132.9	300.0	; --- " ---	3 -- " --
600781.6	300.0	; --- " ---	4 -- " --

13		;Internal body number
2600.0		;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
20000.0		;strike length
800450.9		;N-coordinate of body reference point
12.9		;strike angle from North anti-clockw.

10		;Number of corners in body	
553669.9	0.0	;E-coord & depth of corner	1
674738.8	0.0	; --- " ---	2 (with strike=0.0)
674245.3	843.9	; --- " ---	3 -- " --
640727.8	1876.2	; --- " ---	4 -- " --
632922.3	5202.4	; --- " ---	5 -- " --
620065.9	4055.5	; --- " ---	6 -- " --
602147.9	9668.4	; --- " ---	7 -- " --
595031.3	9668.4	; --- " ---	8 -- " --
583322.8	5285.9	; --- " ---	9 -- " --
553719.4	6005.3	; --- " ---	10 -- " --

14		;Internal body number
----	--	-----------------------

2600.0 ;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
 13 ;Surrounding body, = 21 if none
 20000.0 ;strike length
 800486.0 ;N-coordinate of body reference point
 12.9 ;strike angle from North anti-clockw.

12 ;Number of comers in body
 553826.4 0.0 ;E-coord & depth of comer 1
 667534.4 0.0 ; --- " --- 2 (with strike=0.0)
 652198.4 421.0 ; --- " --- 3 -- " --
 637276.3 1591.6 ; --- " --- 4 -- " --
 626256.6 1872.6 ; --- " --- 5 -- " --
 612711.8 2013.1 ; --- " --- 6 -- " --
 605595.0 5010.0 ; --- " --- 7 -- " --
 601462.8 5056.8 ; --- " --- 8 -- " --
 598248.8 421.0 ; --- " --- 9 -- " --
 588147.4 1591.6 ; --- " --- 10 -- " --
 571618.1 1310.7 ; --- " --- 11 -- " --
 554400.1 1825.8 ; --- " --- 12 -- " --

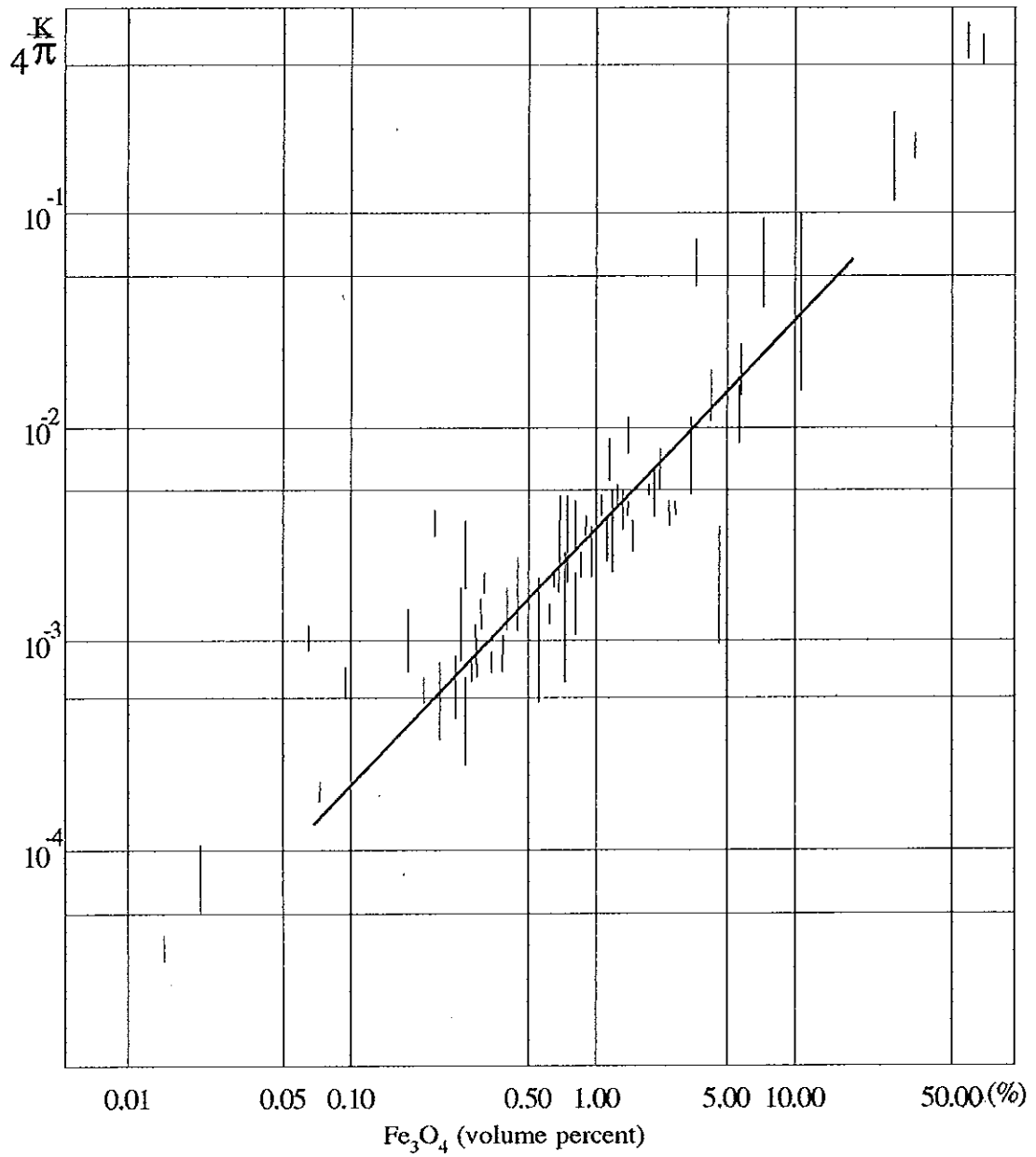
15 ;Internal body number
 2400.0 ;density of body, 0=surrounding
 .000001 ;suscept. of body, 0=surrounding
 .0000 ;Remanent/induced magnetization
 .0 ;Inclination of remanence, positive down

782939.6		;N-coordinate of body reference point
12.9		;strike angle from North anti-clockw.
4		;Number of corners in body
564718.4	0.0	;E-coord & depth of corner 1
607877.0	0.0	; --- " --- 2 (with strike=0.0)
607877.0	300.0	; --- " --- 3 -- " --
564718.4	300.0	; --- " --- 4 -- " --
<hr/>		
20		;Internal body number
2400.0		;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
17		;Surrounding body, = 21 if none
20000.0		;strike length
782939.6		;N-coordinate of body reference point
12.9		;strike angle from North anti-clockw.
4		;Number of corners in body
619570.4	0.0	;E-coord & depth of corner 1
681341.4	0.0	; --- " --- 2 (with strike=0.0)
681341.4	300.0	; --- " --- 3 -- " --
619570.4	300.0	; --- " --- 4 -- " --

ภาคผนวก ง

Variation of susceptibility K (rationalized SI) with magnetite content.

(After : Parasnis, 1986)



ภาคผนวก จ

การเตรียมสารความเข้มข้นมาตรฐาน

(เท็ดทูน ทองเจิม, 2538)

การเตรียมสารมาตรฐาน เริ่มจากการหาข้อมูลของปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติของหิน เพื่อจะได้เตรียมสารตัวอย่างมาตรฐานที่ครอบคลุมความเข้มข้นได้อย่างเหมาะสม ซึ่งปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติของหินแสดงไว้ดังตาราง 1

ตาราง 1 ปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติของหิน

Type of Rock	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
Igneous			
Silica (e.g.,granites)	3.3	4.70	20.00
Intermediate (e.g.,diorites)	2.3	1.80	8.00
Mafic (e.g.,basalt)	0.8	0.90	2.70
Ultramafic (e.g.,dunites)	0.5	0.03	6.00
Sedimentary			
Limestones	0.3	2.20	1.70
Carbonates	-	2.10	1.90
Sandstones	1.2	~1.50	~3.10
Shales	2.3	3.50	11.00
Mean value (Earth's crust)	2.3	3.00	11.40

ตาราง 2 สารตัวอย่างมาตรฐานที่ครอบคลุมความเข้มข้นได้อย่างเหมาะสม

	สารมาตรฐานที่ 1	สารมาตรฐานที่ 2	สารมาตรฐานที่ 3
โพแทสเซียม (K)	2 %	4 %	6 %
ยูเรเนียม (U)	2 ppm	4 ppm	6 ppm
ทอเรียม (Th)	5 ppm	10 ppm	15 ppm

หลังจากเตรียมสารมาตรฐานได้ความเข้มข้นตามต้องการแล้ว นำสารมาตรฐานบรรจุลงในกระปุก ปิดฝาให้สนิท แล้วพันรอบด้วยเทปพันสายไฟ ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสมดุลกับมันตภาพรังสีแบบถาวร จึงทำการวัดปริมาณรังสีแกมมาของสารมาตรฐานด้วยหัววัดรังสีแกมมาแบบเยอมาเนียมบริสุทธิเป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์เพื่อหาความแรงรังสีแกมมาของสารมาตรฐานต่างๆ ดังนี้

โปแทสเซียม (K-40) ที่ยอดพลังงาน 1460 keV

ยูเรเนียม (Bi-214) ที่ยอดพลังงาน 1765 keV

ทอเรียม (Ti-208) ที่ยอดพลังงาน 2625 keV

แล้วใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟของยอดรังสีแกมมาต่อสารตัวอย่างมาตรฐาน 1 g กับความแรงของรังสีแกมมา (Bq/kg) เพื่อประเมินความเข้มข้นกับมันตภาพรังสีในตัวอย่างหิน

ตัวอย่าง 1 การคำนวณหาปริมาณความแรงรังสี K-40, U และ Th

กำหนดให้น้ำหนักรวมของสารมาตรฐานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 100 กรัม โดยมีความเข้มข้นค่าครึ่งชีวิต และ น้ำหนักมวลดังนี้

K-40 (0.01167%(K=100%))	$T_{1/2}=1.28 \times 10^9$ ปี	น้ำหนักมวล 39.102 g/mol
U (100%)	$T_{1/2}=1.39 \times 10^{10}$ ปี	น้ำหนักมวล 238.0289 g/mol
Th (100%)	$T_{1/2}=4.51 \times 10^9$ ปี	น้ำหนักมวล 232.0381 g/mol

วิธีคำนวณ

เนื่องจากสารมาตรฐานประกอบด้วย K, U และ Th โดยคำนวณหาน้ำหนักดังนี้

Th มีความเข้มข้นมันตรังสี 5 ppm จากสารมาตรฐาน 100 g

$$\text{ดังนั้น Th มีน้ำหนัก} = (5 \text{ ppm}) \times (100 \text{ g}) = 5 \times 10^{-4} \text{ g}$$

$$\text{โดย Th มีจำนวนอะตอม} = \frac{(6.02252 \times 10^{23}) \times (5 \times 10^{-4})}{232.0381} = 1.341 \times 10^{18} \text{ อะตอม}$$

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

$$\text{ดังนั้นจะได้ } \lambda = \frac{0.693}{(4.51 \times 10^9) \times (60 \times 60 \times 24 \times 265)} = 4.872 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$$

ซึ่งความแรงรังสีคำนวณได้จาก $A = \lambda N$ เมื่อ A : ค่าความแรงรังสี (Bq/kg)

N : จำนวนอะตอมของธาตุกัมมันตรังสี

λ : ค่าคงที่ของการสลายตัว (s^{-1})

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นความแรงรังสี Th ที่ความเข้มข้น 5 ppm มีค่าเท่ากับ } A &= (4.872 \times 10^{-18}) \times (1.341 \times 10^{18}) \\ &= 6.5332 \text{ Bq/100 g} \\ &= 65.332 \text{ Bq/kg} \end{aligned}$$

สำหรับ K และ U ก็ใช้วิธีคำนวณเช่นเดียวกัน ซึ่งได้ค่าความแรงรังสีของสารมาตรฐาน
ดังตาราง 3

ตาราง 3 ค่าความแรงรังสีที่คำนวณได้ของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ

ชนิดของสาร	ความเข้มข้น	มวลธาตุ ใน 100g (g)	จำนวน อะตอม	ค่าคงที่ของการ สลายตัว (s^{-1})	ค่าความแรง (Bq/kg)
K	2 %	2.3×10^{-4}	3.714×10^{18}	1.717×10^{-17}	637.654
	4 %	4.7×10^{-4}	7.428×10^{18}	1.717×10^{-17}	1275.307
	6 %	7.0×10^{-4}	1.114×10^{19}	1.717×10^{-17}	1912.961
U	2 ppm	2.0×10^{-4}	5.228×10^{17}	1.581×10^{-18}	8.266
	4 ppm	4.0×10^{-4}	1.046×10^{18}	1.581×10^{-18}	16.531
	6 ppm	6.0×10^{-4}	1.569×10^{18}	1.581×10^{-18}	24.797
Th	5 ppm	5.0×10^{-4}	1.341×10^{18}	4.872×10^{-18}	65.332
	10 ppm	10.0×10^{-4}	2.682×10^{18}	4.872×10^{-18}	130.664
	15 ppm	15.0×10^{-4}	4.026×10^{18}	4.872×10^{-18}	195.997

ตาราง 4 ค่า GAMMA-RAY SPECTROMETER MEASUREMENT MATERIAL (S)

