ค่าผิดปกติทางธรณีฟิสิกส์ของแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสนใน จังหวัดพัทลุง

Geophysical Anomalies of Khao Chaison Hotspring in Phatthalung Province

สุกฤษฎิ์ จรจะนะ

Sukrit Jonjana

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาธรณีฟิสิกส์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Geophysics
Prince of Songkla University
2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ค่าผิดปกติทางธรณีฟิสิกส์ของแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสนใน จังหวัดพัทลุง
ผู้เขียน นายสุกฤษฎิ์ จรจะนะ
สาขาวิชา ธรณีฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	**คณะกรรมการสอบ**
.....	..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวุฒิ โลหะวิจารณ์)	(ดร.กำแหง วัฒนเสน)
	..... กรรมการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวุฒิ โลหะวิจารณ์)
.....	..... กรรมการ
(Dr.Helmut Duerrast)	(Dr.Helmut Duerrast)
	..... กรรมการ
	(ดร.ภาสกร ปนานนท์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาธรณีฟิสิกส์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ ค่าผิดปกติทางธรณีฟิสิกส์ของแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน ในจังหวัดพัทลุง

ผู้เขียน นายสุกฤษฎิ์ จรจะนะ

สาขาวิชา ธรณีฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ได้ทำการวัดค่าสนามโน้มถ่วงและการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินในบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง ซึ่งอยู่ระหว่างพิกัด 805000-815000 N และ 609000-636000 E โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินซึ่งสัมพันธ์กับแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสนดังกล่าว

ผลการศึกษาได้ตรวจพบแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าสูงประมาณ 70 g.u.ที่วางตัวอยู่ในทิศ N010W ในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาซึ่งแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสนตั้งอยู่ซึ่งได้สร้างแบบจำลองเป็นการยกขึ้นมาในระดับตื้นของหินปูนยุคเพอร์เมียนที่มีความหนาประมาณ 1,000 เมตร และยังได้ตรวจพบแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าต่ำประมาณ -160 g.u.ทางด้านตะวันออกแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ที่มีค่าสูงนี้ซึ่งได้อธิบายด้วยแบบจำลองของหินตะกอนยุคครีเทเชียส-จูแรสซิกซึ่งมีความหนาประมาณ 800 เมตรที่ถูกปกคลุมด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่มีความหนาประมาณ 200 เมตร โดยความลึกถึงขอบบนของแบบจำลองหินปูนยุคเพอร์เมียนสอดคล้องความลึกถึงชั้นหินฐานที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงซึ่งกำหนดด้วยวิธีการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน นอกจากนี้ยังสังเกตุพบว่าแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสนตั้งอยู่ตรงแนวสัมผัสระหว่างบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำและบริเวณค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงบนแผนที่สภาพต้านทานไฟฟ้าที่ระดับความลึกต่างๆ

ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้แสดงว่าโครงสร้างแบบฮอร์สและกราเบนเป็นโครงสร้างธรณีวิทยาหลักของพื้นที่ศึกษา โดยโครงสร้างแบบฮอร์สเป็นบริเวณของหินปูนยุคเพอร์เมียนและโครงสร้างแบบกราเบนเป็นบริเวณของหินตะกอนยุคครีเทเชียส-จูแรสซิกที่ถูกปกคลุมด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารี โดยมีรอยเลื่อนปกติควบคุมโครงสร้างแบบฮอร์สและกราเบนนี้ เป็นที่คาดว่าน้ำร้อนของแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสนใช้แนวรอยเลื่อนเหล่านี้และรอยแตกในหินปูนเคลื่อนตัวจากระดับลึกขึ้นมาสู่ผิวดิน

Thesis Title	Geophysical Anomalies of Khao Chaison Hotspring in Phatthalung Province
Author	Mr. Sukrit Jonjana
Major Program	Geophysics
Academic Year	2008

Abstract

Gravity and vertical electrical sounding measurements were carried out in the Khao Chaison hotspring area of Khao Chaison District of Phattalung Province, an area between the UTM coordinates 805000-815000 N and 609000-636000 E. The objective of these measurements was to determine subsurface geological structures of the hotspring area.

A N010W trending strip of 70 g.u. residual Bouguer anomaly was observed in the central part of study area where the Khao Chaison hotspring situated. A shallow Permian limestone of about 1,000 m thickness was modeled to explain this high residual anomaly. In addition, Jurassic-Cretaceous rocks of 800 meters thickness underlain Quaternary sediments of 200 meters thickness were modeled to explain a strip of -160 g.u low residual Bouguer anomaly to the east of the high residual Bouguer anomaly. The upper depths to the modeled Permian rocks agree with that of resistive bedrocks determined from the vertical electrical sounding measurement. It is also observed that the Khao Chaison hotspring lies at the contact between high resistivity and low resistivity units in the depth-slice resistivity map.

Horst and graben structures are most likely to be the main geological structures of the present study area. The shallow modeled Permian limestone was interpreted as parts of the horst structure and the thick layers of modeled Jurassic-Cretaceous sandstone underlain Quaternary sediment were interpreted as parts of the graben structure. It is likely that faults, which bound the horst and graben structures in the study area and fractures in the Permian limestone act as pathways for the hot waters from a deeper heat source.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(7)
รายการภาพประกอบ	(8)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา	2
1.2 การตรวจสอบเอกสาร	8
1.3 วัตถุประสงค์	23
2. วิธีการวิจัย	24
2.1 วัสดุ	24
2.2 อุปกรณ์	25
2.3 วิธีดำเนินการวิจัย	28
3. ผลและอภิปรายผล	50
3.1 ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหิน	50
3.2 ผลการศึกษาค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติในพื้นที่ศึกษา	53
3.3 แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาใต้ผิวดินของพื้นที่ศึกษา	57
4. สรุปและวิจารณ์	80
บรรณานุกรม	82
ภาคผนวก	88
ภาคผนวก ก. ข้อมูลความถ่วงที่ได้จากการวัดในพื้นที่ศึกษา	
ภาคผนวก ข. ความหนาแน่นของหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา	
ภาคผนวก ค. พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลอง โครงสร้างทางธรณีวิทยา ในพื้นที่ศึกษาด้วยโปรแกรม GMM ในภาคตัดขวาง AA', BB', CC',DD', EE' และ FF'	
ภาคผนวก ง. ข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ได้จากการวัดในพื้นที่ศึกษา	
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์	104
ประวัติผู้เขียน	114

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	ข้อมูลธรณีเคมีจากแหล่งน้ำพุร้อน PL1 โดยส่วนประกอบทางเคมี และค่า TDS มีหน่วยเป็น mg/l	6
2.1	ตัวอย่างตารางปรับแก้ภูมิประเทศสำหรับโซน B ถึง E ของแผนภูมิแฮมเมอร์	32
2.2	พารามิเตอร์ต่างๆของโซน B ถึง E ในแผนภูมิแฮมเมอร์	33
2.3	ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลค่าสนามโน้มถ่วงและความสูง	33
2.4	ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน	36
2.5	ตัวอย่างการปรับแก้ค่าความสูง	39
2.6	พารามิเตอร์สำหรับเปลี่ยนค่าตัวนับเป็นค่าสนามโน้มถ่วงในหน่วย มิลลิแกล สำหรับแกรวิมิเตอร์ยี่ห้อ LaCoste & Romberg รุ่น G565	40
2.7	ตัวอย่างการปรับแก้อิทธิพลของดริฟท์และการคำนวณค่าสนามโน้มถ่วงสัมบูรณ์	42
2.8	พารามิเตอร์ของโซนต่างๆในแผนภูมิแฮมเมอร์	45
2.9	ตัวอย่างการปรับแก้ค่าปรับแก้ภูมิประเทศในโซน F ถึง I	46
2.10	ตัวอย่างการคำนวณค่าผิดปกติบูร์แกร์	47
3.1	ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวอย่างหินในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง	50
3.2	ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวอย่างหินในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ภาคใต้	52
3.3	แบบจำลองชั้นดินจากผลการแปลความกราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าของกลุ่มต่างๆ	71

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1.1	ตำแหน่งของพื้นที่ศึกษาวิจัย	3
1.2	ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาวิจัย	4
1.3	ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัยและบริเวณใกล้เคียง	7
1.4	ขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐานตามหลักฐานความแตกต่างทางธรณีวิทยาตามสมมติฐานของ Bunopas (1981), I = แผ่นเปลือกโลกอินโดจีน, SC = แผ่นเปลือกโลกจีนตอนใต้, ST = แผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย, K = แอ่งโคราช, CM = จังหวัดเชียงใหม่, WM = แหลมมลายูด้านตะวันตก, EM = แหลมมลายูด้านตะวันออก, B = แนวโอฟิโอไลต์เบนตง	10
1.5	ขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศตามแนวคิดด้าน Tectono-Stratigraphic zone	11
1.6	วิวัฒนาการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานตามธรณีกาลยุคต่างๆ ของแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทยและอินโดจีนด้านตะวันตก รวมทั้งแนวชั้นหินคดโค้งสุโขทัยและเลย	12
1.7	แผนที่ธรณีแปรสัณฐานอย่างง่ายของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และตำแหน่งของรอยเลื่อนมีพลัง การกระจายตัวของพลูตอน และหินภูเขาไฟมหายุคซีโนโซอิก และตำแหน่งน้ำพุร้อน	13
1.8	กลุ่มรอยเลื่อนที่สำคัญในประเทศไทย	14
1.9	การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกและรอยเลื่อน ที่ทำให้เกิดแอ่งสะสมตะกอนอายุเทอร์เชียรี ในอ่าวไทยและทะเลอันดามัน	15
1.10	ความลึกและอุณหภูมิของชั้นต่างๆ ภายในโลก	17
1.11	แบบจำลองของแหล่งน้ำพุร้อน	18
1.12	พุน้ำร้อนที่ได้รับพลังงานความร้อนจากหินหลอมเหลวภายในโลกโดยตรงและน้ำร้อนเคลื่อนที่ตามระนาบของรอยเลื่อนขึ้นสู่ผิวโลก	19
1.13	พุน้ำร้อนที่กำเนิดโดยน้ำบาดาลในชั้นหินที่มีความพรุนและความซึมผ่านได้สูงซึ่งปิดทับหินเนื้อผลึกที่ร้อนอยู่	19
1.14	อัตราการไหลความร้อนของความร้อนในประเทศไทย	22
2.1	เครื่องแกรวิมิเตอร์ แบบไม่เสถียรยี่ห้อ LaCoste & Romberg รุ่น G-565	25
2.2	เครื่องอ่านพิกัดทางภูมิศาสตร์ ยี่ห้อ Trimble Pathfinder Basic Plus	26

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
2.3	มาตรวัดระดับความสูงยี่ห้อ Americal Paulin System รุ่น MDM-5	26
2.4	เครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ABEM TERRAMETER รุ่น SAS 1000	27
2.5	ตำแหน่งจุดวัดค่าสนามโน้มถ่วงในพื้นที่ศึกษา	30
2.6	ตำแหน่งจุดเก็บหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง	31
2.7	ตัวอย่างวงรอบของการวัดค่าสนามโน้มถ่วงและความสูง	32
2.8	การจัดรูปขบวนขั้วไฟฟ้าแบบชลัมเบอร์เจร์	34
2.9	ตำแหน่งของจุดวัดการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน	35
2.10	(a) การปรับแก้ฟรีแอร์ของจุดวัดซึ่งอยู่สูง h เหนือระดับอ้างอิง (b) การปรับแก้บูร์แกร์ บริเวณที่แรเงาเป็นแผ่นมวลที่มีความหนา h ซึ่งมีความยาวเป็นอนันต์ในระนาบระดับ (c) การปรับแก้ภูมิประเทศ	43
2.11	ลักษณะของแผนภูมิแฮมเมอร์สำหรับการประเมินความสูงของภูมิประเทศรอบจุดวัด	45
2.12	ตัวอย่างกราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏที่ได้จากการวัดและที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม RESIST version 1.0	49
3.1	ตำแหน่งของจุดเก็บหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง	51
3.2	(a) ตำแหน่งจุดวัดค่าสนามโน้มถ่วงในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่โดยรอบ ✚ แทนจุดวัดของผู้วิจัย ◆ แทนจุดวัดของ สุวิทย์ เพชรห้วยลึก (2539) (b) แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ในหน่วย g.u.	54
3.3	(a) ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ในแนวต่างๆของพื้นที่ศึกษา (b) ค่าสนามโน้มถ่วงเชิงภูมิภาคในแนวต่างๆของพื้นที่ศึกษา	55
3.4	(a) แผนที่คอนทัวร์ค่าสนามโน้มถ่วงเชิงภูมิภาคของพื้นที่ศึกษา (b) แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของพื้นที่ศึกษา	56
3.5	โครงสร้างธรณีวิทยาแบบฮอร์สและกราเบนซึ่งพาดผ่านพื้นที่ศึกษา	58
3.6	(a) แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยา (b) ตำแหน่งของแนวภาพตัดซ้อนทับบนแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้าง	59
3.7	(a) ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของแนว AA' (b) แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว AA'	60

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3.8	(a) ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของแนว BB' (b) แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว BB’	61
3.9	(a) ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของแนว CC' (b) แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยา ในแนว CC’	62
3.10	(a) ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของแนว DD' (b) แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว DD’	63
3.11	(a) ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของแนว EE' (b) แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว EE’	64
3.12	(a) ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของแนว FF' (b) แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว FF’	65
3.13	(a) ตำแหน่งจุดวัดการหยั่งลึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าบนแผนที่ธรณีวิทยา (b) ตำแหน่งจุดวัดการหยั่งลึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าบนแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้าง	67
3.14	กราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของจุดวัดในกลุ่มตะวันตก; (a) P05, (b) P20, (c) P21,(d) P13, (e) P14, (f) P07, (g) P25, (h) P08, (i) P09, (j) P26, (k) P31, (l) P34, (m) P35	68
3.15	กราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของจุดวัดในกลุ่มตอนกลาง; (a) P33, (b) P28, (c) P02, (d) P29, (e) P24, (f) P10, (g) P01, (h) P22, (i) P23, (j) P04, (k) P03, (l) P15, (m) P32, (n) P11	69
3.16	กราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของจุดวัดในกลุ่มตะวันออก; (a) P16, (b) P36, (c) P06, (d) P27, (e) P19, (f) P18, (g) P19_1, (h) P12, (i) P30, (j) P37	70
3.17	การเปรียบเทียบผลการหยั่งลึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดวัด P24 กับข้อมูลตัวอย่างหินจากหลุมเจาะน้ำบาดาล MX-82	73
3.18	ระดับความลึกถึงดินชั้นล่างสุดของแต่ละจุดวัดในพื้นที่ศึกษา	74
3.19	แผนที่คอนทัวร์ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินที่ระดับความลึกต่างๆ (a.1) 25 เมตร, (a.2) 50 เมตร, (a.3) 75 เมตร, (a.4) 100 เมตร, (a.5) 125 เมตร, (a.6) 150 เมตร, และ (b) แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์	75

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3.20	แบบจำลองสภาพต้านทานไฟฟ้าและแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาพื้นที่ศึกษาในแนว AA', CC', DD' และ EE'	78
3.21	ภาคตัดของแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาในแนว W-E	79
4.1	แบบจำลองของแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน	81

บทที่ 1

บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการพัฒนาด้านเทคโนโลยี การพัฒนาด้านเกษตรกรรม และการพัฒนาด้านอุตสาหกรรม โดยสถานการณ์การใช้พลังงานในประเทศไทยปี 2549 แบ่งเป็น ภาคอุตสาหกรรม 38.2% ภาคขนส่ง 36% ภาคบ้านที่อยู่อาศัยและธุรกิจการค้า 20.5% และภาคเกษตร 5.3% (ประเสริฐ สินสุขประเสริฐ, 2550) ซึ่งการใช้พลังงานของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีโดยน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้กันมากที่สุด แต่น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานสิ้นเปลืองที่ใช้แล้วหมดไป ดังนั้นการพัฒนาพลังงานทดแทนอื่นๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม เซลล์เชื้อเพลิง และพลังงานความร้อนใต้พิภพ จะส่งผลให้การพัฒนาด้านเทคโนโลยี การพัฒนาด้านเกษตรกรรม และการพัฒนาด้านอุตสาหกรรม มีความต่อเนื่องไปในอนาคต นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ต้องซื้อจากต่างประเทศได้อีกด้วย

ความร้อนใต้พิภพ เป็นความร้อนที่ถูกกักเก็บไว้ภายใต้ผิวโลก เช่น บริเวณที่มีหินหนืดสะสมตัวในระดับตื้น บริเวณที่อยู่ใกล้กับภูเขาไฟ หรือเป็นบริเวณที่มีการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกทำให้มีการถ่ายเทความร้อนจำนวนมหาศาลขึ้นสู่ผิวโลก แหล่งความร้อนใต้พิภพสามารถพัฒนาเป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่เด่นชัด เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยที่แหล่งกักเก็บที่มีอุณหภูมิสูงมากๆ ในกรณีที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 180 องศา และความดันมากกว่า 10 บรรยากาศ เราสามารถแยกไอน้ำร้อนซึ่งปะปนอยู่กับน้ำร้อนไปหมุนกังหันผลิตไฟฟ้าได้โดยตรง นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาแหล่งความร้อนใต้พิภพเป็นแหล่งท่องเที่ยวได้อีกทางหนึ่งด้วย

แหล่งความร้อนใต้พิภพในประเทศไทยมีมากกว่า 90 แหล่งกระจายอยู่ทั้งในภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ของประเทศไทย สำหรับในภาคใต้ของประเทศไทยมีแหล่งความร้อนใต้พิภพมากกว่า 30 แหล่งกระจายอยู่ในจังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พังงา กระบี่ พัทลุง ตรัง สตูล และยะลา ซึ่งธรณีแปรสัณฐานที่ทำให้เกิดการก่อตัวขึ้นของทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีบทบาทที่สำคัญต่อการเกิดการไหลถ่ายความร้อนและการเกิดแผ่นดินไหวในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยแหล่งน้ำพุร้อนในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีความสัมพันธ์กับรอยเลื่อนมีพลัง พลูตอน และภูเขาไฟในมหายุคซีโนโซอิก (Charusiri et al., 2000)

จังหวัดพัทลุงมีแหล่งความร้อนใต้พิภพหลายแหล่ง อาทิเช่น แหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน บ้านเขาชัยสน อำเภอเขาชัยสน ซึ่งมีอุณหภูมิที่ผิวดินเท่ากับ 57 องศาเซลเซียส แหล่งน้ำพุร้อนบ้านโล๊ะจังกระ บ้านโล๊ะจังกระ อำเภอตะโหมด ซึ่งมีอุณหภูมิที่ผิวดินเท่ากับ 46 องศา

เซลเซียส แหล่งน้ำพุร้อนบ้านนาทุ่งโพธิ์ บ้านนาทุ่งโพธิ์ อำเภอกงหรา ซึ่งมีอุณหภูมิที่ผิวดินเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส แหล่งน้ำพุร้อนบ้านระหว่างควน บ้านระหว่างควน อำเภอควนขนุน ซึ่งมีอุณหภูมิที่ผิวดินเท่ากับ 42 องศาเซลเซียส (กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, 2544) โดยแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน ปัจจุบันได้รับการพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของจังหวัดพัทลุง

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้วิธีธรณีฟิสิกส์สำหรับการกำหนดลักษณะโครงสร้างธรณีวิทยาในระดับลึกซึ่งสัมพันธ์กับแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสนในจังหวัดพัทลุง และวิธีการด้านธรณีฟิสิกส์ที่ประยุกต์ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยวิธีวัดค่าสนามโน้มถ่วง วิธีการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า โดยคาดว่าโครงสร้างทางธรณีวิทยาของแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสนที่กำหนดได้จากการศึกษาวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญต่อการวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำพุร้อนของจังหวัดพัทลุงต่อไป

1.1 ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา

จังหวัดพัทลุงตั้งอยู่ในภาคใต้ของประเทศไทย บริเวณชายฝั่งตะวันออกของแหลมมลายู หรือฝั่งตะวันตกของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยตั้งอยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครประมาณ 840 กิโลเมตร ตามทางหลวงหมายเลข 41

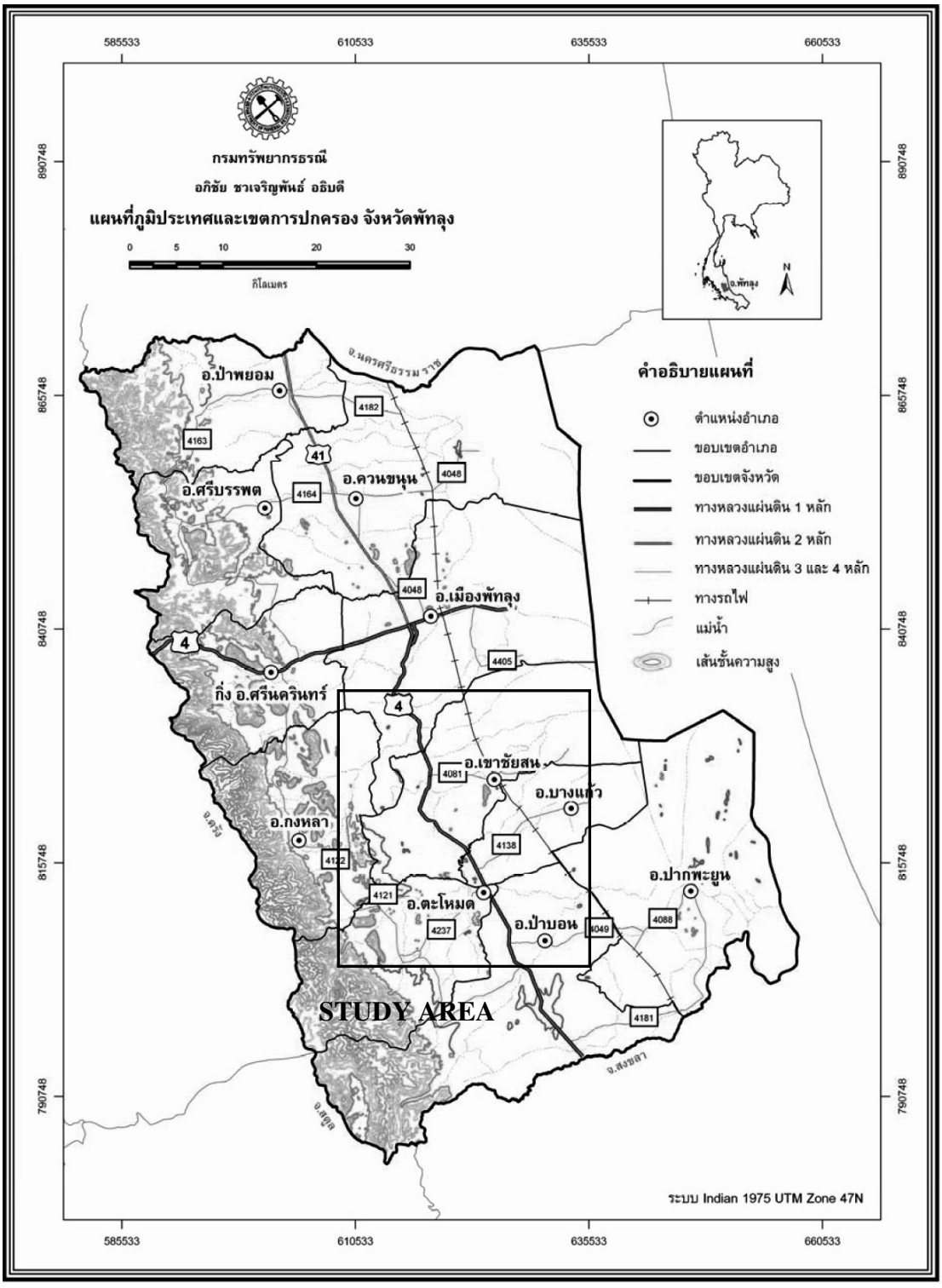
พื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นพื้นที่แหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน บ้านเขาชัยสน อำเภอเขาชัยสน ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง และมีเนื้อที่ประมาณ 270 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมเขตอำเภอเขาชัยสน อำเภอบางแก้ว อำเภอตะโหมด และอำเภอกงหรา หรือระหว่างพิกัด 805000-815000 N และ 609000-636000 E (WGS-84) ดังภาพประกอบ 1.1

1.1.1 ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา

ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยเนินเขาหินโคลนในบริเวณด้านตะวันตกถึงทางใต้ของพื้นที่ ทางด้านตะวันออกของเนินเขาหินโคลนเป็นที่ราบสลับเนินเขาหินทรายเตี้ยๆกระจายตัวตั้งแต่ด้านเหนือลงมาถึงด้านใต้ของพื้นที่ และในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษามีเขาหินปูนซึ่งมีลักษณะเป็นภูเขาโดดตั้งอยู่ในบริเวณที่ราบลุ่ม โดยเขาหินปูนดังกล่าวซึ่งเรียกว่าเขาชัยสน วางตัวอยู่แนวเหนือ-ใต้ มีความกว้างประมาณ 500-700 เมตร และมีความสูงประมาณ 100-300เมตร ซึ่งแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน (PL01) ตั้งอยู่ในบริเวณเขาชัยสนนี้ ส่วนพื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นเขาหินแกรนิตและเขาหินปูน สำหรับพื้นที่ส่วนใหญ่ทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษาเป็นที่ราบลุ่มและที่ราบชายฝั่งทะเลสาบสงขลา ดังภาพประกอบ 1.2

ภาพประกอบ 1.1 ตำแหน่งของพื้นที่ศึกษาวิจัย

ดัดแปลงจาก www.1uptravel.com/worldmaps/thailand2.html,
(วันที่สืบค้น 29 กันยายน 2551)



ภาพประกอบ 1.2 ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาวิจัย
(ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

1.1.2 ธรณีวิทยาโดยทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

ธรณีวิทยาโดยทั่วไปของพื้นที่ศึกษา (ภาพประกอบ 1.3) ประกอบไปด้วยหินปูนยุคออร์โดวิเชียน หินโคลนยุคไซลูเรียน-ดิโวเนียน หินทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัส หินปูนยุคเพอร์เมียน จนถึงตะกอนยุคควาเทอร์นารี โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

หินยุคออร์โดวิเชียน (อายุประมาณ 505-438 ล้านปี) จัดอยู่ในกลุ่มหินทุ่งสง ประกอบด้วยหินปูนสีเทา ผลึกละเอียดถึงหยาบ ชั้นบางถึงไม่แสดงชั้น มีเนื้อดินชั้นบางๆแทรก พบซากดึกดำบรรพ์จำพวกแกสโตรพอดและแบรคิโอพอด กลุ่มหินทุ่งสงกระจายตัวอยู่ทางตะวันตกของพื้นที่ศึกษาตั้งแต่อำเภอศรีบรรพตลงมาจนถึงอำเภอกงหราโดยปรากฏเป็นเทือกเขาสูง กลุ่มหินทุ่งสงสามารถจำแนกออกเป็น 2 หมวดหินย่อยคือหมวดหินย่อยแลตองซึ่งประกอบด้วยหินดินดานและหินทรายแป้งแทรกสลับด้วยหินปูน หินดินดานและหินทรายแป้งมีสีเทาแกมเขียว สีน้ำตาล มีลักษณะเป็นชั้นบาง หินปูนมีสีเทาแสดงลักษณะเป็นเลนส์ พบซากดึกดำบรรพ์จำพวกหอยกาบคู่ และหมวดหินย่อยรังนกซึ่งประกอบด้วยหินปูนเนื้อปนดิน สีเทาดำ มีลักษณะเป็นชั้นบางถึงชั้นหนามาก พบซากดึกดำบรรพ์จำพวกแซฟาโลพอด ชนิดนอติลอยด์

หินยุคไซลูเรียน-ดิโวเนียน (อายุประมาณ 438-360 ล้านปี) จัดอยู่ในหมวดหินป่าเสม็ด ประกอบด้วยหินดินดานและหินโคลน มีสีดำ พบซากดึกดำบรรพ์จำพวกหอยกาบคู่ แบรคิโอพอด แกรบโตไลต์ ไทรโลไบต์ และไครนอยด์ หินยุคไซลูเรียน-ดิโวเนียนนี้กระจายตัวทางด้านตะวันตกของอำเภอศรีบรรพตและด้านเหนือของอำเภอกงหรา

หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส (อายุประมาณ 360-286 ล้านปี) จัดอยู่ในหมวดหินควนกลาง ประกอบด้วยหินโคลน หินโคลนเนื้อซิลิกา หินดินดาน หินเชิร์ต และหินทราย มีสีเทาแสดงลักษณะเป็นชั้นบางถึงหนา พบซากดึกดำบรรพ์จำพวกหอยกาบคู่ ไทรโลไบต์ และไครนอยด์ ส่วนใหญ่พบกระจายตัวอยู่ทางด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา

หินยุคเพอร์เมียน (อายุประมาณ 286-245 ล้านปี) จัดอยู่ในกลุ่มหินราชบุรี ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นเขาโดด ประกอบด้วย หินปูน หินปูนเนื้อโดโลไมต์ มีสีเทาขาว แสดงลักษณะเป็นชั้นดี ชั้นหนาถึงหนามาก พบซากดึกดำบรรพ์จำพวกปะการังและแกสโตรพอด หินยุคเพอร์เมียนนี้ปรากฏเป็นเขาโดดลูกเล็กๆ ที่มีความสูงไม่เกิน 300 เมตร ในเขตอำเภอเขาชัยสน

ตะกอนร่วนยุคควอเทอร์นารี (อายุประมาณ 1.8 ล้านปี ถึงปัจจุบัน) หมายถึง กรวด ทราย ดิน และดินเหนียว ที่ยังไม่แข็งตัวกลายเป็นหิน กระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณกว้าง เช่น พื้นที่ตอนกลางและทางด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา บริเวณด้านตะวันตกของขอบที่ราบซึ่งติดต่อกับแนวเทือกเขาทางด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษาเป็นพวกตะกอนเศษหินเชิงเขา บริเวณตอนกลางเป็นที่ราบตะกอนน้ำพา โดยเศษหินประกอบไปด้วยหินควอร์ตไซต์ หินทราย หินทรายแป้ง หินแกรนิต ทราย ทรายแป้ง ดินลูกรัง และศิลาแลง สำหรับตะกอนน้ำพาประกอบด้วย กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว

หินอัคนีแทรกซอนชนิดหินแกรนิต ยุคไทรแอสซิก (อายุประมาณ 245-210 ล้านปี) ประกอบด้วยหินไบโอไทต์-มัสโคไวต์แกรนิต เนื้อปานกลางถึงหยาบ เนื้อสม่ำเสมอ และเนื้อดอก พบอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา วางตัวทอดยาวในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

1.1.3 ธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา

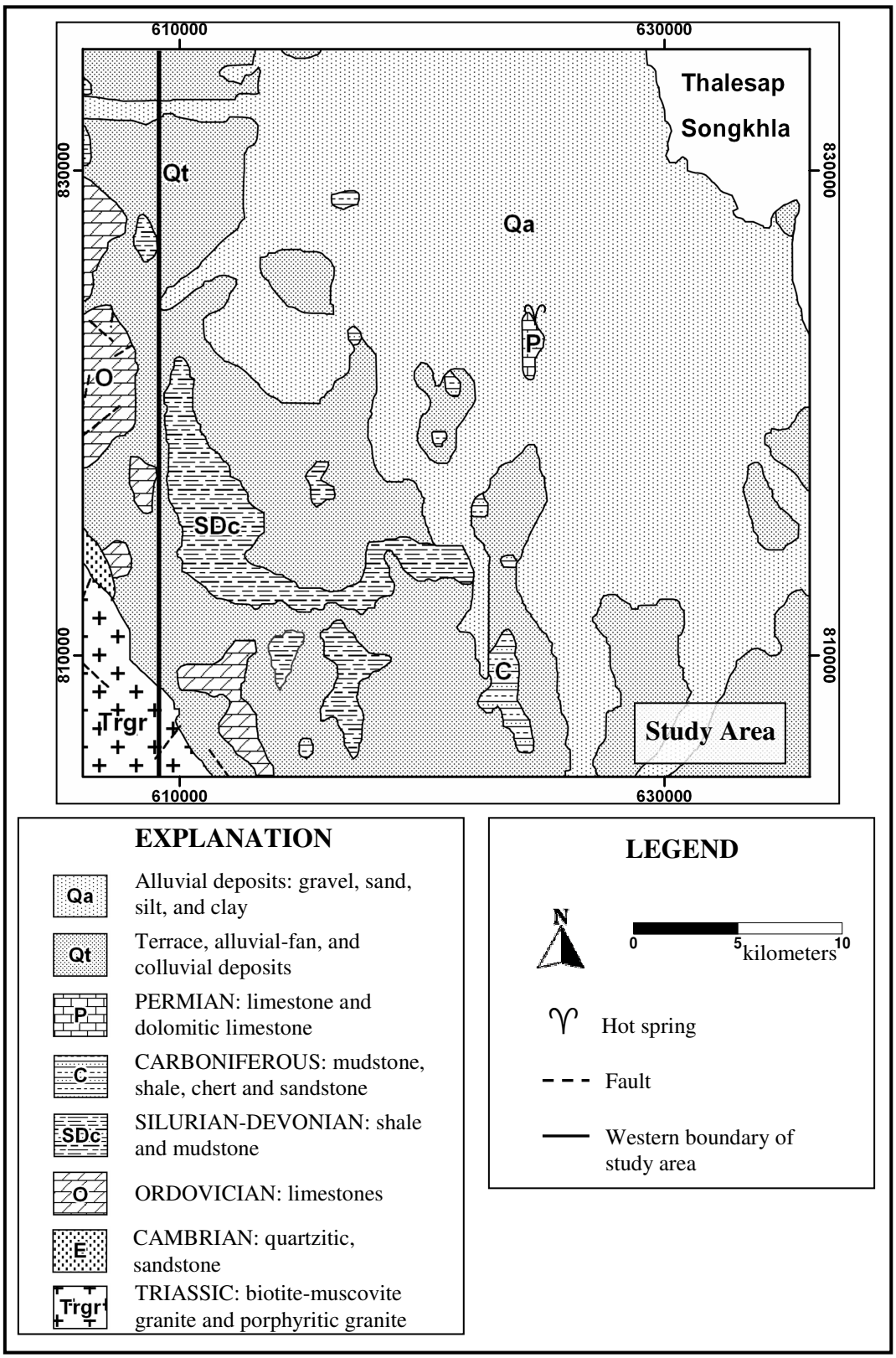
ธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษาดังปรากฏในแผนที่ธรณีวิทยา (ภาพประกอบ 1.3) ประกอบด้วยรอยเลื่อนและรอยแตกมากมายในหินยุคออร์โดวิเชียน หินยุคไซลูเรียน-ดิโวเนียน และหินแกรนิตยุคไทรแอสซิกที่อยู่บริเวณเทือกเขาทางด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา รอยเลื่อนและรอยแตกส่วนใหญ่อยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

1.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำร้อนในพื้นที่ศึกษา

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำร้อนจากแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน บ้านเขาชัยสน อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง แสดงไว้ในตาราง 1.1 โดยแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสนจัดอยู่ในประเภทแหล่งน้ำพุร้อนอุณหภูมิปานกลาง (57° C) มีความเป็นด่างอย่างอ่อนๆ และมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด หรือค่า TDS อยู่ในเกณฑ์ต่ำ และพบว่า Cl , Ca , และMg มีค่าอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำจึงคาดว่าแหล่งน้ำดิบของระบบน้ำพุร้อนในพื้นที่ศึกษาเป็นน้ำจืด

ตาราง 1.1 ข้อมูลธรณีเคมีจากแหล่งน้ำพุร้อน PL1 โดยส่วนประกอบทางเคมี และค่า TDS มีหน่วยเป็น mg/l

แหล่งน้ำพุร้อน	Surface Temp $(^\circ C)$	pH	TDS	Ca	Mg	Cl
PL1	57	7.27	233.00	46.60	8.74	8.3



ภาพประกอบ 1.3 ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาวิจัยและบริเวณใกล้เคียง (ดัดแปลงจาก www.dmr.go.th/pdf/South/พัทลุง.pdf, วันที่สืบค้น 29 กันยายน 2551).