MATRIX	Referenced Analyte	Activity or Concentration	Confidence Energy Interval	Sample Code
Potassium Sulfate	K	448 mg/g	445 - 451	RGK-1
Th-ORE, Diluted with Silica	K	0.2 mg/g	0.1 - 0.3	RGTh-1
	Th	800 μ g/g	784 - 816	
	U	6.3 μ g/g	5.9 - 6.7	
U-ORE, Diluted with Silica	U	400 μ g/g	398 - 402	RGU-1

ตัวอย่าง 2 การคำนวณหาปริมาณของ RGK-1, RGU-1, RGTh-1 และ Silica Sand ที่จะต้องนำมาใช้ลดความเข้มข้นให้ได้ตามต้องการ

กำหนดให้ปริมาณน้ำหนักรวมมีค่าเท่ากับ 100 กรัม และให้ความเข้มข้นของ

$K = 2\%$, $U = 2$ ppm, และ $Th = 5$ ppm สำหรับสารมาตรฐานที่ 1

โดยมีค่า Natural Abundance ของ

$$K-40 = 0.01167 \% \quad (K = 100 \%) \quad T_{1/2} = 1.28 \times 10^9 \text{ ปี}$$

$$U = 100 \% \quad T_{1/2} = 1.39 \times 10^{10} \text{ ปี}$$

$$Th = 100 \% \quad T_{1/2} = 4.51 \times 10^9 \text{ ปี}$$

และจากตาราง 4 จะเห็นว่า

$$RGTh-1 \quad 1 \text{ g} \quad \text{มี} \quad Th = 800 \mu\text{g} \quad U = 6.3 \mu\text{g} \quad K = 0.2 \text{ mg}$$

$$RGU-1 \quad 1 \text{ g} \quad \text{มี} \quad Th = 0.0 \text{ g} \quad U = 400 \mu\text{g} \quad K = 0.0 \text{ g}$$

$$RGK-1 \quad 1 \text{ g} \quad \text{มี} \quad Th = 0.0 \text{ g} \quad U = 0.0 \text{ g} \quad K = 448 \mu\text{g}$$

วิธีคำนวณ หาน้ำหนักของ RGTh-1

เริ่มเตรียมสารมาตรฐานที่ 1 ที่ Th มีความเข้มข้น 5 ppm โดยหาน้ำหนักของ Th .ในสารมาตรฐานทั้งหมด $100 \text{ g} = (5 \times 10^{-6}) \times 100 \text{ g}$ ดังนั้นจะได้น้ำหนักของ Th = $5 \times 10^{-4} \text{ g}$

และจาก Th $800 \mu\text{g}$ ได้มาจาก RGTh-1 1 g

$$\text{แต่ Th } 5 \times 10^{-4} \text{ g} \quad \text{ได้มาจาก RGTh-1} = \frac{5 \times 10^{-4}}{800 \times 10^{-6}} = 0.625 \text{ g}$$

เนื่องจากใน RGTh-1 มี U และ K ผสมอยู่ด้วย

$$\text{จาก RGTh-1 } 1 \text{ g} \quad \text{มี U} = 6.3 \mu\text{g}$$

$$\text{ถ้า RGTh-1 } 0.625 \text{ g} \quad \text{จะมี U} = (6.3 \times 10^{-6}) \times 0.625 \text{ g} \\ = 3.9375 \times 10^{-6} \text{ g}$$

$$\text{และจะมี K} = (0.2 \times 10^{-2}) \times 0.625 \text{ g} \\ = 1.25 \times 10^{-4} \text{ g}$$

วิธีคำนวณ หาน้ำหนักของ RGU-1

เริ่มเตรียมสารมาตรฐานที่ 1 ที่ U มีความเข้มข้น 2 ppm โดยน้ำหนักของ U ในสารมาตรฐานทั้งหมด $100 \text{ g} = (2 \times 10^{-6}) \times 100 \text{ g}$ ดังนั้นจะได้น้ำหนักของ U = $2 \times 10^{-4} \text{ g}$
 แต่เนื่องจาก RGTh-1 มี U = $3.9375 \times 10^{-6} \text{ g}$ ดังนั้นต้องการ U อีก = $(2 \times 10^{-4}) - (3.9375 \times 10^{-6})$
 $= 1.960625 \times 10^{-4} \text{ g}$

เนื่องจากใน RGU-1 มี U 400 μg

นั่นคือ U $400 \times 10^{-6} \text{ g}$ ได้มาจาก RGU-1 = 1 g

ถ้า U $1.960625 \times 10^{-4} \text{ g}$ ได้มาจาก RGU-1 = $\frac{1.960625 \times 10^{-4}}{400 \times 10^{-6}} = 0.490156 \text{ g}$

วิธีคำนวณ หาน้ำหนักของ RGK-1

เริ่มเตรียมสารมาตรฐานที่ 1 ที่ K มีความเข้มข้น 2 % โดยน้ำหนักของ K ในสารมาตรฐานทั้งหมด $100 \text{ g} = (2 \times 10^{-2}) \times 100 \text{ g}$ ดังนั้นจะได้น้ำหนักของ K = 2 g
 แต่เนื่องจาก RGTh-1 มี K = $1.25 \times 10^{-4} \text{ g}$ ดังนั้นต้องการ K อีก = $2 - (1.25 \times 10^{-4})$
 $= 1.999875 \text{ g}$

เนื่องจากใน RGK-1 มี K 448 mg

นั่นคือ K $448 \times 10^{-3} \text{ g}$ ได้มาจาก RGK-1 = 1 g

ถ้า K 1.999875 g ได้มาจาก RGK-1 = $\frac{1.999875}{448 \times 10^{-3}} = 4.464007 \text{ g}$

ดังนั้นจะต้องใส่ Silica Sand = $100 - ((\text{RGTh-1}) + (\text{RGU-1}) + (\text{RGK-1}))$
 $= 100 - (0.625000 + 0.490156 + 4.464007) \text{ g}$
 $= 94.420837 \text{ g}$

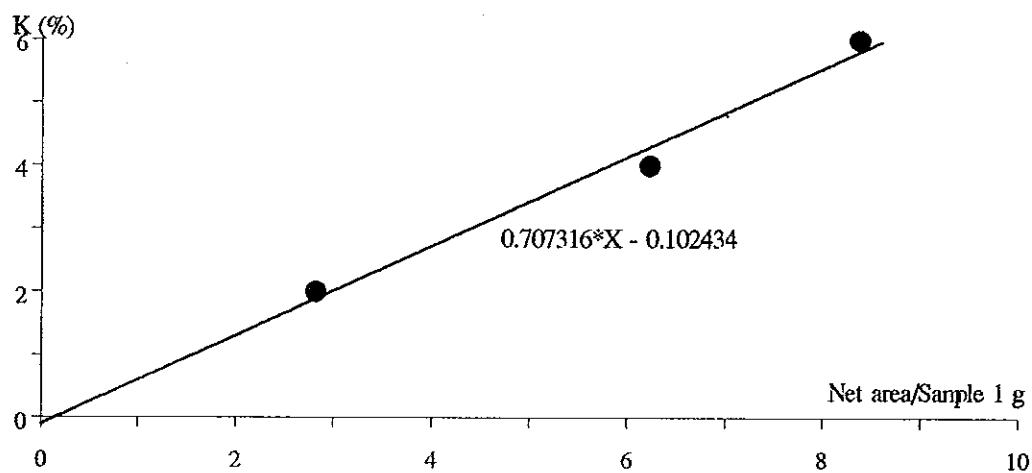
สำหรับค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ 2 และ 3 ก็ใช้วิธีเดียวกัน ซึ่งได้คำนวณดังตาราง 5

ตาราง 5 ความเข้มข้นและมวลที่คำนวณได้ของสารมาตรฐานต่างๆ

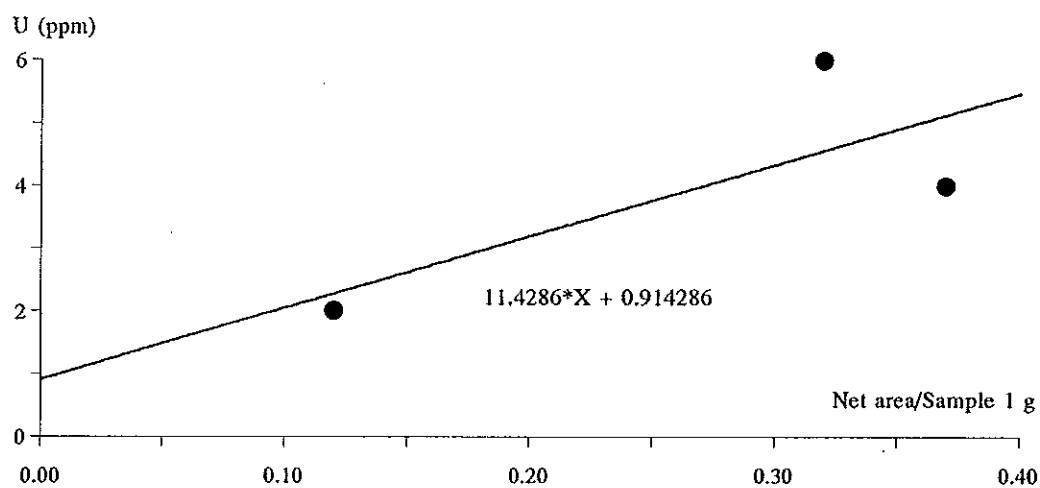
สารมาตรฐาน	สาร	ความเข้มข้น	มวลของสาร (g)
สารมาตรฐานที่ 1 100 g	Thorium (Th)	5 ppm	0.625000
	Uranium (U)	2 ppm	0.490156
	Potassium (K)	2 %	4.464007
	Silica Sand	-	94.420837
สารมาตรฐานที่ 2 100 g	Thorium (Th)	10 ppm	1.250000
	Uranium (U)	4 ppm	0.980313
	Potassium (K)	4 %	8.928013
	Silica Sand	-	88.841674
สารมาตรฐานที่ 3 100 g	Thorium (Th)	15 ppm	1.875000
	Uranium (U)	6 ppm	1.470469
	Potassium (K)	6 %	13.392020
	Silica Sand	-	83.262511

ภาคผนวก ฉ

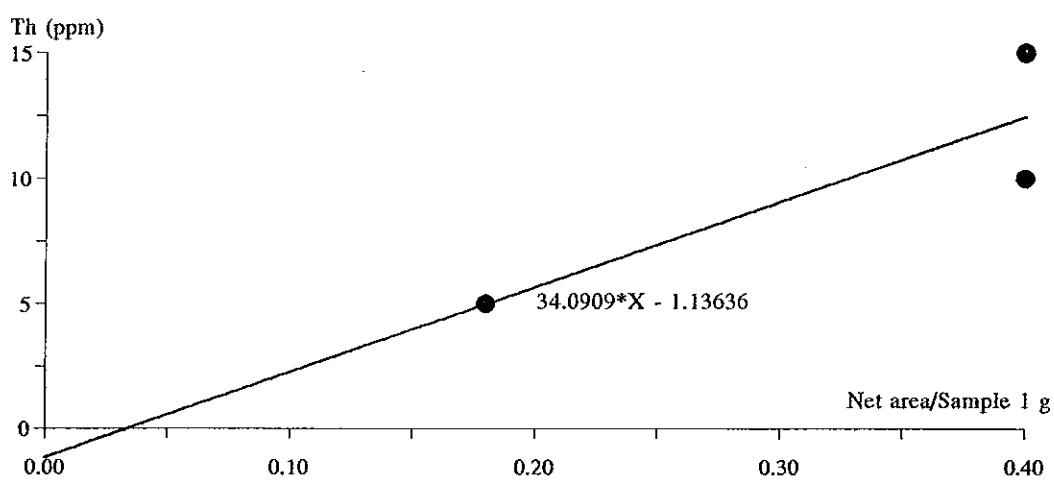
ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อน้ำหนัก 1 กรัม กับปริมาณความเข้มข้น
ในสารมาตรฐาน ที่ใช้เวลาในการวัดต่างกัน



(A)

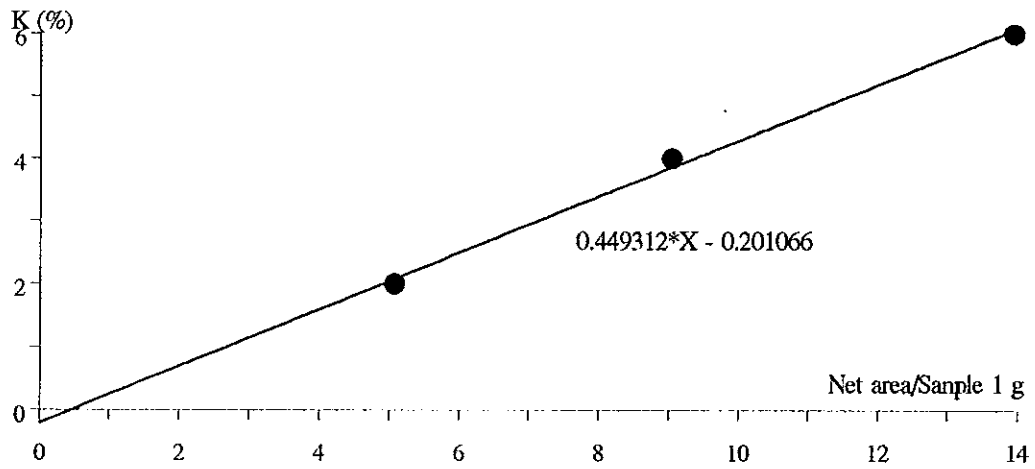


(B)

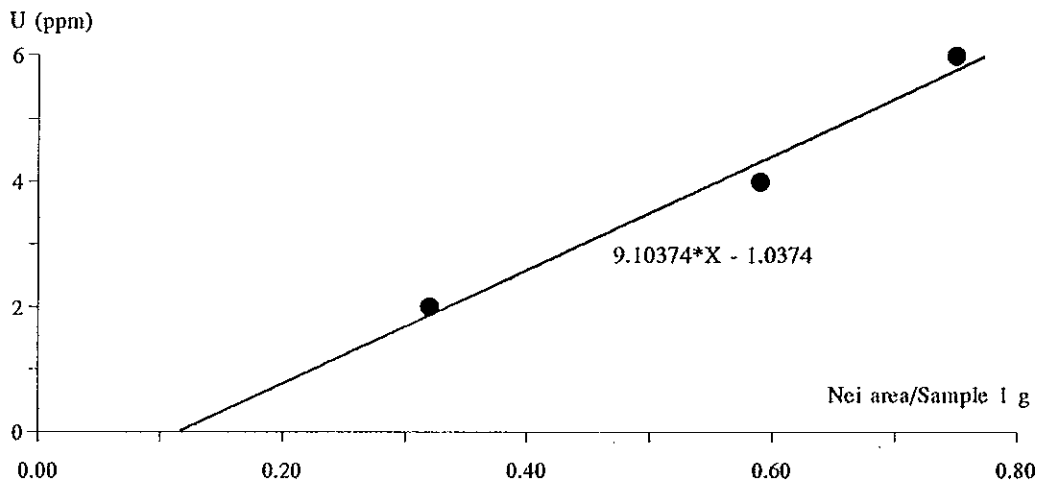


(C)

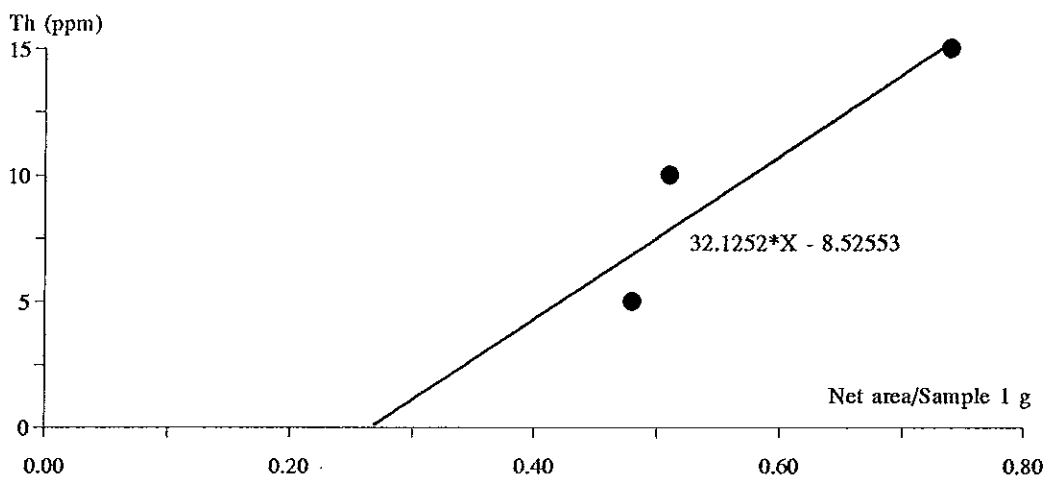
ภาพประกอบ 1 กราฟแสดงพื้นที่สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อน้ำหนัก 1 กรัม และปริมาณ
ความเข้มข้นในสารมาตรฐานที่ใช้เวลาวัด 3 ชั่วโมง



(A)

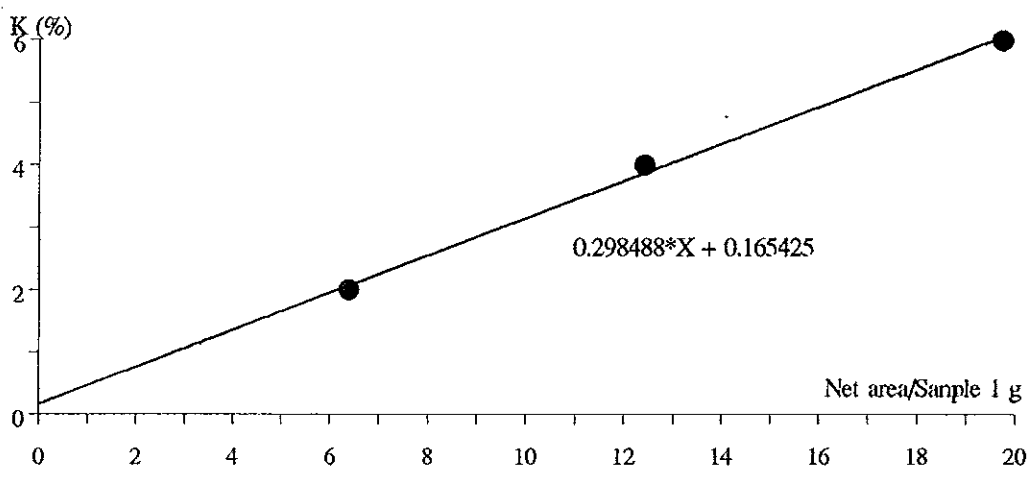


(B)

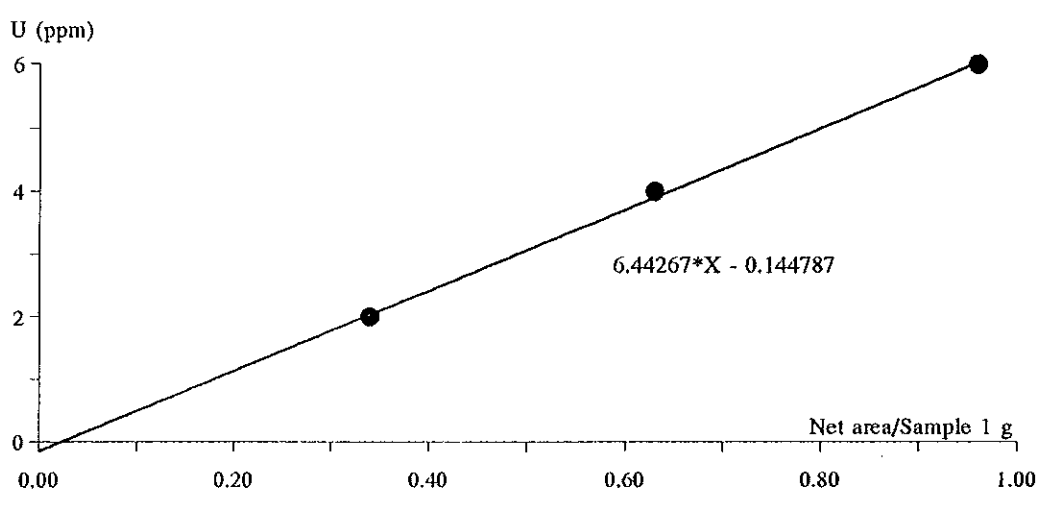


(C)

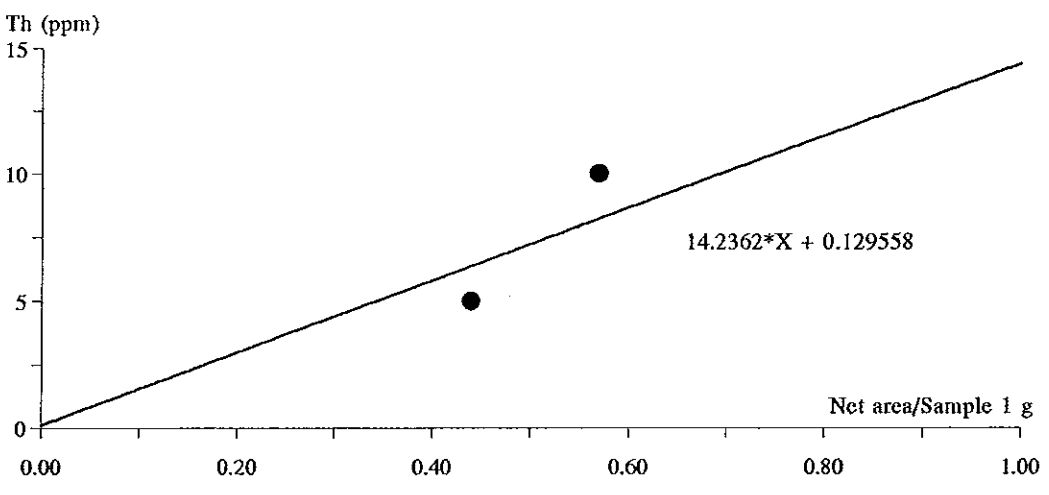
ภาพประกอบ 2 กราฟแสดงพื้นที่สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อน้ำหนัก 1 กรัม และปริมาณ
ความเข้มข้นในสารมาตรฐานที่ใช้เวลาวัด 5 ชั่วโมง



(A)

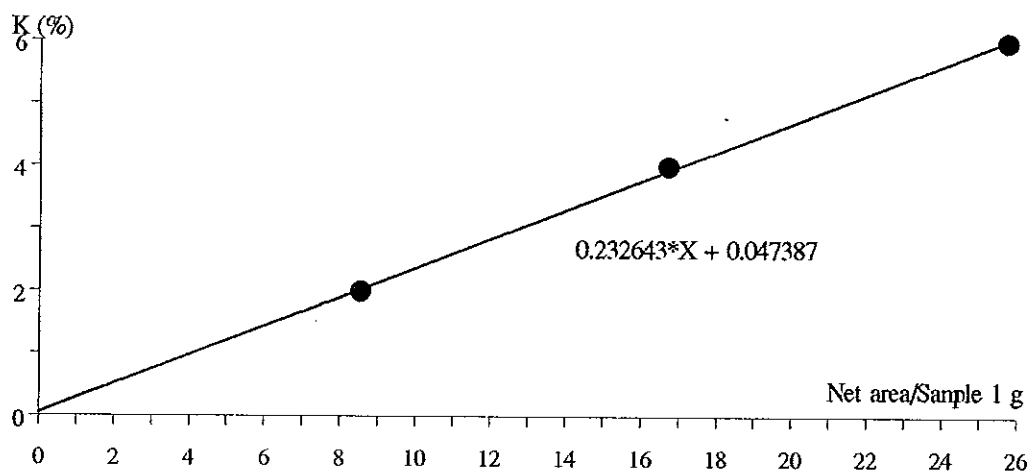


(B)

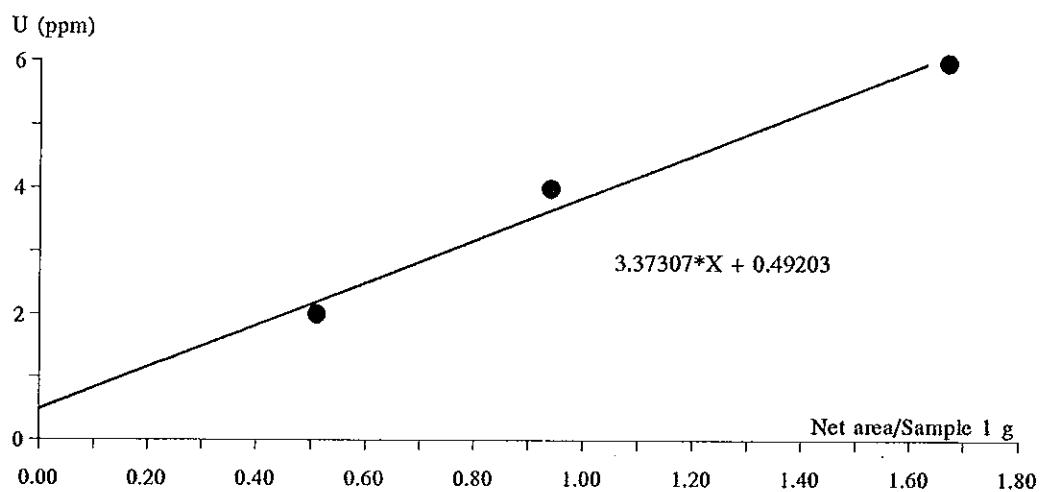


(C)

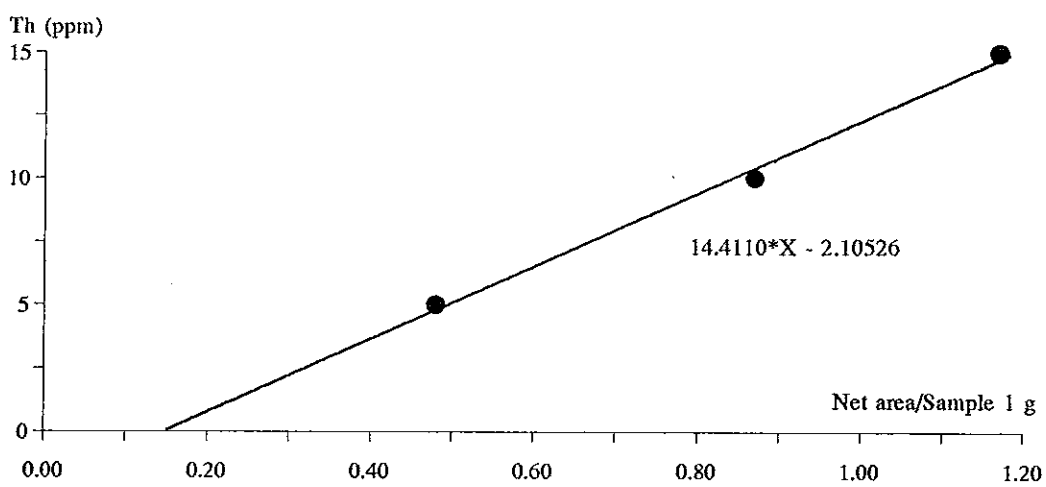
ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงพื้นที่สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อน้ำหนัก 1 กรัม และปริมาณ
ความเข้มข้นในสารมาตรฐานที่ใช้เวลาวัด 7 ชั่วโมง