1.2 การตรวจสอบเอกสาร

1.2.1 การศึกษาวิวัฒนาการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทย

ประเทศไทยนั้นประกอบไปด้วยแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีปหลักจำนวน 2 แผ่น ได้แก่ แผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย และแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน โดยแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย ครอบคลุมภาคเหนือ ภาคตะวันตก ภาคใต้ของประเทศไทยและอ่าวไทย มีลักษณะเป็นเปลือกโลกภาคพื้นทวีปที่ซับซ้อนที่ต่อเนื่องมาจากยูนนานในประเทศจีนผ่านรัฐชานในประเทศพม่าลงไปถึงยังแหลมมลายูด้านตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศมาเลเซีย สำหรับแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนครอบคลุมบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย มีลักษณะเป็นเปลือกโลกภาคพื้นทวีปต่อเนื่องมาจากประเทศเวียดนาม ลงมาถึงประเทศลาว กัมพูชา บางส่วนของประเทศมาเลเซีย และอินโดนีเซีย รอยตะเข็บโบราณหรือรอยต่อธรณีเป็นรอยที่แผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีปทั้งสองมาเชื่อมต่อกัน พบอยู่บริเวณตอนกลางของประเทศไทย ตั้งแต่จังหวัดน่านผ่านลงมาทางจังหวัดอุตรดิตถ์ ชัยภูมิ นครราชสีมา และสระแก้ว เข้าสู่อ่าวไทย นอกจากนี้ยังพบว่ามีหินบางชนิดที่บ่งชี้ว่าเคยเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกโลกใต้พื้นสมุทร และร่องรอยแนวภูเขาไฟใกล้ทวีป(Bunopas, 1976, 1981, 1992, 1994)

Bunopas (1981) ได้แบ่งขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทยออกเป็น 3 เขตด้วยกัน ได้แก่ ขอบเขตธรณีด้านตะวันตก ขอบเขตธรณีตอนกลาง และขอบเขตธรณีด้านตะวันออก ขอบเขตธรณีด้านตะวันตกและตะวันออกประกอบด้วยชิ้นส่วนของแผ่นเปลือกโลกมหายุคพรีแคมเบรียนที่มีชื่อเรียกว่าแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย (Bunopas and Vella, 1978) และแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนตามลำดับ ขอบเขตธรณีตอนกลางหรือกลุ่มแนวชั้นหินคดโค้งตอนกลาง ยังแบ่งออกเป็นสามแนวที่ขนานกันคือ (1) กลุ่มแนวชั้นหินคดโค้งสุโขทัยทางด้านตะวันตก (2) กลุ่มแนวชั้นหินคดโค้งเลยทางด้านตะวันออก และ (3) รอยต่อธรณีน่านที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างกลาง (Bunopas and Vella, 1978) ขอบเขตของธรณีวิทยาแปรสัณฐานเหล่านี้ถูกตัดผ่านด้วยรอยเลื่อนตามแนวระดับที่มีการเคลื่อนตัวไปทางซ้าย ดังแสดงภาพประกอบ 1.4

Barr and Macdonald (1991) ได้ศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของ tectono-stratigraphic zone ของประเทศไทยและได้แบ่งขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทยออกเป็น 4 แนวใหญ่ๆ ดังแสดงในภาพประกอบ 1.5 ซึ่งบางส่วนแตกต่างออกไปจากขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐานของ Bunopas (1981) และในปัจจุบันนักธรณีวิทยาหลายท่านเช่น Ueno (1999) และ Chonglakmani (1999) ก็มีแนวคิดในการแบ่งขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทยดังกล่าวเช่นกัน ซึ่งตามแนวคิดของ Barr and Macdonald (1991) ขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทยแบ่งออกได้เป็น 4 แนว ได้แก่ (1) แนวตะวันตกของประเทศไทย มีแนวเกือบขนานกับชายแดนไทย-พม่าจากภาคเหนือจนถึงภาคใต้ ซึ่งถูกแปล

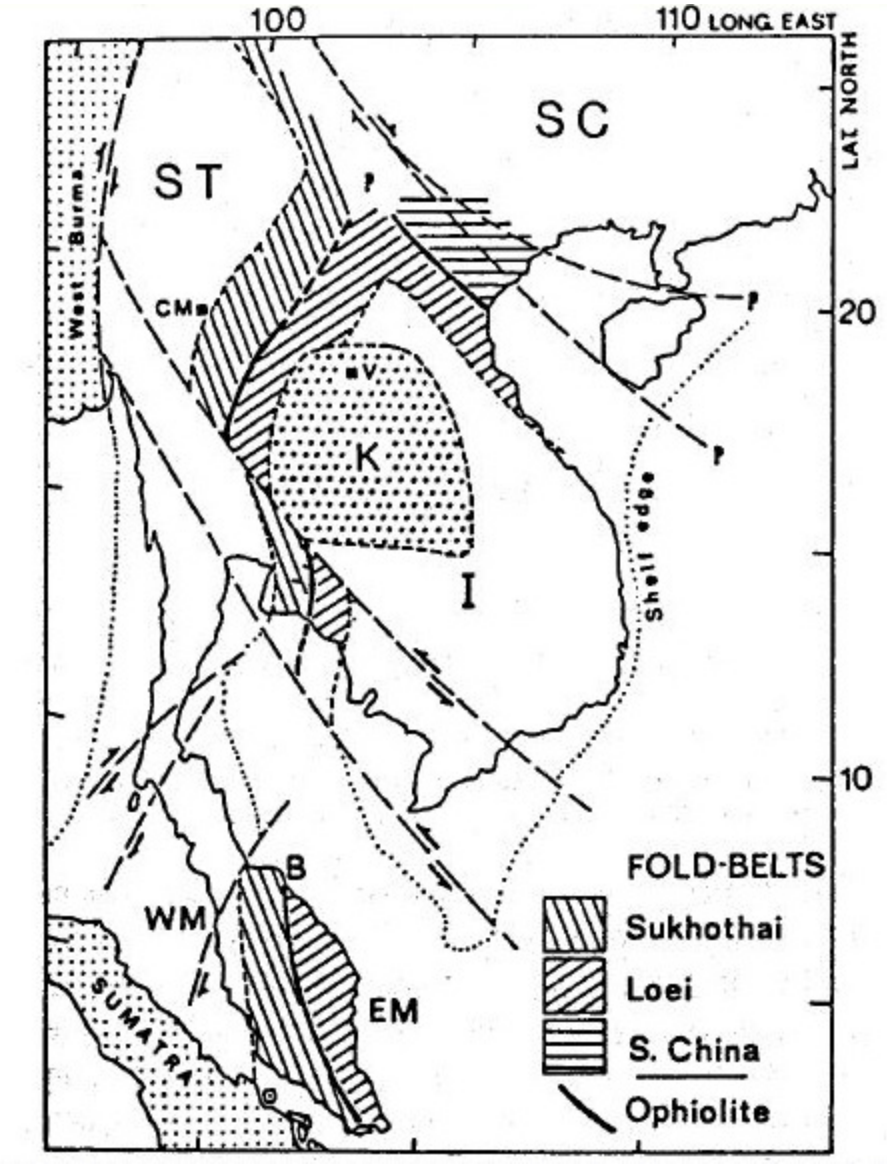
ความหมายว่าเป็นส่วนหนึ่งของ foreland thrust belt ในยุคมีโซโซอิกตอนต้น ที่มีทิศทางของการคดโค้งไปทางด้านตะวันตกและวางตัวอยู่บนแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทยซึ่งอยู่ทางด้านตะวันออก โดยมีแนวรอยเลื่อนตามแนวระดับ 2 แนวสำคัญตัดผ่าน ชั้นหินต่างๆจะมีทิศทางการคดโค้งเอียงไปทางตะวันตกและมักพบรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำตัดผ่านด้วย รวมทั้งการถูกแทรกดันโดยหินแกรนิต (2) แนวอินทนนท์ ซึ่งลักษณะเด่นของแนวอินทนนท์ประกอบด้วยหินฐานเป็นหินแปร และหินอัคนีระดับลึก (3) แนวสุโขทัยที่อยู่ระหว่างแนวอินทนนท์กับรอยต่อธรณีน่าน-อุตรดิตถ์-สระแก้ว ลักษณะเด่นของแนวสุโขทัยนี้เป็นการคดโค้งของชั้นหินและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำของกลุ่มหินอายุพาลีโอโซอิก และหินภูเขาไฟถูกแทรกดันด้วยหินแกรนิตชนิด I-type และ (4) แนวเพชรบูรณ์ที่อยู่ทางตะวันออกของรอยต่อธรณีน่าน-อุตรดิตถ์-สระแก้ว จัดเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนด้านตะวันตก

วิวัฒนาการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทยสามารถอธิบายได้จากผลการศึกษาด้านธรณีวิทยาของ Bunopas (1981) ดังนี้ แผ่นเปลือกโลกชาน-ไทยและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนซึ่งประกอบขึ้นเป็นพื้นที่ประเทศไทยเคลื่อนที่เข้าหากันและชนกันในบริเวณตอนกลางของประเทศไทยในปัจจุบันในยุคเพอร์เมียนตอนปลายและการชนกันสิ้นสุดลงในยุคไทรแอสซิกตอนปลาย ต่อมาในยุคครีเทเชียสแผ่นเปลือกโลกพม่าด้านตะวันตกได้เคลื่อนมาชนกับด้านตะวันตกของแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย และในยุคพาลีโอซีนแผ่นเปลือกโลกอินเดียซึ่งเคลื่อนที่เข้ามาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ได้เข้าชนกับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียส่งผลให้ชั้นหินในประเทศไทยถูกแรงบีบอัดเกิดแนวเทือกเขาคดโค้งเป็นรูป “S” ในพื้นที่ทางภาคเหนือ และเกิดการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เช่น รอยเลื่อนแม่ปิง รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และรอยเลื่อนในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เช่น รอยเลื่อนระนอง รวมถึงการเกิดหินภูเขาไฟทางด้านตะวันตกของประเทศไทยและบริเวณรอบๆขอบที่ราบสูงโคราช ดังแสดงในภาพประกอบ 1.6

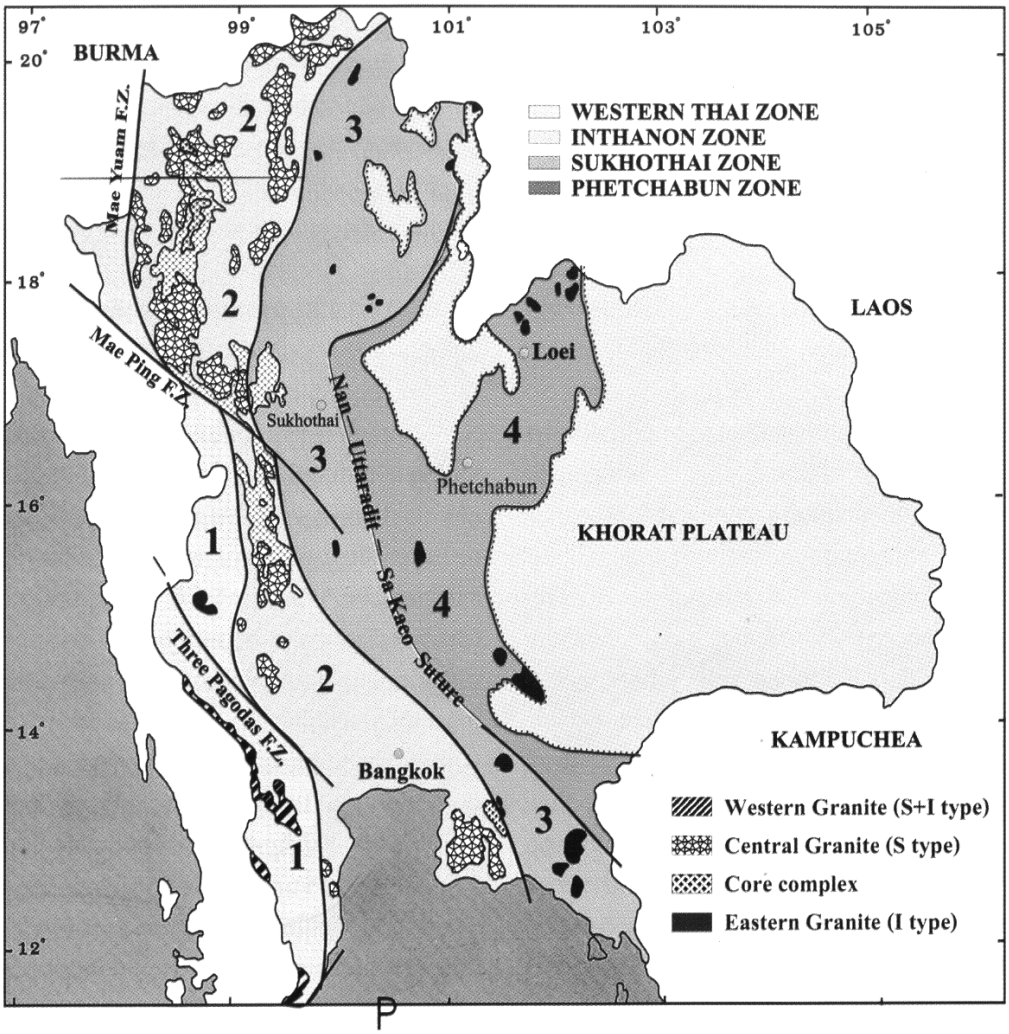
ธรณีแปรสัณฐานแบบดึงตัวและการเลื่อนตัวตามแนวระดับซึ่งเกิดขึ้นภายหลังการชนกันของทวีปอินเดียกับทวีปเอเชีย และธรณีแปรสัณฐานที่ทำให้เกิดการก่อตัวขึ้นของทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีบทบาทที่สำคัญต่อการเกิดการไหลถ่ายความร้อนและการเกิดแผ่นดินไหวในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยแหล่งน้ำพุร้อนในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้สัมพันธ์กับรอยเลื่อนมีพลัง การกระจายตัวของพลูตอน ภูเขาไฟในมหายุคซีโนโซอิก (Charusiri et al., 2000) ดังแสดงในภาพประกอบ 1.7

ประเทศไทยมีรอยเลื่อนใหญ่ๆ หลายแนว และรอยเลื่อนที่สำคัญเกือบทั้งหมดเป็นรอยเลื่อนตามแนวระดับ (ภาพประกอบ 1.8) รอยเลื่อนที่สำคัญในประเทศไทยสามารถจัดเป็นกลุ่มตามทิศทางการวางตัวและการเคลื่อนที่ได้ 3 กลุ่มคือ (1) กลุ่มรอยเลื่อนที่วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยกลุ่มรอยเลื่อนเหล่านี้มีทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางซ้ายในมหายุคมีโซซิอิก แต่มีทิศการเคลื่อนที่ไปทางขวาในยุคเทอร์เชียรี (2) กลุ่มรอยเลื่อนที่วางตัวอยู่

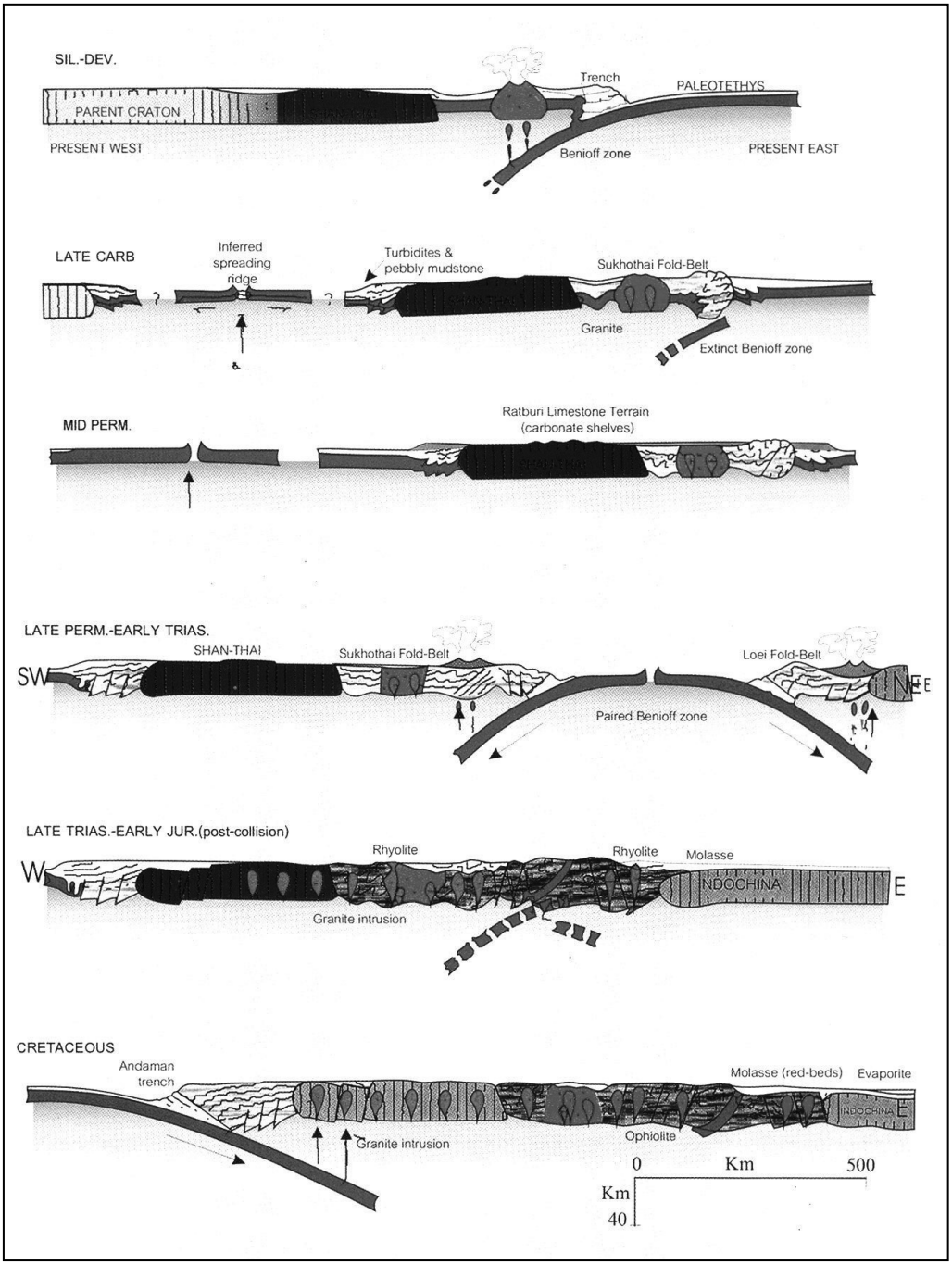
ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ลักษณะที่ปรากฏของกลุ่มรอยเลื่อนนี้เป็นกลุ่มรอยเลื่อนตามแนวระดับที่มีการเคลื่อนตัวไปทางขวา และ (3) กลุ่มรอยเลื่อนแบบปกติซึ่งวางตัวอยู่ในแนวเกือบเหนือ-ใต้



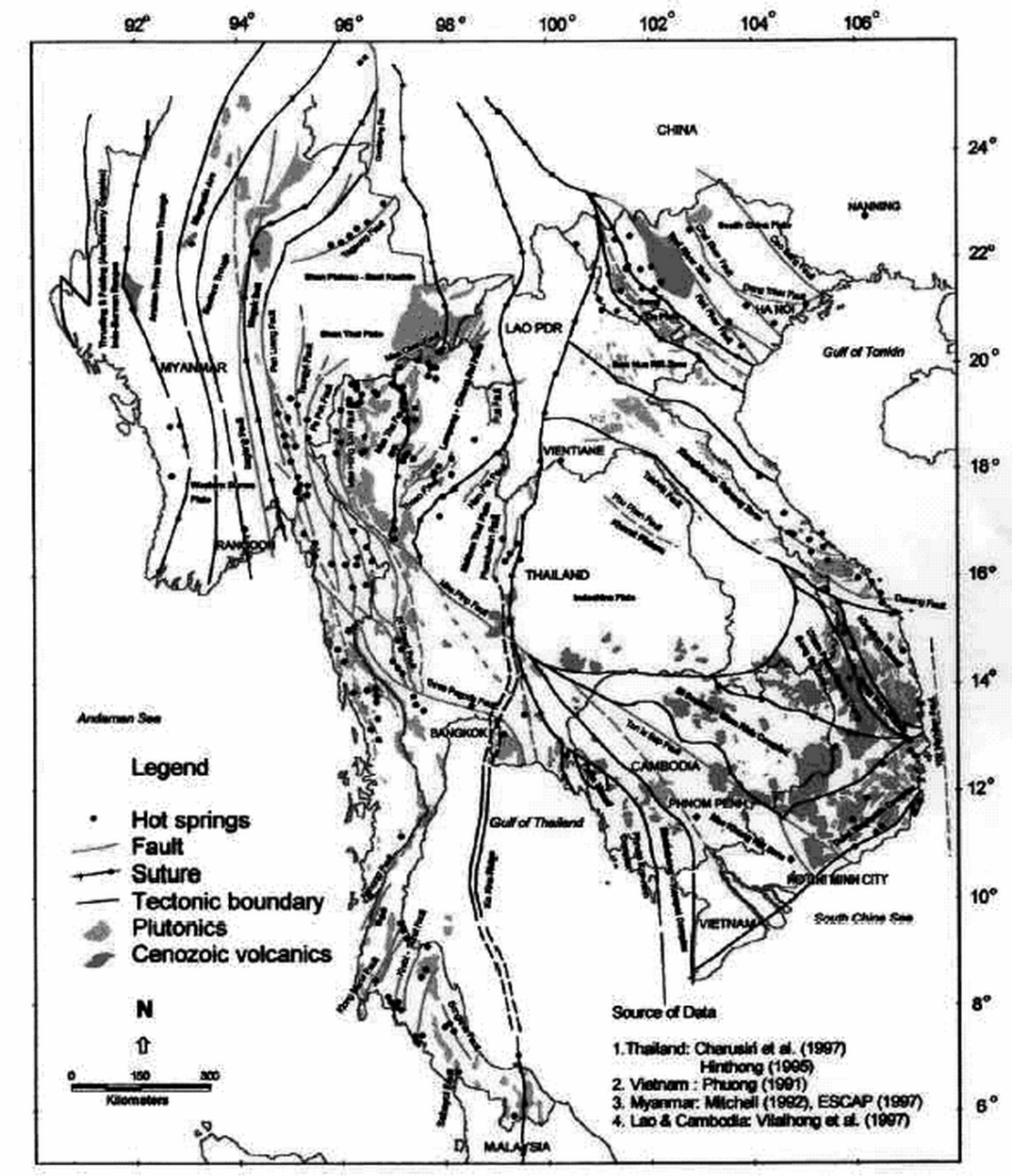
ภาพประกอบ 1.4 ขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐานตามหลักฐานความแตกต่างทางธรณีวิทยาตามสมมติฐานของ Bunopas (1981), I = แผ่นเปลือกโลกอินโดจีน, SC = แผ่นเปลือกโลกจีนตอนใต้, ST = แผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย, K = แอ่งโคราช CM = จังหวัดเชียงใหม่, WM = แหลมมลายูด้านตะวันตก, EM = แหลมมลายูด้านตะวันออก, B = แนวโอฟิโอไลต์เบนตง
(ดัดแปลงจาก Bunopas, 1981)



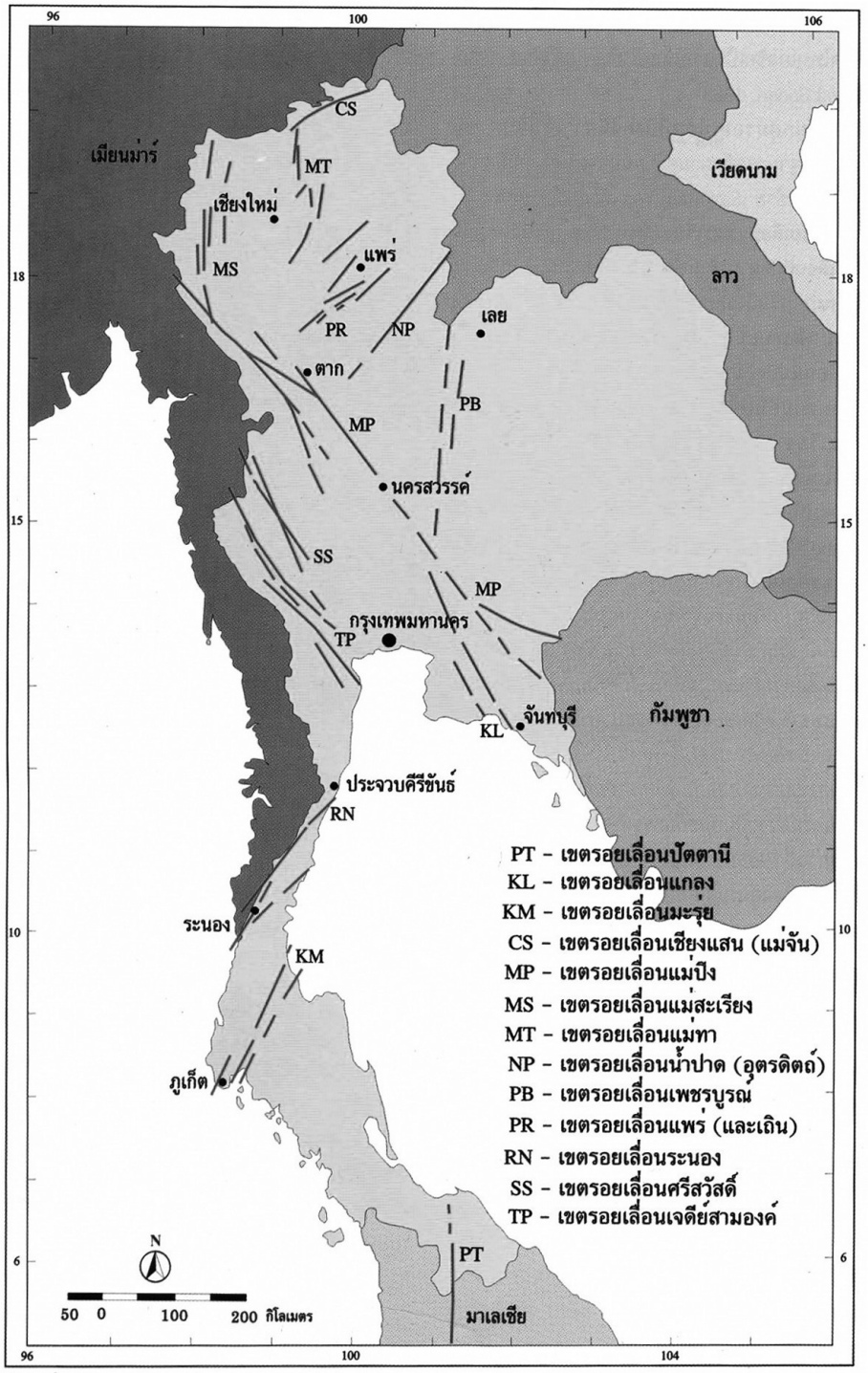
ภาพประกอบ 1.5 ขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทยตามแนวคิดด้าน Tectono-Stratigraphic zone (ดัดแปลงจาก Barr and Macdonald, 1991)



ภาพประกอบ 1.6 วิวัฒนาการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานตามธรณีกาลยุคต่าง ๆ ของแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทยและอินโดจีนด้านตะวันตก รวมทั้งแนวชั้นหินคดโค้งสุโขทัยและเลย (ที่มา : Bunopas, 1981)

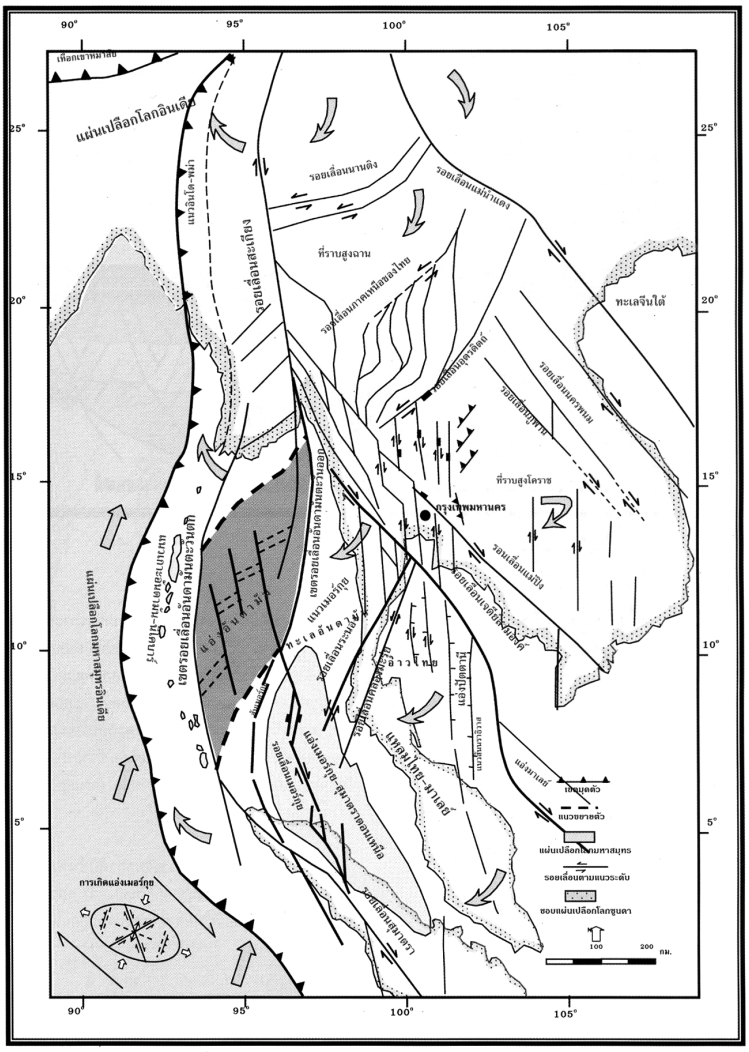


ภาพประกอบ 1.7 แผนที่ธรณีแปรสัณฐานอย่างง่ายของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และตำแหน่งของรอยเลื่อนมีพลัง การกระจายตัวของพลูตอน และหินภูเขาไฟมหายุคซีโนโซอิก และตำแหน่งน้ำพุร้อน (ที่มา : Charusiri et al., 2000)



ภาพประกอบ 1.8 กลุ่มรอยเลื่อนที่สำคัญในประเทศไทย (ที่มา : แสงอาทิตย์ เชื้อวิโรจน์, 2530)

อ่าวไทยเป็นส่วนหนึ่งของไหล่ทวีปซุนดา ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณขอบด้านตะวันออกเฉียงใต้ของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียในภูมิภาคที่ได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย ออสเตรเลีย และแปซิฟิก แอ่งเทอร์เชียรีในอ่าวไทยเป็นแอ่งแบบ intracratonic ที่มีขอบเขตเป็นรอยเลื่อนในแนวเหนือ-ใต้ที่เกิดจากการดึงตัว(extension) ที่เป็นผลมาจากการแยกตัวของแผ่นเปลือกโลกซึ่งอาจเกิดขึ้นในยุคอีโอซีนตอนปลายจนถึงยุคโอลิโกซีน (Polachan et al.,1991) ดังแสดงในภาพประกอบ 1.9 โดยโครงสร้างธรณีวิทยาบริเวณอ่าวไทยประกอบด้วยแอ่งซึ่งวางตัวขนานกันในแนวเหนือ-ใต้ และวางตัวต่อเนื่องลงไปถึงบริเวณภาคใต้ตอนล่าง ตั้งแต่ชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของจังหวัดนครศรีธรรมราชลงไปถึงชายแดนไทย-มาเลเซีย เป็นแอ่งชนิดกราเบน ส่วนเทือกเขาและแอ่งขนาดเล็กที่อยู่ถัดไปทางตะวันออกเป็นโครงสร้างแบบฮอร์ส (Sawata et al., 1983)



ภาพประกอบ 1.9 การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกและรอยเลื่อน ที่ทำให้เกิดแอ่งสะสมตะกอนอายุเทอร์เชียรี ในอ่าวไทยและทะเลอันดามัน (ที่มา Polachan, 1988)

1.2.2 การศึกษาเกี่ยวกับแหล่งน้ำพุร้อนในโลก

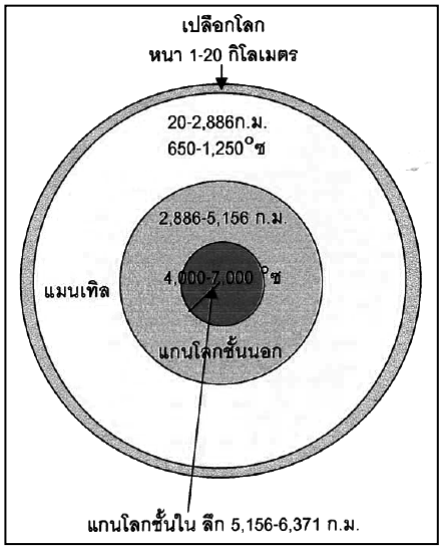
1.2.2.1 ต้นกำเนิดความร้อน

โครงสร้างภายในโลกสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน คือ เปลือกโลก (earth crust) แมนเทิล (mantle) แกนโลกชั้นนอก (outer core) และแกนโลกชั้นใน (inner core) โดยความหนาและอุณหภูมิในโครงสร้างส่วนต่างๆ ของโลกแสดงไว้ในภาพประกอบ 1.10 (มานพ รักษาสกุลวงศ์ และ ศิริพร สูงปานเขา, 2544)

พลังงานความร้อนภายในโลกหรือพลังงานความร้อนใต้พิภพมาจากแกนของโลกซึ่งอยู่ลึก 6,437 กม. และมีอุณหภูมิสูงถึง 4,982 ℃ ด้วยความร้อนระดับนี้ประกอบกับความดันมหาศาลภายในโลกมีผลทำให้สสารโดยรอบแกนโลกหลอมตัวเป็นหินเหลว (magma) ที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งสามารถเคลื่อนตัวขึ้นมาสู่ผิวโลกกลายเป็นลาวา (lava) โดยผ่านทางภูเขาไฟหรือทางรอยแตกในพื้นสมุทรที่มีเปลือกโลกบางกว่าพื้นทวีป (U.S. Department of Energy, 1999)

หินเหลวในชั้นแมนเทิลซึ่งอยู่ระหว่างเปลือกโลกและแกนโลกยังคงมีอุณหภูมิสูงมาก และยังมีการเคลื่อนที่จากบริเวณใกล้แกนโลกซึ่งมีความร้อนสูงกว่าขึ้นมาสู่ข้างบนบริเวณเปลือกโลกด้านล่าง ในขณะเดียวกันหินหลอมเหลวตอนบนของแมนเทิลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าก็จะเคลื่อนตัวลงไปสู่บริเวณด้านล่าง การเคลื่อนตัวไหลวนของหินเหลวลักษณะนี้ก่อให้เกิดกระแสพาความร้อน (thermal convection) ส่วนบนของหินเหลวที่สัมผัสกับเปลือกโลกตอนล่างจะมีแรงเสียดทานมหาศาล ดังนั้น เมื่อหินเหลวเคลื่อนตัวมันจึงพาเปลือกโลกที่สัมผัสอยู่ด้านบนเคลื่อนไปด้วย ทำให้เปลือกโลกซึ่งอยู่แยกกันเคลื่อนตัวออกจากกัน เคลื่อนตัวชนกันและมุดตัวเข้าหากัน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ธรณีแปรสัณฐาน (plate tectonic)

กระบวนการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกเป็นไปอย่างช้าๆ ในอัตรามิลลิเมตรหรือเซนติเมตรต่อปีเท่านั้น บริเวณรอยต่อของเปลือกโลกที่มีการเคลื่อนตัวสูงจะมีพลังและส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติหลายอย่าง อาทิ ภูเขาไฟ แผ่นดินไหว การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างชั้นหิน (การคดโค้ง โก่งงอ และรอยเลื่อน) ตลอดจนการเกิดภูเขาและแอ่งหุบเขา และหินเหลวนี้เป็นแหล่งต้นกำเนิดความร้อนที่จะขึ้นมาสู่ผิวโลก บริเวณที่มีพลังงานความร้อนใต้พิภพสูงจะต้องเป็นบริเวณที่มีหินเหลวเคลื่อนตัวขึ้นมาอยู่ใกล้ผิวโลกมากกว่าปกติ เช่น แนวภูเขาไฟในปัจจุบันซึ่งมักจะเกิดร่วมกับแนวแผ่นดินไหว



ภาพประกอบ 1.10 ความลึกและอุณหภูมิของชั้นต่างๆ ภายในโลก (มานพ รักษาสกุลวงศ์ และ ศิริพร สูงปานเขา, 2544)

1.2.2.2 ต้นกำเนิดของน้ำร้อน

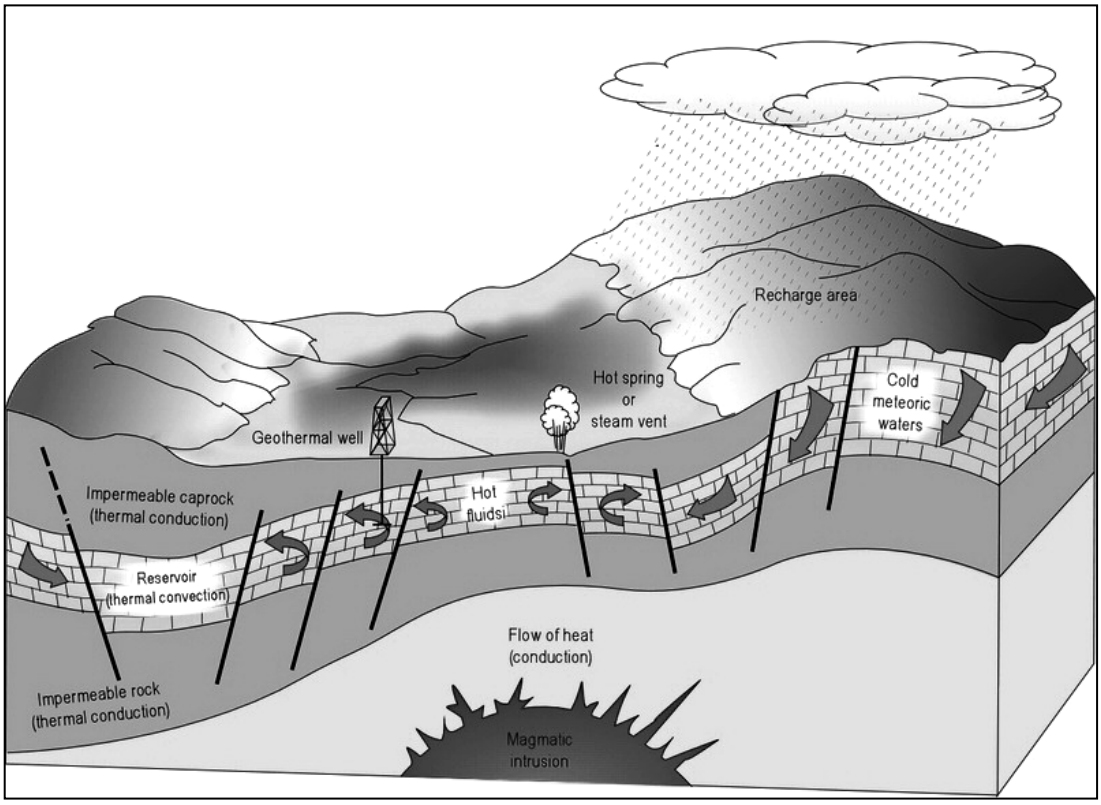
โดยทั่วไปต้นกำเนิดของน้ำร้อนที่พบในแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ มักมีต้นกำเนิดจากน้ำเย็นบนผิวดินหรือน้ำฝน (meteoric water) ที่ไหลซึมผ่านช่องว่างหรือรอยแตกของหินลงไปใต้ดิน เมื่อน้ำเหล่านี้ได้รับความร้อนจากหินร้อนจะทำให้น้ำมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น ไหลย้อนกลับขึ้นสู่เบื้องบนมาสะสมตัวในแหล่งกักเก็บที่เหมาะสม ดังแสดงในภาพประกอบ 1.11 นอกจากนี้น้ำใต้ดินบางส่วนอาจจะมาจากไอน้ำของหินหนืดที่เย็นตัว (magmatic water) และน้ำที่กักเก็บในช่องว่างระหว่างเม็ดแร่ประกอบหิน (connate water) หรือน้ำที่ได้จากการตกผลึกของหินบางชนิด

1.2.2.3 รูปแบบการกำเนิดของพุน้ำร้อน

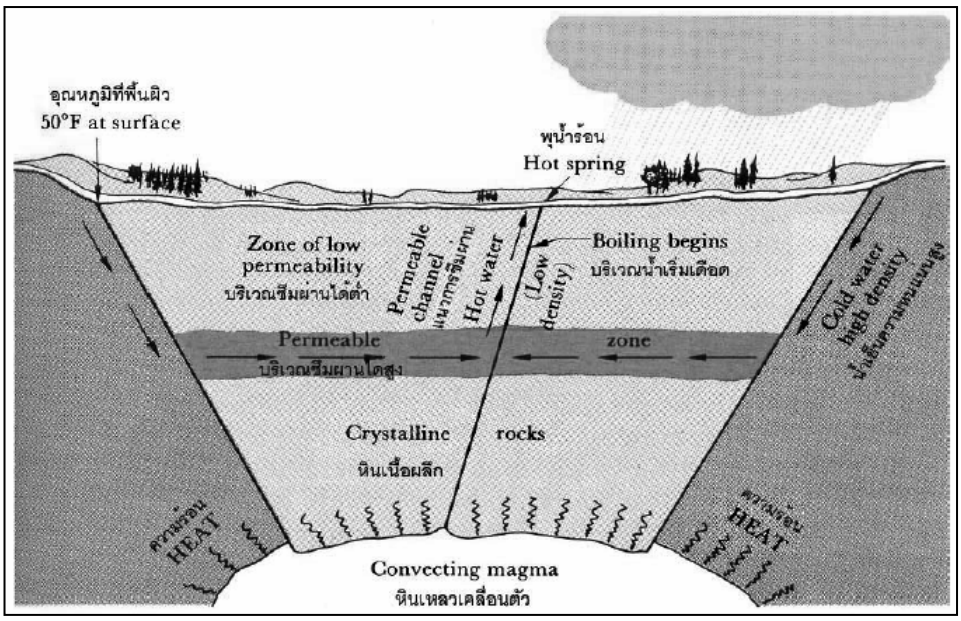
การกำเนิดของพุน้ำร้อนสามารถจำแนกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ (Cargo and Mallory, 1977; ศิริพร สูงปานเขาและมานพ รักษาสกุลวงศ์, 2544) ดังนี้

1. พุน้ำร้อนที่เกิดในหินแกรนิต น้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียสที่ไหลขึ้นมาโดยตรงตามรอยเลื่อนและรอยแยกในหินแกรนิตที่มีความหนามากกว่า 3,000 เมตร การถ่ายเทความร้อนหรือปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำร้อนกับหินข้างเคียงจะทำให้อุณหภูมิของน้ำร้อนลดต่ำลง แล้วไหลขึ้นสู่ผิวดินปรากฏเป็นน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิสูงใกล้จุดเดือด แต่พุน้ำร้อนรูปแบบนี้มีศักยภาพพลังงานค่อนข้างต่ำ เนื่องจากปริมาณน้ำร้อนในรอยเลื่อนและรอยแยกมีจำนวนน้อยไม่เพียงพอที่จะพัฒนาขึ้นมาใช้ประโยชน์ ดังภาพประกอบ 1.12