(A)



(B)

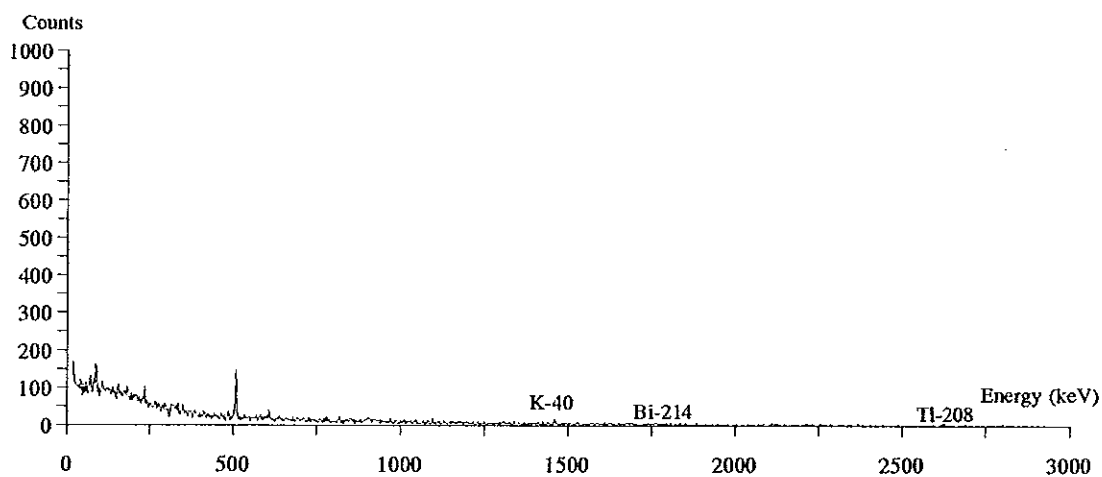


(C)

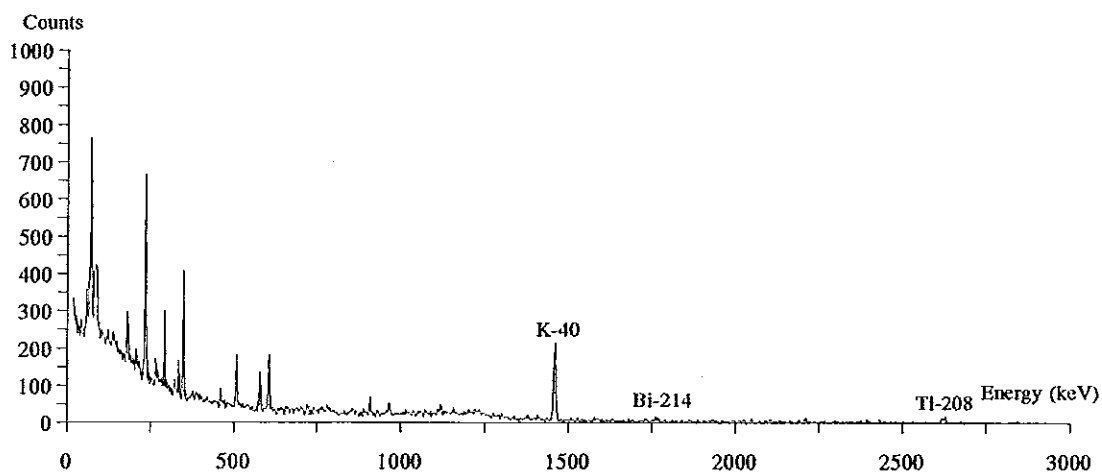
ภาพประกอบ 4 กราฟแสดงพื้นที่สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อน้ำหนัก 1 กรัม และปริมาณ
ความเข้มข้นในสารมาตรฐานที่ใช้เวลาวัด 9 ชั่วโมง

ภาคผนวก ข

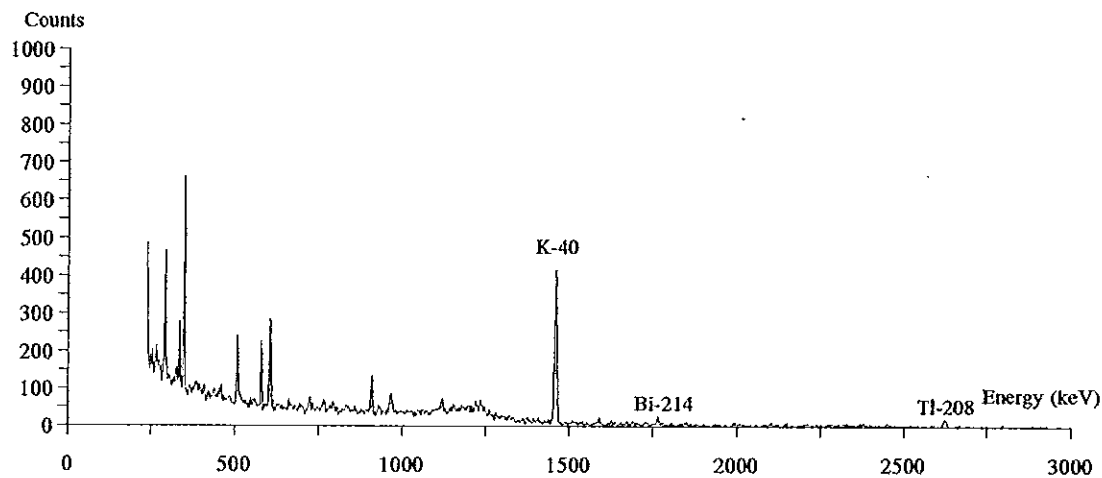
สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานและของสารตัวอย่างหิน



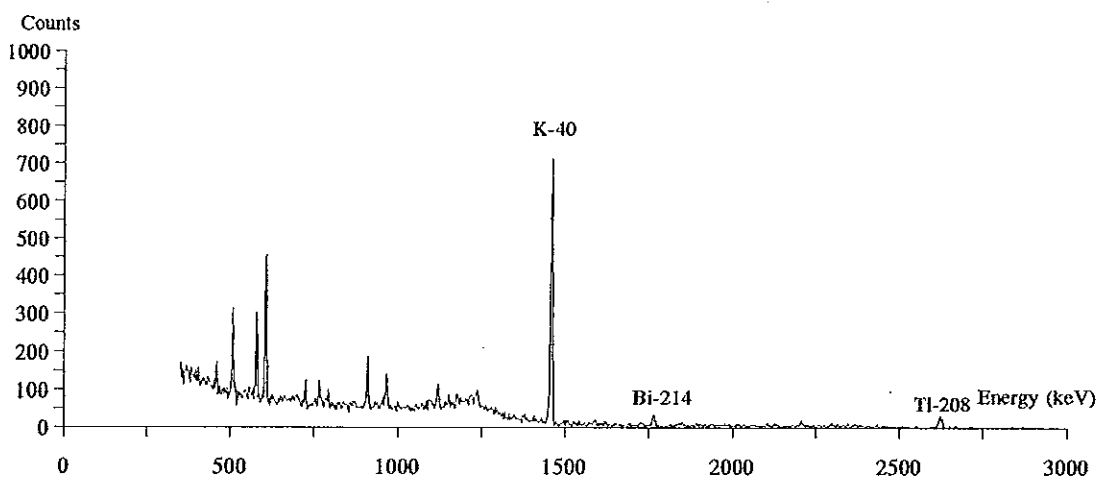
ภาพประกอบ 1 สเปกตรัมรังสีแกมมาของรังสีพื้นหลัง



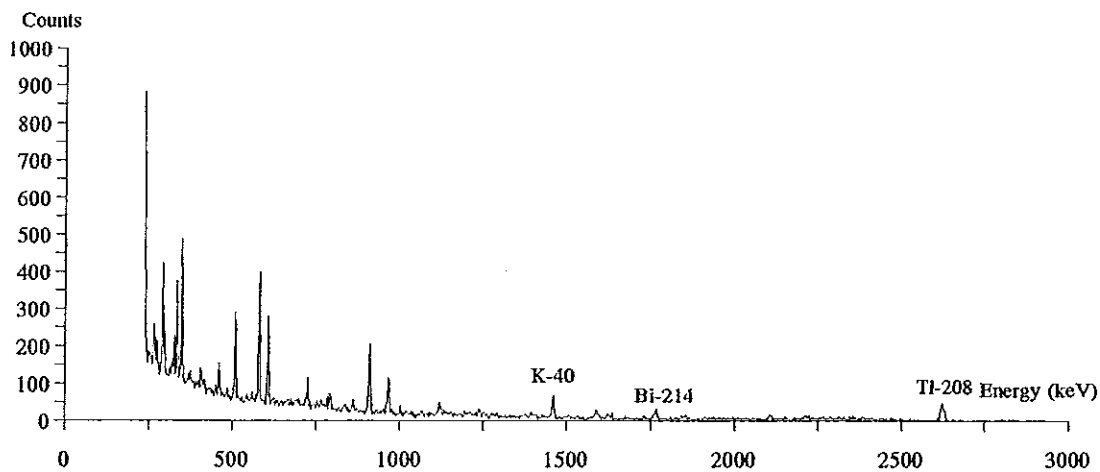
ภาพประกอบ 2 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานตัวที่ 1



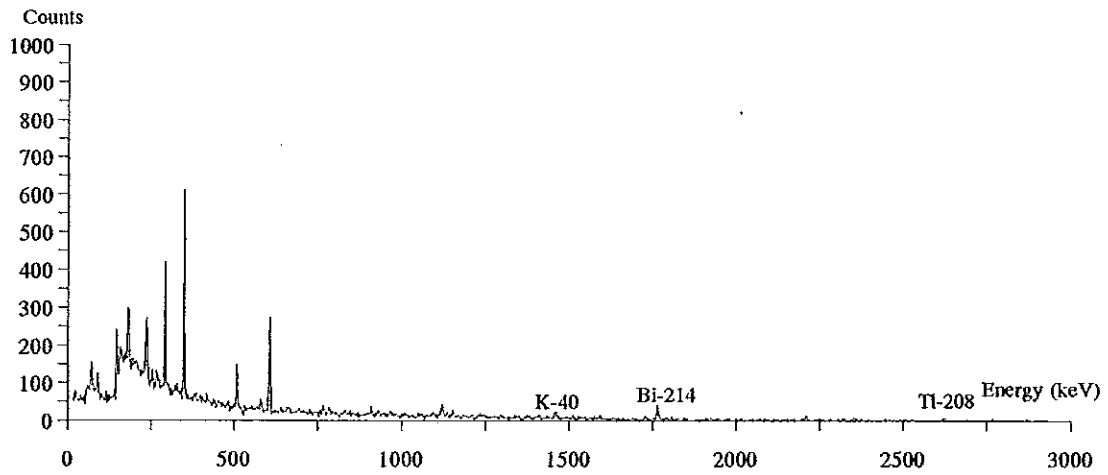
ภาพประกอบ 3 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานตัวที่ 2



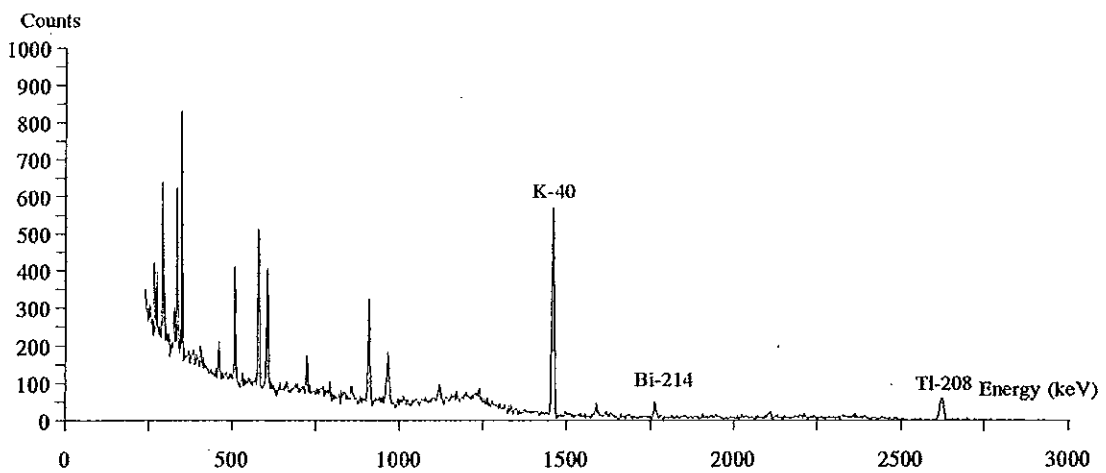
ภาพประกอบ 4 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานตัวที่ 3