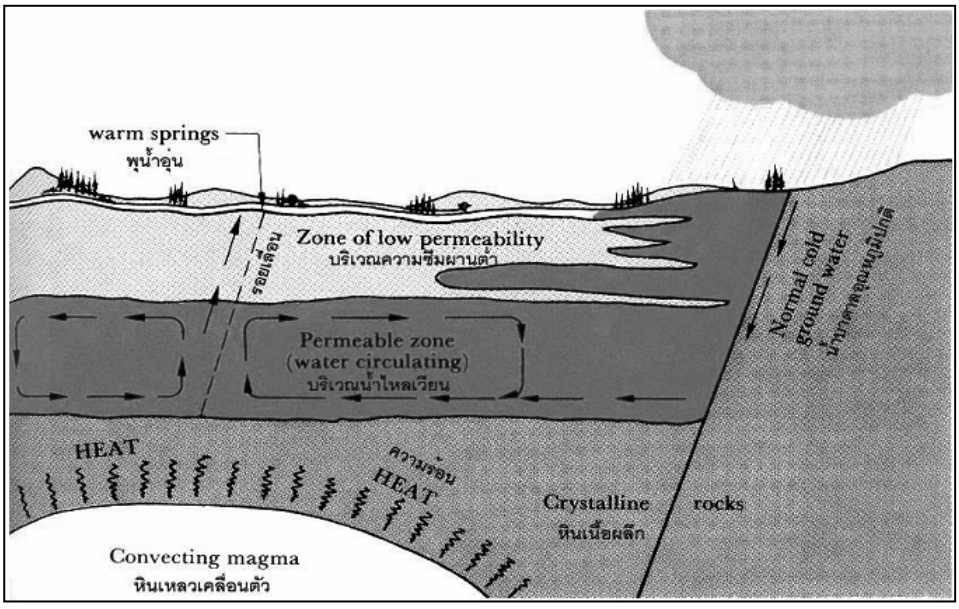
2. พุน้ำร้อนชนิดที่มีหินตะกอนปิดทับอยู่บนหินแกรนิต น้ำร้อนซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียสจะไหลขึ้นจากรอยเลื่อนและรอยแยกในหินแกรนิตระดับลึกมาสะสมตัวในชั้นหินตะกอนที่ระดับความลึกประมาณ 1,000 เมตร และเนื่องจากหินตะกอนมีความพรุนสูง น้ำเย็นหรือน้ำบาดาลอาจเข้าผสมกับน้ำร้อนทำให้อุณหภูมิของน้ำร้อนลดต่ำลงเหลือประมาณ 125-180 องศาเซลเซียส และบางส่วนของน้ำร้อนนี้ไหลขึ้นสู่ผิวดินตามรอยเลื่อนหรือรอยแยกปรากฏเป็นน้ำพุร้อน พุน้ำร้อนรูปแบบนี้มีแหล่งกักเก็บขนาดใหญ่ มีปริมาณน้ำร้อนจำนวนมาก แม้จะมีอุณหภูมิไม่สูงนักแต่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถพัฒนาเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ดังภาพประกอบ 1.13



ภาพประกอบ 1.11 แบบจำลองของแหล่งน้ำพุร้อน (Barbier, 2002)



ภาพประกอบ 1.12 พุน้ำร้อนที่ได้รับพลังงานความร้อนจากหินหลอมเหลวภายในโลกโดยตรงและน้ำร้อนเคลื่อนที่ตามระนาบของรอยเลื่อนขึ้นสู่ผิวโลก (Cargo and Mallory, 1977)



ภาพประกอบ 1.13 พุน้ำร้อนที่กำเนิดโดยน้ำบาดาลในชั้นหินที่มีความพรุนและความซึมผ่านได้สูงซึ่งปิดทับหินเนื้อผลึกที่ร้อนอยู่ (Cargo and Mallory, 1977)

1.2.3 การศึกษาเกี่ยวกับแหล่งน้ำพุร้อนในประเทศไทย

ในอดีตมีนักวิชาการหลายท่านได้ทำการศึกษาแหล่งน้ำพุร้อนในประเทศไทย เช่น Geotermica Italiana SIr.(1984) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิ ธรณีเคมีและอุทกธรณีวิทยาของแหล่งน้ำพุร้อนทางภาคเหนือของประเทศไทย Hochstein and Caldwin (1985) ศึกษาหาความสัมพันธ์ของพุน้ำร้อนกับหินที่เกิดร่วมกันในแหล่งน้ำพุร้อนของประเทศจีนและไทย Rattanasathien (1989) ศึกษาธรณีเคมีของของไหลจากแหล่งพุน้ำร้อนฝางและสันกำแพงในทางภาคเหนือของประเทศไทย Takashima et al. (1989) ศึกษาต้นกำเนิดความร้อนและระบบน้ำร้อนของแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพในภาคเหนือของประเทศไทยที่กำเนิดจากหินชนิดอื่นซึ่งไม่ใช่หินภูเขาไฟ

สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับธรณีวิทยาแปรสัณฐาน Curray et al. (1978) ได้ทำการศึกษาด้านธรณีแปรสัณฐาน ธรณีวิทยาและธรณีฟิสิกส์ของขอบทวีปในทะเลอันดามันและประเทศพม่า และ Bunopas and Vella (1983) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการแยกตัวของแผ่นดินในมหายุคซีโนโซอิกเกิดเป็นอ่าวไทยซึ่งเป็นมหายุคล่าสุดตั้งแต่โลกกำเนิดขึ้นมา ซึ่งการศึกษาทั้งสองนี้สัมพันธ์กับรอยเลื่อนอายุน้อยที่ประพฤติตัวเป็นช่องทางเดินของน้ำร้อนจากภายในโลกขึ้นมาสู่ผิวโลกได้

Thienprasert et al. (1982), Thienprasert and Raksaskulwong (1984) และ Raksaskulwong Thienprasert (1995) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการไหลถ่ายความร้อน (heat flow) ใต้ผิวโลกในประเทศไทย ซึ่งต่อมา Raksaskulwong (1999) สรุปว่าต้นกำเนิดความร้อนและการกำเนิดพุน้ำร้อนในประเทศไทยมีหลายประเภท ดังนี้

1. พุน้ำร้อนที่เกิดอยู่บริเวณหินอัคนี ซึ่งน้ำผิวดินและน้ำบาดาลไหลลงสู่ระดับความลึกตามแนวรอยเลื่อน เมื่อไหลผ่านบริเวณข้างเคียงหรือสัมผัสมวลหินอัคนีใต้พิภพที่ยังมีความร้อนอยู่ จะได้รับความร้อนโดยการถ่ายเทความร้อนจากหินอัคนี แล้วไหลกลับขึ้นมาสู่ผิวดินเกิดเป็นพุน้ำร้อน

2. พุน้ำร้อนที่เกิดอยู่ใกล้หรือในหินแกรนิตจะได้รับความร้อนจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี ซึ่งโดยปกติหินแกรนิตในประเทศไทยมีปริมาณของยูเรเนียมและทอเรียมค่อนข้างสูง พลังงานความร้อนที่ได้จากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีในหินแกรนิตอาจทำให้น้ำรอบๆมวลหินแกรนิตร้อนขึ้นและเคลื่อนตัวตามรอยเลื่อนและรอยแยกขึ้นสู่ผิวดินได้

3. พุน้ำร้อนเกิดอยู่บริเวณรอยเลื่อนมีพลัง น้ำพุร้อนประเภทนี้ได้รับการถ่ายเทความร้อนจากแรงเฉือน โดยมีรอยเลื่อนยังเป็นช่องทางนำน้ำเย็นไหลลงสู่ระดับลึกและนำความร้อนไหลขึ้นสู่ผิวดิน

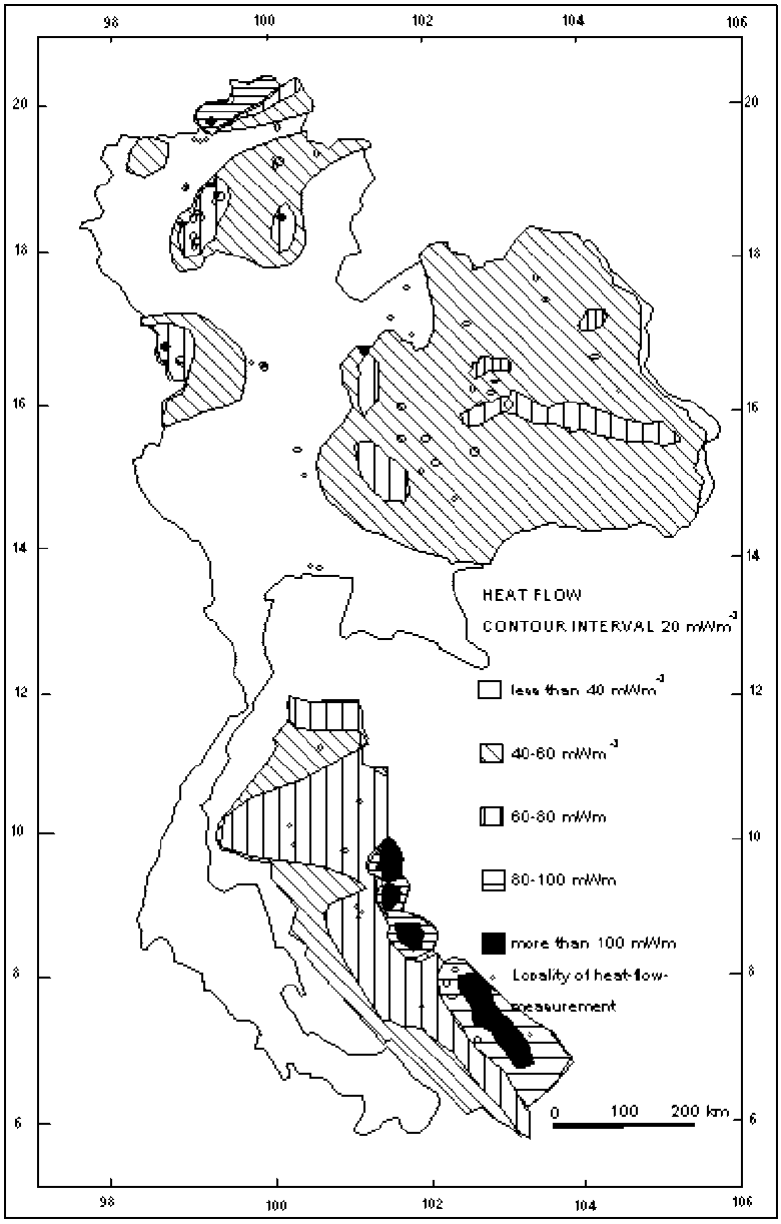
4. รอยเลื่อนปกติในแนวเหนือ-ใต้ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงในขบวนการธรณีแปรสัณฐานที่เกิดขึ้นทั่วไปหลังยุคเทอร์เชียรี โดยในบางพื้นที่รอยเลื่อนเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นช่องทางให้ความร้อนภายในโลกขึ้นสู่ข้างบน

5. บริเวณที่มีค่าการไหลถ่ายความร้อนสูง (high heat flow) แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในบริเวณทวีปที่อยู่ห่างออกมาจากขอบทวีปที่มีพลังจึงมีค่าการไหลถ่ายความร้อนต่ำกว่าประเทศอื่นๆที่ตั้งอยู่ในขอบทวีปที่มีพลัง เช่น ญี่ปุ่นและฟิลิปปินส์ เป็นต้น

1.2.4 การศึกษาเกี่ยวกับการไหลถ่ายความร้อนในประเทศไทย

ในประเทศไทย ค่าการไหลถ่ายความร้อนซึ่งมากกว่า 100 mWm^{-2} จะจำกัดอยู่ในพื้นที่บางบริเวณของภาคเหนือ ภาคตะวันตก ขอบของที่ราบสูงโคราช และในอ่าวไทย โดยพื้นที่ซึ่งมีค่าการไหลถ่ายความร้อนที่สูงนี้จะสัมพันธ์กับบริเวณที่ปกคลุมไปด้วยหินแกรนิต พื้นที่ซึ่งอยู่ใกล้เคียงกับแหล่งน้ำพุร้อน พื้นที่ซึ่งมีการสำรวจหินน้ำมันและปิโตรเลียม และพื้นที่ที่มีธรณีแปรสัณฐานมีรูปแบบการแยกตัวและการดึงออก (post-Cenozoic tensional and extensional tectonics trending N-S) ที่สัมพันธ์กับการมุดตัวของเพลตอินเดียเข้าไปใต้แผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตามแนวร่องลึกชวา และหมู่เกาะอันดามัน-นิโคบาร์ในปัจจุบัน (Curray et al., 1978; Bunopas, 1981; Bunopas and Vella, 1983; Polachan, 1988) ดังภาพประกอบ 1.14

Thienprasert et al. (1982) ศึกษาพบว่าธาตุกัมมันตรังสี U Th และ K ในหินแกรนิตของประเทศไทยมีปริมาณสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลก ซึ่ง Takashima et al. (1989) ประเมินค่าการผลิตความร้อนของหินแกรนิตในภาคเหนือของประเทศไทยพบว่ามีพิสัยระหว่าง 3.6 ถึง 7.6 $\mu W \cdot m^{-3}$ ดังนั้นในกรณีที่ชั้นหินแกรนิตหนา 10 km วางตัวอยู่ในระดับตื้นใกล้ผิวโลก ปริมาณการไหลถ่ายความร้อนที่ประเมินได้จะเท่ากับ 33 mWm^{-2}



ภาพประกอบ 1.14 อัตราการไหลความร้อนของความร้อนในประเทศไทย (Raksaskulwong and Thienprasert, 1995)

1.2.5 กรณีศึกษาการประยุกต์ใช้ธรณีฟิสิกส์เพื่อศึกษาแหล่งน้ำพุร้อน

ในพื้นที่ภาคเหนือ Thienprasert (1983) Thongchit and Thammavittawat, (1983) และ Chaturat (1985) ได้ทำการวัดค่าสนามโน้มถ่วง ค่าสนามแม่เหล็ก และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในบริเวณแหล่งความร้อนใต้พิภพของจังหวัดเชียงใหม่ และ จังหวัดแพร่ โดยพบว่าค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติสอดคล้องกับค่าสนามแม่เหล็กผิดปกติ และพบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่า 30 โอห์ม-เมตรในบริเวณที่คาดว่าเป็นแหล่งกักเก็บความร้อน และร่องรอยของรอยเลื่อนสามารถกำหนดได้จากแผนที่สนามแม่เหล็กผิดปกติและแผนที่สภาพต้านทานไฟฟ้า สำหรับในพื้นที่ภาคใต้ Kaewtawan et al. (2004) และ ประยุทธ ขาวดี (2550) ได้ทำการศึกษาวัดค่าสนามโน้มถ่วงในบริเวณแหล่งความร้อนใต้พิภพในจังหวัดสุราษฎร์ธานี และตรวจพบค่าผิดปกติของสนามโน้มถ่วงสูงประมาณ 300-450 g.u. ครอบคลุมพื้นที่ของแหล่งน้ำพุร้อน และในขณะที่ สุวิทย์ เพชรห้วยลึก (2539) พบว่าค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติในพื้นที่หินแกรนิตในจังหวัดสงขลา-พัทลุง-ตรัง มีค่าประมาณ -60 ถึง -100 g.u.

Donnell et al. (2001) ซึ่งทำการศึกษาวัดค่าสนามโน้มถ่วงในบริเวณของแหล่งน้ำพุร้อนในพื้นที่ทางตอนใต้ของประเทศเม็กซิโก พบว่าในบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนดังกล่าว บริเวณที่มีค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติสูงจะสัมพันธ์กับบริเวณที่มีค่าการไหลถ่ายความร้อนสูง ในขณะที่ Cassidy et al. (2006) ซึ่งทำการแปลความข้อมูลสนามโน้มถ่วงและข้อมูลการบินสำรวจสนามแม่เหล็กในแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพบริเวณภูเขาไฟโอ๊คแลนด์ ประเทศนิวซีแลนด์ พบว่าบริเวณที่มีค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติสูงสัมพันธ์กับบริเวณที่มีค่าสนามแม่เหล็กผิดปกติที่มีค่าสูงเช่นกัน

Caglar and Demirorer (1999) ใช้วิธีวัดค่าศักย์ธรรมชาติและวิธีวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบเวนเนอร์เพื่อกำหนดตำแหน่งของรอยแตกและรอยเลื่อนในพื้นที่แหล่งความร้อนใต้พิภพของประเทศตุรกี โดยพบว่าในบริเวณของรอยเลื่อนและรอยแตก สภาพต้านทานไฟฟ้าของดินมีค่าต่ำกว่า 10 โอห์ม-เมตร และแผนที่ศักย์ไฟฟ้าธรรมชาติมีค่าผิดปกติที่เป็นบวกเช่นเดียวกัน Majumdar et al. (2000) ซึ่งประยุกต์ใช้วิธีวัดการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินกำหนดตำแหน่งของรอยแตกและรอยเลื่อนที่เป็นทางผ่านของน้ำร้อนที่ไหลขึ้นมาเป็นน้ำพุร้อนในบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนทางด้านตะวันออกของประเทศอินเดียพบว่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินมีค่าต่ำในบริเวณที่เป็นรอยแตกและรอยเลื่อน

1.3 วัตถุประสงค์

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาในระดับลึกในบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง โดยการประยุกต์ใช้วิธีทางธรณีฟิสิกส์ ซึ่งประกอบด้วยการวัดค่าสนามโน้มถ่วงเชิงภูมิภาคและการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน

บทที่ 2

ระเบียบวิธีวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีทางธรณีฟิสิกส์ ซึ่งประกอบด้วยวิธีสนามโน้มถ่วง และวิธีวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ในการกำหนดลักษณะโครงสร้างธรณีวิทยาบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน ในอำเภอเขาชัยสน ซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการวิจัยดังต่อไปนี้

2.1 วัสดุ

วัสดุทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แสดงตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1.1 วัสดุที่ใช้สำหรับการวัดค่าสนามโน้มถ่วงและความสูง

1) ตะปูขนาด 3 นิ้ว สำหรับทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งของจุดวัดค่าสนามโน้มถ่วงและความสูงบนเส้นทางคมนาคม

2) สีน้ำมัน/สีพลาสติก (สีแดง) สำหรับเขียนรหัสของจุดวัดไว้บนเส้นทางคมนาคม ต้นไม้ หรือเสาไฟฟ้า ที่อยู่ใกล้จุดวัดมากที่สุด

3) ฝาขวดน้ำอัดลม สำหรับรองหัวตะปูที่ใช้ทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งของจุดวัดค่าสนามโน้มถ่วงและความสูง

2.1.2 วัสดุที่ใช้สำหรับการวัดค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหิน

1) ตัวอย่างหินโผล่ ซึ่งเก็บมาจากพื้นที่ศึกษา ตำแหน่งละ 8-10 ก้อน ก้อนละไม่เกิน 3,000 กรัม

2) ปากกาชนิดหมึกถาวรสำหรับเขียนรหัสของจุดเก็บตัวอย่าง และหินตัวอย่าง

3) น้ำเปล่าสำหรับการชั่งมวลของตัวอย่างหินในน้ำ

2.1.3 วัสดุที่ใช้สำหรับการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าในดิน

1) น้ำเปล่าสำหรับรดที่ขั้วไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสัมผัสของขั้วไฟฟ้ากับดิน

2.1.4 วัสดุอื่น ๆที่ใช่ร่วมกัน

1) ตารางบันทึกค่าปรับแก้ภูมิประเทศและอื่นๆ

2) สมุดบันทึก

3) แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 (กรมแผนที่ทหาร, 2543) ดังนี้

(ก) ระวาง 4923 I อำเภอกงหรา

(ข) ระวาง 4924 II อำเภอศรีบรรพต

(ค) ระวาง 5023 IV อำเภอเขาชัยสน

(ง) ระวาง 5023 III จังหวัดพัทลุง

4) แผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1 : 250,000 ระวาง NB 47-3 จังหวัดสงขลา (กองธรณีวิทยา, 2528)

2.2 อุปกรณ์

อุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แสดงตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวัดค่าสนามโน้มถ่วงและความสูง

1) จานรองสำหรับวางและปรับแกรวิตีมิเตอร์ให้อยู่ในระนาบระดับอย่างหยาบ

2) เครื่องแกรวิมิเตอร์ (Gravimeter) แบบไม่เสถียร ยี่ห้อ LaCoste & Romberg รุ่น G-565 ซึ่งมีความแม่นยำ 0.01 มิลลิแกล ใช้วัดค่าสนามโน้มถ่วงสัมพัทธ์ (ภาพประกอบ 2.1)

3) นาฬิกา สำหรับอ่านค่าเวลาขณะที่ทำการวัดค่าสนามโน้มถ่วง

ภาพประกอบ 2.1 เครื่องแกรวิมิเตอร์ แบบไม่เสถียรยี่ห้อ LaCoste & Romberg รุ่น G-565

4) เครื่องอ่านพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) ยี่ห้อ Trimble Pathfinder Basic Plus สำหรับอ่านพิกัดตำแหน่งของจุดวัดค่าสนามโน้มถ่วง (ภาพประกอบ 2.2)

5) มาตรระดับความสูงยี่ห้อ American Paulin System รุ่น MDM-5 ซึ่งมีพิสัยการวัดตั้งแต่ -100 ถึง 2,500 เมตร และค่าความละเอียดสุด 0.5 เมตร สำหรับวัดค่าระดับความสูงของจุดวัดค่าสนามโน้มถ่วง (ภาพประกอบ 2.3)

6) เทอร์โมมิเตอร์ปรอท (0-100 ℃) สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศขณะที่ทำการวัดค่าความสูง

ภาพประกอบ 2.2 เครื่องอ่านพิกัดทางภูมิศาสตร์ ยี่ห้อ Trimble Pathfinder Basic Plus

ภาพประกอบ 2.3 มาตรวัดระดับความสูงยี่ห้อ American Paulin System รุ่น MDM-5

2.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวัดค่าความหนาแน่น

1) เครื่องชั่งแบบตัวเลขยี่ห้อ METTLER รุ่น BB3000 ซึ่งสามารถชั่งมวลได้ไม่เกิน 3,000 กรัม และมีความละเอียดสุด 0.1 กรัม ใช้สำหรับชั่งมวลของตัวอย่างหิน

2) ภาชนะบรรจุน้ำ ขนาดความจุ 16 ลิตร ใช้สำหรับใส่น้ำขณะที่ทำการวัดมวลของตัวอย่างหินในน้ำ

3) ค้อนสำหรับใช้เคาะเก็บตัวอย่างหินจากมวลหินขนาดใหญ่ ณ ตำแหน่งที่เก็บเพื่อนำมาวัดความหนาแน่น

2.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน

1) เครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ยี่ห้อ ABEM TERRAMETER รุ่น SAS 1000 (ภาพประกอบ 2.4) ใช้สำหรับป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับดินผ่านทางขั้วไฟฟ้ากระแส 2 ขั้ว และวัดความต่างศักย์บนผิวดินผ่านทางขั้วไฟฟ้าศักย์ 2 ขั้ว แล้วแสดงผลเป็นค่าอัตราส่วนของความต่างศักย์ที่วัดได้ต่อกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับดิน หรือค่าความต้านทานของดิน

2) แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์

3) ขั้วไฟฟ้าจำนวน 4 ขั้ว ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้ากระแส 2 ขั้ว และขั้วไฟฟ้าศักย์ 2 ขั้ว

4) เทปพันสายไฟ

ภาพประกอบ 2.4 เครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ABEM TERRAMETER รุ่น SAS 1000

2.2.4 อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ร่วมกัน

1) เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

2) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล

2.1) โปรแกรม Microsoft Excel 2003 สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล

2.2) โปรแกรม Surfer version 8.00 สำหรับเขียนแผนที่คอนทัวร์

2.3) โปรแกรม Grapher version 3.03 สำหรับเขียนกราฟ และวิเคราะห์ข้อมูล

2.4) โปรแกรม Geo Vista AB-GMM version 1.31 สำหรับการแปลความข้อมูลสนามโน้มถ่วงเชิงปริมาณ โดยวิธีการสร้างแบบจำลอง

2.5) โปรแกรม RESIST version 1.0 สำหรับการแปลความข้อมูลสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินเชิงปริมาณ เพื่อกำหนดโครงสร้างชั้นดิน เช่น จำนวนชั้นดิน ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า และความหนาของดินแต่ละชั้น (Velpen, 1988)

2.6) โปรแกรม Mapinfo Professional version 8.0 สำหรับเขียนแผนที่

2.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน ซึ่งประกอบด้วย

ตอนที่ 1 การดำเนินการวิจัยในภาคสนาม

ตอนที่ 2 การดำเนินการวิจัยในห้องปฏิบัติการ

ตอนที่ 1 การดำเนินการวิจัยในภาคสนาม

การดำเนินการวิจัยในภาคสนาม มีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดจุดวัดค่าสนามโน้มถ่วงบนถนนที่มีอยู่ในพื้นที่ศึกษา (ภาพประกอบ 2.5) ด้วยระยะห่างระหว่างจุดวัดเท่ากับ 2 กิโลเมตร รวมทั้งหมด 95 จุดวัด ตั้งแต่จุดวัด S01 ถึง S95 (ภาคผนวก ก) ตำแหน่งของจุดวัดกำหนดโดยเครื่องอ่านพิกัดภูมิศาสตร์และแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ระวาง 4923 I อำเภอกงหรา, ระวาง 4924 II อำเภอศรีบรรพต, ระวาง 5023 IV อำเภอเขาชัยสน และระวาง 5023 III จังหวัดพัทลุง (กรมแผนที่ทหาร, 2543)

2) ทำเครื่องหมายของจุดวัดลงบนเส้นทางคมนาคม โดยใช้ตะปูซึ่งมีฝาขวดน้ำอัดลมรองหัวตะปูแล้วเขียนรหัสของจุดวัดด้วยสีน้ำมันลงบนเส้นทางคมนาคม หรือต้นไม้ หรือเสาไฟฟ้าที่อยู่ใกล้จุดวัดมากที่สุด เพื่อความสะดวกในการวัดซ้ำจุดเดิมเมื่อครบวงรอบ

3) วางจานรักษาระดับที่ตำแหน่งจุดวัด ปรับจานรักษาระดับให้ลูกน้ำอยู่ตรงกลาง แล้วจึงวางแกรวิมิเตอร์บนจานรักษาระดับ ปรับแกรวิมิเตอร์ให้อยู่ในระนาบระดับ หลังจากนั้นจึงเปิดปุ่มสวิชต์ไฟและคลายปุ่มล็อกมวล (Clamp) ปรับเข็มอ่านให้อยู่ที่ตำแหน่ง “2.3” อ่าน

ค่าจากตัวนับและไมโครมิเตอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้ บันทึกรหัสของจุดวัด เวลาที่ทำการวัด และอุณหภูมิ หลังจากนั้นล็อกมวล ปิดสวิชต์ไฟ เก็บแกรวิมิเตอร์เข้ากล่อง

4) วางมาตรระดับความสูงลงบนจานรักษาระดับ จัดให้มาตรระดับความสูงอยู่ในระนาบระดับ ปรับเข็มสมดุลให้ตรงกับตำแหน่งศูนย์ อ่านค่าความสูงจากเข็มอ่านและบันทึกค่าที่อ่านได้

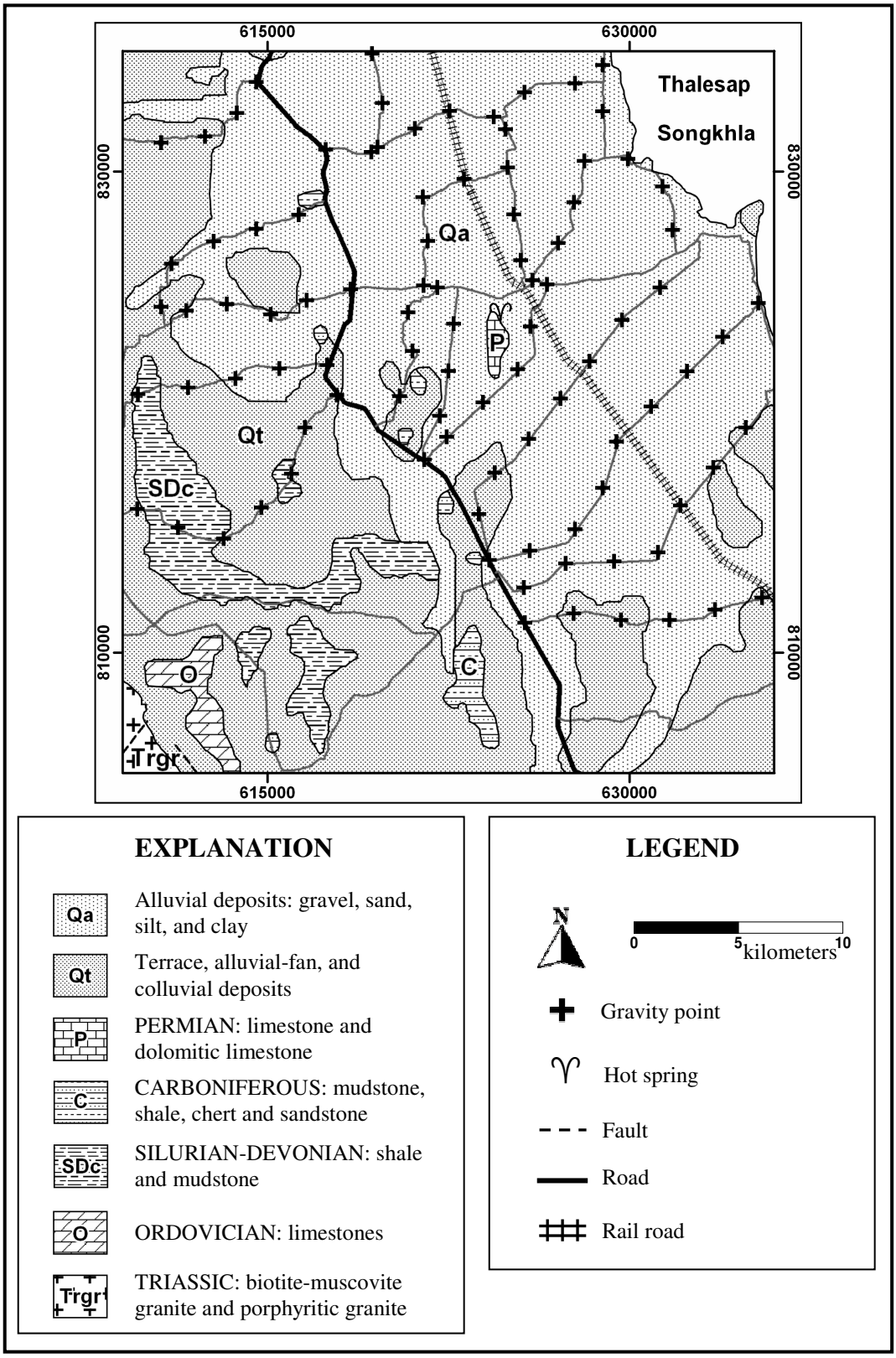
5) ทำการบันทึกผลต่างของค่าความสูงเฉลี่ยของภูมิประเทศ ในโซน B, C, D และ E ของแผนภูมิแฮมเมอร์กับความสูงของจุดวัด ลงในตารางบันทึกค่าปรับแก้ภูมิประเทศ ดังตัวอย่างในตาราง 2.1 โดยรัศมีและจำนวนห้องของแต่ละโซน แสดงไว้ในตาราง 2.2

6) เดินทางไปวัดที่จุดวัดถัดไป

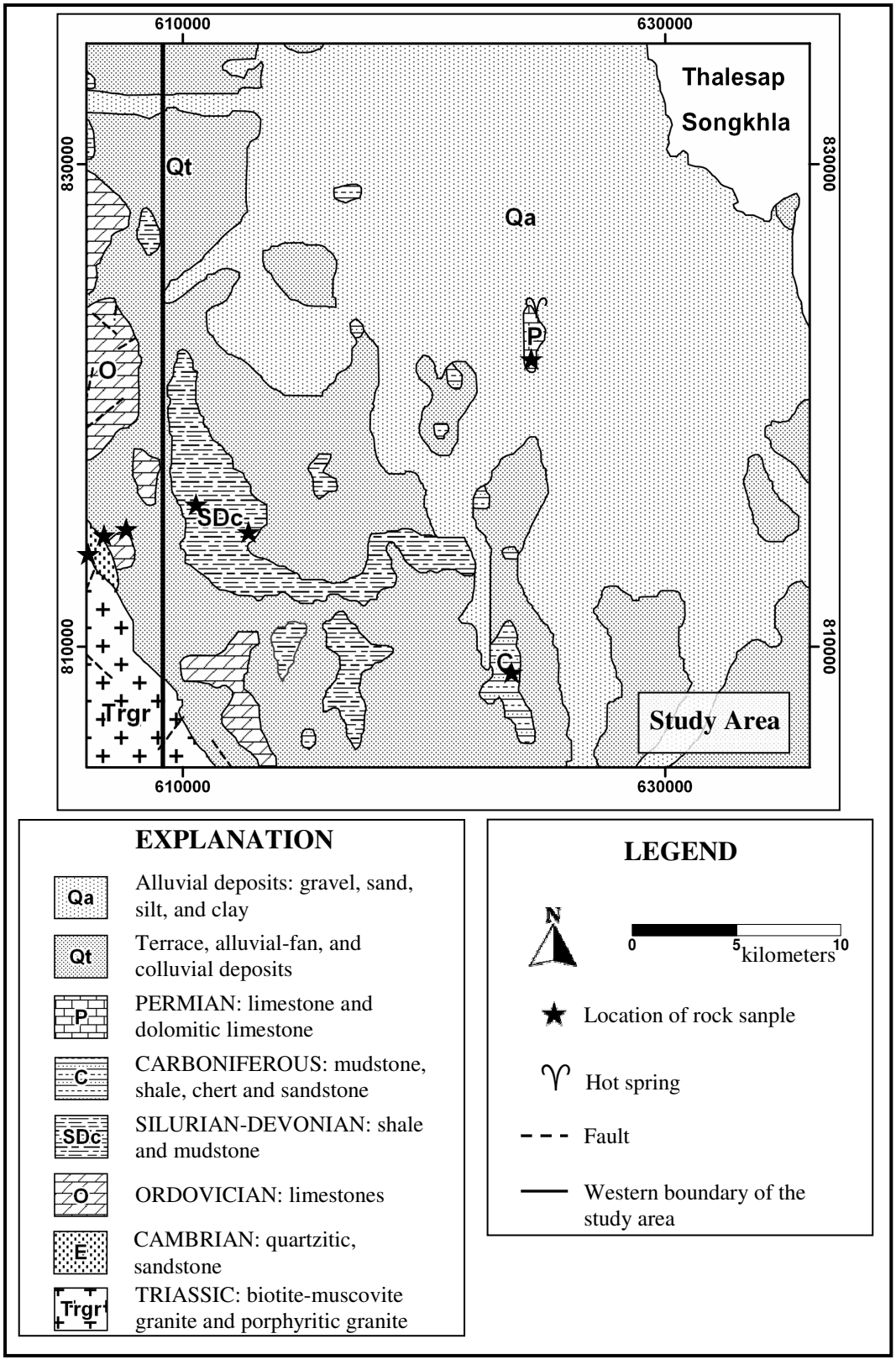
7) เมื่อทำการวัดไปได้นานประมาณ 2-3 ชั่วโมง ให้กลับไปวัดที่จุดอ้างอิงก็จะได้วงรอบของจุดวัด ดังแสดงในภาพประกอบ 2.7 ซึ่งในวงรอบที่หนึ่ง S01 เป็นจุดอ้างอิง S02, S03,...,S06 เป็นจุดวัดใหม่ ส่วนในวงรอบที่สอง S01 และ S03 เป็นจุดอ้างอิง S07, S08, ...,S10 เป็นจุดวัดใหม่ และในวงรอบที่สาม S09 และ S06 เป็นจุดอ้างอิง S11, S12,...,S15 เป็นจุดวัดใหม่ โดยในแต่ละวงรอบใช้เวลาไม่เกิน 3 ชั่วโมง ตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกไว้แสดงดังตาราง 2.3

8) เก็บตัวอย่างหินโผล่ประมาณ 8-10 ก้อนๆละไม่เกิน 3,000 กรัม ในแต่ละบริเวณที่มีหินโผล่ เพื่อนำไปวัดค่าความหนาแน่น โดยจะทำการเก็บตัวอย่างหินหลังจากทำการวัดค่าสนามโน้มถ่วงและความสูงในพื้นที่ศึกษาเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เวลาสำหรับการวัดค่าสนามโน้มถ่วงในแต่ละวงรอบยาวนานเกินไป ดังแสดงในภาพประกอบ 2.6

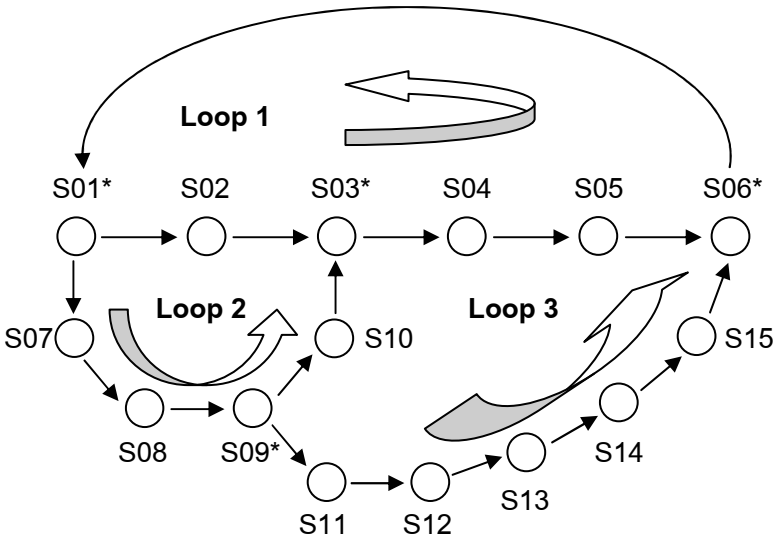
9) เขียนรหัสของจุดวัดติดไว้ที่ตัวอย่างหินทุกๆ ก้อน ทั้งนี้เพื่อสะดวกต่อการกำหนดตำแหน่งของตัวอย่างหินนี้ในแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000



ภาพประกอบ 2.5 ตำแหน่งจุดวัดค่าสนามโน้มถ่วงในพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบ 2.6 ตำแหน่งจุดเก็บหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง



ภาพประกอบ 2.7 ตัวอย่างวงรอบของการวัดค่าสนามโน้มถ่วงและความสูง

ตาราง 2.1 ตัวอย่างตารางปรับแก้ภูมิประเทศสำหรับโซน B ถึง E ของแผนภูมิแฮมเมอร์

GEOPHYSICS LABORATORY

DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE,

PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY,HATYAI, 90110 THAILAND

TEL.074-288730 FAX.074-212817

GRAVITY TERRAIN CORRECTION

HAMMER FORM

CLIENT Geothermal Resources in Phattalung **AREA** B **OBSERVER** Sukrit Jonjana **DATE** 17/06/50

STATION S48		**ALTITUDE** 60		**TOTAL CORRECTION**						
COMPARTMENT		1	2	3	4	5	6	7	8	sum
ZONE										
A										
B	ALT.									
	DIF.	-5	3	-5	-2					
	COR.	0.694	0.350	0.694	0.186					1.923
C	ALT.									
	DIF.	-5	3	-5	-5	-3	-1			
	COR.	0.088	0.032	0.088	0.088	0.032	0.004			0.331
D	ALT.									
	DIF.	-7	-4	-7	-7	2	-3			
	COR.	0.055	0.018	0.055	0.055	0.004	0.010			0.196
E	ALT.									
	DIF.	-7	-7	-7	-7	-5	0	-5	-5	
	COR.	0.011	0.011	0.011	0.011	0.005	0.000	0.005	0.005	0.059

ตาราง 2.2 พารามิเตอร์ต่างๆของโซน B ถึง E ในแผนภูมิแฮมเมอร์

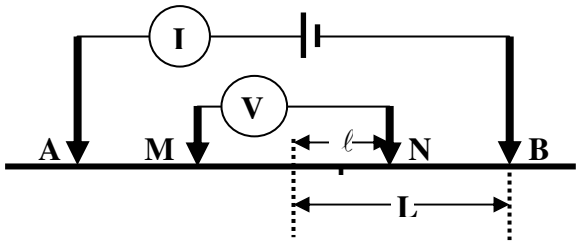
โซน	รัศมีวงใน (m)	รัศมีวงนอก (m)	จำนวนห้อง
B	2.0	16.6	4
C	16.6	53.3	6
D	53.3	170.1	6
E	170.1	390.1	8

ตาราง 2.3 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลค่าสนามโน้มถ่วงและความสูง

Date	Station	E	N	Time (hr:min)	Reading (mgal)	Level (m)	Temp (°C)
24-Jun-07	S01*	622035	825183	9.08	1708.811	146.9	34.0
	S76	621463	825263	9.23	1706.579	149.0	33.0
	S77	621641	827122	9.37	1707.751	155.1	31.5
	S78	621437	828930	9.52	1709.109	156.7	31.5
	S79	623142	829698	10.05	1712.740	147.5	33.0
	S80	624954	830171	10.18	1709.452	146.6	34.5
	S81	624859	831760	10.33	1709.432	146.3	34.0
	S82	625200	828216	10.48	1709.502	148.1	35.5
	S83	625498	826306	11.00	1709.931	152.1	33.5
	S01*	622035	825183	11.18	1708.887	158.2	34.5

10) กำหนดตำแหน่งของจุดวัดการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินในพื้นที่ศึกษา จำนวน 37 จุดวัด (ภาพประกอบ 2.9) เพื่อตรวจสอบความหนาของดินชั้นบนหรือความลึกถึงขอบบนของหินฐานที่ได้จากการแปลความค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของพื้นที่ศึกษาวิจัยด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

10.1) จัดวางรูปขบวนขั้วไฟฟ้าแบบชลัมเบอร์เจร์ (Schlumberger configuration) ดังภาพประกอบ 2.8 โดยจัดให้กึ่งหนึ่งของระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้ากระแส (AB/2 หรือ L) เท่ากับ 1.5 เมตร และกึ่งหนึ่งของระยะห่างระหว่างขั้วศักย์ไฟฟ้า (MN/2 หรือ ℓ) เท่ากับ 0.5 เมตร



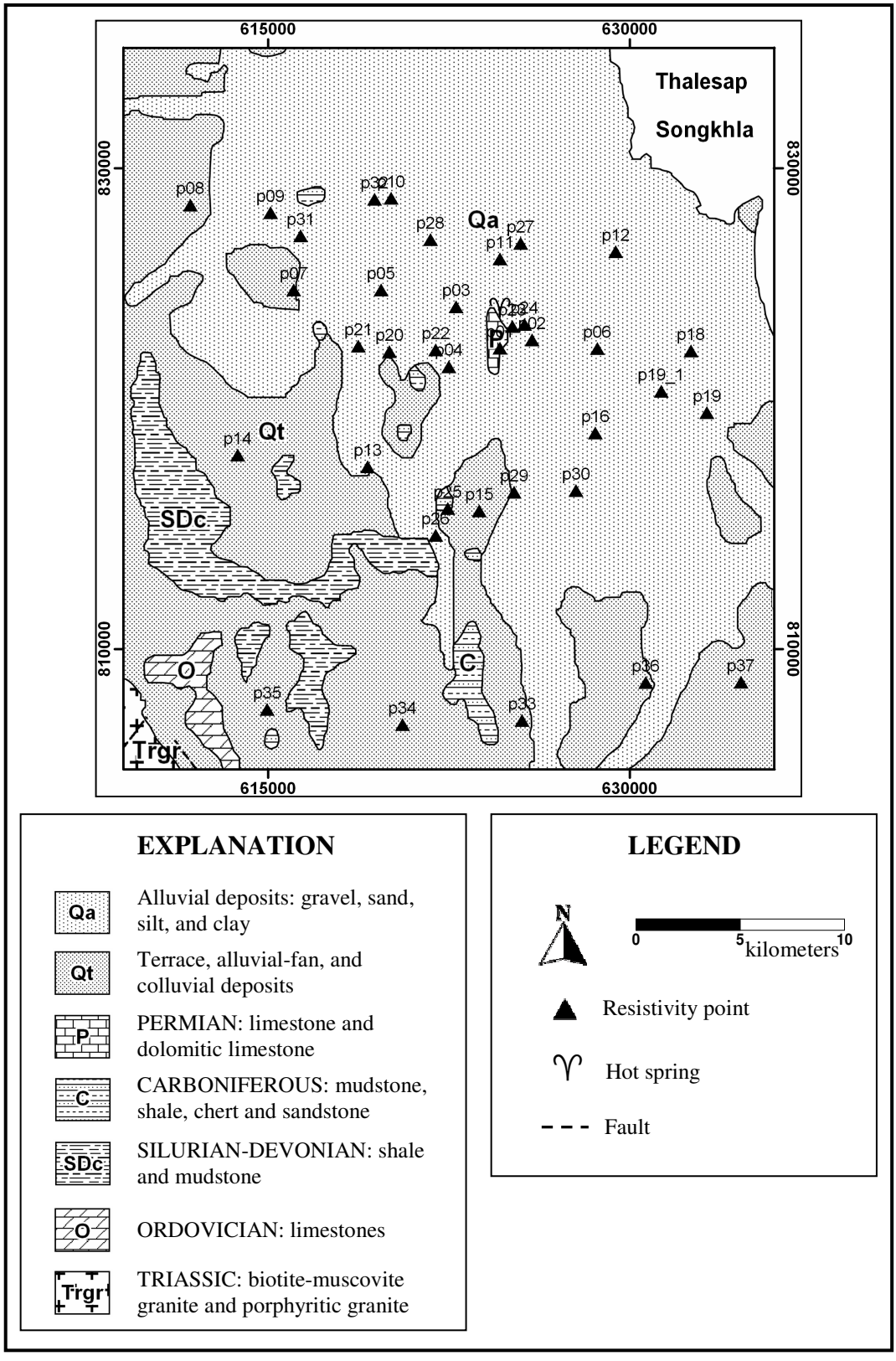
ภาพประกอบ 2.8 การจัดรูปขบวนขั้วไฟฟ้าแบบชลัมเบอร์เจร์

10.2) ปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปในดิน พร้อมทั้งบันทึกค่าความต้านทานไฟฟ้าหรืออัตราส่วน ($\Delta V/I$) ที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ABEM TERRAMETER SAS 1000 ดังแสดงในตาราง 2.4 โดยค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของดิน (ρ_a) คำนวณได้จากสมการ

$$\rho_a = \frac{\pi(L^2 - \ell^2)}{2\ell} \cdot \left(\frac{\Delta V}{I}\right) = k \cdot \left(\frac{\Delta V}{I}\right) \qquad (1)$$

10.3) เพิ่มระยะ AB/2 ขึ้นตามลำดับดังนี้คือ 1.5, 2, 3, 4.5, 7, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 150, 225, และ 350 เมตร สำหรับบางจุดสำรวจระยะ AB/2 ที่มากที่สุดอาจเท่ากับ 500 เมตร และเพิ่มระยะ MN/2 ขึ้นตามลำดับดังนี้คือ 0.5, 2.0, 6.0, 10, 20, 30 และ 50 เมตร แล้วทำซ้ำข้อ (10.2)

10.4) เก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ขึ้นรถ เดินทางไปยังจุดวัดใหม่ แล้วทำซ้ำข้อ (10.1) ถึง (10.4)



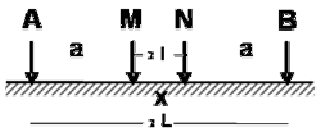
ภาพประกอบ 2.9 ตำแหน่งของจุดวัดการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน

ตาราง 2.4 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน

FACULTY OF SCIENCE
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY
P.O.BOX 3 KHOHONG, HATYAI,
THAILAND, 90112.
TEL.+66-0-7428-8760, FAX.+66-0-7421-2817

GEOPHYSICS LABORATORY
DEPARTMENT OF PHYSICS

Resistivity Sounding



Survey no.012		**Location** 620105E 828476N			**Date:** Apr 02, 2007			
Line no.10		**Operator** Sukrit Jonjana			**Time:**12.17h			
Electrode spacing in meters		**TERRAMETER Reading in Ohms**		**K**	**Calculated Apparent Res. in Ohm-Meters**			**Comments**
$C_1C_2/2$ AB/2	$P_1P_2/2$ (MN/2)	R_1	R_2		r_{a1}	r_{a2}	$r_{a(avg.)}$	
1.5	**0.5**	29.724		**6.28**	186.761		186.7614	
2.0	**0.5**	14.104		**11.78**	166.159		166.1588	
3.0	**0.5**	5.3063		**27.49**	145.865		145.8645	
4.5	**0.5**	1.4658		**62.83**	92.099		92.09893	
7.0	**0.5**	0.34852		**153.15**	53.377		53.37676	
7.0	**2.0**	1.5357		**35.34**	54.276		54.27612	
10.0	**0.5**	0.13159		**313.37**	41.237		41.23687	
10.0	**2.0**	0.51125		**75.40**	38.547		38.54734	
15.0	**2.0**	0.17836		**173.57**	30.958		30.95848	
20.0	**2.0**	0.09867		**311.02**	30.688		30.68811	
20.0	**6.0**	0.32532		**95.29**	31.001		31.00136	
30.0	**6.0**	0.16058		**226.19**	36.322		36.32234	
45.0	**6.0**	0.10315		**520.72**	53.712		53.71216	
45.0	**10.0**	0.18612		**302.38**	56.279		56.27865	
60.0	**10.0**	0.1274		**549.78**	70.042		70.04181	
60.0	**20.0**	0.3168		**251.33**	79.621		79.62052	
90.0	**20.0**	0.22069		**604.76**	133.464		133.4637	
90.0	**30.0**	0.33447		**376.99**	126.092		126.0922	
150.0	**30.0**	0.18331		**1130.97**	207.319		207.3187	
150.0	**50.0**	0.30306		**628.32**	190.418		190.4182	
225.0	**50.0**	0.18528		**1511.89**	280.123		280.1233	
225.0	**30.0**	0.11453		**2603.59**	298.190		298.1897	
350.0	**50.0**	0.10328		**3769.91**	389.356		389.3564	

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์และการศึกษาในห้องปฏิบัติการ

สำหรับการศึกษาในห้องปฏิบัติการนี้ เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมในภาคสนาม มาทำการวิเคราะห์ปรับแก้ข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยการปรับแก้ข้อมูลความสูง การคำนวณค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติ การวัดค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหิน การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การปรับแก้ข้อมูลความสูง

เนื่องจากมาตรระดับความสูง (altimeter) อาศัยหลักการของบาโรมิเตอร์ กล่าวคือระดับความสูงจะแปรผกผันกับความกดดันของบรรยากาศ อย่างไรก็ตามเนื่องจากความกดดันของบรรยากาศแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิด้วย ดังนั้นค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดระดับความสูงจึงจำเป็นต้องได้รับการปรับแก้อิทธิพลของอุณหภูมิ ดังขั้นตอนการปรับแก้ดังต่อไปนี้

1.1) หาค่าปรับแก้ของผลต่างของความสูงระหว่างจุดวัดที่อยู่ติดกันโดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Delta H_n^T = \left(H_{obs_n} - H_{obs_{n-1}}\right) \times \left\{1 + 0.0036 \times \left[\left(\frac{T_n + T_{n-1}}{2}\right) - 10\right]\right\} \quad (2)$$

เมื่อ n = 1, 2, 3,…

ΔH_n^T แทนผลต่างของความสูงที่ปรับแก้อิทธิพลของอุณหภูมิแล้ว มีหน่วยเป็นเมตร

$H_{obs_n}, H_{obs_{n-1}}$ แทนค่าความสูงที่อ่านได้จากมาตรวัดระดับความสูงที่จุดวัด n และ n-1 ตามลำดับ มีหน่วยเป็นเมตร

T_n, T_{n-1} แทนอุณหภูมิอากาศที่จุดวัด n และ n-1 ตามลำดับ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

1.2) คำนวณค่าความสูงของจุดวัดใดๆเทียบกับจุดอ้างอิงจุดแรก ดังนี้

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

เมื่อ n = 1, 2, 3,…

H_n^T, H_{n-1}^T แทนความสูงของจุดวัด n และ n-1 ที่ปรับแก้อิทธิพลของอุณหภูมิแล้วเทียบกับจุดอ้างอิงจุดแรก มีหน่วยเป็นเมตร

1.3) จากข้อ (1.2) หากจุดวัดเดียวกันมีความสูงไม่เท่ากัน ให้ปรับแก้อิทธิพลของเวลาวัดต่อค่าความสูง หรือ การปรับแก้ดริฟท์ โดยคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของความสูงต่อหน่วยเวลา ดังนี้

$$\text{Drift} = \frac{H_E^T - H_B^T + Dr}{t_E - t_B} \qquad (4)$$

เมื่อ Drift แทนอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความสูง มีหน่วยเป็นเมตรต่อชั่วโมง

H_B^T แทนความสูงของจุดเริ่มต้นของวงรอบที่ปรับแก้อิทธิพลของอุณหภูมิแล้ว มีหน่วยเป็นเมตร

H_E^T แทนความสูงของจุดสุดท้ายของวงรอบที่ปรับแก้อิทธิพลของอุณหภูมิแล้ว มีหน่วยเป็นเมตร

Dr แทนผลต่างของความสูงสัมบูรณ์ของจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของวงรอบ มีหน่วยเป็นเมตร

t_B, t_E แทนเวลาที่ทำการวัดความสูงของจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของวงรอบ มีหน่วยเป็นชั่วโมง

1.4) คำนวณค่าความสูงของจุดวัดใดๆที่ได้รับการปรับแก้อิทธิพลของดริฟท์แล้ว ดังสมการ

$$H_n^D = H_n^T - \left[\text{Drift} \times \left(t_n - t_B\right)\right] + \text{Hsc} \qquad (5)$$

เมื่อ n = 1, 2, 3,…

H_n^D แทนความสูงสัมบูรณ์ของจุดวัดใดๆที่ได้รับการปรับแก้อิทธิพลของดริฟท์แล้ว มีหน่วยเป็นเมตร

H_n^T แทนความสูงของจุดวัดใดๆที่ปรับแก้อิทธิพลของอุณหภูมิแล้ว มีหน่วยเป็นเมตร

t_n, t_B แทนเวลาของจุดวัดใดๆและจุดอ้างอิงเมื่อเริ่มต้นวงรอบ มีหน่วยเป็นชั่วโมง

Hsc แทนความสูงสัมบูรณ์ของจุดอ้างอิงเมื่อเริ่มต้นวงรอบ มีหน่วยเป็นเมตร

ตัวอย่างการปรับแก้อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาสำหรับค่าความสูงที่อ่านได้จากมาตรระดับความสูงแสดงไว้ในตาราง 2.5

ตาราง 2.5 ตัวอย่างการปรับแก้ค่าความสูง

Stn	Time T (hr:min)	Time Δt (hr)	Elevation H_{obs} (m)	Temperature T (°C)	Difference elevation ΔH^T (m)	Elevation H^T (m)	Absolute elevation H^D (m)	Drift (m/hr)
*S01	9.08	0.00	146.9	34.0		15	15.00	5.66
S76	9.23	0.25	149.0	33.0	2.1	17.3	15.90	
S77	9.37	0.48	155.1	31.5	6.1	23.9	21.16	
S78	9.52	0.73	156.7	31.5	1.5	25.5	21.39	
S79	10.05	0.95	147.5	33.0	-9.1	15.7	10.29	
S80	10.18	1.17	146.6	34.5	-0.9	14.7	8.07	
S81	10.33	1.42	146.3	34.0	-0.3	14.3	6.32	
S82	10.48	1.67	148.1	35.5	1.8	16.3	6.90	
S83	11.00	1.87	152.1	33.5	4.0	20.6	10.08	
*S01	11.18	2.17	158.2	34.5	6.1	27.3	15.00	

2. การคำนวณค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติ

ความแตกต่างของค่าสนามโน้มถ่วงระหว่างจุดวัดต่างกันในพื้นที่ศึกษาอาจมาจากปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสภาพธรณีวิทยาใต้ผิวดิน เช่น การเปลี่ยนแปลงของค่าสนามโน้มถ่วงที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดตามเวลา จุดวัดอยู่ที่ละติจูดต่างกัน ระดับความสูงของจุดวัดต่างกัน และลักษณะภูมิประเทศรอบจุดวัดต่างกัน ดังนั้นค่าสนามโน้มถ่วงที่วัดได้จึงต้องได้รับการปรับแก้อิทธิพลอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับลักษณะโครงสร้างธรณีวิทยาใต้ผิวดินออกไป เช่นการปรับแก้อิทธิพลของเวลา หรือการปรับแก้ดริฟท์ (drift correction) การปรับแก้อิทธิพลของละติจูด (latitude correction) การปรับแก้อิทธิพลของระดับความสูงของจุดวัด ซึ่งประกอบด้วยการปรับแก้ฟรี-แอร์ (free-air correction) และการปรับแก้บูร์แกร์ (Bouguer correction) และการปรับแก้อิทธิพลของภูมิประเทศที่อยู่รอบจุดวัด (terrain correction) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1) การปรับแก้ดริฟท์ มีขั้นตอนดังนี้

2.1.1) เปลี่ยนเวลาที่บันทึกไว้เป็น ชั่วโมง:นาที ให้เป็นหน่วยชั่วโมง

2.1.2) เปลี่ยนค่าที่อ่านได้จากตัวนับของแกรวิมิเตอร์ของทุกจุดวัดเป็นค่าสนามโน้มถ่วงในหน่วยมิลลิแกล (mgal) ด้วยสมการ (6) ข้างล่างนี้

$$g_{obs} = B + (S - A) \times C \qquad (6)$$

เมื่อ g_{obs} แทนค่าสนามโน้มถ่วงของจุดวัดใดๆในหน่วยมิลลิแกล $\left(10^{-5}\,\mathrm{m/s^2}\right)$

S แทนค่าที่อ่านได้จากตัวนับบนแกรวิมิเตอร์

A แทนพิสัยการอ่านของแกรวิมิเตอร์ ดังตาราง 2.6

B,C แทนค่าคงที่ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าของ A ดังตาราง 2.6

ตาราง 2.6 พารามิเตอร์สำหรับเปลี่ยนค่าตัวนับเป็นค่าสนามโน้มถ่วงในหน่วยมิลลิแกล สำหรับแกรวิมิเตอร์ยี่ห้อ LaCoste & Romberg รุ่น G565

พิสัยการอ่าน A	ค่าในหน่วยมิลลิแกล B	ตัวประกอบของช่วงการอ่าน C
1500	1527.25	1.01856
1600	1629.10	1.01860
1700	1730.96	1.01874
1800	1832.84	1.01877
1900	1934.71	1.01891

2.1.3) คำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสนามโน้มถ่วงตามเวลา หรือดริฟท์ ของแต่ละวงรอบของการวัดด้วยสมการ (7) ดังนี้

$$\mathrm{Drift} = \frac{\left(g_{obsE} - g_{obsB}\right) + \mathrm{Dr}}{t_E - t_B} \qquad (7)$$

เมื่อ Drift แทนอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสนามโน้มถ่วงตามเวลา มีหน่วยเป็นมิลลิแกลต่อชั่วโมง

g_{obsB} แทนค่าสนามโน้มถ่วงของจุดวัดแรกในวงรอบ มีหน่วยเป็นมิลลิแกล

g_{obsE} แทนค่าสนามโน้มถ่วงของจุดวัดสุดท้ายในวงรอบ มีหน่วยเป็น มิลลิแกล

Dr แทนคือผลต่างของค่าสนามโน้มถ่วงสัมบูรณ์ของจุดวัดแรกและจุดวัดสุดท้ายของวงรอบ มีหน่วยเป็นมิลลิแกล

t_B, t_E แทนเวลาที่ทำวัดค่าสนามโน้มถ่วงที่จุดวัดแรกและจุดวัดสุดท้ายของวงรอบ มีหน่วยเป็นชั่วโมง

2.1.4) ปรับแก้อิทธิพลของดริฟท์ที่จุดวัดใดๆ ในวงรอบ ดังนี้

$$g_n^{cor} = g_n - \text{Drift} \times (t_n - t_B) \qquad (8)$$

เมื่อ n = 1, 2, 3,…

g_n^{cor} แทนค่าสนามโน้มถ่วงของจุดวัดใดๆ ที่ได้รับการปรับแก้ดริฟท์แล้ว มีหน่วยเป็นมิลลิแกล

g_n แทนค่าสนามโน้มถ่วงที่จุดใดๆก่อนการปรับแก้ดริฟท์ มีหน่วยเป็นมิลลิแกล

t_B, t_n แทนเวลาที่ทำการวัดค่าสนามโน้มถ่วงที่จุดวัดแรกของวงรอบและที่จุดวัดใดๆ ในวงรอบตามลำดับ มีหน่วยเป็นชั่วโมง

2.1.5) คำนวณค่าความสนามโน้มถ่วงสัมบูรณ์ของจุดวัดใดๆ จากสมการ (9) ดังนี้

$$g_n = (g_n^{cor} - g_{n-1}^{cor}) \times 10 + g_{n-1} \qquad (9)$$

เมื่อ n = 1, 2, 3,…

g_n, g_{n-1} แทนค่าสนามโน้มถ่วงสัมบูรณ์ของจุดวัดที่ n และ n-1 ตามลำดับ มีหน่วยเป็น g.u.

g_n^{cor}, g_{n-1}^{cor} แทนค่าสนามโน้มที่ปรับแก้ดริฟท์แล้วของจุดวัดที่ n และ n-1 ตามลำดับ มีหน่วยเป็น มิลลิแกล

ตัวอย่างการปรับแก้อิทธิพลของดริฟท์และการคำนวณค่าสนามโน้มถ่วงสัมบูรณ์ของจุดวัดในวงรอบใดๆแสดงไว้ในตาราง 2.7

ตาราง 2.7 ตัวอย่างการปรับแก้อิทธิพลของดริฟท์และการคำนวณค่าสนามโน้มถ่วงสัมบูรณ์

Station	Time t (hr:min)	Time Δt (hr)	Counter reading S (mgal)	Gravity of measuring station g_{obs} (mgal)	Drift corrected gravity g^{cor} (mgal)	Absolute gravity g (mgal)	Drift (mgal/hr)
*S01	9.08	0.00	1708.811	1739.936	1739.936	9781317.51	0.0360
S76	9.23	0.25	1706.579	1737.662	1737.653	9781294.68	
S77	9.37	0.48	1707.751	1738.856	1738.839	9781306.53	
S78	9.52	0.73	1709.109	1740.240	1740.213	9781320.28	
S79	10.05	0.95	1712.740	1743.939	1743.905	9781357.19	
S80	10.18	1.17	1709.452	1740.589	1740.547	9781323.62	
S81	10.33	1.42	1709.432	1740.569	1740.518	9781323.33	
S82	10.48	1.67	1709.502	1740.640	1740.581	9781323.95	
S83	11.00	1.87	1709.931	1741.077	1741.010	9781328.25	
*S01	11.18	2.17	1708.887	1740.014	1739.936	9781317.51	

2.2 การปรับแก้อิทธิพลของละติจูด

เนื่องจากโลกมีรูปร่างคล้ายทรงกลมแบนขั้ว ทำให้รัศมีของโลกที่ละติจูดต่างกันไม่เท่ากันซึ่งส่งผลให้จุดวัดที่ละติจูดต่างกันมีค่าสนามโน้มถ่วงไม่เท่ากัน ความสัมพันธ์ของค่าสนามโน้มถ่วงที่ระดับน้ำทะเลปานกลางกับละติจูดเป็นไปตามสมการ (10) ข้างล่างนี้ (Parasnis, 1998) และสำหรับจุดวัดใดๆ ค่าสนามโน้มถ่วงที่คำนวณได้จากสมการ (10) นี้จะถูกนำไปหักลบออกจากค่าสนามโน้มถ่วงที่วัดได้เพื่อการปรับแก้อิทธิพลของละติจูด

$$g_{\phi} = 9780318 \times \left(1 + 0.0053024 \sin^2 \phi + 0.0000059 \sin^2 2\phi\right) \quad (10)$$

เมื่อ g_{ϕ} แทนค่าสนามโน้มถ่วงที่ละติจูด ϕ ที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง มีหน่วยเป็น g.u.

ϕ แทนค่าละติจูดของจุดวัด

2.3 การปรับแก้อิทธิพลของระดับความสูง

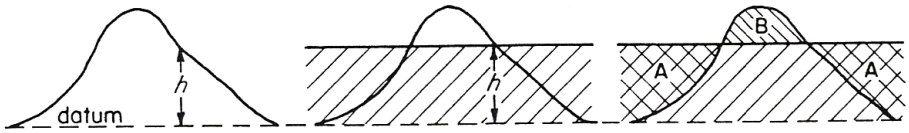
การปรับแก้อิทธิพลของระดับความสูงประกอบด้วยการปรับแก้ฟรี-แอร์และการปรับแก้บูร์แกร์ ดังนี้คือ

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

การปรับแก้ฟรี-แอร์เป็นการปรับแก้การลดลงของค่าสนามโน้มถ่วงตามความสูงของจุดวัดในอากาศอิสระ ซึ่งเป็นผลมาจากจุดวัดอยู่ที่ระดับความสูงต่าง ๆกัน ทำให้ค่าสนามโน้มถ่วงมีค่าลดลงเมื่ออยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกมากขึ้น (ภาพประกอบ 2.10a) ค่าปรับแก้ฟรี-แอร์ในหน่วย g.u. $\left(\mu m/s^2\right)$สำหรับจุดวัดซึ่งอยู่สูง h(m) จากระดับอ้างอิง (datum) คำนวณได้จากสมการ (11) (Parasnis, 1998)

$$\mathrm{FAC} = 3.072 \times h \text{ ที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร} \qquad (11)$$

ค่าปรับแก้ฟรี-แอร์ที่คำนวณได้จะถูกนำไปบวกเพิ่มกับค่าสนามโน้มถ่วงที่จุดวัดนั้นสำหรับจุดวัดที่อยู่สูงกว่าระดับอ้างอิง และนำไปลบออกจากค่าสนามโน้มถ่วงที่จุดวัดนั้นสำหรับจุดวัดที่อยู่ต่ำกว่าระดับอ้างอิง



(a) (b) (c)

ภาพประกอบ 2.10 (a)การปรับแก้ฟรีแอร์ของจุดวัดซึ่งอยู่สูง h เหนือระดับอ้างอิง (b)การปรับแก้บูร์แกร์ บริเวณที่แรเงาเป็นแผ่นมวลที่มีความหนา h ซึ่งมีความยาวเป็นอนันต์ในระนาบระดับ (c) การปรับแก้ภูมิประเทศ
(ดัดแปลงจาก Kearey & Brooks, 1991)

2.3.2 การปรับแก้บูร์แกร์ (Bouguer correction, BC)

การปรับแก้บูร์แกร์เป็นการปรับแก้ค่าสนามโน้มถ่วงเนื่องจากแผ่นมวลในระนาบระดับขนาดใหญ่ ซึ่งมีความหนาแน่น ρ (kg/m^3) และ ความหนา h(m) ที่วางอยู่ระหว่างจุดวัดและระดับอ้างอิง (ภาพประกอบที่ 2.10b) ค่าปรับแก้บูร์แกร์ (BC) ในหน่วย g.u. สามารถคำนวณได้จากสมการ (12) (Parasnis, 1998)

$$\mathrm{BC} = 0.0004191 \times \rho \times \mathrm{h} \qquad (12)$$

ค่าปรับแก้ BC ที่คำนวณได้จะถูกนำไปลบออกจากค่าสนามโน้มถ่วงที่จุดวัดนั้นสำหรับจุดวัดที่อยู่สูงกว่าระดับอ้างอิง และนำไปบวกเพิ่มกับค่าสนามโน้มถ่วงที่จุดวัดนั้นสำหรับจุดวัดที่อยู่ต่ำกว่าระดับอ้างอิง

2.4 การปรับแก้ภูมิประเทศ (Terrain correction, TC)

ในกรณีที่ภูมิประเทศมีลักษณะสูงต่ำและอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับจุดวัด (ภาพประกอบ 2.10c) มวล B ที่อยู่เหนือจุดวัด หรือ มวล A ของภูมิประเทศที่ขาดหายไป จะมีอิทธิพลทำให้ค่าสนามโน้มถ่วงของจุดวัดมีค่าน้อยลง ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับแก้อิทธิพลของภูมิประเทศดังกล่าว จึงจำเป็นต้องประเมินค่าสนามโน้มถ่วงของมวล B ที่อยู่เหนือจุดวัด และมวล A ที่ขาดหายไปแล้วนำไปบวกเพิ่มให้กับค่าสนามโน้มถ่วงที่วัดได้ที่จุดวัด โดยใช้แผนภูมิแฮมเมอร์ (ภาพประกอบ 2.11) ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

การปรับแก้ภูมิประเทศ มีขั้นตอนดังนี้

2.4.1) การบันทึกข้อมูลระดับความสูงของภูมิประเทศรอบจุดวัดในภาคสนาม ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในการดำเนินการวิจัยภาคสนาม

2.4.2) การบันทึกข้อมูลระดับความสูงของภูมิประเทศรอบจุดวัดในห้องปฏิบัติการมีรายละเอียดดังนี้

ก.สร้างแผนภูมิแฮมเมอร์ (Hammer chart) สำหรับแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ที่มีลักษณะเป็นวงแหวนหลายวงซ้อนกันและมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน (ภาพประกอบ 2.11) โดยรัศมีและจำนวนห้องในแต่ละโซนกำหนดไว้ดังตาราง 2.8

ข.วางแผนภูมิแฮมเมอร์ลงบนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 โดยให้จุดศูนย์กลางของแผนภูมิอยู่ที่ตำแหน่งจุดวัด แล้วทำการประเมินค่าระดับความสูงเฉลี่ยในแต่ละห้องของแผนภูมิ บันทึกลงในตารางบันทึกข้อมูล (ตาราง 2.9)

ค. คำนวณค่าปรับแก้ภูมิประเทศ (T) ของห้องทุกห้องของแผนภูมิด้วยสมการ (13) ข้างล่างนี้

$$T = 0.0004191\left(\frac{\rho}{n}\right)\left\{r_2 - r_1 + \left(\sqrt{r_1^2 + z^2}\right) - \left(\sqrt{r_2^2 + z^2}\right)\right\} \qquad (13)$$

เมื่อ T แทนค่าปรับแก้ภูมิประเทศของแต่ละโซน ในหน่วย g.u.

ρ แทนค่าความหนาแน่นของแผ่นมวลหินซึ่งอยู่ระหว่างจุดวัดกับระดับอ้างอิง ในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

n แทนจำนวนห้องของแต่ละโซน

r_1, r_2 แทนรัศมีวงในและวงนอกของแต่ละโซน ตามลำดับ ในหน่วยเมตร

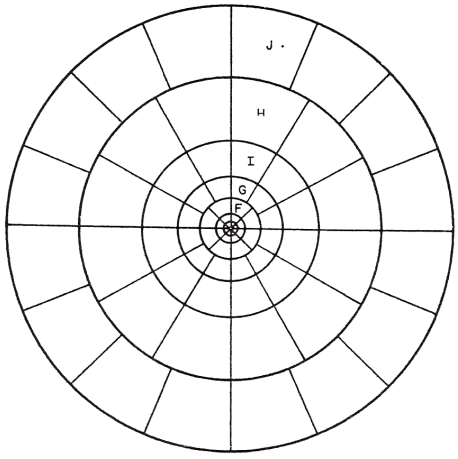
z แทนความสูงเฉลี่ยเหนือระดับอ้างอิงของแต่ละห้องของโซนหนึ่งๆ ในหน่วยเมตร

ง. นำค่าปรับแก้ภูมิประเทศของทุกห้องของแผนภูมิแฮมเมอร์มารวมกันเป็นค่าปรับแก้ภูมิประเทศของจุดวัด ดังสมการ (14) ข้างล่างนี้

$$TC = T_B + T_C + T_D + T_E + T_F + T_G + T_H + T_I \qquad (14)$$

เมื่อ TC แทน ค่าปรับแก้ภูมิประเทศของจุดวัดในหน่วย g.u.

$T_B, T_C, T_D, T_E, T_F, T_G, T_H, T_I$ แทนค่าปรับแก้ภูมิประเทศของแต่ละโซนของแผนภูมิแฮมเมอร์ ในหน่วยเป็น g.u.



ภาพประกอบ 2.11 ลักษณะของแผนภูมิแฮมเมอร์สำหรับการประเมินความสูงของภูมิประเทศรอบจุดวัด (ดัดแปลงจาก Kearey & Brooks, 1991)

ตาราง 2.8 พารามิเตอร์ของโซนต่างๆในแผนภูมิแฮมเมอร์

Zone	r_1	r_2	n	Zone	r_1	r_2	n
B	2.0	16.6	4	H	1529.4	2614.4	12
C	16.6	53.3	6	I	2614.4	4468.8	12
D	53.3	170.1	6	J	4468.8	6652.2	16
E	170.1	390.1	8	K	6652.2	9902.5	16
F	390.1	894.8	8	L	9902.5	14740.9	16
G	894.8	1529.4	12	M	14740.9	21943.3	16

ตารางที่ 2.9 ตัวอย่างการปรับแก้ค่าปรับแก้ภูมิประเทศในโซน F ถึง I

GEOPHYSICS LABORATORY

DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE,

PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY,HATYAI, 90110 THAILAND

TEL.074-288730 FAX.074-212817

GRAVITY TERRAIN CORRECTION

HAMMER FORM

CLIENT Geothermal Resources in Phattalung **AREA** B **OBSERVER** Sukrit Jonjana **DATE** 17/06/50

STATION …S048… **ALTITUDE** …60… **TOTAL CORRECION** ……																		
COMPART MENT		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	sum
ZONE																		
F	ALT.	65.0	55.0	60.0	80.0	80.0	80.0	150.0	100.0									
	DIF.	5.0	-5.0	0.0	20.0	20.0	20.0	90.0	40.0									
	COR.	0.002	0.002	0.000	0.038	0.038	0.038	0.750	0.151									1.02
G	ALT.	60.0	50.0	60.0	80.0	100.0	60.0	60.0	60.0	80.0	200.0	160.0	80.0					
	DIF.	0.0	-10.0	0.0	20.0	40.0	0.0	0.0	0.0	20.0	140.0	100.0	20.0					
	COR.	0.000	0.002	0.000	0.008	0.032	0.000	0.000	0.000	0.008	0.392	0.201	0.008					0.65
H	ALT.	60.0	40.0	80.0	80.0	60.0	55.0	55.0	38.0	50.0	100.0	65.0	80.0					
	DIF.	0.0	-20.0	20.0	20.0	0.0	-5.0	-5.0	-22.0	-10.0	40.0	5.0	20.0					
	COR.	0.000	0.005	0.005	0.005	0.000	0.000	0.000	0.006	0.001	0.019	0.000	0.005					0.05
I	ALT.	39.0	50.0	60.0	50.0	50.0	55.0	150.0	45.0	150.0	100.0	50.0	50.0					
	DIF.	-21.0	-10.0	0.0	-10.0	-10.0	-5.0	90.0	-15.0	90.0	40.0	-10.0	-10.0					
	COR.	0.003	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.056	0.002	0.056	0.011	0.001	0.001					0.13

2.5 ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ (absolute Bouguer anomaly, BA)

2.5.1) ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์เป็นค่าสนามโน้มถ่วงของจุดวัดที่ได้รับการปรับแก้อิทธิพลของละติจูด ระดับความสูง และภูมิประเทศแล้ว ดังสมการ (15) และตัวอย่างการคำนวณค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์แสดงไว้ดังตาราง 2.10

$$BA = g_{obs} - g_{\phi} + FAC - BC + TC \qquad (15)$$

เมื่อ BA แทนค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ g_{obs} แทนค่าสนามโน้มถ่วงสัมบูรณ์ g_{ϕ} แทนค่าปรับแก้ละติจูด FAC แทนค่าปรับแก้ฟรี-แอร์ BC แทนค่าปรับแก้บูร์แกร์ และ TC แทนค่าปรับแก้ภูมิประเทศ

2.5.2 นำค่าพิกัดและค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ของจุดวัดที่ได้จากหัวข้อ (2.5.1) มาสร้างแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ของพื้นที่ศึกษาด้วยโปรแกรม Surfer version 8.00 และเลือก Kriging gridding method ด้วย Search radius : 15,000 m., Number of sector : 4 และ Spacing : 1,000 m

2.5.3 ตัดโพรไฟล์ค่าผิดปกติบูร์แกร์ในแนว AA’ (807500 N), BB’ (812500 N), CC’ (817500 N), DD’ (822500N), EE’(827500N) และFF’(832500N)

2.5.4 สร้างแบบจำลองของมวลผิดปกติใต้ระดับน้ำทะเลปานกลางในแนววัดทั้ง 6 ข้างต้นด้วยโปรแกรม Geo Vista AB-GMM, version 1.31

ตาราง 2.10 ตัวอย่างการคำนวณค่าผิดปกติบูร์แกร์

Stn	Lat ϕ (degree)	elevation H (m)	Observed gravity g_{obs} (g.u.)	Calculated gravity g_{ϕ} (g.u.)	Free-air correction FAC (g.u.)	Bouguer correction BC (g.u.)	Terrain correction TC (g.u.)	Bouguer anomaly BA (g.u.)
*S01	7.469	15.00	9781317.51	9781190.5	46.08	15.72	0.38	158
S76	7.470	15.90	9781294.68	9781190.7	48.85	16.66	0.08	136
S77	7.487	21.16	9781306.53	9781194.6	65.04	22.18	0.11	155
S78	7.503	21.39	9781320.28	9781198.4	65.73	22.42	0.24	165
S79	7.510	10.29	9781357.19	9781200.0	31.57	10.77	0.08	178
S80	7.514	8.07	9781323.62	9781201.0	24.75	8.44	0.11	139
S81	7.529	6.32	9781323.33	9781204.4	19.37	6.61	0.05	132
S82	7.497	6.90	9781323.95	9781196.9	21.14	7.21	0.16	141
S83	7.480	10.08	9781328.25	9781192.9	30.93	10.55	0.24	156
*S01	7.469	15.00	9781317.51	9781190.5	46.08	15.72	0.38	158

3. การวัดค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่าง

ความหนาแน่นของตัวอย่างหินโผล่ในพื้นที่ศึกษา จะถูกนำไปใช้สำหรับการปรับแก้ข้อมูลสนามโน้มถ่วง การแปลความหมายค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติเชิงปริมาณโดยการสร้างแบบจำลองวัตถุผิดปกติใต้ผิวดิน

การวัดความหนาแน่นของตัวอย่างหินโผล่อาศัยหลักการของอาร์คีมีดีส (Archimedes) ซึ่งกล่าวไว้ว่า “เมื่อวัตถุทั้งก้อนหรือเพียงบางส่วนจมในของเหลว ของเหลวจะออกแรงในทิศขึ้นกระทำต่อวัตถุ มีขนาดเท่ากับขนาดน้ำหนักของของเหลวซึ่งถูกแทนที่ และแรงนี้คือแรงพยุงของของเหลวนั้นเอง” นั่นคือ แรงพยุงของของเหลวมีค่าเท่ากับน้ำหนักของวัตถุที่ลดลง หรือเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุ

ในกรณีที่วัตถุจมอยู่นิ่งในของเหลว จะได้ว่า แรงพยุงในของเหลว (F) ในหน่วยนิวตัน เป็นดังนี้คือ

$$F = \rho_W V g \qquad (16)$$

เมื่อ ρ_W แทนความหนาแน่นของของเหลวในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร V แทนปริมาตรของก้อนวัตถุในของเหลวในหน่วยลูกบาศก์เมตร และ g แทนค่าความเร่งเนื่องจากสนามโน้มถ่วงในหน่วยเมตรต่อวินาทีต่อวินาที

ดังนั้นความหนาแน่นของวัตถุ ρ_d สามารถคำนวณได้จากสมการ (17) ดังนี้

$$\rho_d = \frac{M}{V} \qquad (17)$$

เมื่อ ρ_d แทนความหนาแน่นของตัวอย่างหินในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ M แทนมวลของวัตถุในหน่วยกิโลกรัม

สำหรับการวัดค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินของหินโผล่ในห้องปฏิบัติการ มีขั้นตอนการวัดดังนี้

3.1) นำตัวอย่างหินที่มีมวลไม่เกิน 3,000 กรัม มาทำความสะอาดให้เศษหินและฝุ่นที่เกาะติดอยู่ภายนอกหลุดออกไป