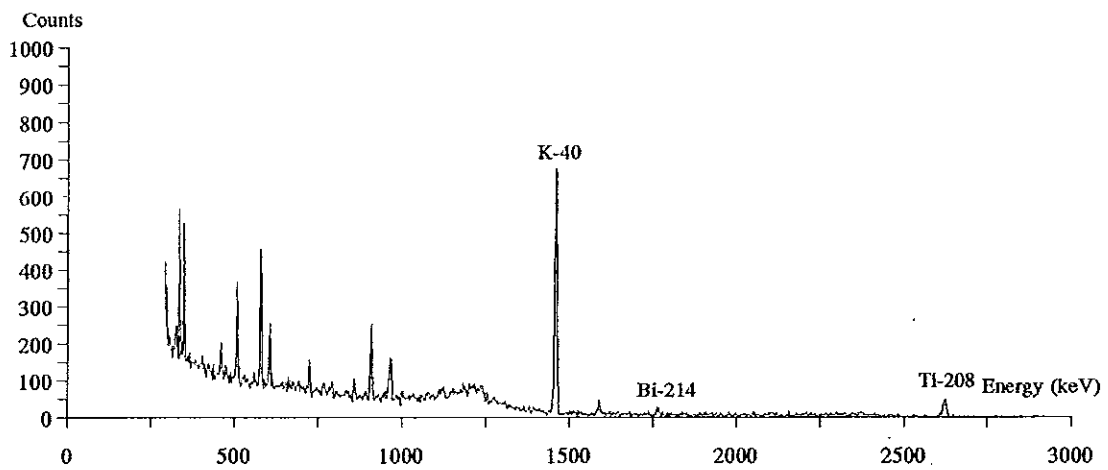
ภาพประกอบ 5 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L001.0)



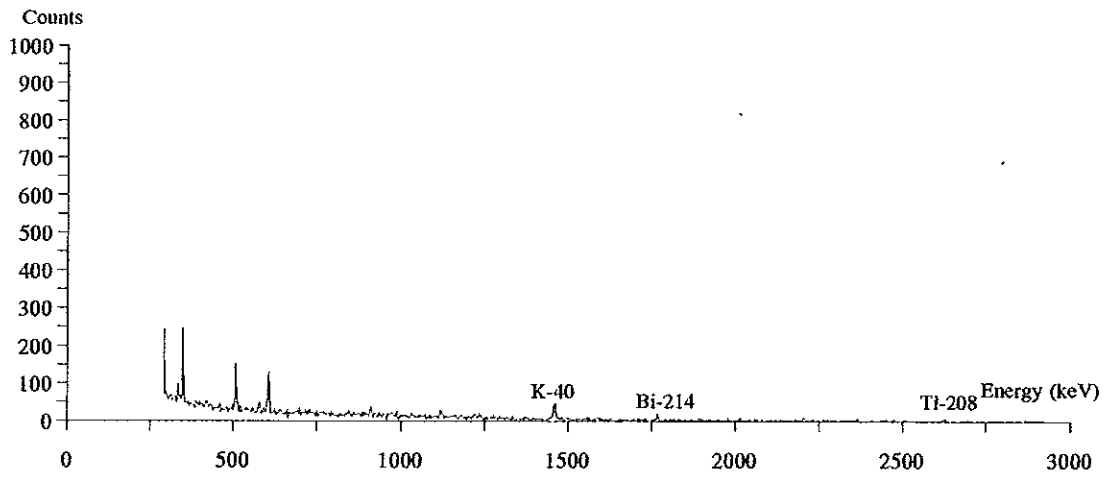
ภาพประกอบ 6 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L002.0)



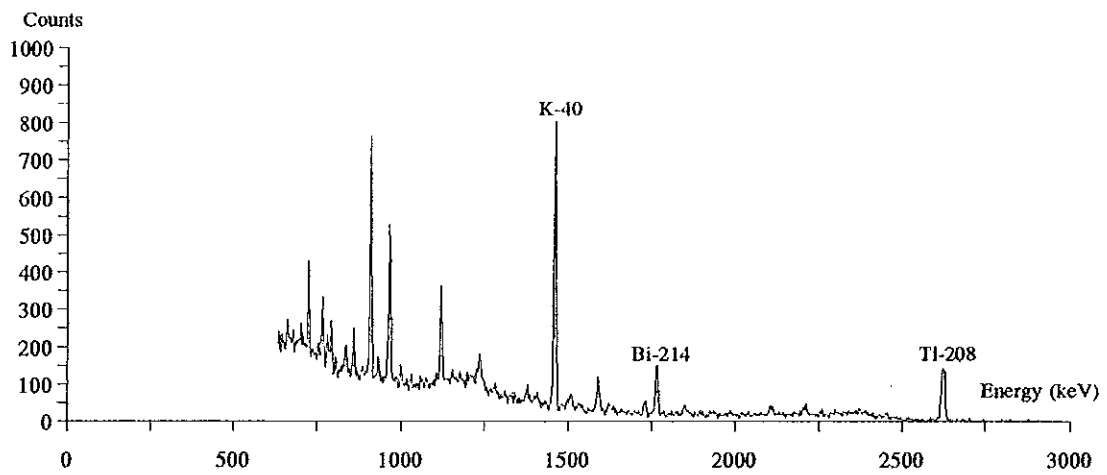
ภาพประกอบ 7 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L003.0)



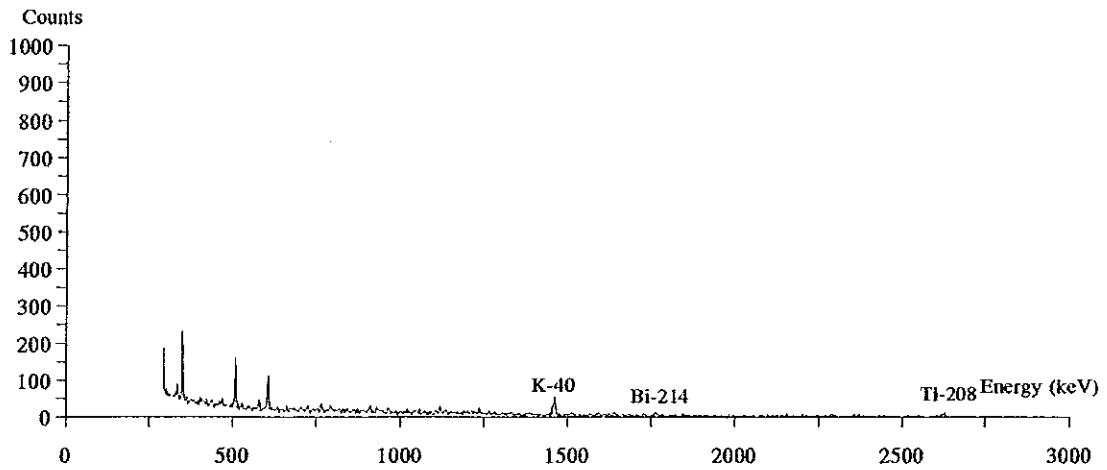
ภาพประกอบ 8 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L004.0)



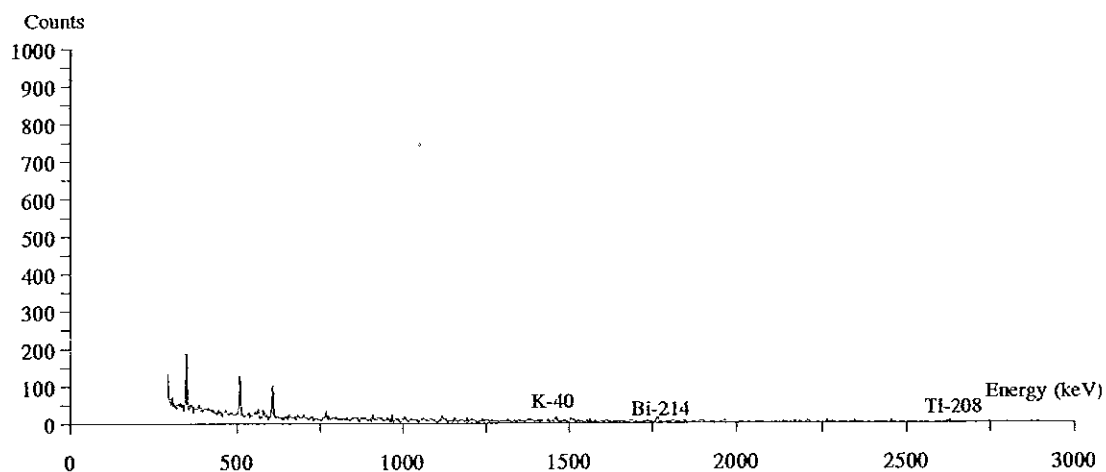
ภาพประกอบ 9 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L005.0)



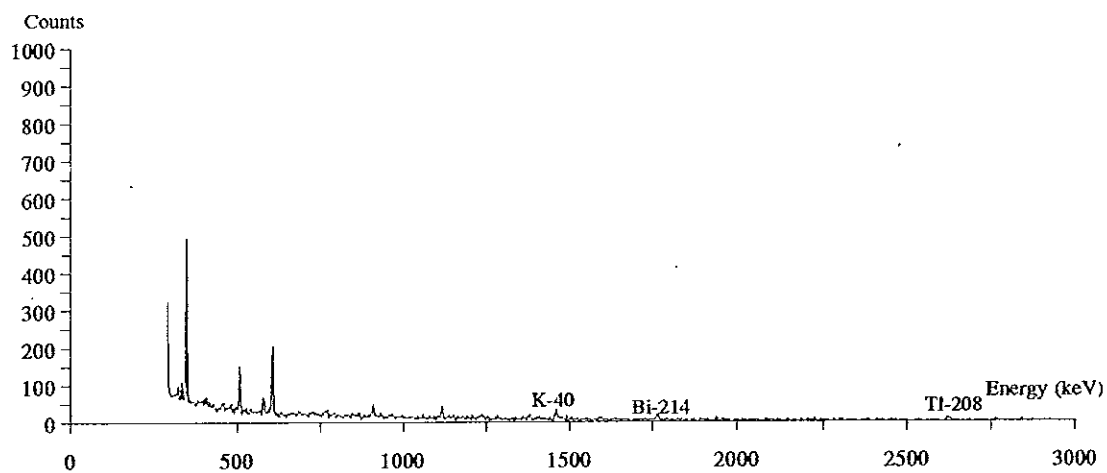
ภาพประกอบ 10 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L006.0)



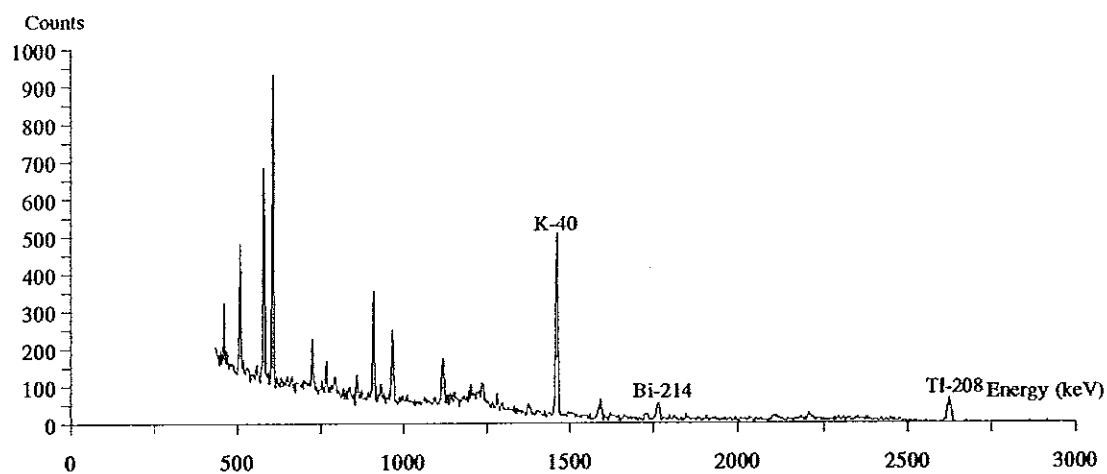
ภาพประกอบ 11 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L007.0)



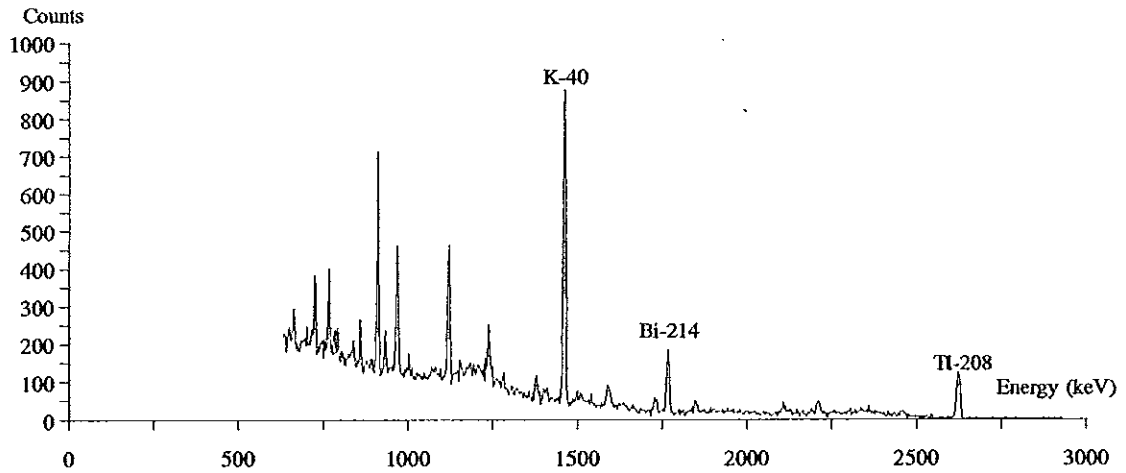
ภาพประกอบ 12 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L008.0)