3.2) นำเครื่องชั่งน้ำหนักวางบนโต๊ะที่มีความแข็งแรงและพื้นราบเรียบ ปรับให้เครื่องชั่งอยู่ในระนาบระดับแล้วทำการชั่งมวลของตัวอย่างหินในอากาศ บันทึกค่าเป็น W_1

3.3) นำตัวอย่างหินที่ผ่านขั้นตอนข้อ (3.2) แล้ว มาแช่ให้จมน้ำในภาชนะตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน เมื่อครบกำหนดแล้วนำตัวอย่างหินมาชั่งในน้ำ บันทึกค่าเป็น W_2

3.4) คำนวณหาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหิน ρ_d ด้วยสมการ (18) ดังนี้

$$\rho_d = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \times \rho_w \qquad (18)$$

เมื่อ ρ_d และ ρ_W แทนค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินและค่าความหนาแน่นของน้ำที่ใช้ในการชั่งตัวอย่างหินในน้ำตามลำดับ

4. การแปลความข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาณ

การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเพื่อกำหนดแบบจำลองของชั้นดิน เช่น จำนวนชั้นดิน ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและความหนาของดินแต่ละชั้นในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม RESIST version 1.0 โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1) ป้อนข้อมูลที่ซึ่งได้จากการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าลงในโปรแกรม RESIST version 1.0 ซึ่งข้อมูลประกอบด้วยค่ากึ่งหนึ่งของระยะทางระหว่างขั้วไฟฟ้ากระแส (AB/2) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏ (ρ_a) ที่สัมพันธ์กัน

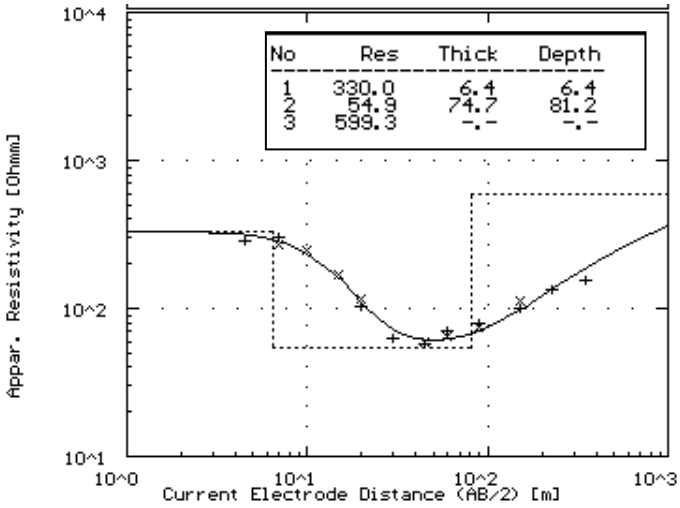
4.2) พล็อตกราฟระหว่าง (ρ_a) กับระยะ AB/2 ในสเกลล็อก-ล็อก

4.3) ป้อนแบบจำลองเบื้องต้นของชั้นดินซึ่งประกอบด้วยจำนวนชั้นดิน ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและความหนาของดินแต่ละชั้น เพื่อให้โปรแกรม RESIST version 1.0 คำนวณค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏที่สัมพันธ์กับแบบจำลองชั้นดินที่กำหนดให้

4.4) เปรียบเทียบกราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมกับกราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏจากการวัด หากกราฟทั้งสองยังไม่ซ้อนทับกัน ก็ให้ทำการปรับแก้แบบจำลองของชั้นดินจนกระทั่งกราฟทั้งสองซ้อนทับกันพอดี เมื่อกราฟทั้งสองซ้อนทับกันพอดี แบบจำลองที่ได้จะเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับลักษณะโครงสร้างธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา ดังภาพประกอบ 2.12

4.5) สร้างแผนที่เส้นคอนทัวร์ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ระดับความลึกต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา ดังนี้ 25, 50, 75, 100, 125 และ 150 เมตร

4.6) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองชั้นดินที่ได้จากการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้ากับข้อมูลชั้นดินในหลุมเจาะน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบ 2.12 ตัวอย่างกราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏที่ได้จากการวัดและที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม RESIST Version 1.0

บทที่ 3

ผลและอภิปรายผล

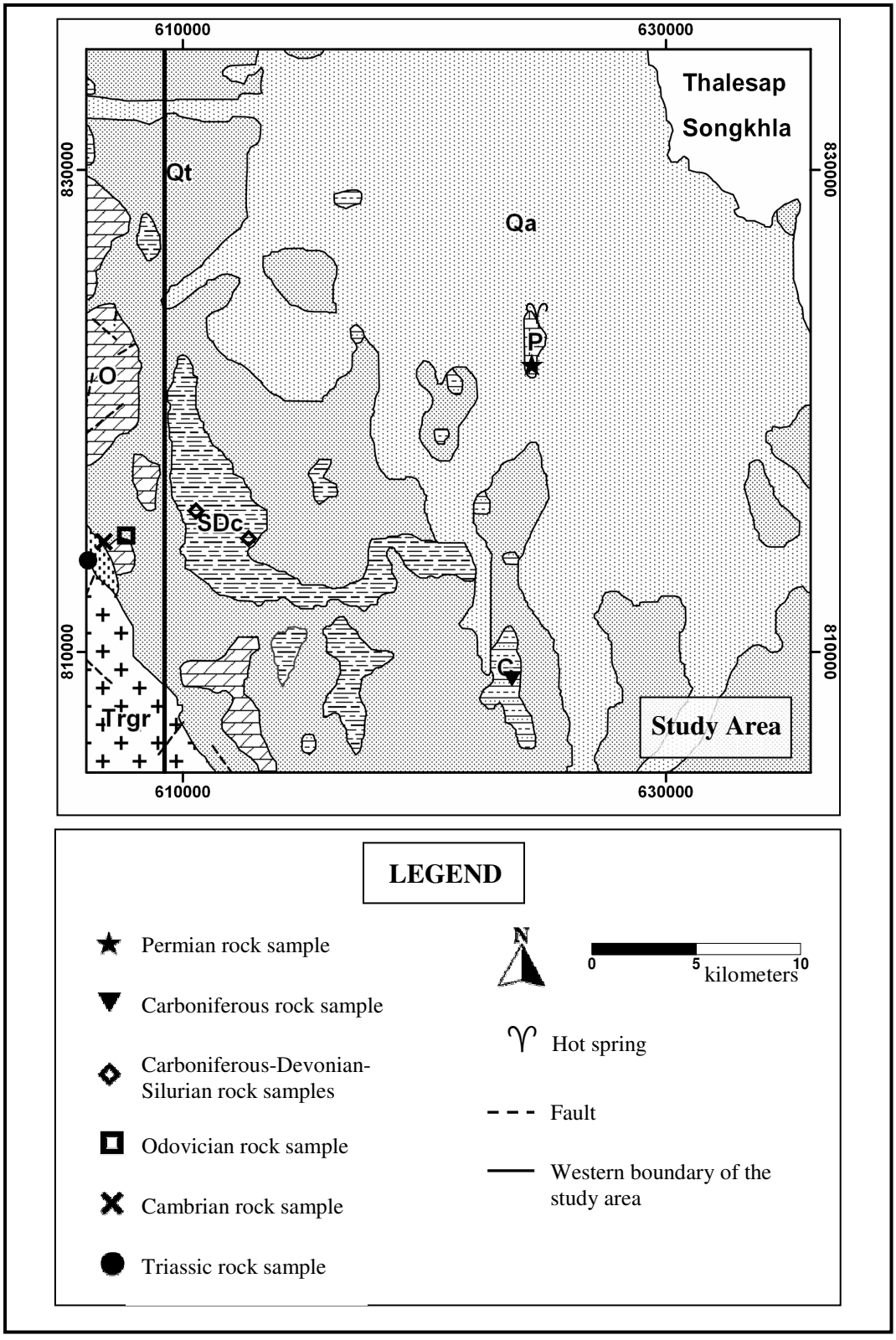
3.1 ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหิน

การศึกษาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหิน มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดค่าความหนาแน่นของหมวดหินชนิดต่างๆภายในพื้นที่ศึกษาและเพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ควบคุมสำหรับแบบจำลองของโครงสร้างธรณีวิทยาในระดับลึก

ตัวอย่างหินที่นำมาวัดค่าความหนาแน่นเป็นตัวอย่างหินโผล่ของหน่วยหินต่างๆ ในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียงจำนวน 7 ตำแหน่งตามแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1 : 250,000 ระวาง NB 47-3 จังหวัดสงขลา (กองธรณีวิทยา, 2528) ซึ่งประกอบด้วยหินแกรนิตยุคจูแรสซิก-ไทรแอสซิก 1 ตำแหน่ง หินปูนยุคเพอร์เมียน 1 ตำแหน่ง หินทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัส 1 ตำแหน่ง หินดินดานยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ดิโวเนียน-ไซลูเรียน 2 ตำแหน่ง หินปูนยุคออร์โดวิเชียน 1 ตำแหน่งและหินทรายยุคแคมเบรียน 1 ตำแหน่ง (ภาพประกอบ 3.1) โดยค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินเหล่านี้แสดงไว้ดังตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวอย่างหินในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง

ชนิดหิน/ยุค	ค่าความหนาแน่น พิสัยของความหนาแน่น (kg/m^3)	จำนวน ตำแหน่ง	จำนวนตัวอย่าง หินรวม
หินปูน ยุคเพอร์เมียน	2,770 ± 70 2,658-2,805	1	4
หินทราย ยุคคาร์บอนิเฟอรัส	2,580 ± 20 2,561-2,606	1	5
หินดินดาน(เนื้ออ่อน) ยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ดิโว เนียน-ไซลูเรียน	2,460 ± 50 2,307-2,570	2	15
หินปูน ยุดออร์โดวิเชียน	2,709 ± 5 2,703-2,716	1	5
หินทราย ยุคแคมเบรียน	2,600 ± 60 2,539-2,668	1	5
หินแกรนิต ยุคจูแรสซิก-ไทรแอสซิก	2,600 ± 20 2,581-2,620	1	6



ภาพประกอบ 3.1 ตำแหน่งของจุดเก็บหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง

ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวอย่างหินในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวอย่างหินในพื้นที่ภาคใต้ของนักวิจัยท่านอื่นๆในอดีต (สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, 2539; ประยุทธ ขาวดี, 2551) ดังแสดงไว้ในตาราง 3.2

ตาราง 3.2 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวอย่างหินในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ภาคใต้

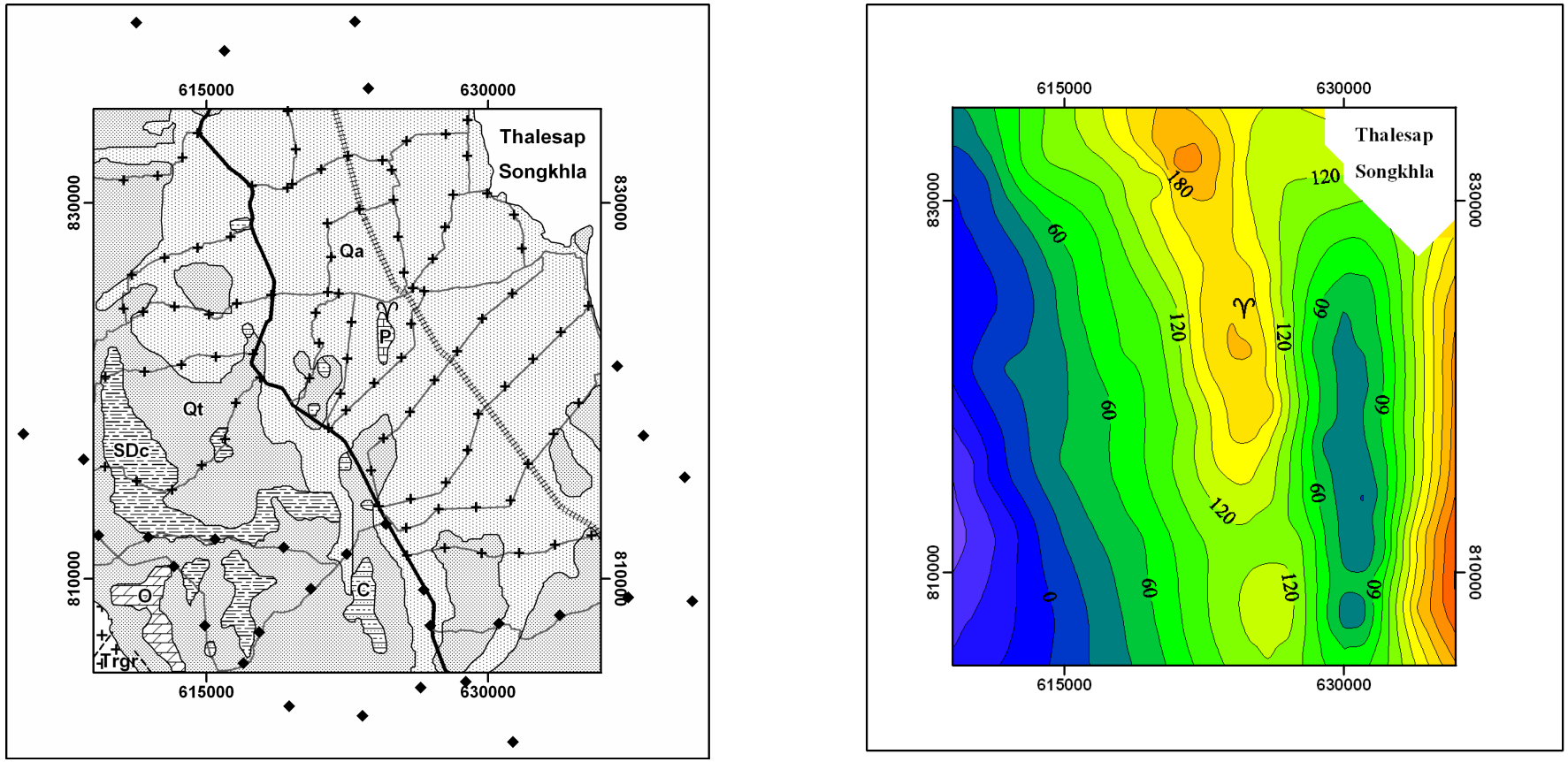
ชนิดหิน/ยุค	**ค่าความหนาแน่น(kg/m^3)**		
	พิสัยของความหนาแน่น		
	สุกฤษฎิ์ (2552)	สุวิทย์(2539)	ประยุทธ(2551)
หินทราย ยุคครีเทเชียส-จูแรสซิก	-	2,250 ± 180 1,840-2,710	2,560 ± 70 2,390-2,640
หินปูน ยุคเพอร์เมียน	2,770 ± 70 2,658-2,805	2,730 ± 60 2,650-2,820	2,710 ± 60 2,640-2,820
หินทราย ยุคคาร์บอนิเฟอรัส	2,580 ± 20 2,561-2,606	-	-
หินดินดาน(เนื้ออ่อน)	2,460 ± 50 2,307-2,570	-	2,420 ± 70 2,320-2,530
หินดินดาน(เนื้อแข็ง) ยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ดิโว เนียน-ไซลูเรียน	-	2,680 ± 37 2,597-2,730	2,770 ± 50 2,730-2,860
หินปูน ยุดออร์โดวิเชียน	2,709 ± 5 2,703-2,716	2,685 ± 61 2,409-2,813	-
หินทราย ยุคแคมเบรียน	2,600 ± 60 2,539-2,668	2,732 ± 57 2,659-2,847	-
หินแกรนิต ยุคจูแรสซิก-ไทรแอสซิก	2,600 ± 20 2,581-2,620	2,577 ± 61 2,390-2,644	2,620 ± 70 2,590-2,660

3.2 ผลการศึกษาค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติในพื้นที่ศึกษา

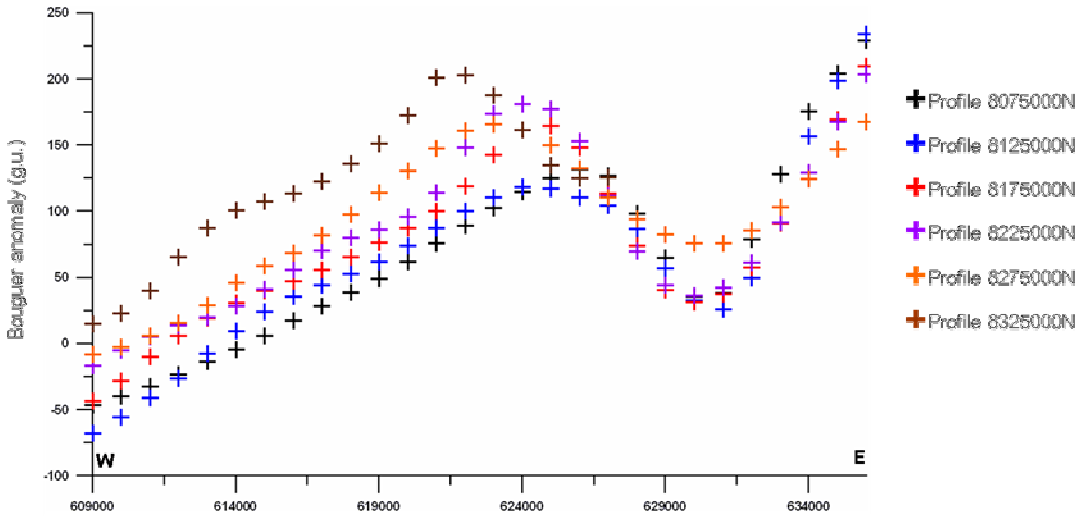
แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ของพื้นที่ศึกษาแสดงไว้ดังภาพประกอบ 3.2 ซึ่งแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ดังกล่าวเขียนขึ้นจากข้อมูลค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติที่วัดได้จากงานวิจัยปัจจุบันและข้อมูลเดิมของสุวิทย์ เพชรห้วยลึก (2539)

แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ของพื้นที่ศึกษาแสดงค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในแนวตะวันตก-ตะวันออก โดยค่าผิดปกติบูร์แกร์มีค่าต่ำประมาณ -96 g.u. ทางด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นพื้นที่ของหินแกรนิตและมีค่าสูงประมาณ 337 g.u. ทางด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษาด้านที่ติดกับทะเลสาบสงขลาซึ่งเป็นพื้นที่ของตะกอนยุคควอเทอร์นารี นอกจากนี้ยังพบว่าค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ที่มีค่าสูงประมาณ 120 ถึง 220 g.u. มีลักษณะเป็นแถบยาวที่วางตัวอยู่ในทิศ N010W ปรากฏเหนือบริเวณของหินปูนยุคเพอร์เมียนในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นบริเวณที่น้ำพุร้อนเขาชัยสนตั้งอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่ทางด้านตะวันออกของแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ที่สูงนี้จะมีค่าผิดปกติบูร์แกร์ต่ำประมาณ 20 ถึง 120 g.u. มีลักษณะเป็นแถบยาวเช่นกัน แต่วางตัวในทิศ N-S ครอบคลุมพื้นที่ราบซึ่งปกคลุมด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารี

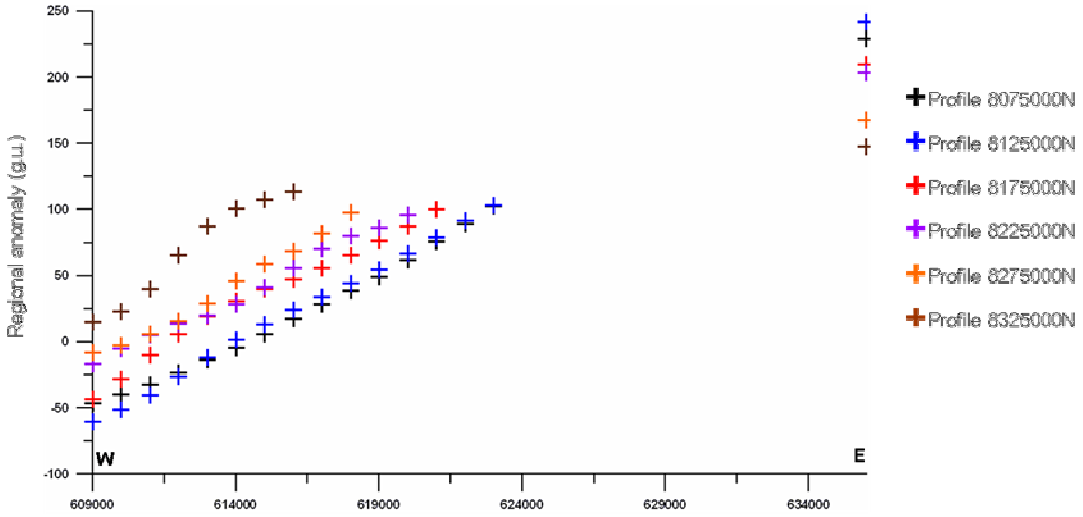
เมื่อพิจารณาค่าผิดปกติบูร์แกร์ในแนวตะวันตก-ตะวันออกที่วางตัวขนานกันจำนวน 6 แนว คือ แนว 807500N, 812500N, 817500N, 822500N, 827500N, 832500N ในพื้นที่ศึกษา (ภาพประกอบ 3.3a) เราจะสังเกตุเห็นการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของค่าผิดปกติบูร์แกร์จากด้านตะวันตกไปยังด้านตะวันออกด้วยอัตรา 9.8 g.u./km ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าผิดปกติบูร์แกร์ดังกล่าวได้พิจารณาให้เป็นค่าผิดปกติบูร์แกร์เชิงภูมิภาค และแผนที่ค่าผิดปกติบูร์แกร์เชิงภูมิภาคของพื้นที่ศึกษาได้แสดงดังภาพประกอบ 3.4a ทั้งนี้โดยการพิจารณาให้การเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้นของค่าผิดปกติบูร์แกร์กับระยะทางเป็นส่วนของค่าผิดปกติบูร์แกร์เชิงภูมิภาคและตัดค่าผิดปกติบูร์แกร์ในส่วนที่คาดว่าเป็นอิทธิพลของวัตถุผิดปกติใต้ผิวดินในระดับตื้นออก ดังภาพประกอบ 3.3b สำหรับค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของพื้นที่ศึกษา (ภาพประกอบ 3.4b) ได้จากหักลบค่าผิดปกติบูร์แกร์เชิงภูมิภาคออกจากค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ของพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบ 3.2 (a) ตำแหน่งจุดวัดค่าสนามโน้มถ่วงในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่โดยรอบ ✚ แทนจุดวัดของผู้วิจัย ◆ แทนจุดวัดของ สุวิทย์ เพชรห้วยลึก (2539) (b) แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ในหน่วย g.u. (ระยะห่างระหว่างเส้นคอนทัวร์ 20 g.u.)

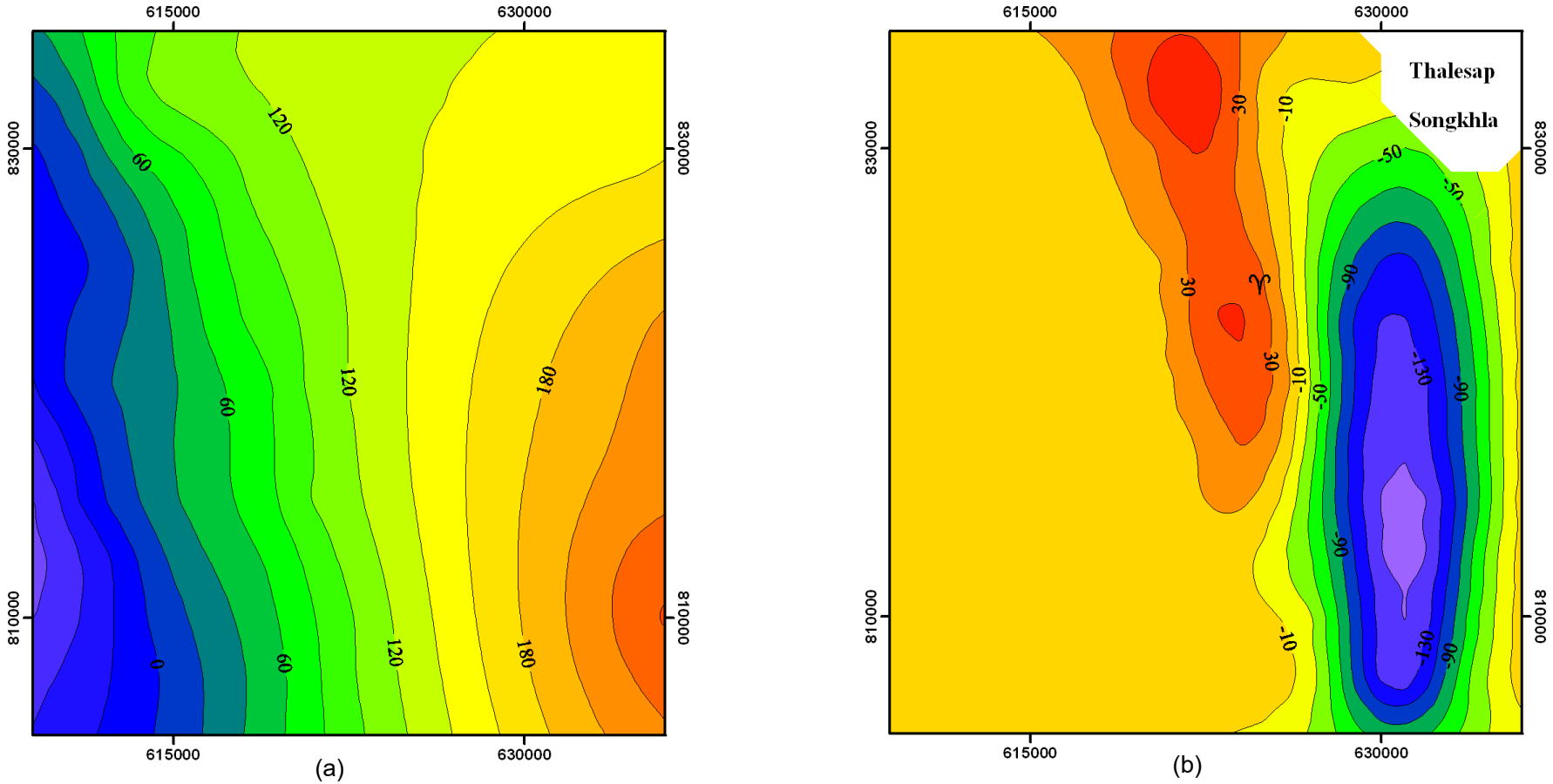


(a)



(b)

ภาพประกอบ 3.3 (a) ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ในแนวต่าง ๆของพื้นที่ศึกษา
(b) ค่าสนามโน้มถ่วงเชิงภูมิภาคในแนวต่าง ๆของพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบ 3.4 (a) แผนที่คอนทัวร์ค่าสนามโน้มถ่วงเชิงภูมิภาคของพื้นที่ศึกษา (b) แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของพื้นที่ศึกษา (ระยะห่างระหว่างเส้นคอนทัวร์ 20 g.u.)

3.3 แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาใต้ผิวดินของพื้นที่ศึกษา

3.3.1 การแปลความค่าผิดปกติบูร์แกร์

ผลการซ้อนทับของแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างในหน่วย g.u. กับแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา (ภาพประกอบ 3.6a) แสดงบริเวณที่มีค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติที่ควรให้ความสนใจ 2 บริเวณด้วยกันคือ

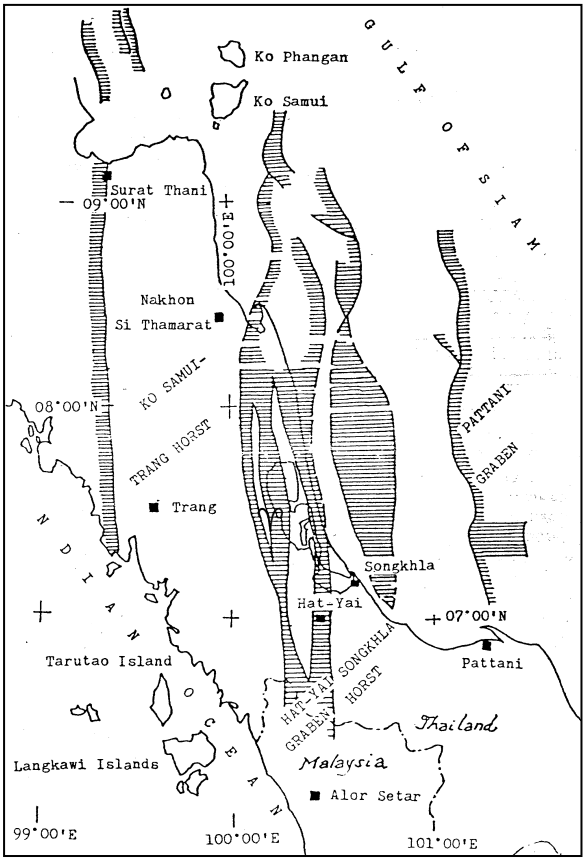
1. บริเวณผิดปกติ A ซึ่งมีค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างสูงประมาณ 10 ถึง 68 g.u. ปรากฏเป็นแถบยาววางตัวอยู่ในทิศ N010W โดยตอนล่างของบริเวณผิดปกติ A เป็นบริเวณของหินปูนยุคเพอร์เมียนซึ่งมีแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสนตั้งอยู่ จึงมีความเป็นไปได้ว่าค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างในบริเวณผิดปกติ A นี้มีความสัมพันธ์กับหินปูนในยุคเพอร์เมียน เนื่องมาจากหินปูนยุคเพอร์เมียนนี้มีความหนาแน่นสูงกว่าหน่วยหินอื่นๆที่อยู่ใกล้เคียง

2. บริเวณผิดปกติ B มีค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างต่ำประมาณ -10 ถึง -160 g.u. วางตัวอยู่ทางด้านตะวันออกของบริเวณผิดปกติ A มีลักษณะเป็นแถบยาวที่วางตัวในทิศเหนือ-ใต้ ครอบคลุมพื้นที่ราบซึ่งปกคลุมด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารี ทำให้สันนิษฐานค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าต่ำในบริเวณผิดปกติ B น่าจะสัมพันธ์กับแอ่งตะกอน หรือตะกอนยุคควอเทอร์นารีในบริเวณนั้นมีความหนาเพิ่มมากขึ้น โดยที่ตะกอนในแอ่งตะกอนดังกล่าวมีความหนาแน่นต่ำกว่าความหนาแน่นของหินท้องที่ซึ่งอยู่โดยรอบ

ผลการศึกษาด้านสนามโน้มถ่วงของสุรศักดิ์ แก้วอ่อน (2539) และสุวิทย์ เพชรห้วยลึก (2539) ในพื้นที่จังหวัดสตูล จังหวัดสงขลา จังหวัดพัทลุง และจังหวัดตรัง พบว่าค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์มีค่าต่ำเหนือพื้นที่ซึ่งปกคลุมด้วยหินแกรนิตที่มีความหนาแน่นประมาณ 2,600 kg/m^3 แต่มีค่าสูงเหนือพื้นที่ซึ่งปกคลุมด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า หรือประมาณ 2,000 kg/m^3 โดยผู้วิจัยทั้งสองให้เหตุผลว่าในพื้นที่ซึ่งปกคลุมด้วยหินแกรนิตหินฐานซึ่งกำหนดให้มีความหนาแน่นเท่ากับ 2,800 kg/m^3 วางตัวอยู่ในระดับลึกกว่าพื้นที่ซึ่งปกคลุมด้วยหินตะกอนควอเทอร์นารี หรือหินฐานยกตัวสูงขึ้นในบริเวณที่ปกคลุมด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารี ดังนั้นจึงเป็นไปไม่ได้ที่แถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าสูงในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาปัจจุบันจะสัมพันธ์กับหินแกรนิตใต้ผิวดิน แต่มีความเป็นไปได้ที่แถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าสูงนี้อาจความสัมพันธ์กับหินปูนยุคเพอร์เมียนซึ่งมีความหนาแน่นประมาณ 2,700 kg/m^3 ทั้งนี้เนื่องจากในบริเวณนี้มีเทือกเขาหินปูนยุคเพอร์เมียนปรากฏให้เห็นและวางตัวขนานกับแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ที่มีค่าสูงนี้

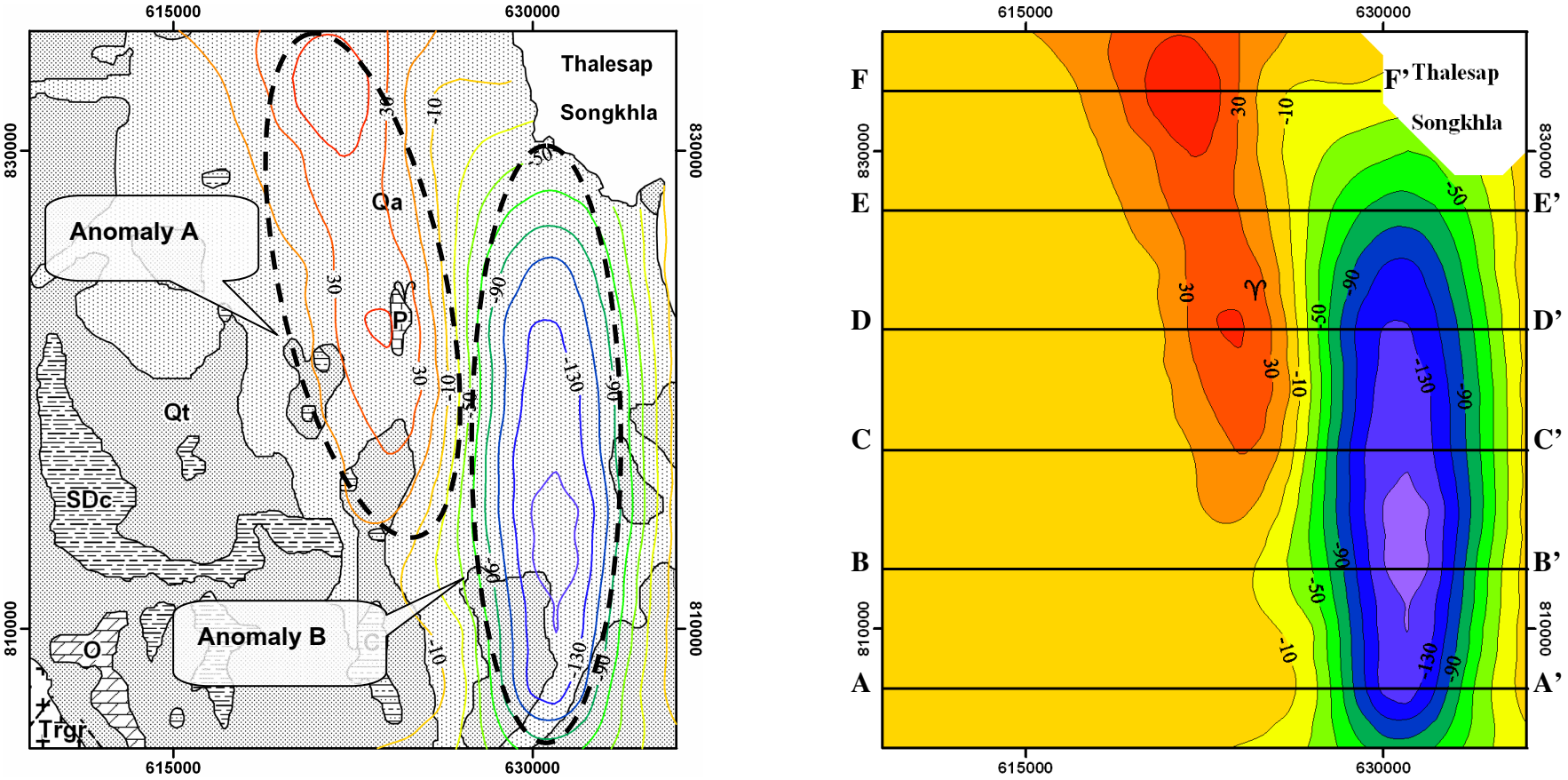
นอกจากนี้แล้ว จากการศึกษาด้านธรณีวิทยาควอเทอร์นารีในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย Sawata et al. (1983) พบว่าแอ่งตะกอนซึ่งวางตัวในทิศเหนือ-ใต้ตั้งแต่ชายฝั่งทะเลทางด้านตะวันออกของจังหวัดนครศรีธรรมราชลงมาจนถึงชายแดนไทย-มาเลเซียเป็นโครงสร้างธรณีวิทยาแบบกราเบน ส่วนเทือกเขาและแอ่งขนาดเล็กที่อยู่ถัดไปทางตะวันออกเป็นโครงสร้างธรณีวิทยาแบบฮอร์สต์ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าแถบค่าผิดปกติบูร์

แกร์ตกค้างที่มีค่าสูงและต่ำซึ่งวางขนานกันอาจจะสัมพันธ์กับโครงสร้างธรณีวิทยาแบบกราเบนและฮอร์สที่พาดผ่านพื้นที่ศึกษานี้ (ภาพประกอบ 3.5) โดยแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าสูงเกิดจากโครงสร้างธรณีวิทยาแบบฮอร์สต์ซึ่งหินฐานยกตัวสูงขึ้นมา ในขณะที่แถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ที่มีค่าต่ำเกิดจากโครงสร้างธรณีวิทยาแบบกราเบนซึ่งหินฐานทรุดตัวต่ำลง หรือตะกอนอายุน้อยมีความหนาเพิ่มมากขึ้น



ภาพประกอบ 3.5 โครงสร้างธรณีวิทยาแบบฮอร์สและกราเบนซึ่งพาดผ่านพื้นที่ศึกษา
(ที่มา : Sawata et al.,1983)

ในการแปลความหมายเชิงปริมาณของค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของพื้นที่ศึกษาได้สร้างแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาใต้ระดับน้ำทะเลปานกลางในแนวตะวันออก-ตะวันตกจำนวน 6 แนว คือ แนว AA' (807500 N), BB' (812500), CC' (817500), DD' (822500), EE' (827500), FF' (832500) โดยมีระยะห่างระหว่างแนวเท่ากับ 5 กิโลเมตร (ภาพประกอบ 3.6b) โดยกำหนดให้หินท้องที่ (surrounding rock) มีความหนาแน่นเท่ากับ 2,580 kg/m^3 ซึ่งเป็นค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของหินทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัส หินโคลนยุคไซลูเรียน-ดิโวเนียน และหินปูนยุคออร์โดวิเชียนที่ปรากฏอยู่ในพื้นที่ศึกษา



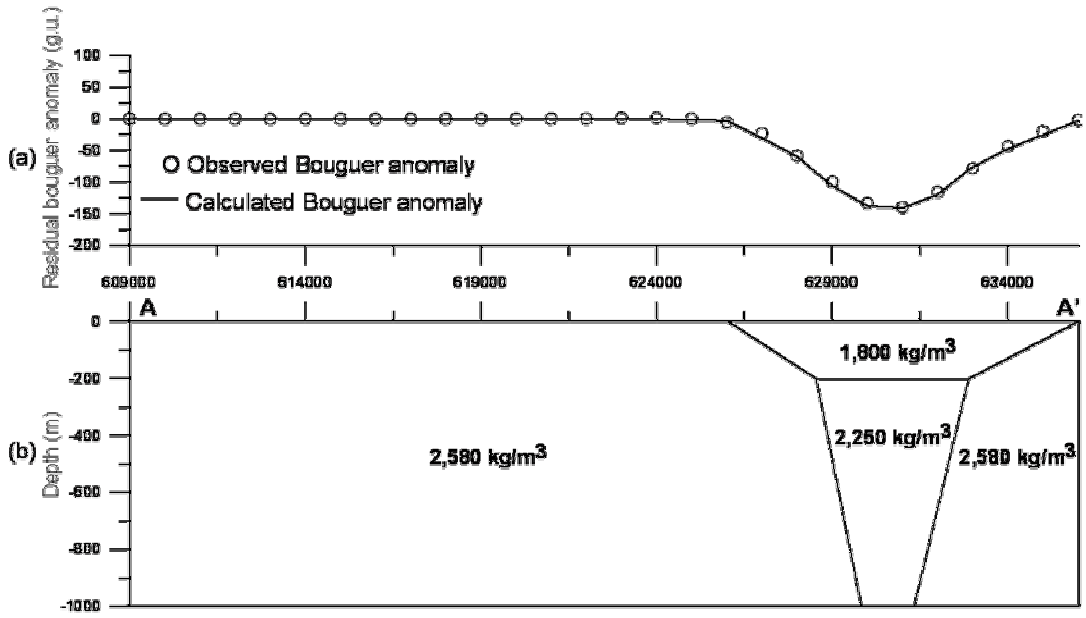
(a) (b)

ภาพประกอบ 3.6 (a) แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างซ้อนทับบนแผนที่ธรณีวิทยา
(b) ตำแหน่งของแนวภาพตัดซ้อนทับบนแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้าง

3.3.1.1 แนว AA’ (807500 N)

ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างและแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาของแนว AA’ แสดงไว้ดังภาพประกอบ 3.7 โดยค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างเริ่มมีค่าเท่ากับศูนย์ตั้งแต่ปลายแนวด้านตะวันตกถึงประมาณตำแหน่ง 626000E และค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างมีค่าลดต่ำลงคล้ายรูปถ้วยหงายระหว่างตำแหน่ง 626000E ถึงปลายแนวด้านตะวันออก โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -139 g.u. ที่ตำแหน่ง 631000E ดังภาพประกอบ 3.7(a)

แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว AA' ซึ่งอธิบายค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าต่ำระหว่างตำแหน่ง 626000E ถึงปลายแนวด้านตะวันออกเป็นมวลของหินทรายยุคครีเทเชียส-จูแรสซิกที่มีความหนาแน่น 2,250 kg/m^3 และมีความหนาประมาณ 800 เมตรที่วางตัวอยู่ใต้มวลหินตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่มีความหนาแน่น 1,800 kg/m^3 ซึ่งมีความหนาประมาณ 200 เมตร ที่ระดับความลึก 0 เมตร ระหว่างตำแหน่ง 626000 ถึง 636000 E ของแนว AA' โดยหินท้องที่มีค่าความหนาแน่น 2,580 kg/m^3 ดังภาพประกอบ 3.7(b)

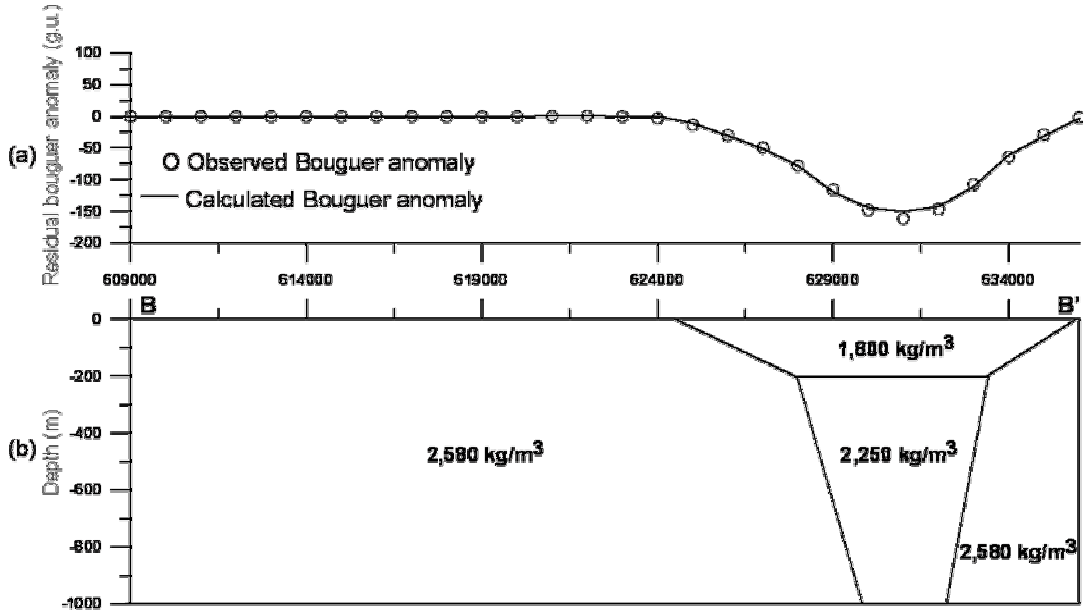


ภาพประกอบ 3.7 (a) ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของแนว AA'
(b) แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว AA’

3.3.1.2 แนว BB’ (812500 N)

ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างและแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาของแนว BB’ แสดงไว้ดังภาพประกอบ 3.8 โดยค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างเริ่มมีค่าเท่ากับศูนย์ตั้งแต่ปลายแนวด้านตะวันตกถึงประมาณตำแหน่ง 624000E และค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างมีค่าลดต่ำลงคล้ายรูปถ้วยหงายระหว่างตำแหน่ง 624000E ถึงปลายแนวด้านตะวันออก โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -162 g.u. ที่ตำแหน่ง 631000E ดังภาพประกอบ 3.8(a)

แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว BB' ซึ่งอธิบายค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าต่ำระหว่างตำแหน่ง 624000E ถึงปลายแนวด้านตะวันออกมีลักษณะคล้ายกับแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว AA' กล่าวคือ เป็นมวลของหินทรายยุคครีเทเซียส-จูแรสซิกที่มีความหนาแน่น 2,250 kg/m^3 และมีความหนาประมาณ 800 เมตรที่วางตัวอยู่ใต้มวลหินตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่มีความหนาแน่น 1,800 kg/m^3 ซึ่งมีความหนาประมาณ 200 เมตรที่ระดับความลึก 0 เมตร ระหว่างตำแหน่ง 624500 ถึง 636000 E ของแนว BB' โดยหินท้องที่มีค่าความหนาแน่น 2,580 kg/m^3 ดังภาพประกอบ 3.8(b)

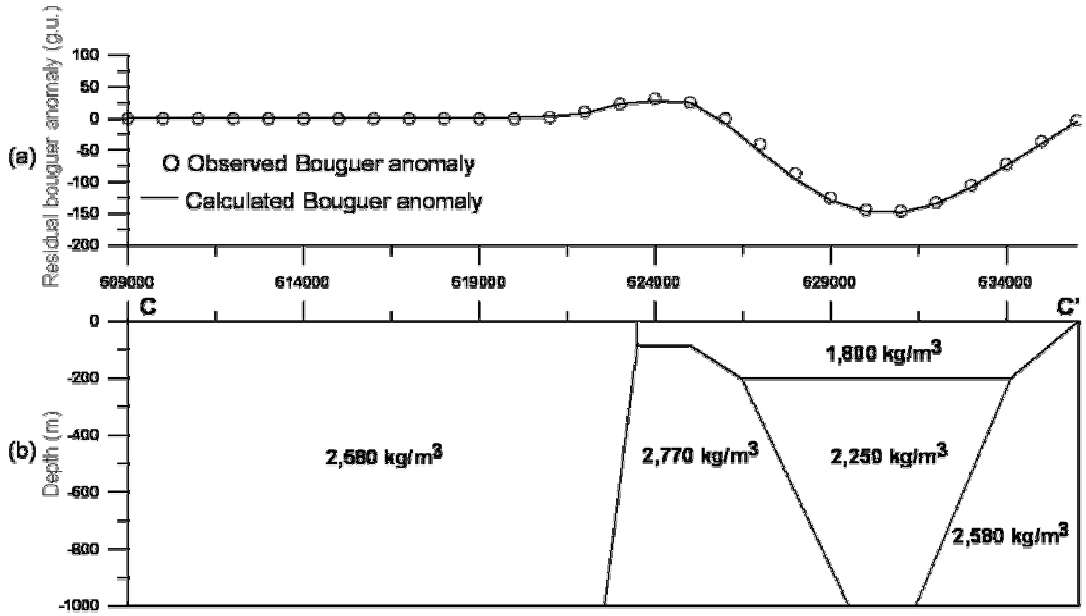


ภาพประกอบ 3.8 (a) ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของแนว BB'
(b) แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว BB’

3.3.1.3 แนว CC’ (817500 N)

ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างและแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาของแนว CC’ แสดงไว้ดังภาพประกอบ 3.9 โดยค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างเริ่มมีค่าเท่ากับศูนย์ตั้งแต่ปลายแนวด้านตะวันตกถึงประมาณตำแหน่ง 621000E มีค่าเป็นบวกคล้ายระฆังคว่ำระหว่างตำแหน่ง 621000E ถึง 626000E โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 31 g.u. ที่ตำแหน่ง 624000 E และมีค่าเป็นลบคล้ายถ้วยหงายระหว่างตำแหน่ง 626000E ถึงปลายแนวด้านตะวันออก โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -146 g.u. ที่ตำแหน่ง 631000E ดังภาพประกอบ 3.9(a)

แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว CC' ซึ่งอธิบายค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าสูงรูประฆังคว่ำระหว่างตำแหน่ง 621000E ถึง 626000E เป็นมวลของหินปูนยุคเพอร์เมียนที่มีค่าความหนาแน่น 2,770 kg/m^3 มีความหนาประมาณ 950 เมตร วางตัวอยู่ใต้ตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่ระดับความลึกประมาณ 85 เมตร ในขณะที่บริเวณที่มีค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างเป็นลบระหว่างตำแหน่ง 626000E ถึงปลายแนวด้านตะวันออกแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาเป็นมวลของหินทรายยุคครีเทเชียส-จูแรสซิกที่มีความหนาแน่น 2,250 kg/m^3 และมีความหนาประมาณ 800 เมตรที่วางตัวอยู่ใต้มวลหินตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่มีความหนาแน่น 1,800 kg/m^3 ซึ่งมีความหนาประมาณ 200 เมตร ที่ระดับความลึก 0 เมตร โดยหินท้องที่มีค่าความหนาแน่น 2,580 kg/m^3 ดังภาพประกอบ 3.9(b)

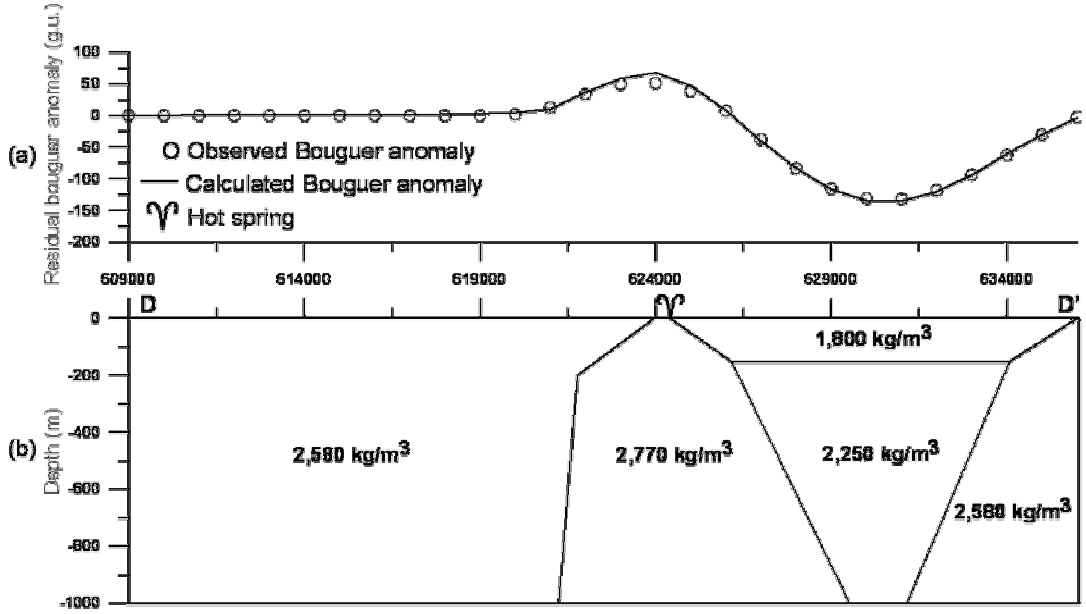


ภาพประกอบ 3.9 (a) ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของแนว CC'
(b) แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว CC’

3.3.1.4 แนว DD' (822500 N)

ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างและแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาของแนว DD' แสดงไว้ดังภาพประกอบ 3.10 โดยค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างเริ่มมีค่าเท่ากับศูนย์ตั้งแต่ปลายแนวด้านตะวันตกถึงประมาณตำแหน่ง 620000E มีค่าเป็นบวกคล้ายระฆังคว่ำระหว่างตำแหน่ง 620000E ถึง 626000E โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 57 g.u. ที่ตำแหน่ง 624000 E และมีค่าเป็นลบคล้ายถ้วยหงายระหว่างตำแหน่ง 626000E ถึงปลายแนวด้านตะวันออก โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -131 g.u. ที่ตำแหน่ง 631000E ดังภาพประกอบ 3.10(a)

แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว DD' ซึ่งอธิบายค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าสูงรูประฆังคว่ำระหว่างตำแหน่ง 620000E ถึง 626000E เป็นมวลของหินปูนยุคเพอร์เมียนที่มีค่าความหนาแน่น 2,770 kg/m^3 มีความหนาประมาณ 1,000 เมตร และเป็นที่สังเกตุว่าตำแหน่งของแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสนอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับตำแหน่งที่มวลหินปูนโผล่ขึ้นมาในระดับตื้น ในขณะที่บริเวณที่มีค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างเป็นลบระหว่างตำแหน่ง 626000E ถึงปลายแนวด้านตะวันออกแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาเป็นมวลของหินทรายยุคครีเทเซียส-จูแรสซิกที่มีความหนาแน่น 2,250 kg/m^3 และมีความหนาประมาณ 850 เมตรที่วางตัวอยู่ใต้มวลหินตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่มีความหนาแน่น 1,800 kg/m^3 ซึ่งมีความหนาประมาณ 150 เมตร ที่ระดับความลึก 0 เมตร โดยหินท้องที่มีค่าความหนาแน่น 2,580 kg/m^3 ดังภาพประกอบ 3.10(b)

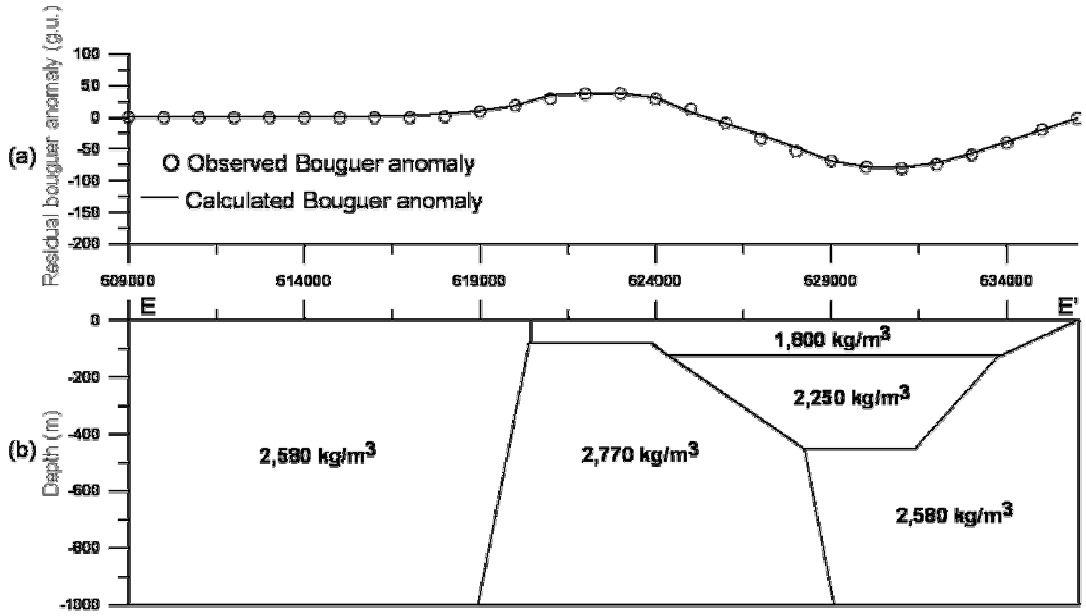


ภาพประกอบ 3.10 (a) ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของแนว DD'
(b) แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว DD'

3.3.1.5 แนว EE' (827500 N)

ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างและแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาของแนว EE' แสดงไว้ดังภาพประกอบ 3.11 โดยค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างเริ่มมีค่าเท่ากับศูนย์ตั้งแต่ปลายแนวด้านตะวันตกถึงประมาณตำแหน่ง 618000E มีค่าเป็นบวกคล้ายระฆังคว่ำระหว่างตำแหน่ง 618000E ถึง 626000E โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 38 g.u. ที่ตำแหน่ง 623000 E และมีค่าเป็นลบคล้ายถ้วยหงายระหว่างตำแหน่ง 626000E ถึงปลายแนวด้านตะวันออก โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -80 g.u. ที่ตำแหน่ง 631000E ดังภาพประกอบ 3.11(a)

แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว EE' ซึ่งอธิบายค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าสูงรูประฆังคว่ำระหว่างตำแหน่ง 618000E ถึง 626000E เป็นมวลของหินปูนยุคเพอร์เมียนที่มีค่าความหนาแน่น 2,770 kg/m^3 มีความหนาประมาณ 920 เมตร วางตัวอยู่ใต้ตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่ระดับความลึกประมาณ 80 เมตร ในขณะที่บริเวณที่มีค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างเป็นลบรูปถ้วยหงายระหว่างตำแหน่ง 626000E ถึงปลายแนวด้านตะวันออก แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาเป็นมวลของหินทรายยุคครีเทเชียส-จูแรสซิกที่มีความหนาแน่น 2,250 kg/m^3 และมีความหนาประมาณ 325 เมตรที่วางตัวอยู่ใต้มวลหินตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่มีความหนาแน่น 1,800 kg/m^3 มีความหนาประมาณ 125 เมตร ที่ระดับความลึก 0 เมตร โดยหินท้องที่มีค่าความหนาแน่น 2,580 kg/m^3 ดังภาพประกอบ 3.11(b)

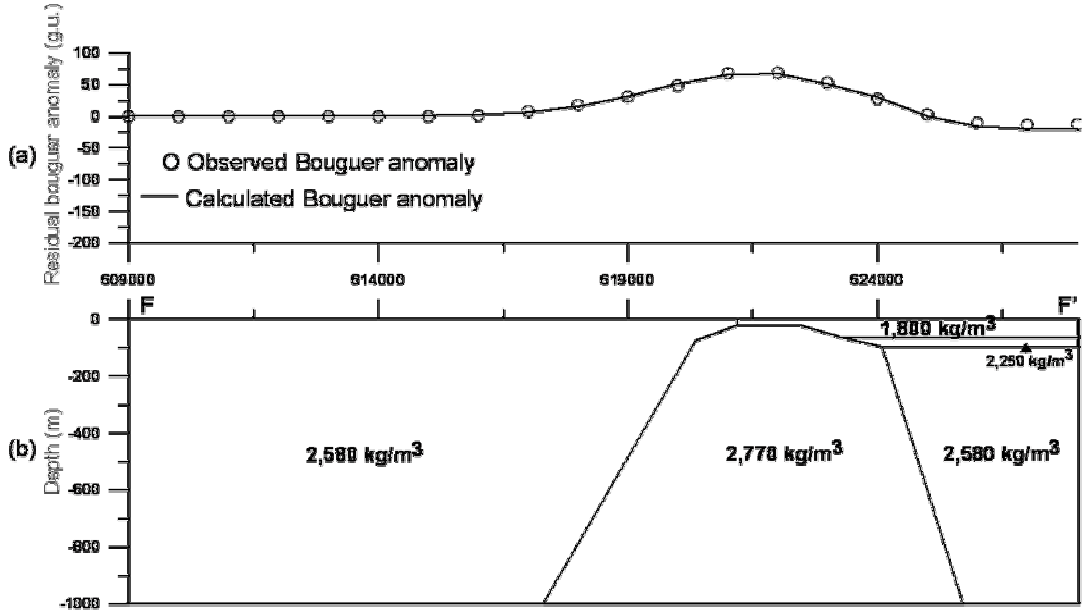


ภาพประกอบ 3.11 (a) ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของแนว EE'
(b) แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว EE'

3.3.1.6 แนว FF' (832500 N)

ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างและแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาของแนว FF' แสดงไว้ดังภาพประกอบ 3.12 โดยค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างเริ่มมีค่าเท่ากับศูนย์ตั้งแต่ปลายแนวด้านตะวันตกถึงประมาณตำแหน่ง 616000E มีค่าเป็นบวกคล้ายระฆังคว่ำระหว่างตำแหน่ง 616000E ถึง 625000E โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 69 g.u. ที่ตำแหน่ง 622000 E และมีค่าเป็นลบระหว่างตำแหน่ง 625000E ถึงปลายแนวด้านตะวันออก โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -13 g.u. ที่ตำแหน่ง 627000E ดังภาพประกอบ 3.12(a) อนึ่งตั้งแต่ตำแหน่ง 628000E ที่ปลายด้านตะวันออกจดทะเลสาบสงขลา

แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว FF' ซึ่งอธิบายค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าสูงรูประฆังคว่ำระหว่างตำแหน่ง 616000E ถึง 625000E เป็นมวลของหินปูนยุคเพอร์เมียนที่มีค่าความหนาแน่น 2,770 kg/m^3 มีความหนาประมาณ 980 เมตร วางตัวอยู่ใต้ตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่ระดับความลึกประมาณ 20 เมตร ในขณะที่บริเวณที่มีค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างเป็นลบระหว่างตำแหน่ง 626000E ถึงปลายแนวด้านตะวันออกแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาเป็นมวลของหินทรายยุคครีเทเชียส-จูแรสซิกที่มีความหนาแน่น 2,250 kg/m^3 และมีความหนาประมาณ 35 เมตรที่วางตัวอยู่ใต้มวลหินตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่มีความหนาแน่น 1,800 kg/m^3 มีความหนาประมาณ 65 เมตร ที่ระดับความลึก 0 เมตร โดยหินท้องที่มีค่าความหนาแน่น 2,580 kg/m^3 ดังภาพประกอบ 3.12(b)



ภาพประกอบ 3.12 (a) ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างของแนว FF'
(b) แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว FF'

3.3.2 การแปลความการหยั่งลึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า

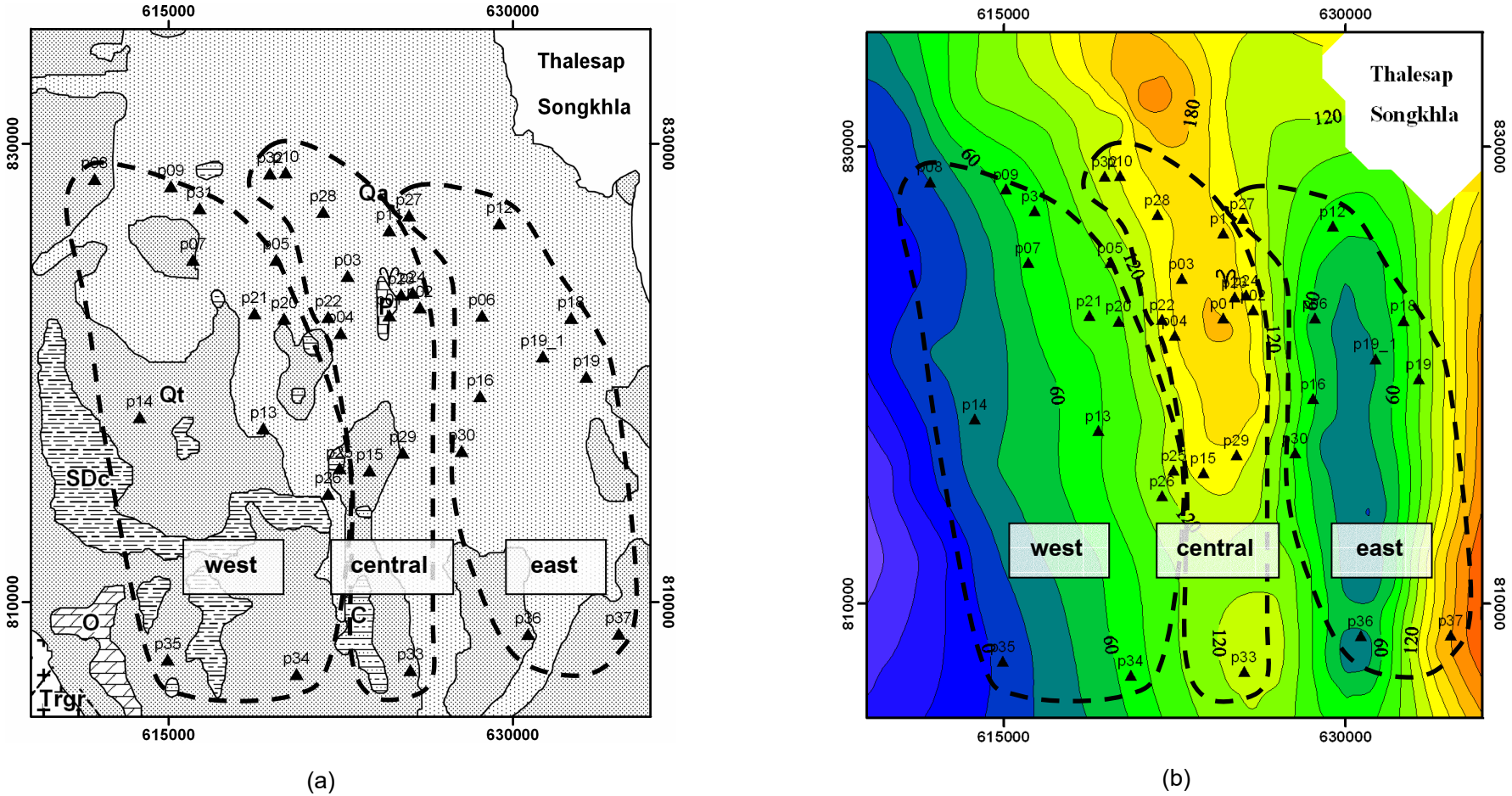
การวัดการหยั่งลึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (VES) โดยการจัดวางขบวนขั้วไฟฟ้าแบบชลัมเบอร์เจร์ จำนวน 37 จุดวัด ในพื้นที่ศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมบัติทางไฟฟ้า ความลึกและขอบเขตของวัตถุผิดปกติที่มีความหนาแน่นสูงที่เป็นวัตถุต้นเหตุของแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าสูงบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาและวัตถุผิดปกติที่มีความหนาแน่นต่ำที่เป็นวัตถุต้นเหตุของแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าต่ำบริเวณด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา

ผลของการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าซึ่งนำเสนอด้วยกราฟล็อก-ล็อกระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของชั้นดินและระยะครึ่งหนึ่งของระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้ากระแส โดยทั่วไปกราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของพื้นที่ศึกษาเป็นกราฟของโครงสร้างชั้นดินแบบ 3 ชั้น โดยที่ดินชั้นที่สองมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่าดินชั้นแรกและดินชั้นที่สาม โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือกลุ่มตะวันตก กลุ่มตอนกลาง และกลุ่มตะวันออก โดยกราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏและแบบจำลองชั้นดินซึ่งได้จากการแปลความเชิงปริมาณของกลุ่มตะวันตก กลุ่มตอนกลาง และกลุ่มตะวันออกแสดงไว้ดังภาพประกอบ 3.14, 3.15 และ 3.16 และตารางที่ 3.3 ตามลำดับ

1. กลุ่มตะวันตก (West) ประกอบด้วยจุดวัดจำนวน 13 จุดดังนี้คือ P05, P07, P08, P09, P13, P14, P20, P21, P25, P26, P31, P34, และ P35 ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษาในบริเวณที่ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างมีค่าเป็นศูนย์ (ภาพประกอบ 3.13) และธรณีวิทยาพื้นผิวส่วนใหญ่ในบริเวณนี้เป็นตะกอนยุคควอเทอร์นารี โดยพบว่าดินชั้นล่างสุดมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า 45 ถึง 416 โอห์ม-เมตร และอยู่ที่ระดับความลึก 28 ถึง 101 เมตร

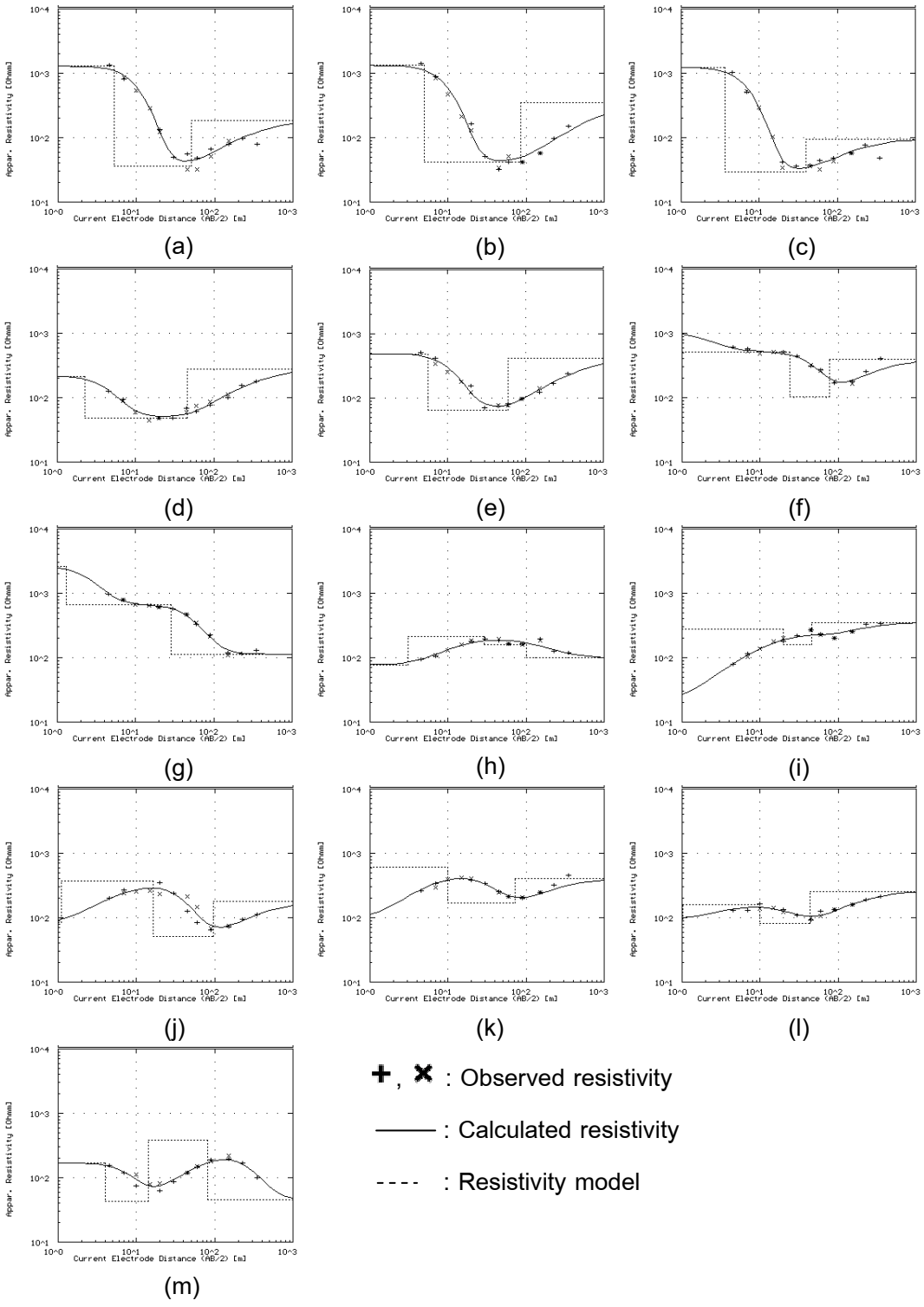
2. กลุ่มตอนกลาง (Central) ประกอบด้วยจุดวัดจำนวน 14 จุดดังนี้คือ P01, P02, P03, P04, P10, P11, P15, P22, P23, P24, P28, P29, P32 และ P33 ซึ่งอยู่ในตอนกลางของพื้นที่ศึกษาในบริเวณของแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าเป็นบวก (ดังภาพประกอบ 3.13) และมีธรณีวิทยาพื้นผิวบริเวณนี้เป็นเทือกเขาหินปูนยุคเพอร์เมียน โดยพบว่าดินชั้นล่างสุดมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง (586 ถึง 1,505 โอห์ม-เมตร) ที่ระดับความลึก 23 ถึง 124 เมตร

3. กลุ่มตะวันออก (East) ประกอบด้วยจุดวัดจำนวน 10 จุดดังนี้คือ P06, P12, P16, P18, P19, P19_1, P27, P30, P36 และ P37 ซึ่งอยู่ทางตะวันออกของพื้นที่ศึกษาในบริเวณของแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าเป็นลบ (ภาพประกอบ 3.13) และมีธรณีวิทยาพื้นผิวเป็นตะกอนยุคควอเทอร์นารี โดยพบว่าดินชั้นล่างสุดมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 11 ถึง 100 โอห์ม-เมตร ที่ระดับความลึกระหว่าง 66 ถึง 200 เมตร

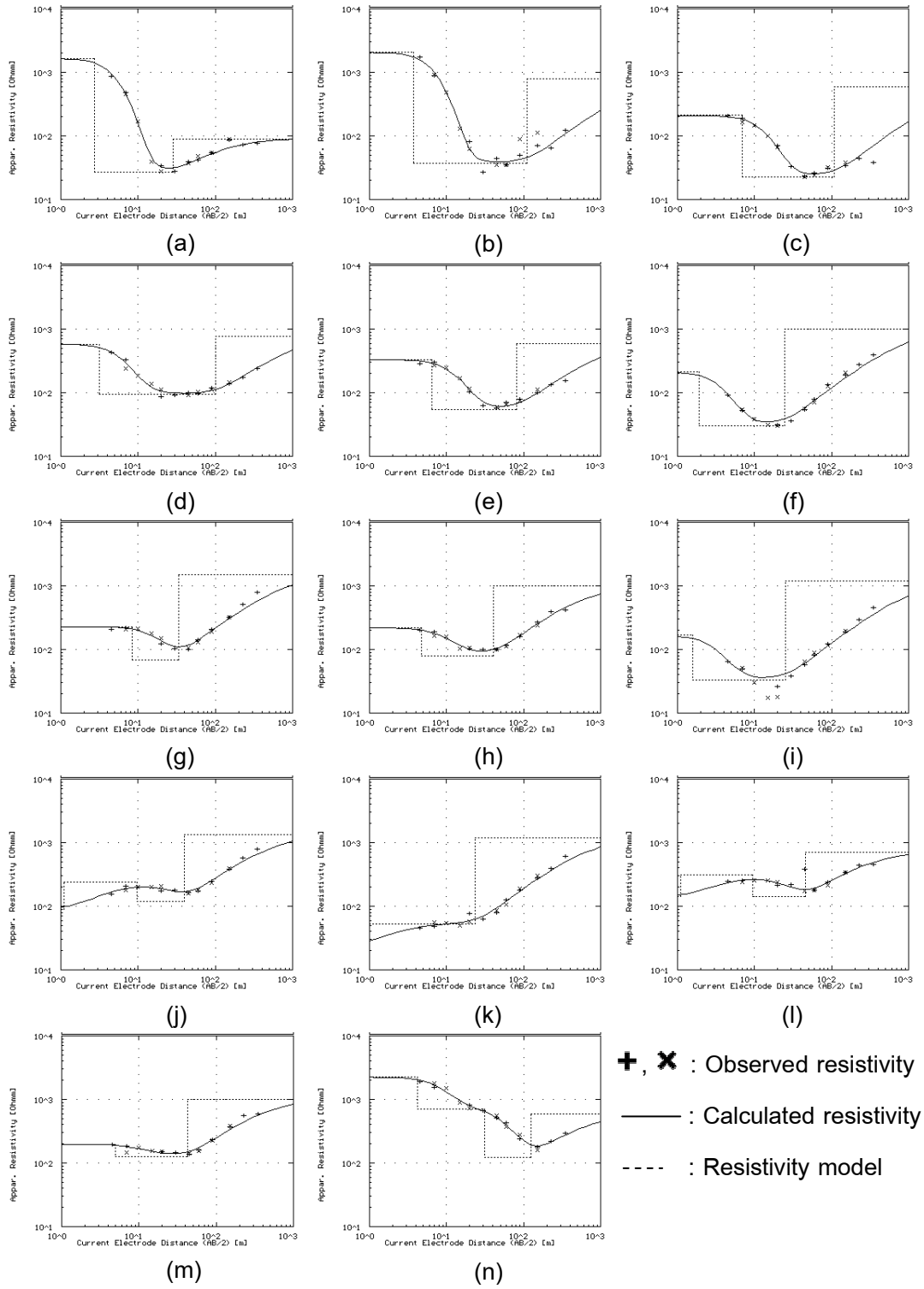


(a) (b)

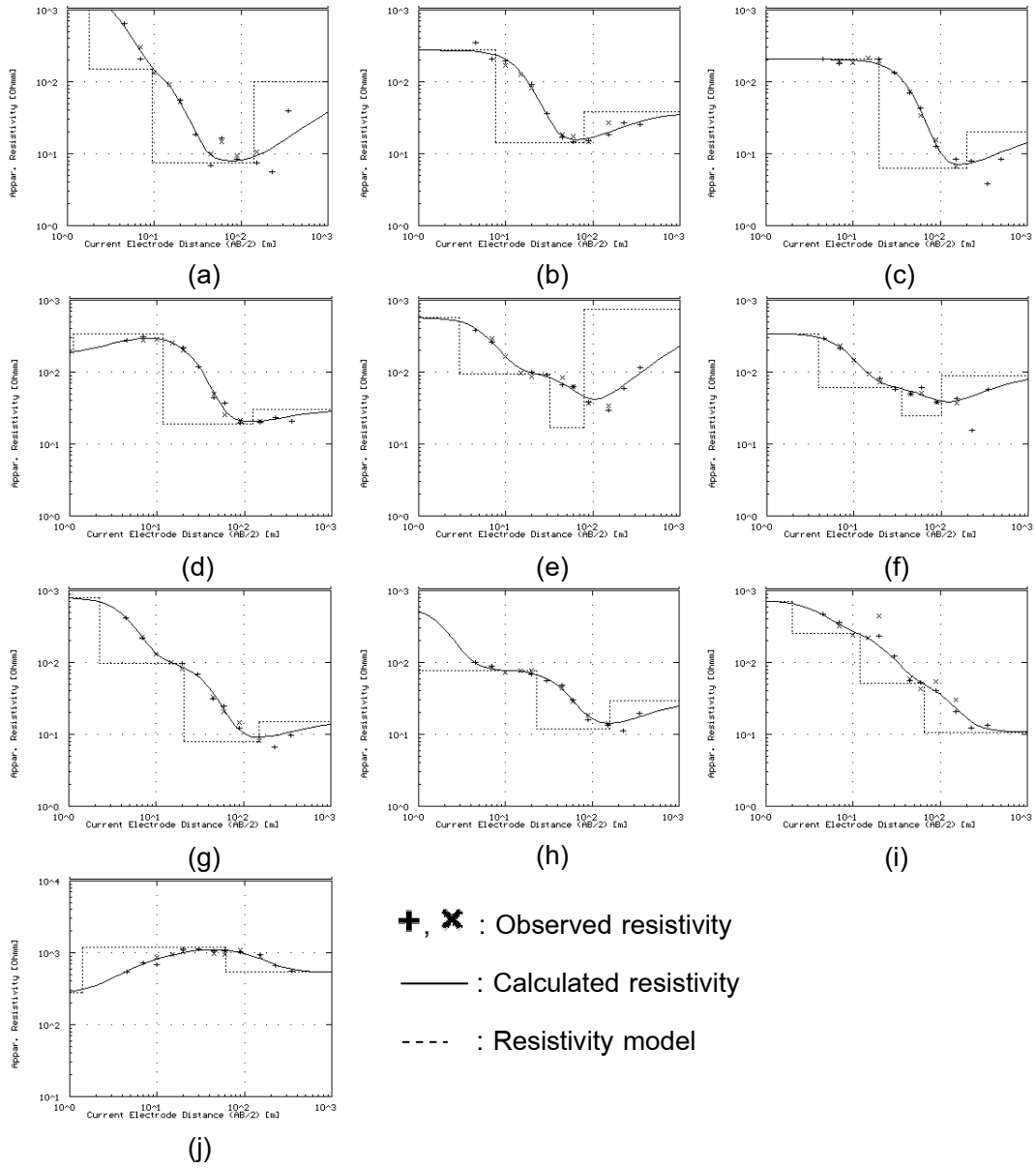
ภาพประกอบ 3.13 (a) ตำแหน่งจุดวัดการหยั่งลึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าบนแผนที่ธรณีวิทยา (▲) แทนตำแหน่งจุดวัด
(b) ตำแหน่งจุดวัดการหยั่งลึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าบนแผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้าง