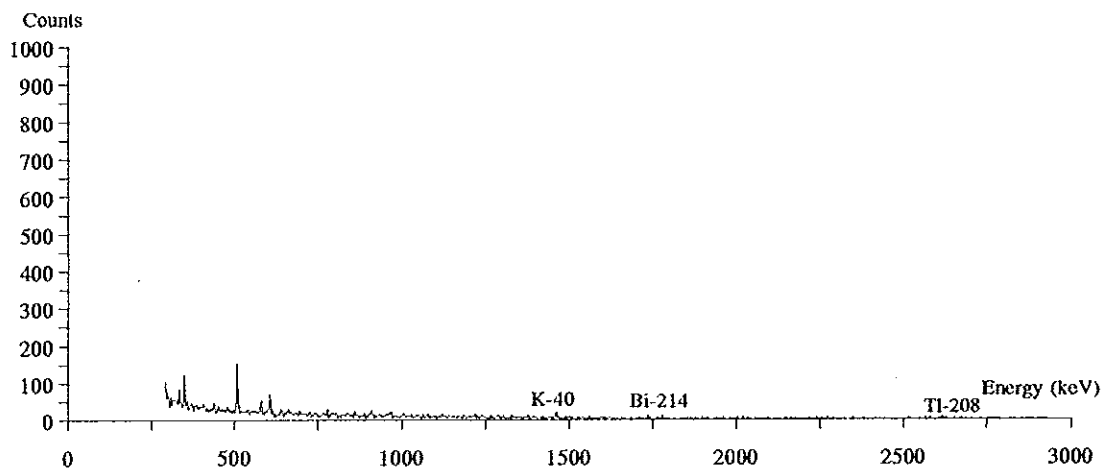
ภาพประกอบ 13 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L009.0)



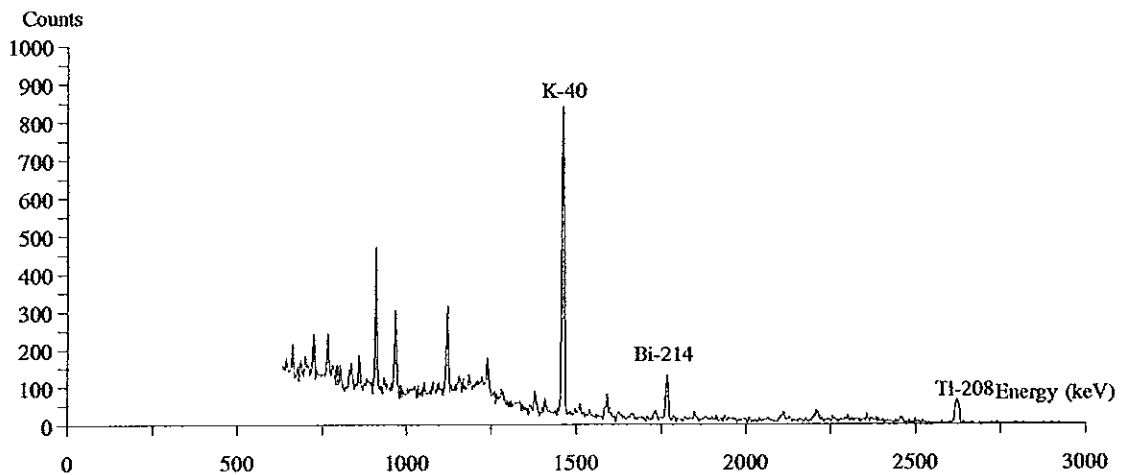
ภาพประกอบ 14 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L010.0)



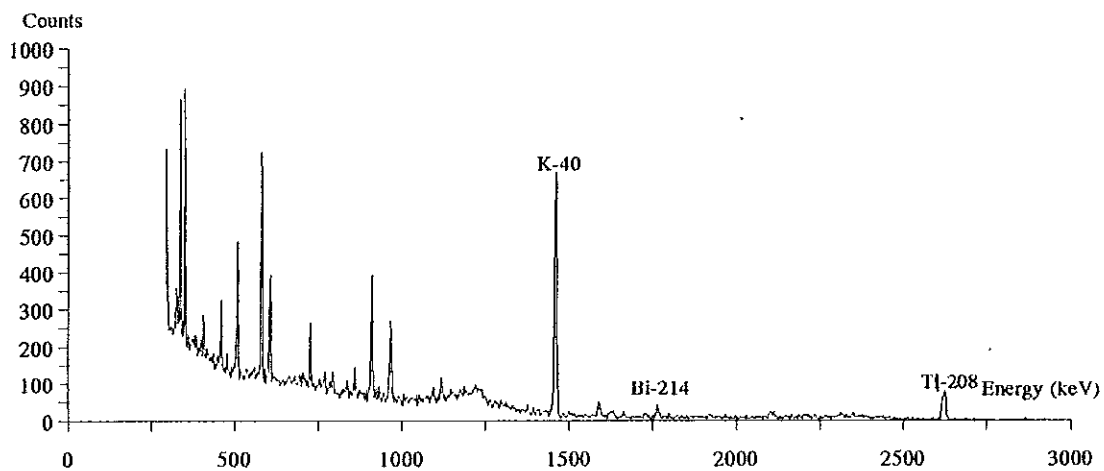
ภาพประกอบ 15 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L012.0)



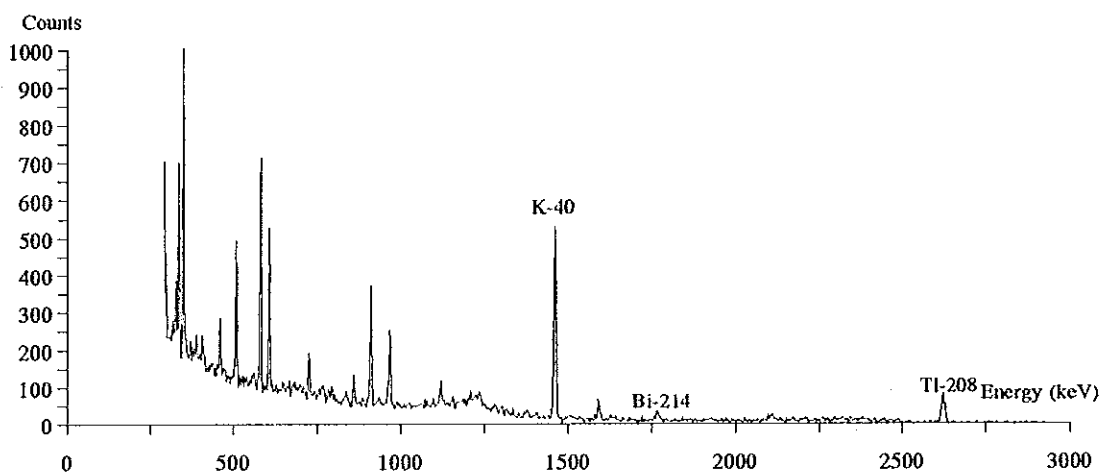
ภาพประกอบ 16 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L013.0)



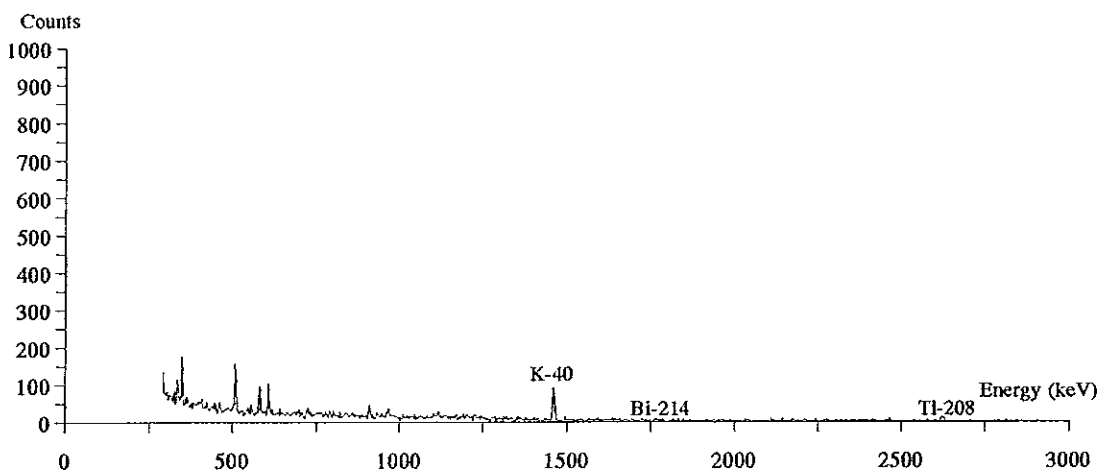
ภาพประกอบ 17 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L014.0)



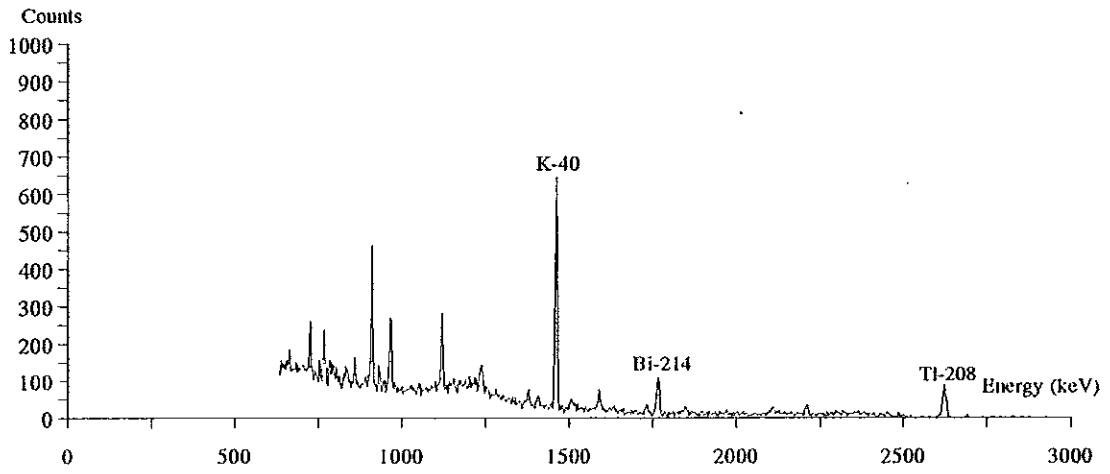
ภาพประกอบ 18 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L015.0)



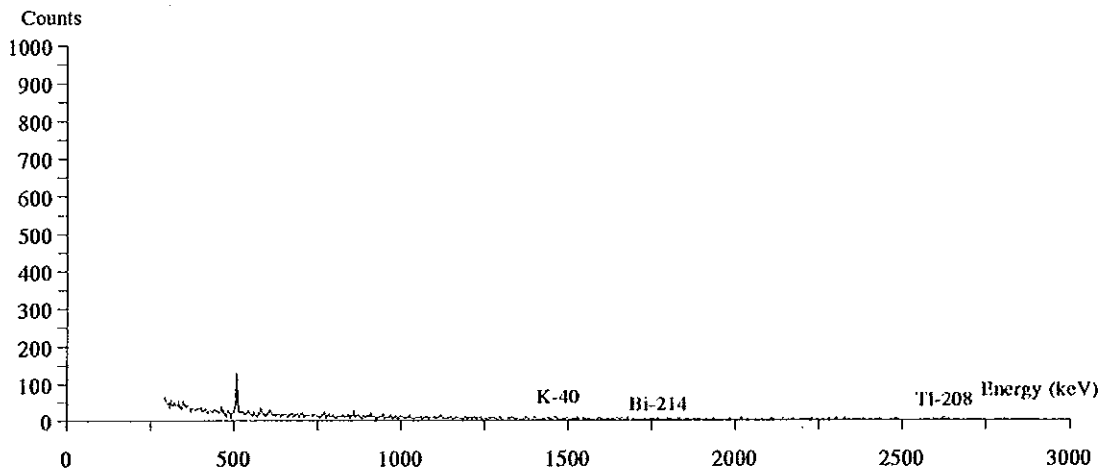
ภาพประกอบ 19 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L016.0)



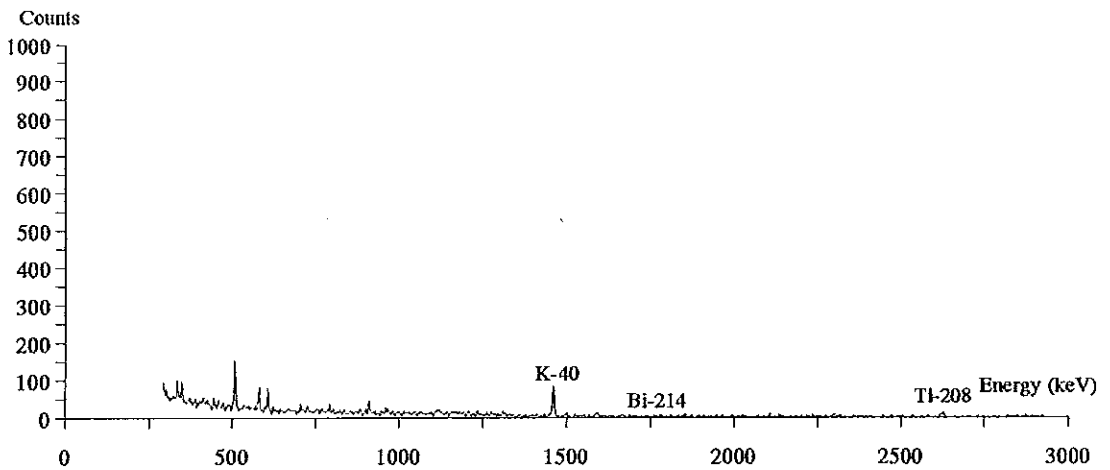
ภาพประกอบ 20 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (L017.0)



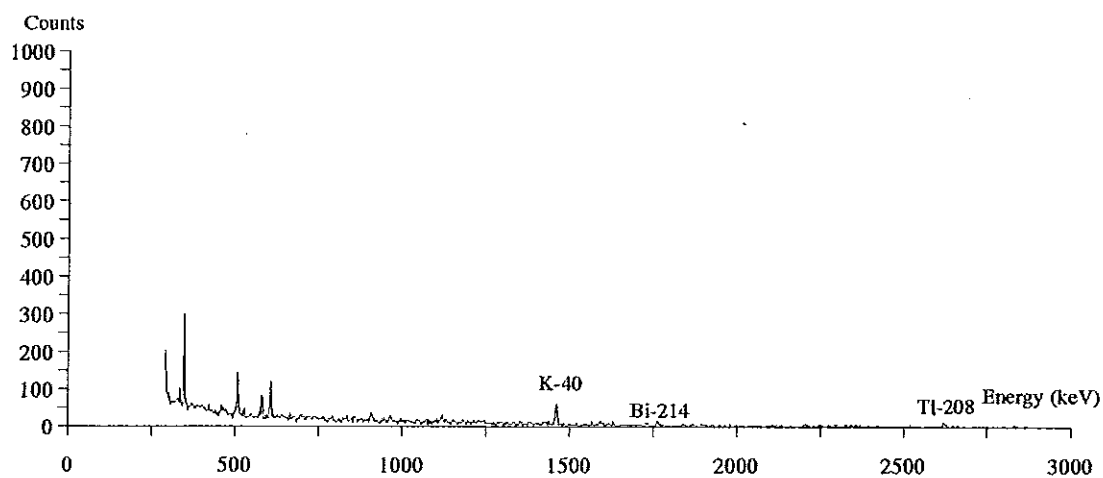
ภาพประกอบ 21 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G486.5)



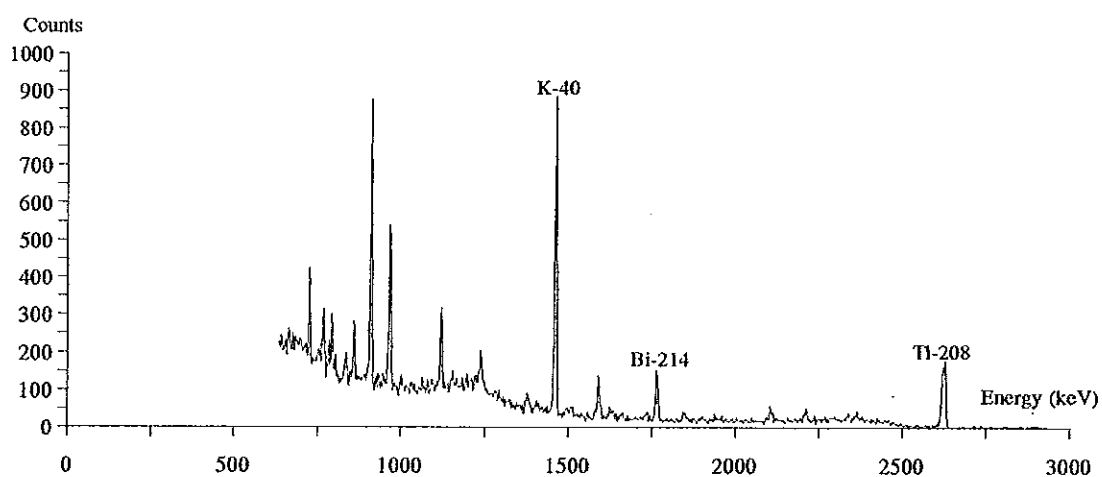
ภาพประกอบ 22 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G487.0)



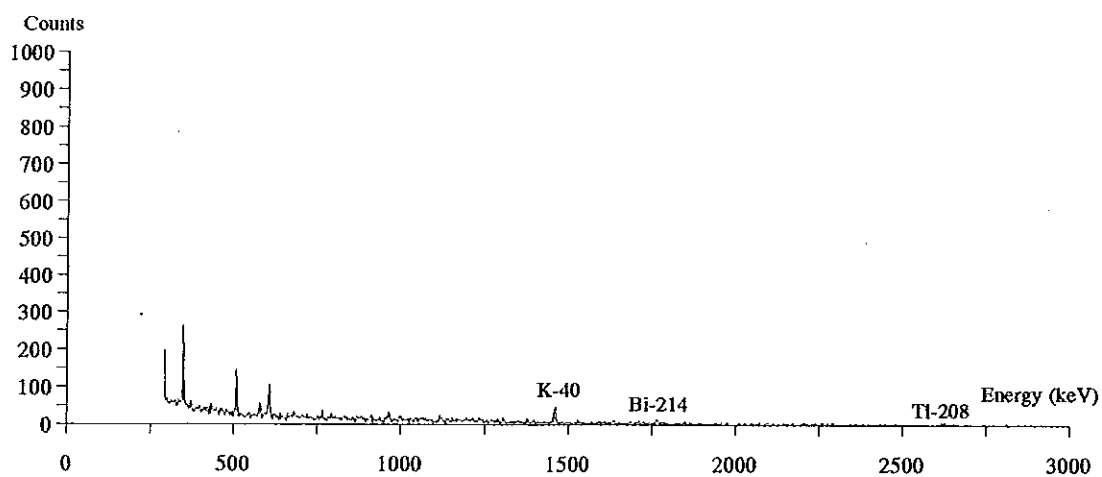
ภาพประกอบ 23 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G487.5)



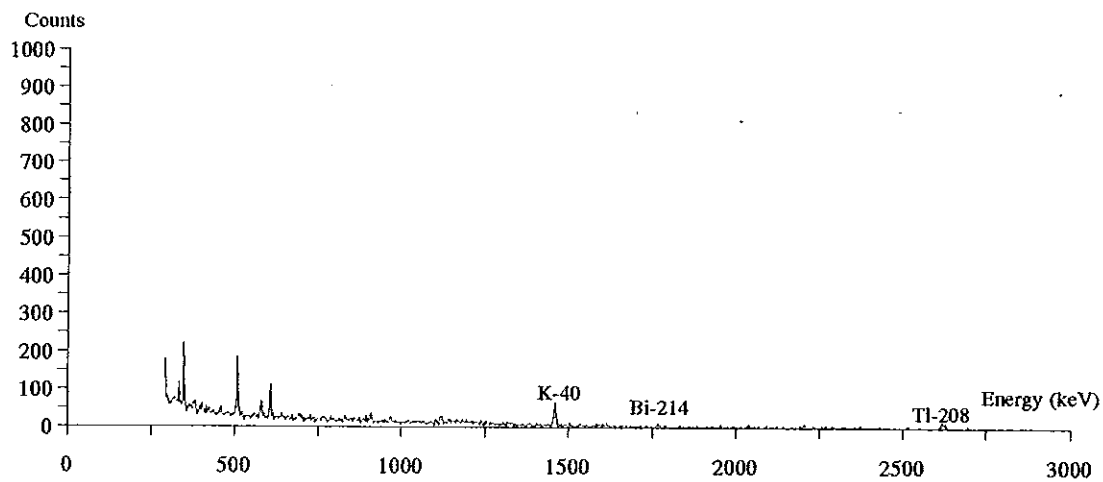
ภาพประกอบ 24 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G536.0)



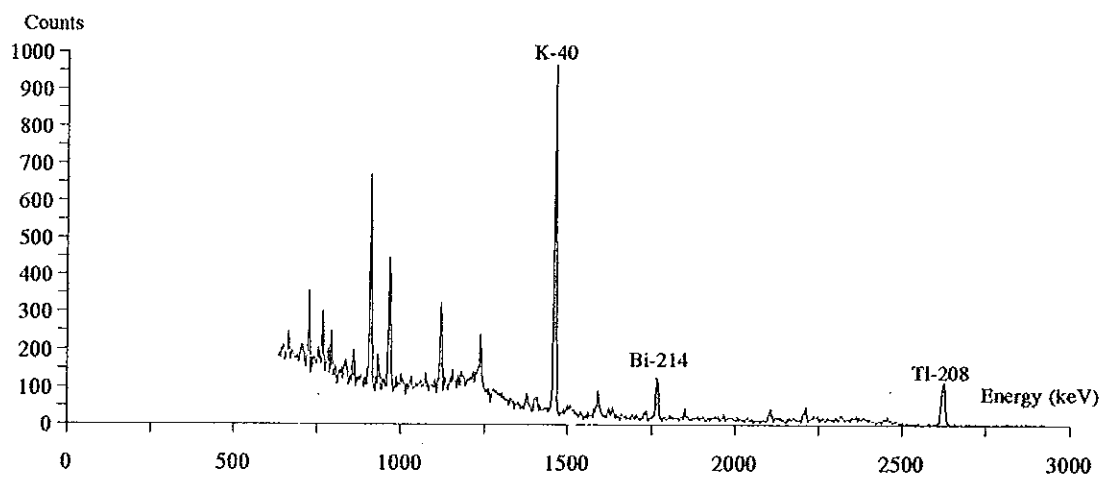
ภาพประกอบ 25 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G551.0)



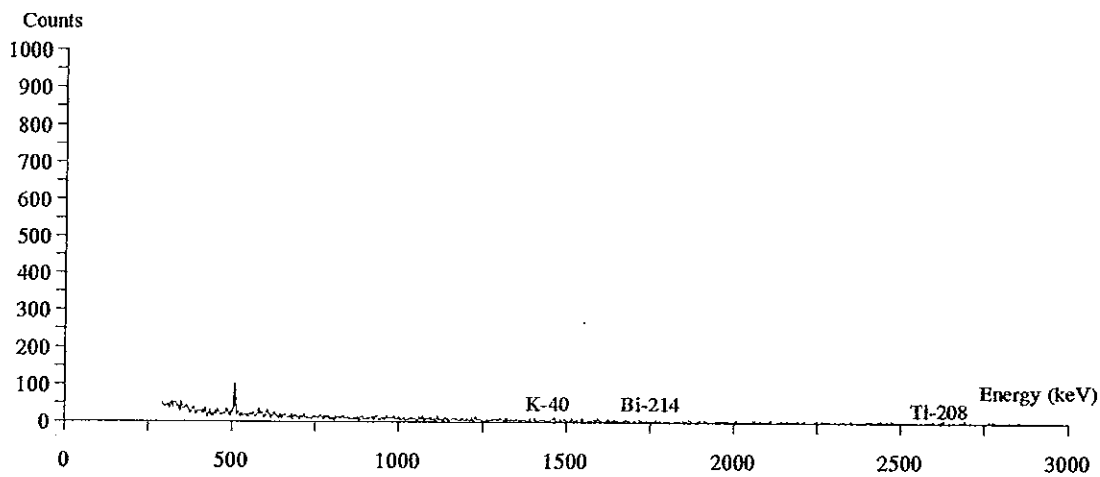
ภาพประกอบ 26 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G562.0)



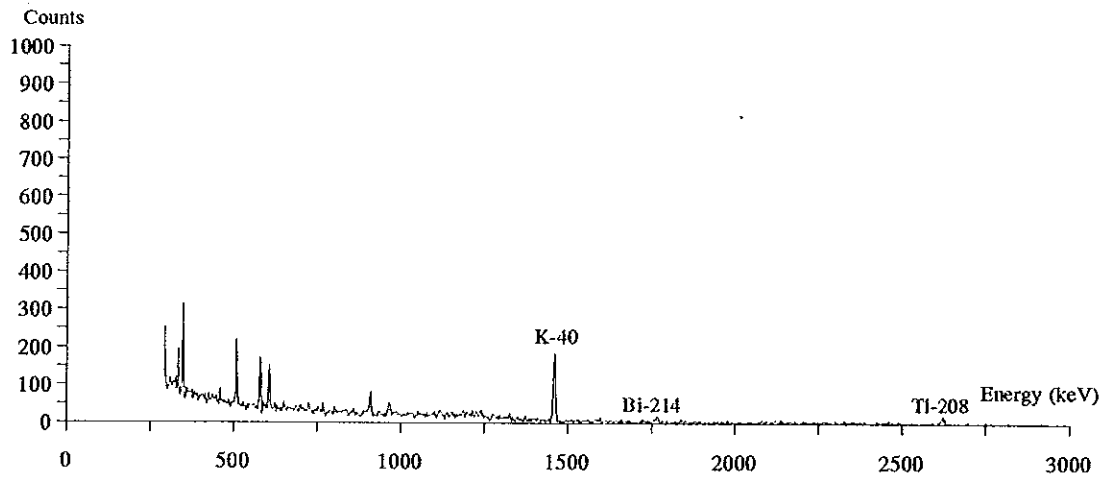
ภาพประกอบ 27 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G562.5)



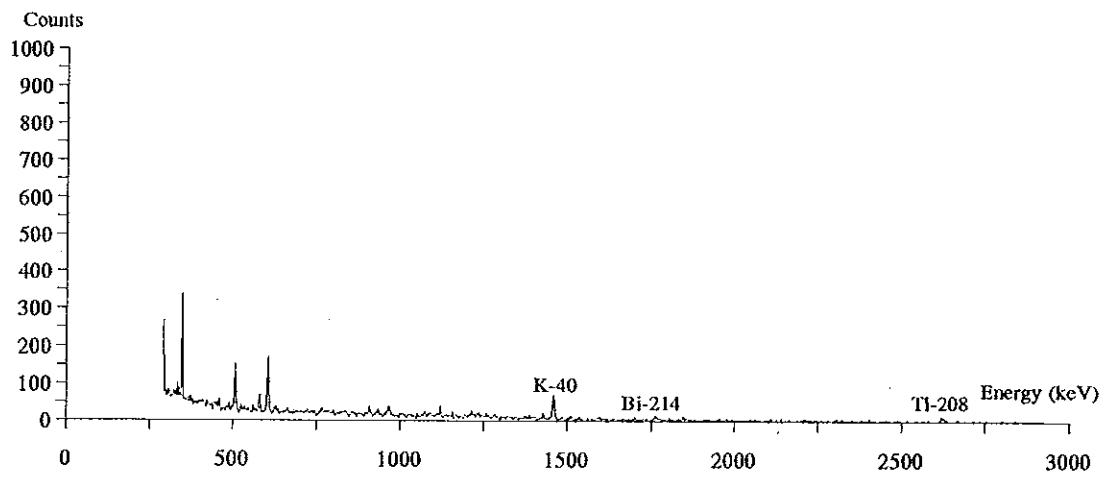
ภาพประกอบ 28 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G569.0)



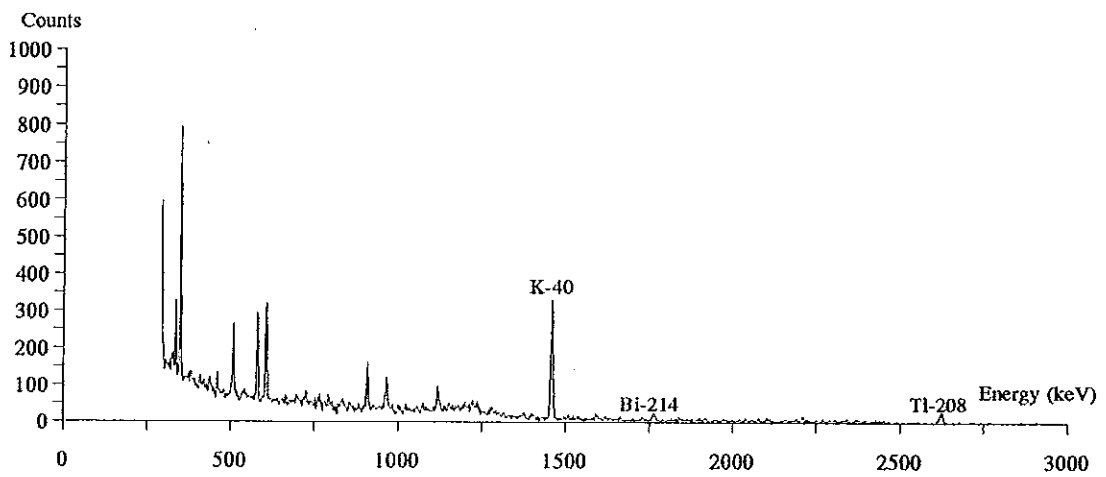
ภาพประกอบ 29 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G572.0)



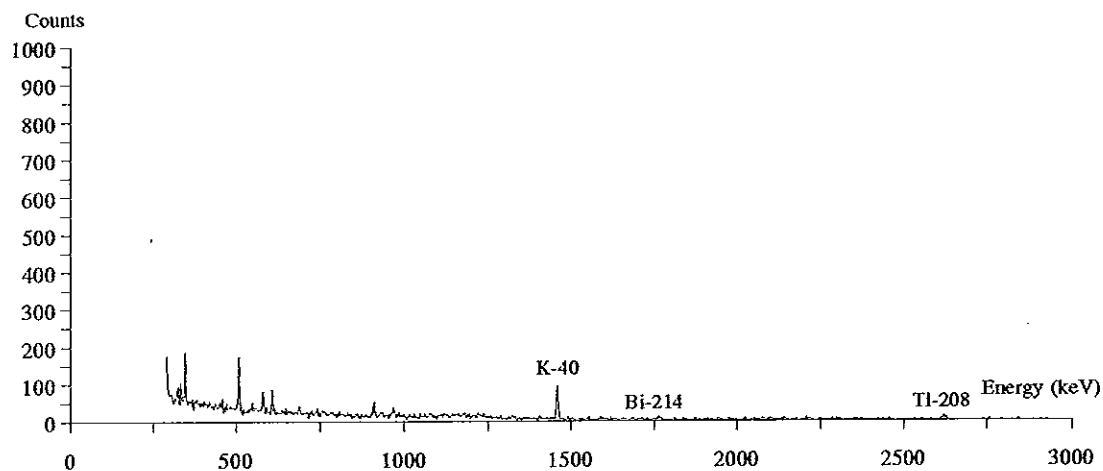
ภาพประกอบ 30 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G572.5)



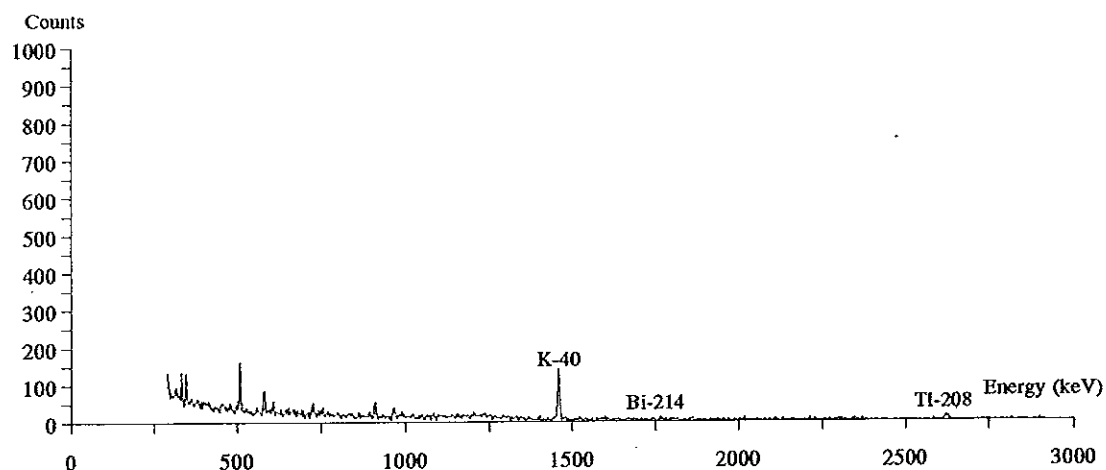
ภาพประกอบ 31 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G574.0)



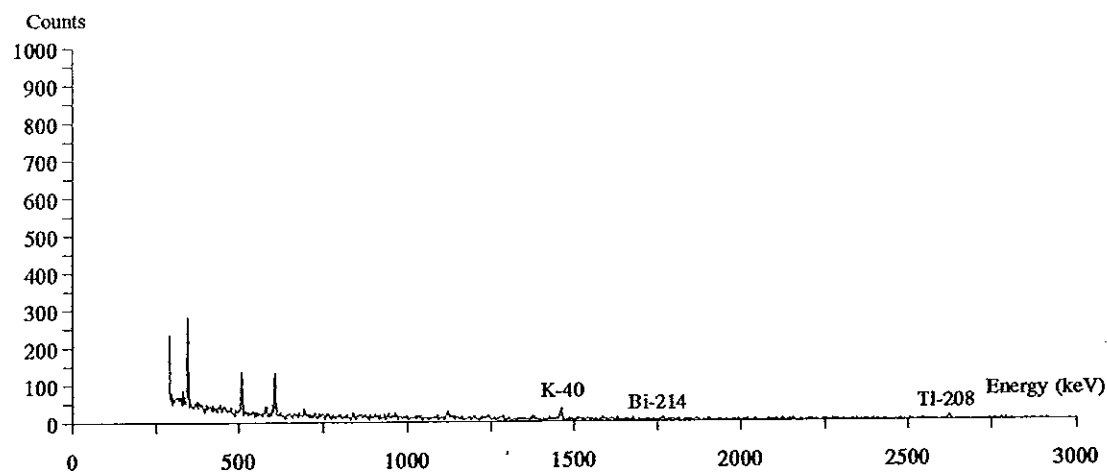
ภาพประกอบ 32 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G574.5)



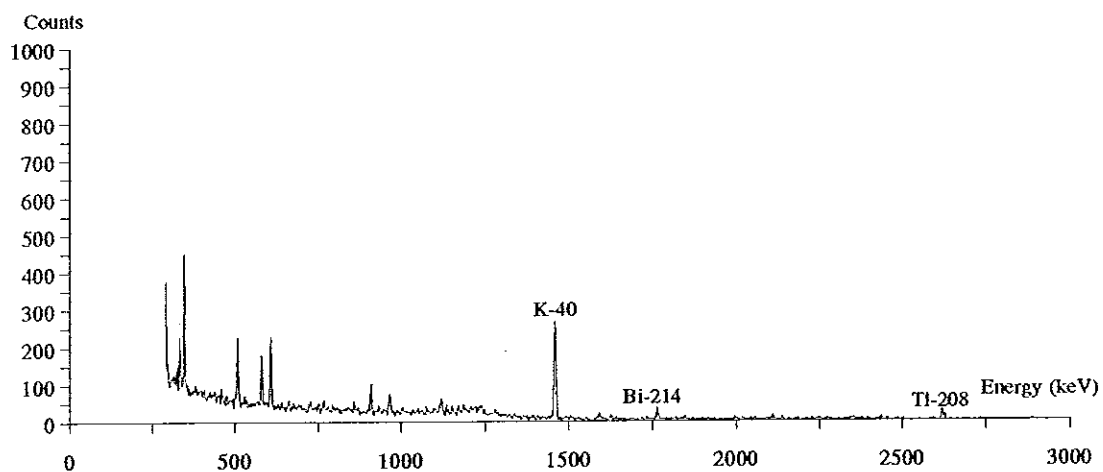
ภาพประกอบ 33 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G574.6)



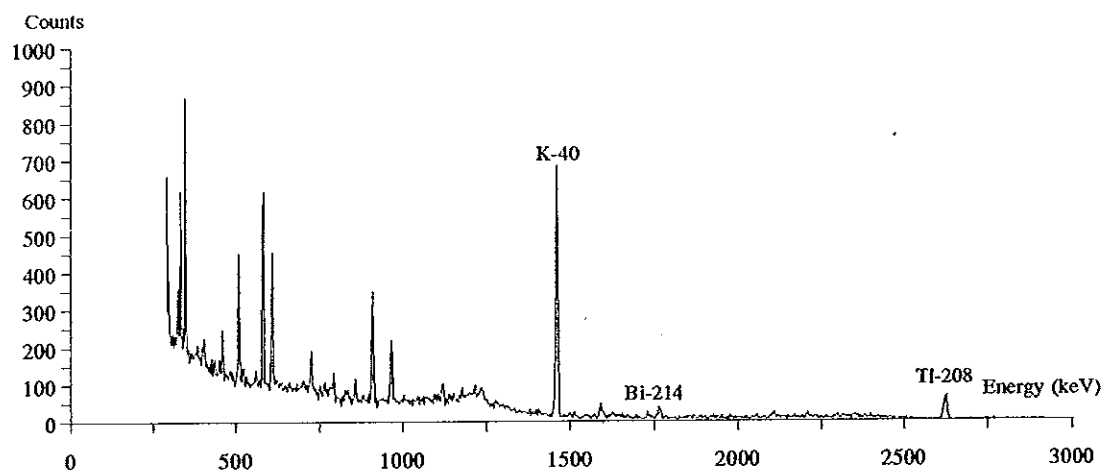
ภาพประกอบ 34 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G574.7)



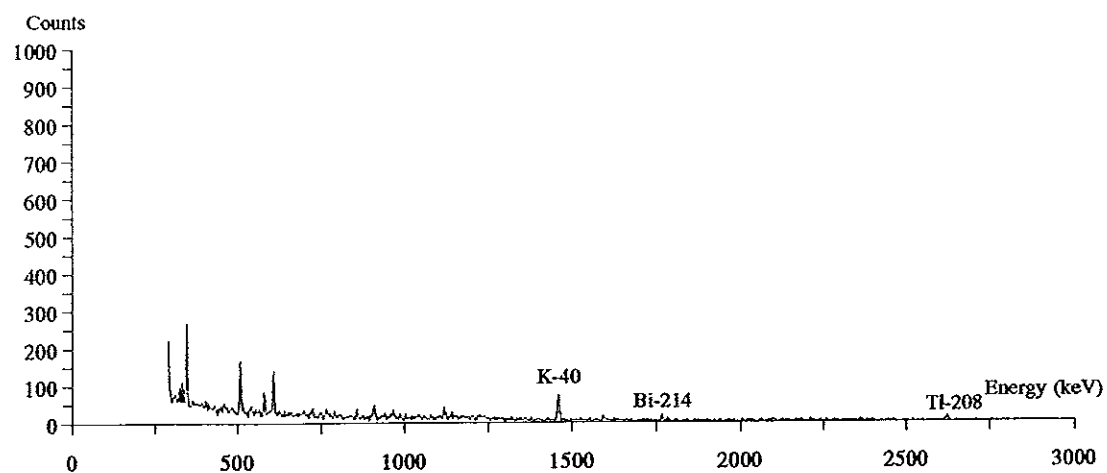
ภาพประกอบ 35 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G579.0)



ภาพประกอบ 36 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G582.5)



ภาพประกอบ 37 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G583.0)



ภาพประกอบ 38 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างหิน (G586.0)

ภาคผนวก ซ

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
0	1	-1950	5636	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
5	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					

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายสุวิทย์ เพชรห้วยลึก

วัน เดือน ปีเกิด 27 มกราคม พ.ศ. 2513

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต(ศึกษาศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2535