ภาพประกอบ 3.14 กราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของจุดวัดในกลุ่มตะวันตก;
(a) P05, (b) P20, (c) P21,(d) P13, (e) P14, (f) P07, (g) P25,
(h) P08, (i) P09, (j) P26, (k) P31, (l) P34, (m) P35



ภาพประกอบ 3.15 กราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของจุดวัดในกลุ่มตอนกลาง;
(a) P33, (b) P28, (c) P02, (d) P29, (e) P24, (f) P10, (g) P01,
(h) P22, (i) P23, (j) P04, (k) P03, (l) P15, (m) P32, (n) P11



ภาพประกอบ 3.16 กราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของจุดวัดในกลุ่มตะวันออก;
(a) P16, (b) P36, (c) P06, (d) P27, (e) P19, (f) P18, (g) P19_1,
(h) P12, (i) P30, (j) P37

ตาราง 3.3 แบบจำลองชั้นดินจากผลการแปลความกราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าของกลุ่มต่าง ๆ

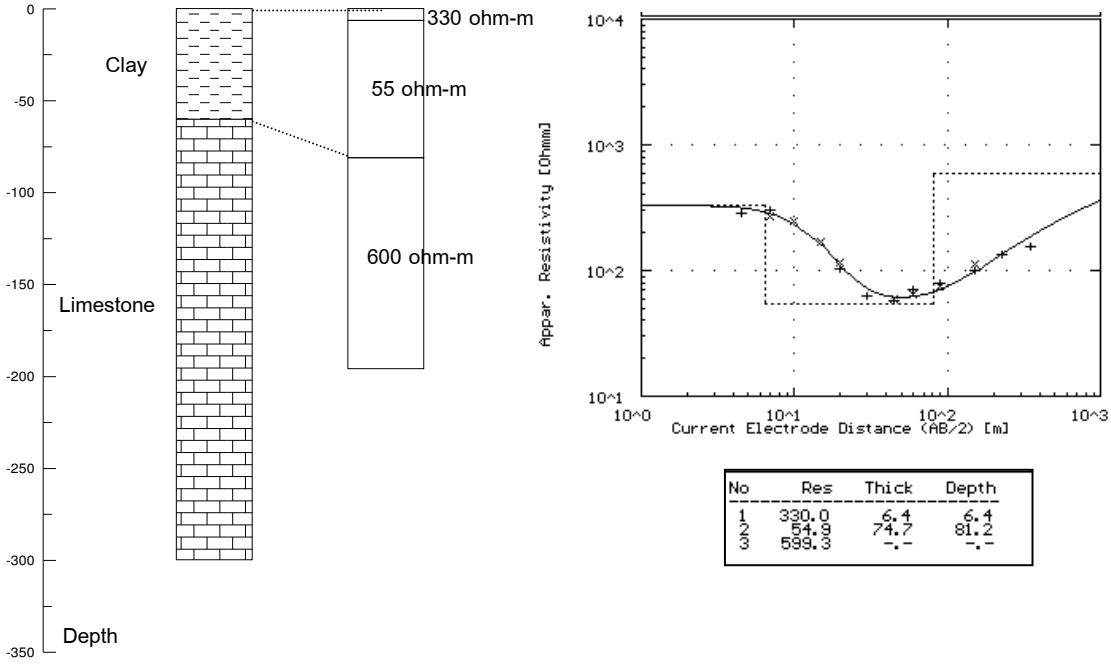
Group	Stn	Layer 1		Layer 2		Layer 3		Layer 4	
		Resistivity (Ohm-m)	Thickness (m)	Resistivity (Ohm-m)	Thickness (m)	Resistivity (ohm-m)	Thickness (m)	Resistivity (Ohm-m)	Thickness (m)
West	P-05	1288	5.2	36	50.5	182	-	-	-
	P-07	1022	1.0	517	24.2	103	77.2	392	-
	P-08	78	3.1	212	28.9	158	101.4	99	-
	P-09	22	0.9	281	19.8	160	45.6	352	-
	P-13	216	2.2	48	45.4	274	-	-	-
	P-14	490	5.6	65	58.9	416	-	-	-
	P-20	1323	4.9	41	85.0	351	-	-	-
	P-21	1239	3.6	30	39.3	94	-	-	-
	P-25	2608	1.3	660	28.2	113	-	-	-
	P-26	84	1.1	369	16.3	52	95.3	178	-
	P-31	98	1.0	607	10.0	167	72.2	403	-
	P-34	96	1.0	159	9.9	82	43.5	257	-
	P-35	171	4.0	43	14.1	379	81.2	45	-
Central	P-01	229	8.3	68	33.2	**1,505**	-	-	-
	P-02	210	6.9	23	106.9	**600**	-	-	-
	P-03	21	0.5	53	23.2	**1,202**	-	-	-
	P-04	90	1.1	241	9.7	118	39.9	**1325**	-
	P-10	213	1.9	31	24.6	**1,003**	-	-	-
	P-11	2233	4.2	699	31.1	123	124.0	**587**	-
	P-15	143	1.1	309	9.4	140	45.8	**701**	-
	P-22	219	4.7	80	40.5	**988**	-	-	-
	P-23	167	1.6	33	25.4	**1,202**	-	-	-
	P-24	330	6.4	55	81.2	**599**	-	-	-
	P-28	2058	3.7	38	111.0	**800**	-	-	-
	P-29	581	3.1	95	101.6	**769**	-	-	-
	P-32	197	4.9	125	42.5	**1,000**	-	-	-
	P-33	1646	2.7	27	28.2	90	-	-	-
East	P-06	206	19.9	6	200.6	20	-	-	-
	P-12	613	0.9	77	22.7	12	158.5	30	-
	P-16	1686	1.8	150	9.4	7	141.4	100	-
	P-18	345	3.9	61	35.3	25	99.5	90	-
	P-19	573	2.9	93	31.7	17	79.6	749	-
	P-19_1	801	2.2	96	20.8	8	151.4	15	-
	P-27	183	1.1	341	11.7	19	125.3	30	-
	P-30	713	2.0	254	12.0	51	65.5	11	-
	P-36	274	7.7	14	79.1	38	-	-	-
	P-37	275	1.4	1177	61.0	535	-	-	-

3.3.3 การเปรียบเทียบผลการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินกับข้อมูลตัวอย่างหินในหลุมเจาะน้ำบาดาล

การเปรียบเทียบโครงสร้างชั้นดินซึ่งเป็นผลจากการแปลความกราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏกับข้อมูลตัวอย่างหินในหลุมเจาะน้ำบาดาลได้กระทำกับจุดวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินที่อยู่ในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นบริเวณของแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าเป็นบวก โดยคาดว่าในบริเวณนี้หินฐานจะอยู่ที่ความลึกไม่มากนักและสามารถหยั่งถึงได้โดยวิธีการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน

เนื่องจากหลุมเจาะน้ำบาดาล MX-82 เป็นเพียงหลุมเดียวในพื้นที่เป้าหมายซึ่งเจาะถึงชั้นหินปูนยุคเพอร์เมียนที่พิจารณาว่าเป็นชั้นหินฐาน (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล) โดยหลุมเจาะน้ำบาดาล MX-82 ตั้งอยู่ในโรงเรียนเขาชัยสน ตำบลเขาชัยสน อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง ใกล้กับจุดวัดการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน P24 และแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน

ผลการแปลความหมายข้อมูลการหยั่งลึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่จุดวัด P24 แสดงชั้นดินจำนวน 3 ชั้น โดยดินชั้นแรกมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 330 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 6.4 เมตร ดินชั้นที่สองมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 55 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 74.7 เมตร และดินชั้นล่างสุดมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 600 โอห์ม-เมตร อยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 81.2 เมตร ในขณะที่ข้อมูลตัวอย่างหินในหลุมเจาะ **MX-82** แสดงชั้นดินสองชั้น โดยดินชั้นแรกเป็นดินเหนียวที่มีความหนา 60 เมตรที่วางตัวอยู่บนชั้นหินปูนที่ระดับความลึกประมาณ 60 เมตร ดังนั้นผลการศึกษาเปรียบเทียบแสดงว่าชั้นดินที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่สูงประมาณ 600 โอห์ม-เมตร เป็นชั้นหินปูน ในขณะที่ชั้นดินที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำประมาณ 55 โอห์ม-เมตร เป็นชั้นดินเหนียว (ภาพประกอบ 3.17)



ภาพประกอบ 3.17 การเปรียบเทียบผลการหยั่งลึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดวัด P24 กับข้อมูลตัวอย่างหินจากหลุมเจาะน้ำบาดาล MX-82

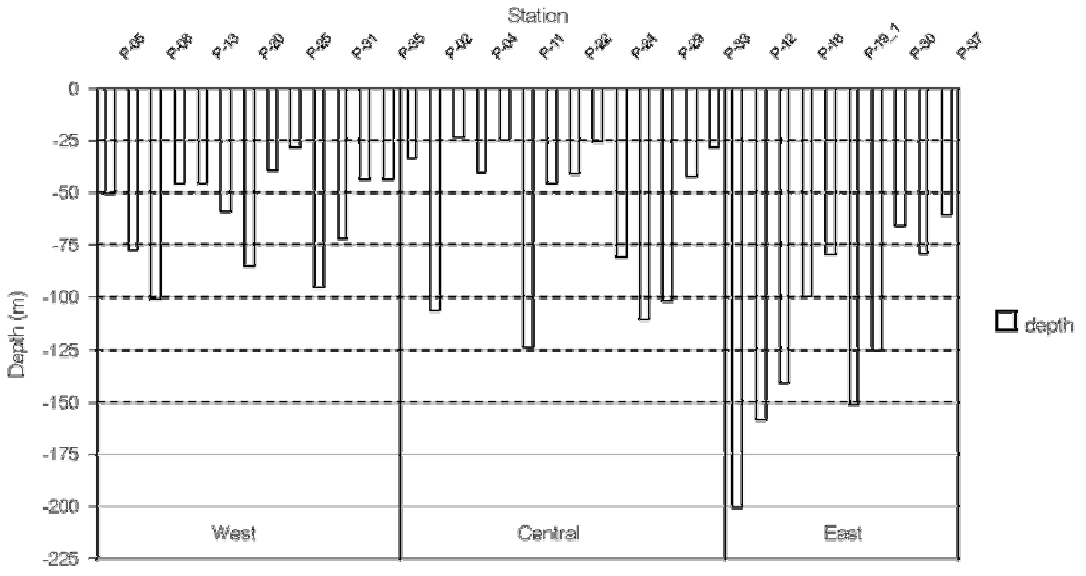
3.3.4 แผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ

แผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินในแต่ละระดับความลึกในพื้นที่ศึกษาถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและค่าความลึกที่ได้จากการแปลความกราฟสภาพต้านทานไฟฟ้า ทั้งหมด 37 จุดวัด และพิจารณาเลือกระดับความลึกต่างๆ จากค่าระดับความลึกถึงดินชั้นล่างสุดในแต่ละจุดวัด ดังภาพประกอบ 3.18 โดยกลุ่มทางตะวันตกและตอนกลางของพื้นที่ศึกษา มีค่าระดับความลึกถึงชั้นดินชั้นล่างสุดอยู่ระหว่างประมาณ 25-100 เมตร และ 25-125 เมตร ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มทางตะวันออกของพื้นที่ศึกษา มีค่าระดับความลึกถึงชั้นดินชั้นล่างสุดอยู่ระหว่างประมาณ 65-200 เมตร เพื่อแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเปรียบเทียบที่ชัดเจนของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในแต่ละระดับความลึก ดังนั้น จึงสร้างแผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินในพื้นที่ศึกษาที่ระดับความลึก 25 เมตร, 50 เมตร , 75 เมตร , 100 เมตร, 125 เมตร, และ 150 เมตร แสดงไว้ดังภาพประกอบ 3.19 โดยจะสังเกตุเห็นว่าแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน **PL01** ตั้งอยู่ที่รอยต่อระหว่างแถบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่มีค่าสูงกว่า 500 โอห์ม-เมตรกับแถบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่มีค่าต่ำกว่า 100 โอห์ม-เมตร

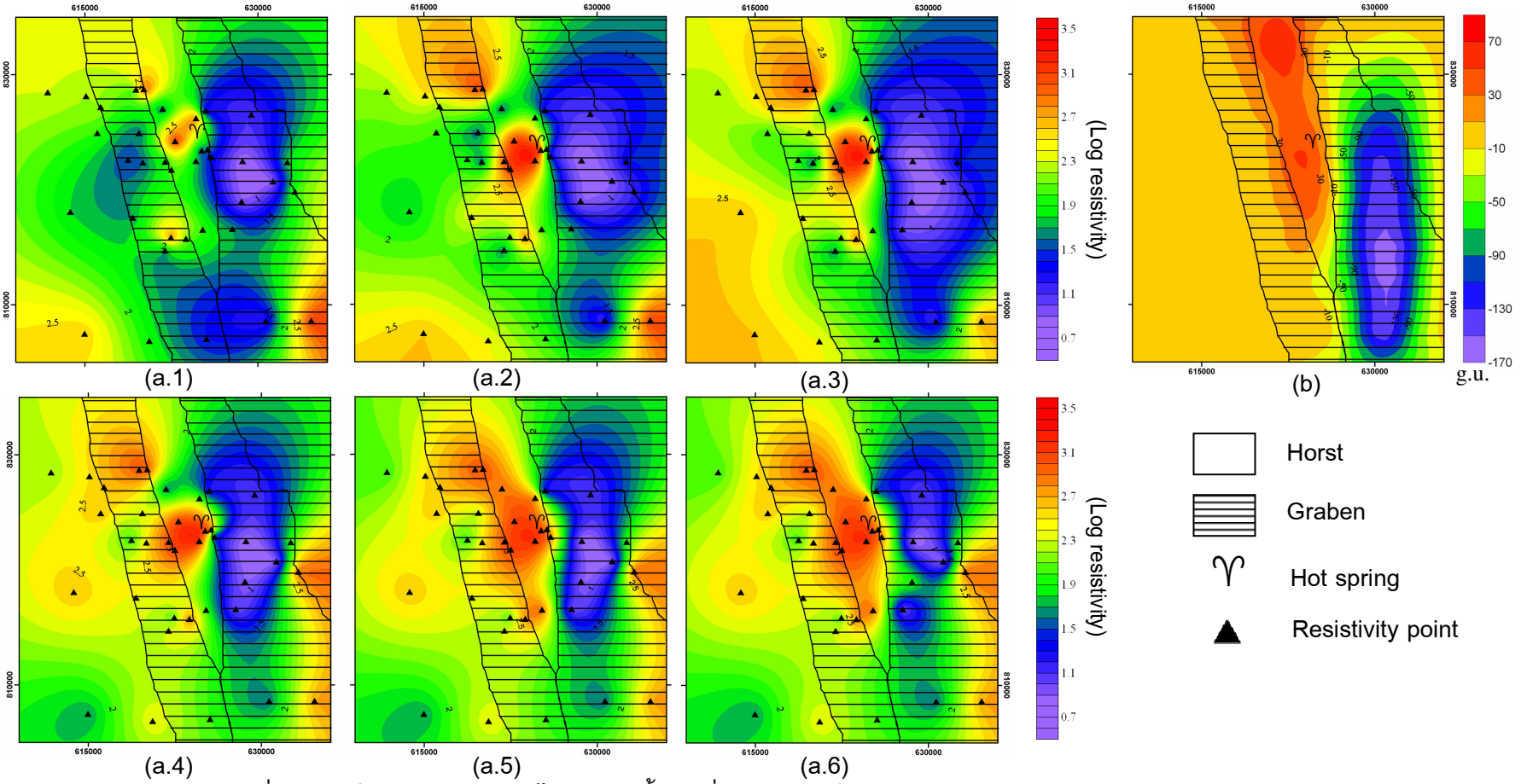
ที่ระดับความลึก 25 เมตร แผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินแสดงบริเวณที่มีค่าสภาพต้านไฟฟ้าสูงในตอนกลางของพื้นที่ศึกษาปรากฏเป็นกลุ่มเล็กๆ 3 กลุ่ม

วางตัวในแนว N10W โดยด้านตะวันออกของกลุ่มสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงนี้เป็นแถบของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำซึ่งวางตัวในทิศเหนือ-ใต้ ในขณะที่ระดับความลึก 50, 75 และ 100 เมตร แผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินแสดงบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงขนาดใหญ่ 2 บริเวณ คือบริเวณแรกในตอนกลางของพื้นที่ศึกษา และบริเวณที่สองในตอนเหนือของพื้นที่ศึกษา โดยบริเวณทั้งสองอยู่ในแนว N10W และแถบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำซึ่งวางตัวในทิศเหนือ-ใต้ ยังคงปรากฏอยู่ทางด้านตะวันออกของบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง สำหรับที่ระดับความลึก 125 และ150 เมตร เราจะสังเกตุเห็นแถบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่วางตัวต่อเนื่องกันในแนว N10W บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา และมีแถบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำซึ่งวางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ปรากฏชัดเจนอยู่ทางด้านตะวันออกของแถบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงนี้ โดยจะสังเกตุเห็นว่าแถบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงดังกล่าววางตัวอยู่ในตำแหน่งเดียวกับแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่เป็นบวก และแถบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำทางด้านตะวันออกอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกับแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีค่าเป็นลบ

แนวสัมผัสของแถบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงและแถบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำบนแผนที่คอนทัวร์ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ระดับความลึก 125 และ 150 เมตร คาดว่าสัมพันธ์กับตำแหน่งของรอยเลื่อนที่วางตัวในทิศ NW-SE และแนว N-S โดยคาดว่ามียกตัวขึ้นของชั้นหินฐานในตอนกลางของพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นบริเวณของแถบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงและแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่เป็นบวกและมีการทรุดตัวชั้นหินฐานในพื้นที่ด้านตะวันออกซึ่งเป็นบริเวณของแถบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำและแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่เป็นลบ ดังภาพประกอบที่ 3.19(b) โดยหินฐานดังกล่าวมีสมบัติทางกายภาพดังนี้คือมีความหนาแน่นสูงและมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง ซึ่งในที่นี้คาดว่าเป็นหินปูนยุคเพอร์เมียนดังแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในหัวข้อ 3.3.1



ภาพประกอบ 3.18 ระดับความลึกถึงดินชั้นล่างสุดของแต่ละจุดวัดในพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบ 3.19 แผนที่คอนทัวร์ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินที่ระดับความลึกต่างๆ (a.1) 25 เมตร, (a.2) 50 เมตร, (a.3) 75 เมตร, (a.4) 100 เมตร, (a.5) 125 เมตร, (a.6) 150 เมตร และ (b) แผนที่คอนทัวร์ค่าผิดปกติบูร์แกร์สัมบูรณ์ (ระยะห่างระหว่างเส้นชั้น 20 g.u.)

3.3.5 การเปรียบเทียบแบบจำลองการหยั่งสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินกับแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาจากการแปลความค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้าง

การเปรียบเทียบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นว่าชั้นหินฐานที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาเป็นชั้นหินที่มีความหนาแน่นสูง และถูกแปลความว่าเป็นชั้นหินปูนยุคเพอร์เมียน โดยจะพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะบนแนววัดค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างที่มีจุดวัดการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินจำนวนหนึ่ง ซึ่งได้แก่ แนววัด AA', CC', DD', และ EE' รวม 4 แนววัด (ภาพประกอบที่ 3.20) ดังนี้คือ

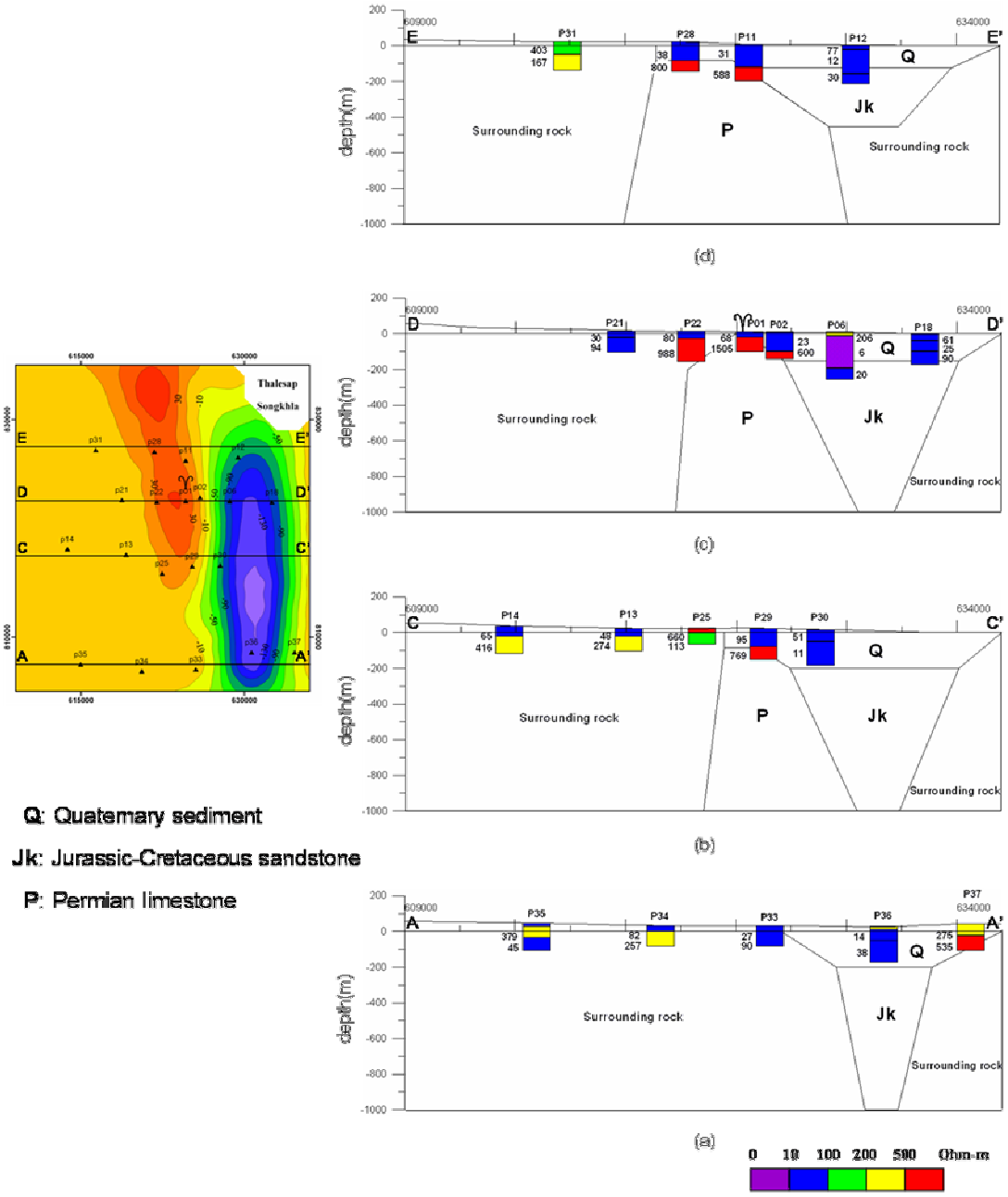
ในแนว AA' มีจำนวนจุดวัดการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินจำนวน 5 จุดวัด คือ P33, P34, P35, P36, และ P37 โดยในบริเวณหินท้องที่ด้านตะวันตก ดินชั้นล่างสุดของจุดวัด P34 และ P35 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า 257 และ 45 โอห์ม-เมตร ที่ระดับความลึก 44 และ 81 เมตร ตามลำดับ ในขณะที่บริเวณซึ่งเป็นแบบจำลองตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่มีความหนา 200 เมตร ดินชั้นล่างสุดที่จุดวัด P33 และ P36 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำประมาณ 90 และ 38 โอห์ม-เมตร ที่ระดับความลึกประมาณ 28 และ 80 เมตร ตามลำดับ และที่ปลายด้านตะวันออกของแนววัดซึ่งเป็นบริเวณที่มีค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างเป็นบวก ดินชั้นล่างสุดที่จุดวัด P37 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงประมาณ 535 โอห์ม-เมตร ที่ระดับความลึก 61 เมตร

ในแนว CC' มีจำนวนจุดวัดการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินจำนวน 5 จุดวัด คือ P13, P14, P25, P29, และ P30 โดยในบริเวณหินท้องที่ด้านตะวันตก ดินชั้นล่างสุดของจุดวัด P13, P14, และ P25 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 274, 416 และ 113 โอห์ม-เมตร ที่ระดับความลึกประมาณ 45, 58 และ 28 เมตรตามลำดับ ในขณะที่บริเวณที่ปกคลุมด้วยหินปูนยุคเพอร์เมียนในตอนกลางของพื้นที่ศึกษา ดินชั้นล่างสุดของจุดวัด P29 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงประมาณ 769 โอห์ม-เมตร ที่ระดับความลึกประมาณ 102 เมตร และในบริเวณของแบบจำลองตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่มีความหนา 80-200 เมตรที่ปลายด้านตะวันออกของแนววัด ดินชั้นล่างสุดของจุดวัด P 30 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำประมาณ 11 โอห์ม-เมตร ที่ระดับความลึกประมาณ 65 เมตร

ในแนว DD' มีจำนวนจุดวัดการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินจำนวน 6 จุดวัด คือ P01, P02, P06, P18, P21 และ P22 โดยในบริเวณหินท้องที่ด้านตะวันตก ดินชั้นล่างสุดของจุดวัด P21 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 94 โอห์ม-เมตร ที่ระดับความลึกประมาณ 39 เมตร ในขณะที่บริเวณที่ปกคลุมด้วยหินปูนยุคเพอร์เมียนในตอนกลางของพื้นที่ศึกษา และแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสนปรากฏอยู่ในบริเวณนี้ ดินชั้นล่างสุดของจุดวัด P01, P02, และ P22 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงประมาณ 1505, 600 และ 988 โอห์ม-เมตร ที่ระดับความ

ลึกประมาณ 33, 107 และ 41 เมตรตามลำดับ และที่ปลายด้านตะวันออกของแนววัดในแบบจำลองตะกอนในยุคควอเทอร์นารีที่มีความหนาประมาณ 150 เมตร ดินชั้นสองของจุดวัด P06 และ P18 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 6 และ 61 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 181 และ 31 เมตร และในแบบจำลองหินทรายในยุคครีเทเซียส-จูแรสซิก ดินชั้นล่างสุดของจุดวัด P06 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 20 โอห์ม-เมตร ที่ระดับความลึก 200 เมตร

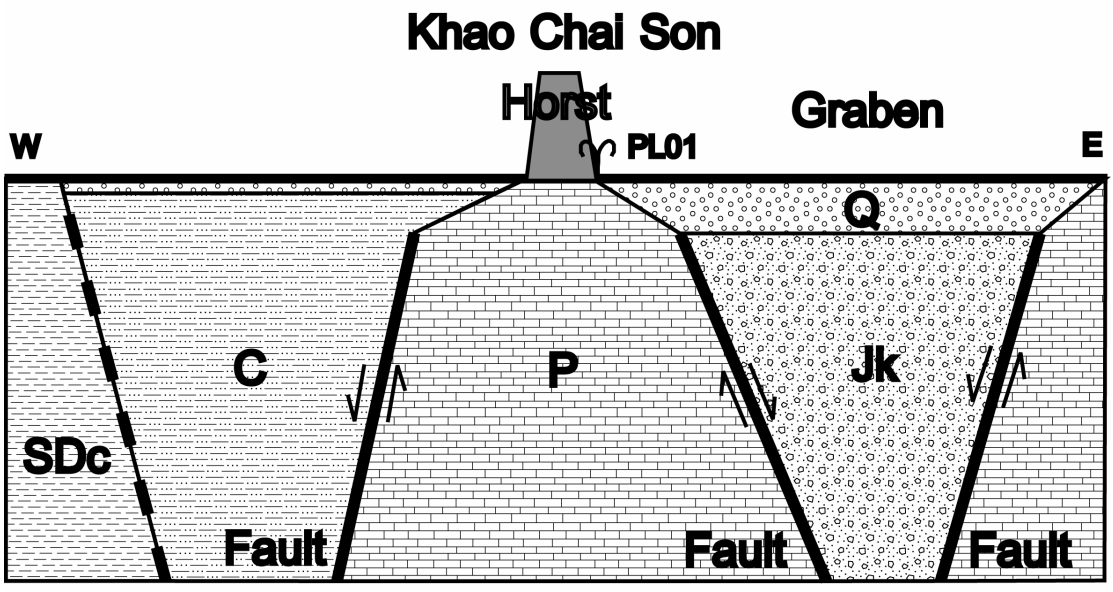
ในแนว EE' มีจำนวนจุดวัดการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินจำนวน 4 จุดวัด คือ P11, P12, P28 และ P31 โดยในบริเวณหินท้องที่ด้านตะวันตกที่แบบจำลองชั้นดินแสดงดินชั้นล่างสุดของจุดวัด P31 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 178 โอห์ม-เมตร ที่ระดับความลึกประมาณ 95 เมตร ในขณะที่บริเวณที่ปกคลุมด้วยหินปูนยุคเพอร์เมียนในตอนกลางของพื้นที่ศึกษาโดยแบบจำลองหินปูนเพอร์เมียนอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 80-125 เมตร ดินชั้นล่างสุดของจุดวัด P11 และP28 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงประมาณ 587 และ 800 โอห์ม-เมตร ที่ระดับความลึกประมาณ 124 และ 111 เมตร ตามลำดับ และที่ปลายด้านตะวันออกของแนววัด ในแบบจำลองตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่มีความหนา 125 เมตร ดินชั้นสองของจุดวัด P12 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 12 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 135 เมตร และในแบบจำลองหินทรายในยุคครีเทเซียส-จูแรสซิก ดินชั้นล่างสุดมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 30 โอห์ม-เมตร ที่ระดับความลึก 158 เมตร



ภาพประกอบ 3.20 แบบจำลองสภาพต้านทานไฟฟ้าและแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาในแนว AA', CC', DD' และ EE'

3.3.6 แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา

ภาคตัดขวางของแบบจำลองของโครงสร้างธรณีวิทยาในแนว W-E ของพื้นที่ศึกษาซึ่งประมวลจากผลการศึกษาด้านธรณีฟิสิกส์และธรณีวิทยาในปัจจุบันแสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3.21 ซึ่งคาดว่าโครงสร้างแบบฮอร์ส และกราเบน (horst and graben structures) เป็นโครงสร้างธรณีวิทยาหลักในพื้นที่ศึกษา โดยแบบจำลองมวลหินปูนในยุคเพอร์เมียนในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาเป็นส่วนของโครงสร้างแบบฮอร์สต์ และมีแบบจำลองมวลของหินทรายในยุคจูแรสซิก-ครีเทเซียส ซึ่งถูกปกคลุมด้วยตะกอนหนาในยุคควอเทอร์นารีทางตะวันออกของแบบจำลองมวลหินปูนในยุคเพอร์เมียนนี้เป็นส่วนของโครงสร้างแบบกราเบน โดยมีระบบรอยเลื่อนที่มีแนวอยู่ในทิศ NW-SE และแนว N-S ควบคุมโครงสร้างแบบฮอร์สและกราเบนนี้ แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษานี้สอดคล้องกับแนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้างแบบฮอร์สและกราเบนในบริเวณภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทยและในบริเวณอ่าวไทย (Sawata et al., 1983) สำหรับระบบรอยเลื่อนและรอยแตกตรงบริเวณขอบของโครงสร้างแบบฮอร์สจะเป็นช่องทางให้น้ำร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนในระดับลึกไหลขึ้นมาสู่ผิวดินที่ตำแหน่งของน้ำพุร้อนเขาชัยสน



ภาพประกอบ 3.21 ภาคตัดของแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาในแนว W-E

บทที่ 4

สรุปและวิจารณ์

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการทางธรณีฟิสิกส์ในการกำหนดลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง โดยขอบเขตของพื้นที่ศึกษาวิจัยอยู่ระหว่างพิกัด 805000-815000 N และ 609000-636000 E วิธีการทางธรณีฟิสิกส์ประกอบด้วยการวัดค่าสนามโน้มถ่วงจำนวน 95 จุดวัด การหยั่งลึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในดินโดยการจัดวางขบวนขั้วไฟฟ้าแบบชลัมเบอร์เจร์ จำนวน 37 จุดวัด และการเก็บตัวอย่างหินโผล่ในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียงเพื่อนำมาหาค่าความหนาแน่นของหินตัวอย่าง จำนวน 7 ตำแหน่ง

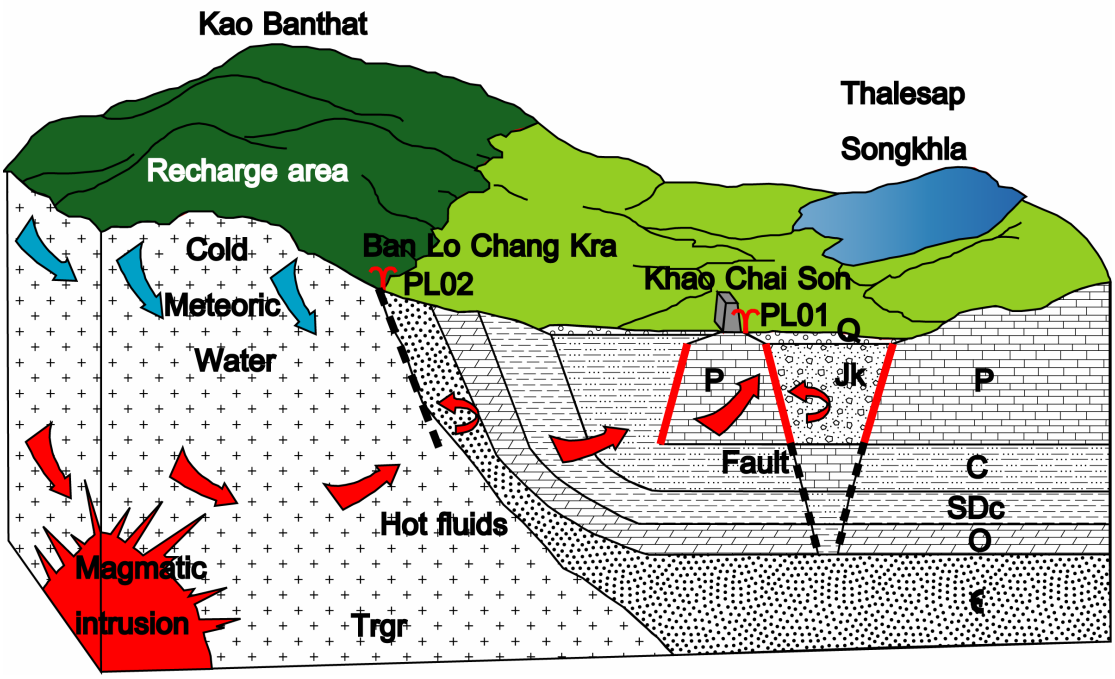
ผลการศึกษาพบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างในพื้นที่ศึกษา 2 บริเวณคือค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างสูง (มากกว่า 60 g.u.) มีลักษณะเป็นแถบยาวที่วางตัวในทิศ N010W ในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษารวมทั้งบริเวณเขาหินปูนยุคเพอร์เมียนซึ่งมีลักษณะเป็นเขาโดดและแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน และค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างต่ำ (น้อยกว่า 0 g.u.) ที่มีลักษณะเป็นแถบยาวที่วางตัวในทิศ N-S ครอบคลุมพื้นที่ราบซึ่งปกคลุมด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารีในบริเวณด้านตะวันออกของแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างสูง

ผลการหยั่งลึกสภาพต้านทานไฟฟ้าในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาที่มีค่าผิดปกติบูร์แกร์สูงได้ตรวจพบว่าชั้นหินฐานมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าระหว่าง 580 ถึง 1,505 โอห์ม-เมตร ที่ระดับความลึกระหว่าง 23 ถึง 124 เมตร นอกจากนี้ข้อมูลตัวอย่างดินและหินจากหลุมเจาะน้ำบาดาล MX-82 ในบริเวณดังกล่าวรายงานการตรวจพบตัวอย่างหินปูนที่ระดับความลึกประมาณ 60 เมตร ดังนั้นจึงกำหนดให้หินปูนยุคเพอร์เมียนเป็นวัตถุต้นเหตุของแถบค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างสูงในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาเนื่องจากผลการวัดค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินโผล่ในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียงพบว่าหินปูนยุคเพอร์เมียนนี้มีความหนาแน่นสูงกว่าหินอื่นๆทุกประเภทในพื้นที่ศึกษา

แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาใต้ผิวดินที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษาซึ่งกำหนดได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นโครงสร้างแบบฮอร์สและกราเบน โดยแบบจำลองของมวลหินปูนยุคเพอร์เมียนที่มีความหนาประมาณ 915 ถึง 1,000 เมตร ซึ่งใช้อธิบายค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างสูงในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาเป็นโครงสร้างแบบฮอร์ส และแบบจำลองของตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่มีความหนาประมาณ 125 ถึง 200 เมตรที่วางตัวอยู่บนหินทรายยุคครีเทเซียส-จูแรสซิกที่มีความหนาประมาณ 325 ถึง 850 เมตร ซึ่งใช้อธิบายค่าผิดปกติบูร์แกร์ตกค้างต่ำทางด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษาเป็นโครงสร้างแบบกราเบน

รอยสัมผัสของโครงสร้างแบบฮอร์สและกราเบนนี้คาดว่าเป็นระบบรอยเลื่อนในแนว NW-SE และแนว N-S ซึ่งสอดคล้องกับแนวสัมผัสระหว่างบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงและต่ำบนแผนที่คอนทัวร์ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของพื้นที่ศึกษาที่ระดับความลึกต่างๆ ระบบรอยเลื่อนและรอยแตกตรงบริเวณขอบของโครงสร้างแบบฮอร์สคาดว่าเป็นช่องทางหลักสำหรับน้ำร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนในระดับลึกไหลขึ้นมาสู่ผิวดินที่ตำแหน่งของน้ำพุร้อนเขาชัยสน นั่นคือหินปูนในยุคเพอร์เมียนนี้มีบทบาทที่สำคัญต่อแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน

การประมวลจากผลการศึกษาด้านธรณีฟิสิกส์และธรณีวิทยาในปัจจุบันคาดว่าโครงสร้างแบบฮอร์สและกราเบนเป็นโครงสร้างธรณีวิทยาหลักของพื้นที่ศึกษา โดยคาดว่าแหล่งน้ำดิบของน้ำพุร้อนเขาชัยสนเป็นน้ำจืดบนผิวดินหรือน้ำฝนในบริเวณเทือกเขาบรรทัดซึ่งอยู่ทางด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำร้อนจากแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสนที่พบว่าน้ำร้อนมีปริมาณของ Cl และ TDS ต่ำมาก เมื่อน้ำดิบเหล่านี้ซึมผ่านลงไปใต้ดินจะได้รับการถ่ายเทความร้อนมาจากแหล่งกำเนิดความร้อนในระดับลึก ทำให้น้ำมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น และบางส่วนของน้ำร้อนนี้ไหลขึ้นสู่ผิวดินตรงตำแหน่งน้ำพุร้อนเขาชัยสนผ่านรอยเลื่อนหรือรอยแตกตรงบริเวณขอบของโครงสร้างแบบฮอร์สดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งแสดงไว้ในภาพประกอบ 4.1



ภาพประกอบ 4.1 แบบจำลองของแหล่งน้ำพุร้อนเขาชัยสน

บรรณานุกรม

กรมทรัพยากรธรณี, 2550. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดพัทลุง. พิมพ์ครั้งที่ 1. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไอเดีย สแควร์: กรุงเทพฯ.

กรมแผนที่ทหาร, 2543 แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1 : 50,000 ระวาง 4923 I, 4924 II และ 5023 III-5023 IV. กรมแผนที่ทหาร: กรุงเทพฯ.

กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, 2528. แผนที่ธรณีวิทยา มาตรส่วน 1 : 250,000 ระวาง NB47-3 จังหวัดสงขลา. กรมทรัพยากรธรณี: กรุงเทพฯ.

กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, 2544. แผนที่แหล่งน้ำพุร้อนประเทศไทย มาตราส่วน 1 : 2,500,000. กรมทรัพยากรธรณี: กรุงเทพฯ.

ประยุทธ ขาวดี, 2551. การศึกษาธรณีฟิสิกส์ของแหล่งความร้อนใต้พิภพใน อ. กาญจนดิษฐ์ และ อ.บ้านนาเดิม จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัญฑิต, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

ประเสริฐ สินสุขประเสริฐ, 2550. กฎหมายและการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานภาคอุตสาหกรรม [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://internet1.off.fti.or.th/filemanager/data/internet/2007_IEI/7G_RegulationAndIncentives.pdf. (วันที่สืบค้น 7 ธันวาคม 2551)

มานพ รักษาสกุลวงศ์ และ ศิริพร สูงปานเขา, 2544. พลังงานความร้อนใต้พิภพ. กองเศรษฐธรณี, กรมทัพยากรธรณี, 10 หน้า

สุรศักดิ์ แก้วอ่อน, 2539. การศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคในจังหวัดสตูลและสงขลาด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์. วิทยาพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัญฑิต, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, 2539. การศึกษาโครงสร้างธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคในจังหวัดสงขลา พัทลุง และตรังด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์. วิทยาพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัญฑิต, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

แสงอาทิตย์ เชื้อวิโรจน์, 2530. พัฒนาการเทคโทนิกและประวัติภูมิศาสตร์โบราณของประเทศไทย: ร่างบทความเสนอในหนังสือธรณีวิทยาและแหล่งแร่ของประเทศไทย, กรมทรัพยากรธรณี, 5 หน้า (เตรียมพิมพ์)

ศิริพร สูงปานเขา และ มานพ รักษาสกุลวงศ์, 2544. พลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย. วารสารเศรษฐธรณีวิทยา, ปีที่ 3, ฉบับที่ 4, 7 หน้า

Barbier, E., 2002. Geothermal energy technology and current status: an overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 9, p. 3-65.

Barr, S.M., and Macdonald, A.S., 1991. Toward a Late Paleozoic-Early Mesozoic tectonic model for Thailand: Thai Geosciences Journal, v. 1, no. 1-2, p. 11-12.

Bunopas, S., 1976. On the stratigraphic succession in Thailand-A preliminary summary: Journal of Geological Society of Thailand, v. 2, no. 1-2, p. 31-58.

Bunopas, S., 1981. Paleogeographic history of western Thailand and adjacent parts of Southeast Asia- A plate tectonics interpretation: Victoria University of Willington, unpublished Ph.D. Thesis, p. 810.

Bunopas, S., 1992. Regional stratigraphic correlation in Thailand, in C. Piancharoen, ed.-in –chief, Proceedings of the National Conference on Geologic Resources of Thailand: Potential for Future Development, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand: 1992, Supplementary volume, p. 189-208.

Bunopas, S., 1994. The regional stratigraphy, paleogrographic and tectonic events of Thailand and continental Southeast Asia, in Proceeding of the International Symposium on Stratigraphic Correlation of Southeast Asia, Bangkok, Thailand: 1994, p. 2-24

Bunopas, S., and Vella, P., 1978. Late Palaeozoic and Mesozoice structural evolution of Northern Thailand, a plate tectonics model, *in* P. Nutalaya. ed., Proceedings of the Third Regional Conference on Geology and Mineralogy Resources of Southeast Asia, Bangkok Thailand: 1978, p. 133-140.

Bunopas, S. and Vella, P., 1983. Opening of the Gulf of Thailand – Rifting of continental Southeast Asia and Late Cenozoic tectonics, Journal of Geological Society of Thailand, v.6, p. 1-12.

Caglar, I. and Demirorer, M., 1999. Geothermal exploration using geoelectric methods in Kestanbol, Turkey. Journal of Geothermics. Vol. 28, p. 803-819.

Cargo, N.D. and Mallory, F.B., 1977. Man and his geologic environment, second edition, Addison-Wesley Publishing Company Inc., p.250-256.

Cassidy, J., France, S. and Locke C., 2006. Gravity and Magnetic investigation of maar volcanoes, Auckland vocaonic field, New Zealand. Journal of Volcanology and Geothermal Research: 2006.

Charusiri, P., Chaturongkavanich, S., Takashima, I., Kosuwan, S., Won-In, K. and Ngo Ngoc Cat, 2000. Application of Geothermal Resources of Thailand, Vietnam, and Myanmar to tectonic settings. Proceedings of the World Geothermal Chaiongress, Kyush-Tohoku, Japan, organized by International Geothermal Association, May 28-Jun 10, 2000.

Chaturat, A., 1985. Geophysics Explorations of Geothermal in Praw District, J., Chiang Mai Province and Wang Chin Disteict, Phrae Province. Groundwater Division, Department of Mineral Resources, p 34. (in Thai).

Chonglakmani, C., 1999. The Triassic systems of Thailand: implications for the paleogeography of Southeast Asia, *in* International Symposium on shallow Tethys (ST) 5, Bangkok, Thailand: 1999, p.486-495.

Curray, J.R., Moore, D.G., Lawver, L.A., Emmel, F.J., Raitt, R.W., Henry, M., and Kieckhefer, R., 1978. Tectonics of the Andaman Sea and Burma – geological and geophysical investigations of continental margin, American Association of Petroleum Geologist, Memoir 29, p. 189-198.

Donnell, T., Miller, K. and Witcher, J., 2001. A seismic and gravity study of the McGregor geothermal system, southern New Mexico. Journal of Geophysics. Vol. 66, p. 1002-1004.

Geothermica Italiana Slr., 1984. Geothermal reconnaissance survey of northern Thailand: UNDP final report Project no. THA/002/1982, PISA, p. 79.

Hochstein, M.P. and Caldwell, T.G., 1985. Heat source characteristics of some warm and hot spring systems in China and Thailand, Geothermal Institute, University of Auckland, New Zealand, unpub. rep. p. 6.

Kaewtawan, A., Lohawijarn, W. and Tonnayopas, D., 2004. Gravity Anomaly of Chaiya Geothermal Area. Proceeding of International Conference on Applied Geophysics. Chiang Mai, Thailand. 26-27 November 2004. p. 15-21.

Kearey, P. and Brooks, M., 1991. An Introduction to Geophysical Exploration. 3rd ed. Blackwell Science, London, UK, p. 254.

Majumdar, R., Majumdar, N. and Mukherjee, A., 2000. Geoelectric investigations in Bakreswar geothermal area, West Bengal, India. Journal of Applied Geophysics. Vol. 45, p. 187-202.

Parasnis, D.S., 1998. Principles of Applied Geophysics. 5th ed. Chapman and Hall, London, UK, p. 60-73.

Polachan, S., 1988. The geological evolution of the Mergui Basin, SE Andaman Sea, Thailand: Royal Holloway and Bedford New College, University of London, unpublished Ph.D. thesis, p. 218.

Polachan, S., Pradidtan, S., Tongtaow, C., Janmaha, S., Intarawijitr, K. and Sangsuwan, C., 1991. Development of Cenozoic basins in Thailand: Marine and Petroleum Geology, v. 8, p. 84-97.

Raksaskulwong, M.,1999. Geothermal energy development and utilization in Thailand, a country report present to the Asia Geothermal Symposium in Conjunction with the 36th Annual Session of CCOP, Hanoi, Vietnam, p. 17.

Raksaskulwong, M. and Thienprasert, A., 1995. Heat flow studies and geothermal energy development in Thailand, *in* Gupta, M.L., and Yamano, M., (eds.), Terrestrial heat flow and geothermal energy in Asia: New Delhi, Oxford & IBH Publishing, p.129-144.

Ratanasthien, B., 1989. Geochemistry of thermal fluids of San Kamphaeng and Fang geothermal system in upper northern Thailand, *in* Honda S., ed., Origin and reservoir characteristics of non-volcanic geothermal resources of northern Thailand, Akita University, Japan, p. 71-91.

Sawata, H., Wongsomsak, S., Tanchotikul, A., Darnsawasdi, R. Maneeprapun K. and Muenlek, S., 1983. A hypothetical idea on the formation of Hatyai basin and the Songkhla lagoon. Proceeding of the Annual Technical Meeting 1982, Department of Geological Sciences, Chiang Mai University, 1-2 Feb 1983, p. 109-112.

Takashima, I., Honda, S., and Raksaskulwong, M., 1989. Heat sources and hydrothermal systems of non-volcanic geothermal resources in northern Thailand, *in* Honda S., ed., Origin and reservoir characteristics of non-volcanic geothermal resources of northern Thailand, Akita University, Japan, p. 31-49.

Thienprasert, T., 1983. Geothermal Research and development in Thailand. Conference on Geology and Mineral Resources of Thailand, Bangkok, Thailand, Nov 19-28

Thienprasert, A. and Raksaskulwong, M., 1984. Heat flow in northern Thailand, Tectonophysics, v.103, p.217-233.

Thienprasert, A., Surinkum, A., and Matsubayashi, O., 1982. Preliminary study of heat generation in Thailand, International Workshop on Terrestrial Heat Flow studies and Structure of Lithosphere, Prague, p. 14.

Thongchit, P., and Thammavittawat, S., 1983. A report on geophysical survey with electrical resistivity in the geothermal area of Tumbol Pongkum, Amphoe Doi Saket, Changwat Chiangmai, Geophysics Section, Economic Geology Division, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand, p 18 (in Thai).

Ueno, K., 1999. Gondwana/Tethys divided in East Asia: solution from Late Paleozoic foraminiferal paleobiogeography, *in* the International Symposium on Shallow Tethys (ST) 5, Bangkok, Thailand: 1999, p. 45-54.

U.S. Department of Energy, 1999. Geothermal today: Clean energy for the 21st Century, Geothermal Energy Program Highlights, p. 36.

Velpen, V., 1988. Resist Version 1.0, ITC Msc. Research Project, ITC Kanaalweg 3 2628 EB DELFT (The Netherlands)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลสนามโน้มถ่วงที่ได้จากการวัดในพื้นที่ศึกษา

Gravimeter : LACOSTE & ROMBERGE G-565

STN : gravity station number

East, North : UTM coordinates of gravity station

Latitude (ϕ) : Latitude of gravity station

H : elevation of gravity station

g_obs : observed gravity in the present study area

g_lat = $9780318\left(1+0.0053024\sin^2\phi+0.0000059\sin^2 2\phi\right)$ g.u.

FAC = $3.072\times \mathrm{H}$ g.u.

BC = $0.0004191\times \mathrm{density}\times \mathrm{H}$; density = 2,500 kg/m^3

TC : Terrain correction

BA = g_obs-g_lat+FAC-BC+TC

STN	East (m)	North (m)	Latitude (deg)	H (m)	g_obs (g.u.)	g_lat (g.u.)	FAC (g.u.)	BC (g.u.)	TC (g.u.)	BA (g.u.)
S001	622035	825183	7.5	15.0	9781318	9781191	46.1	15.7	0.4	158
S002	620819	824150	7.5	14.6	9781272	9781188	45.0	15.3	0.1	113
S003	621004	822538	7.4	13.3	9781267	9781185	40.9	13.9	1.2	111
S004	620479	820673	7.4	15.4	9781244	9781181	47.3	16.1	0.4	95
S005	621500	818024	7.4	19.5	9781241	9781176	59.8	20.4	0.1	105
S006	622133	819851	7.4	17.7	9781280	9781179	54.5	18.6	0.2	137
S007	622495	821719	7.4	16.4	9781313	9781183	50.4	17.2	0.6	164
S008	622713	823669	7.5	15.2	9781327	9781187	46.6	15.9	5.9	176
S009	626581	825316	7.5	7.9	9781291	9781191	24.1	8.2	0.2	116
S010	625894	823565	7.5	9.1	9781321	9781187	27.9	9.5	2.0	154
S011	625370	821781	7.4	7.8	9781345	9781183	23.9	8.2	1.9	179
S012	623927	820413	7.4	8.3	9781337	9781181	25.4	8.7	0.3	173
S013	622426	818975	7.4	10.3	9781287	9781178	31.7	10.8	0.1	131
S014	624187	813860	7.4	22.6	9781249	9781167	69.4	23.7	0.1	128
S015	623762	815770	7.4	26.6	9781268	9781171	81.7	27.9	0.1	151
S016	624425	817480	7.4	26.2	9781289	9781174	80.5	27.5	0.1	168
S017	625826	818883	7.4	15.6	9781324	9781177	47.8	16.3	0.0	178

STN	East	North	Latitude	H (m)	g_obs (g.u.)	g_lat (g.u.)	FAC (g.u.)	BC (g.u.)	TC (g.u.)	BA (g.u.)
S018	627141	820560	7.4	12.9	9781264	9781181	39.7	13.5	0.3	110
S019	628347	822112	7.4	10.2	9781216	9781184	31.4	10.7	0.1	52
S020	629690	823839	7.5	5.8	9781214	9781188	17.7	6.0	0.0	38
S021	631270	825177	7.5	2.3	9781236	9781191	6.9	2.4	0.0	50
S022	635334	824530	7.5	0.0	9781372	9781189	0.0	0.0	0.1	181
S023	633865	823134	7.5	0.0	9781313	9781186	0.0	0.0	0.0	125
S024	632385	821699	7.4	0.7	9781250	9781183	2.1	0.7	0.0	68
S025	630898	820239	7.4	8.6	9781192	9781180	26.3	9.0	0.1	29
S026	629461	818776	7.4	15.5	9781184	9781177	47.7	16.3	0.0	39
S027	628896	816855	7.4	13.7	9781181	9781173	42.0	14.3	0.0	35
S028	627743	815131	7.4	18.3	9781214	9781170	56.2	19.2	0.0	82
S029	625866	814245	7.4	20.7	9781257	9781168	63.6	21.7	0.1	131
S030	625628	812711	7.4	18.1	9781238	9781165	55.7	19.0	0.3	111
S031	627362	813720	7.4	12.6	9781230	9781167	38.8	13.2	0.1	89
S032	629362	813804	7.4	7.4	9781196	9781167	22.7	7.7	0.1	44
S033	631185	814169	7.4	5.9	9781173	9781168	18.2	6.2	0.0	17
S034	632111	816121	7.4	1.5	9781221	9781172	4.5	1.5	0.1	53
S035	633468	817702	7.4	0.0	9781286	9781175	0.0	0.0	0.0	111
S036	634819	819356	7.4	0.0	9781343	9781178	0.0	0.0	0.1	159
S037	635496	812296	7.4	9.1	9781367	9781164	28.0	9.6	0.1	222
S038	633550	811802	7.3	6.5	9781296	9781163	20.0	6.8	0.9	148
S039	631651	811367	7.3	7.1	9781172	9781162	21.8	7.4	0.0	24
S040	629655	811364	7.3	9.6	9781181	9781162	29.5	10.1	0.1	39
S041	627692	811645	7.3	22.7	9781226	9781162	69.8	23.8	0.1	110
S042	625663	811250	7.3	20.3	9781229	9781162	62.2	21.2	0.1	108
S043	617873	820715	7.4	19.7	9781211	9781181	60.6	20.7	0.1	70
S044	616555	819359	7.4	31.0	9781167	9781178	95.3	32.5	0.2	52
S045	615994	817443	7.4	31.8	9781156	9781174	97.8	33.4	0.1	47
S046	614748	816039	7.4	30.7	9781151	9781171	94.2	32.1	0.5	42
S047	613181	814746	7.4	33.4	9781113	9781169	102.5	35.0	1.3	13
S048	611292	815207	7.4	60.0	9781034	9781170	184.4	62.9	4.4	-10
S049	609599	815976	7.4	43.6	9781029	9781171	133.8	45.6	1.1	-53
S050	617473	821953	7.4	24.0	9781212	9781184	73.7	25.1	0.2	77
S051	615492	821818	7.4	26.5	9781175	9781183	81.3	27.7	0.5	45

STN	East	North	Latitude	H (m)	g_obs (g.u.)	g_lat (g.u.)	FAC (g.u.)	BC (g.u.)	TC (g.u.)	BA (g.u.)
S052	613674	821401	7.4	33.0	9781139	9781183	101.4	34.6	0.1	23
S053	611704	821024	7.4	42.4	9781118	9781182	130.3	44.4	0.5	22
S054	609623	820748	7.4	78.7	9781013	9781181	241.7	82.4	3.7	-5
S055	618444	825105	7.5	19.2	9781240	9781190	58.9	20.1	0.0	89
S056	616620	824655	7.5	22.2	9781217	9781189	68.1	23.2	0.6	74
S057	615130	824060	7.5	29.9	9781177	9781188	91.9	31.3	0.3	50
S058	613308	824494	7.5	25.4	9781154	9781189	78.2	26.7	0.0	17
S059	611638	824214	7.5	29.1	9781132	9781189	89.5	30.5	0.0	2
S060	610589	824379	7.5	31.1	9781119	9781189	95.6	32.6	0.4	-7
S061	611024	826176	7.5	31.9	9781128	9781193	97.9	33.4	0.0	0
S062	612773	827095	7.5	25.5	9781164	9781195	78.3	26.7	0.0	21
S063	614537	827618	7.5	23.2	9781205	9781196	71.2	24.3	0.1	56
S064	616294	828207	7.5	21.4	9781226	9781197	65.6	22.4	0.1	72
S065	614531	833727	7.5	28.0	9781260	9781209	86.1	29.4	0.1	108
S066	613729	832430	7.5	29.4	9781248	9781206	90.4	30.8	0.0	102
S067	612403	831451	7.5	26.1	9781224	9781204	80.1	27.3	0.2	73
S068	610586	831205	7.5	28.5	9781156	9781203	87.4	29.8	0.2	10
S069	617418	830915	7.5	25.8	9781255	9781203	79.4	27.1	0.0	104
S070	619304	830811	7.5	22.8	9781305	9781202	70.2	23.9	0.0	149
S071	621106	831791	7.5	18.1	9781377	9781204	55.7	19.0	0.1	210
S072	622535	832522	7.5	16.5	9781375	9781206	50.6	17.3	0.1	202
S073	624371	832279	7.5	10.0	9781339	9781205	30.8	10.5	0.0	154
S074	625649	833298	7.5	8.6	9781316	9781208	26.5	9.0	0.0	126
S075	627737	833667	7.5	5.3	9781332	9781208	16.4	5.6	0.0	134
S076	621463	825263	7.5	15.9	9781295	9781191	48.8	16.7	0.1	136
S077	621641	827122	7.5	21.2	9781307	9781195	65.0	22.2	0.1	155
S078	621437	828930	7.5	21.4	9781320	9781198	65.7	22.4	0.2	165
S079	623142	829698	7.5	10.3	9781357	9781200	31.6	10.8	0.1	178
S080	624954	830171	7.5	8.1	9781324	9781201	24.7	8.4	0.1	139
S081	624859	831760	7.5	6.3	9781323	9781204	19.4	6.6	0.0	132
S082	625200	828216	7.5	6.9	9781324	9781197	21.1	7.2	0.2	141
S083	625498	826306	7.5	10.1	9781328	9781193	30.9	10.5	0.2	156
S084	625981	825481	7.5	13.5	9781307	9781191	41.4	14.1	0.1	144
S085	627046	827032	7.5	8.8	9781285	9781194	26.9	9.2	0.2	108
S086	627706	828720	7.5	8.5	9781285	9781198	26.1	8.9	0.1	104

STN	East	North	Latitude	H (m)	g_obs (g.u.)	g_lat (g.u.)	FAC (g.u.)	BC (g.u.)	TC (g.u.)	BA (g.u.)
S087	628134	830442	7.5	5.1	9781305	9781202	15.8	5.4	0.0	114
S088	628885	832505	7.5	7.1	9781325	9781206	21.8	7.5	0.0	134
S089	628895	834421	7.6	7.8	9781335	9781210	23.8	8.1	0.0	141
S090	629933	830522	7.5	7.7	9781298	9781202	23.7	8.1	0.0	112
S091	631362	829379	7.5	3.5	9781282	9781199	10.8	3.7	0.0	90
S092	631791	827580	7.5	2.2	9781275	9781196	6.9	2.3	0.0	84
S093	619562	831013	7.5	23.0	9781321	9781203	70.7	24.1	0.0	100
S094	619755	832853	7.5	25.9	9781333	9781207	79.5	27.1	0.0	179
S095	619331	834901	7.6	22.1	9781343	9781211	67.9	23.1	0.0	177

ภาคผนวก ข

ความหนาแน่นของหินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา

Sample No.	UTM-E (m)	UTM-N (m)	Weight (dry) (kg)	Weight (wet) (kg)	Density kg/m^3	Rock Type
p01-1	623629	808881	0.784	0.481	2563	Sandstone
p01-2	----“----	----“----	0.902	0.553	2561	Sandstone
p01-3	----“----	----“----	1.029	0.633	2573	Sandstone
p01-4	----“----	----“----	0.587	0.364	2606	Sandstone
p01-5	----“----	----“----	0.751	0.463	2583	Sandstone
p02-1	624448	821860	0.607	0.392	2804	Limestone
p02-2	----“----	----“----	0.344	0.222	2805	Limestone
p02-3	----“----	----“----	0.273	0.171	2658	Limestone
p02-4			0.172	0.112	2805	Limestone
p03-1	612725	814697	0.204	0.116	2307	Mudstone
p03-2	----“----	----“----	0.365	0.210	2333	Mudstone
p03-3	----“----	----“----	0.594	0.352	2431	Mudstone
p03-4	----“----	----“----	0.614	0.364	2431	Mudstone
p03-5	----“----	----“----	0.261	0.155	2440	Mudstone
p03-6	----“----	----“----	0.799	0.466	2379	Mudstone
p03-7	----“----	----“----	0.761	0.445	2385	Mudstone
p03-8	----“----	----“----	0.720	0.420	2375	Mudstone
p04-1	610543	815840	0.306	0.175	2310	Mudstone
p04-2	----“----	----“----	0.642	0.367	2311	Mudstone
p04-3	----“----	----“----	0.462	0.265	2327	Mudstone
p04-4	----“----	----“----	0.880	0.541	2570	Mudstone
p04-5	----“----	----“----	0.922	0.564	2553	Mudstone
p04-6	----“----	----“----	1.247	0.762	2545	Mudstone
p04-7	----“----	----“----	0.523	0.321	2566	Mudstone

Sample No.	UTM-E (m)	UTM-N (m)	Weight (dry) (kg)	Weight (wet) (kg)	Density kg/m^3	Rock Type
p05-1	606076	813792	0.665	0.411	2596	Granite
p05-2	----“----	----“----	0.436	0.271	2620	Granite
p05-3	----“----	----“----	0.820	0.510	2617	Granite
p05-4	----“----	----“----	0.279	0.172	2581	Granite
p05-5	----“----	----“----	0.232	0.143	2583	Granite
p05-6	----“----	----“----	0.459	0.283	2587	Granite
p06-1	606729	814574	0.568	0.348	2549	Sandstone
p06-2	----“----	----“----	1.259	0.776	2581	Sandstone
p06-3	----“----	----“----	0.739	0.451	2539	Sandstone
p06-4	----“----	----“----	0.453	0.285	2668	Sandstone
p06-5	----“----	----“----	0.621	0.390	2659	Sandstone
p07-1	607651	814824	0.347	0.220	2708	Limestone
p07-2	----“----	----“----	0.213	0.136	2716	Limestone
p07-3	----“----	----“----	0.200	0.127	2706	Limestone
p07-4	----“----	----“----	0.231	0.147	2712	Limestone
p07-5	----“----	----“----	0.409	0.259	2703	Limestone

ภาคผนวก ค

พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาด้วยโปรแกรม GMM

```
      16  ;Total number of bodies in model
    2580  ;Surrounding density
```

```
       1  ;Internal body number
    1800  ;density of body
    5000  ;strike length
  807500  ;Y-coordinate of body reference point
       0  ;strike angle from y-axis anti-clockwise

       4          ;Number of corners in body
636033.8       0  ;X-coord & depth of corner    1
632903.8     200  ;          ---  "  ---        2 (with strike=0.0)
628556.9     200  ;          ---  "  ---        3     --  "  --
626006.6       0  ;          ---  "  ---        4     --  "  --
```

```
       2  ;Internal body number
    2250  ;density of body
    5000  ;strike length
  807500  ;Y-coordinate of body reference point
       0  ;strike angle from y-axis anti-clockwise

       4          ;Number of corners in body
628556.9     200  ;X-coord & depth of corner    1
632903.8     200  ;          ---  "  ---        2 (with strike=0.0)
631338.9    1000  ;          ---  "  ---        3     --  "  --
629832.0    1000  ;          ---  "  ---        4     --  "  --
```

```
     3  ;Internal body number
  1800  ;density of body
  5000  ;strike length
812500  ;Y-coordinate of body reference point
     0  ;strike angle from y-axis anti-clockwise

     4          ;Number of corners in body
624499.6     0  ;X-coord & depth of corner    1
635975.8     0  ;          --- " ---          2 (with strike=0.0)
633425.5   200  ;          --- " ---          3     -- " --
627977.2   200  ;          --- " ---          4     -- " --
```

```
     4  ;Internal body number
  2250  ;density of body
  5000  ;strike length
812500  ;Y-coordinate of body reference point
     0  ;strike angle from y-axis anti-clockwise

     4          ;Number of corners in body
628035.2   200  ;X-coord & depth of corner    1
633541.4   200  ;          --- " ---          2 (with strike=0.0)
632208.4  1000  ;          --- " ---          3     -- " --
629832.0  1000  ;          --- " ---          4     -- " --
```

```
     5  ;Internal body number
  2770  ;density of body
  5000  ;strike length
817500  ;Y-coordinate of body reference point
     0  ;strike angle from y-axis anti-clockwise
```

```
     5            ;Number of corners in body
623456.4     85   ;X-coord & depth of corner    1
624975.0     85   ;          ---  "  ---        2 (with strike=0.0)
626406.4    200   ;          ---  "  ---        3     --  "  --
629490.0   1000   ;          ---  "  ---        4     --  "  --
622528.9   1000   ;          ---  "  ---        5     --  "  --
```

```
     6   ;Internal body number
  1800   ;density of body
  5000   ;strike length
817500   ;Y-coordinate of body reference point
     0   ;strike angle from y-axis anti-clockwise

     6            ;Number of corners in body
623114.3     0    ;X-coord & depth of corner    1
636033.8     0    ;          ---  "  ---        2 (with strike=0.0)
634068.8   200    ;          ---  "  ---        3     --  "  --
626348.5   200    ;          ---  "  ---        4     --  "  --
624923.9    85    ;          ---  "  ---        5     --  "  --
623050.6    85    ;          ---  "  ---        6     --  "  --
```

```
     7   ;Internal body number
  2250   ;density of body
  5000   ;strike length
817500   ;Y-coordinate of body reference point
     0   ;strike angle from y-axis anti-clockwise

     4            ;Number of corners in body
626336.9   200    ;X-coord & depth of corner    1
634016.8   200    ;          ---  "  ---        2 (with strike=0.0)
631396.9  1000    ;          ---  "  ---        3     --  "  --
629484.3  1000    ;          ---  "  ---        4     --  "  --
```

```
     8  ;Internal body number
  2770  ;density of body
  5000  ;strike length
822500  ;Y-coordinate of body reference point
     0  ;strike angle from y-axis anti-clockwise

     6          ;Number of corners in body
624005.8     0  ;X-coord & depth of corner    1
624402.2     0  ;          --- " ---          2 (with strike=0.0)
626159.8   150  ;          --- " ---          3     -- " --
629542.2  1000  ;          --- " ---          4     -- " --
621949.3  1000  ;          --- " ---          5     -- " --
621775.4   200  ;          --- " ---          6     -- " --
```

```
     9  ;Internal body number
  1800  ;density of body
  5000  ;strike length
822500  ;Y-coordinate of body reference point
     0  ;strike angle from y-axis anti-clockwise

     4          ;Number of corners in body
624464.8     0  ;X-coord & depth of corner    1
636033.8     0  ;          --- " ---          2 (with strike=0.0)
634063.2   150  ;          --- " ---          3     -- " --
626180.3   150  ;          --- " ---          4     -- " --
```

```
    10  ;Internal body number
  2250  ;density of body
  5000  ;strike length
822500  ;Y-coordinate of body reference point
     0  ;strike angle from y-axis anti-clockwise
```

```
     4              ;Number of corners in body
626180.3      150   ;X-coord & depth of corner    1
634121.1      150   ;              ---  "  ---     2 (with strike=0.0)
631165.1     1000   ;              ---  "  ---     3     --  "  --
629542.2     1000   ;              ---  "  ---     4     --  "  --
```

```
    11   ;Internal body number
  2770   ;density of body
  5000   ;strike length
827500   ;Y-coordinate of body reference point
     0   ;strike angle from y-axis anti-clockwise

     5              ;Number of corners in body
620384.4       80   ;X-coord & depth of corner    1
623844.6       80   ;              ---  "  ---     2 (with strike=0.0)
628238.0      450   ;              ---  "  ---     3     --  "  --
629078.5     1000   ;              ---  "  ---     4     --  "  --
618935.4     1000   ;              ---  "  ---     5     --  "  --
```

```
    12   ;Internal body number
  1800   ;density of body
  5000   ;strike length
827500   ;Y-coordinate of body reference point
     0   ;strike angle from y-axis anti-clockwise

     6              ;Number of corners in body
618761.5        0   ;X-coord & depth of corner    1
635975.8        0   ;              ---  "  ---     2 (with strike=0.0)
633771.0      125   ;              ---  "  ---     3     --  "  --
624295.6      125   ;              ---  "  ---     4     --  "  --
623878.3       80   ;              ---  "  ---     5     --  "  --
620297.4       80   ;              ---  "  ---     6     --  "  --
```

```
    13  ;Internal body number
  2250  ;density of body
  5000  ;strike length
827500  ;Y-coordinate of body reference point
     0  ;strike angle from y-axis anti-clockwise

     4          ;Number of corners in body
624295.6   125  ;X-coord & depth of corner    1
633831.2   125  ;          ---  "  ---        2 (with strike=0.0)
631396.9   450  ;          ---  "  ---        3     --  "  --
628284.4   450  ;          ---  "  ---        4     --  "  --
```

```
    14  ;Internal body number
  2770  ;density of body
  5000  ;strike length
832500  ;Y-coordinate of body reference point
     0  ;strike angle from y-axis anti-clockwise

     7          ;Number of corners in body
620355.8    75  ;X-coord & depth of corner    1
621191.9    20  ;          ---  "  ---        2 (with strike=0.0)
622440.0    20  ;          ---  "  ---        3     --  "  --
623299.8    65  ;          ---  "  ---        4     --  "  --
624099.7   100  ;          ---  "  ---        5     --  "  --
625716.8  1000  ;          ---  "  ---        6     --  "  --
617296.8  1000  ;          ---  "  ---        7     --  "  --
```

```
    15  ;Internal body number
  1800  ;density of body
  5000  ;strike length
832500  ;Y-coordinate of body reference point
     0  ;strike angle from y-axis anti-clockwise
```

```
       4              ;Number of corners in body
622325.8        0     ;X-coord & depth of corner    1
636961.1        0     ;              ---  "  ---     2 (with strike=0.0)
632382.3       65     ;              ---  "  ---     3     --  "  --
623404.1       65     ;              ---  "  ---     4     --  "  --
```

```
      16   ;Internal body number
    2250   ;density of body
    5000   ;strike length
  832500   ;Y-coordinate of body reference point
       0   ;strike angle from y-axis anti-clockwise

       4              ;Number of corners in body
623333.3       65     ;X-coord & depth of corner    1
628101.2       65     ;              ---  "  ---     2 (with strike=0.0)
626106.8      100     ;              ---  "  ---     3     --  "  --
624134.5      100     ;              ---  "  ---     4     --  "  --
```

ภาคผนวก ง

ข้อมูลสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏในหน่วยโอห์ม-เมตรที่ได้จากการวัดในพื้นที่ศึกษา

AB/2	Sounding points																				
	MN/2	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P18	P19	P19_1	P20
2	1	207	157	138	156	3064	333	648	417	67	187	1606	616	106	870	174	2270	389	1140	497	2898
2	1	188	181	81	151	1933	282	624	300	66	166	1822	382	125	940	204	1516	378	895	524	2639
3	1	218	213	60	164	2160	257	655	165	53	146	2195	178	142	935	263	1244	430	682	552	2204
4.5	1	205	210	45	157	1349	204	602	94	79	92	1912	99	128	508	248	639	293	382	420	1438
7	1	220	188	48	210	814	178	577	107	115	53	1535	90	93	417	252	210	214	260	222	898
7	2	205	162	56	180	872	193	531	109	102	54	1791	83	89	338	237	300	234	298	228	840
10	1	242	160	58	231	543	185	593	145	159	41	1241	89	65	316	259	121	155	159	140	461
10	2	211	145	55	204	535	182	488	131	137	39	1485	73	60	258	256	133	146	164	132	474
15	2	179	101	49	201	286	215	505	158	178	31	883	76	44	181	256	91	95	97	99	213
20	2	152	66	58	206	123	194	500	186	200	31	736	77	48	124	238	52	73	86	81	130
20	6	122	71	77	174	132	206	518	179	177	31	806	68	48	154	211	57	80	99	98	162
30	6	103	33	63	179	50	132	438	196	217	36	658	55	48	71	217	19	58	92	68	51
45	6	100	23	79	166	56	71	308	185	266	54	508	48	69	75	386	7	50	67	31	32
45	10	105	23	86	161	32	72	319	194	268	56	553	44	59	78	174	10	50	83	33	34
60	10	129	24	106	180	33	34	259	166	228	70	375	28	74	76	181	14	51	62	21	51
60	20	141	27	126	172	49	43	266	163	231	80	427	31	60	82	181	16	61	62	25	42
90	20	205	31	181	248	66	13	169	162	203	133	239	16	77	98	237	8	38	38	12	42
90	30	192	32	189	232	51	16	177	159	202	126	275	18	86	98	213	9	39	37	15	42
150	30	324	38	301	397	90	7	162	182	254	207	159	14	112	140	345	11	37	34	8	58
150	50	318	34	280	386	78	8	179	194	251	190	178	13	101	121	338	7	43	30	9	57
225	50	512	44	394	574	97	8	254	127	333	280	218	11	153	168	442	6	16	60	7	98
225	30	505	25	418	571	105	6	269	83	324	298	211	16	180	194	434	13	23	121	7	118
350	50	783	38	603	795	80	4	401	118	345	389	293	20	181	238	456	40	57	116	10	152

AB/2	Sounding points																
	MN/2	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37
2	1	1969	197	34	449	2205	102	244	2205	1192	519	191	168	895	268	142	652	428
2	1	2163	203	39	329	1881	130	255	2185	795	541	189	176	978	196	135	605	490
3	1	2097	217	55	301	1582	169	268	2202	657	596	218	204	1126	156	162	564	600
4.5	1	1015	201	65	289	969	203	280	1732	426	462	264	194	875	130	153	348	546
7	1	512	191	50	305	783	270	314	888	335	363	339	187	478	137	125	233	561
7	2	526	162	52	273	800	236	275	911	237	325	296	144	460	129	118	208	728
10	1	347	191	31	282	659	289	316	494	203	296	415	184	160	166	74	193	692
10	2	293	160	30	247	665	257	283	476	183	240	391	176	170	139	111	169	853
15	2	102	104	18	167	651	259	256	130	136	222	416	156	39	140	80	127	953
20	2	34	106	18	117	611	235	201	63	112	448	409	149	28	122	81	83	1019
20	6	42	102	26	104	611	347	221	83	87	236	386	151	34	134	64	91	1138
30	6	37	101	38	63	575	240	120	27	90	123	337	146	27	108	85	36	1111
45	6	38	101	58	58	470	127	44	44	100	55	251	136	39	93	120	17	1058
45	10	36	101	65	60	463	211	50	35	92	59	248	141	37	101	118	18	984
60	10	32	111	88	65	349	148	25	35	103	43	214	156	49	107	151	17	957
60	20	44	115	81	71	332	84	37	35	96	52	214	158	41	125	147	15	1071
90	20	48	159	122	80	225	64	20	50	119	41	202	235	54	134	188	15	1031
90	30	43	169	115	75	213	69	21	90	113	55	208	224	53	132	179	15	1097
150	30	57	243	194	112	109	74	21	113	145	30	249	381	88	160	222	27	892
150	50	58	270	190	101	119	73	20	71	139	21	246	367	86	161	197	18	954
225	50	76	391	291	135	115	95	26	65	176	12	323	556	74	191	170	27	661
225	30	72	314	289	142	124	92	23	75	179	14	323	569	70	184	174	61	660
350	50	49	416	459	153	130	114	21	124	238	14	458	590	76	215	100	25	565

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์

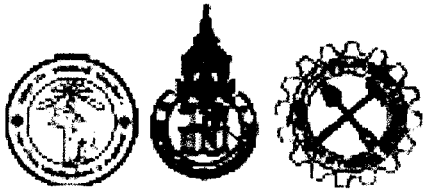
PROCEEDINGS
OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE
ON
APPLIED GEOPHYSICS

Geophysics

NOVEMBER 12 – 13, 2008 CHIANG MAI, THAILAND

Editors

Mr. Sidney Rieb
Dr. Pisanu Wongpornchai
Dr. Siriporn Chaisri



Department of Mineral Fuels
MINISTRY OF ENERGY

ORGANIZED BY Chiang Mai University

IN COLLABORATION WITH Prince of Songkla University
Department of Mineral Resources
Department of Mineral Fuels

Advisory Committee:

Prof. Dr. Kittichai Wattanasikorn
Director General of Department of Mineral Fuels
Director General of Department of Mineral Resources
Head of Department of Geological Sciences, CMU.
Assoc.Prof. Dr. Weerasuti Lohawijan
Assoc.Prof. Dr. Samsan Singharajwarapan

Organizing Committee:

Secretary: Dr. Pisanu Wongpornchai
Member: Assist Prof. Dr. Pongsawat S. Singharajwarapan
Assist Prof. Dr. Banchob Yoksombat
Dr.Sawasdee Chaimanopraset
Dr. Siriporn Chaisri
Ms. Chanpen Biasongsawat
Mr. Sidney Rieb

Fourth International Conference on Applied Geophysics 155
12 - 13 November 2008, Chiang Mai, Thailand

Geophysical Anomalies of Kaochaison Hotspring in Pattalung Province

S. Jonjana, W. Lohawijarn and H. Dürrast
Geophysics Laboratory, Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand

ABSTRACT

Geophysical measurements were made in the Kaochaison hot spring area in southern Thailand. to determine the subsurface geological structures related to the hot spring. Ninety-five gravity points and 37 resistivity soundings were measured. A positive gravity anomaly occurs in the same area as high resistive bedrock over the Kaochaison hot spring. Both gravity anomaly and the high resistive bedrock have an elongated shape and trend slightly west of north. A shallow Permian limestone about 1,000 meters thick was modelled to explain the positive gravity anomaly. This limestone is likely a part of horst and graben structures and is the pathway of hot water from a deep heat source.

KEYWORDS: Kaochaison, gravity anomaly, resistivity sounding, geological structure, horst and graben structures

Introduction

The Kaochaison hot spring is in Ban Kaochaison, Kaochaison district of Phattalung Province, and is about 840 kilometers south of Bangkok and about 25 kilometers southeast of Phattalung city. In Phattalung Province, there are four hot spring sites, the PL01 Kaochaison hot spring in Kaochaison district, with a surface temperature of about ° 57 C, the PL02 Ban Lo Chan Kra hot spring in Tamod district, with a surface temperature of about ° 46 C, the PL03 Ban Na Thung Pho hot spring in Kongra district, with a surface temperature of about ° 50 C, and the PL04 Ban Ra Wang Khua hot spring in KhuanKhanun district, with a surface temperature of about ° 42 C.

The general geology of Kaochaison hot spring and its vicinity is shown in Figure 1. The rocks exposed in the study area range from Cambrian to Quaternary. The Cambrian rocks of the Tarutao Group are white to light gray fine-grained sandstone and quartzite. The Ordovician rocks of the Thung Song Group are mainly gray, finely crystalline to coarse-grained limestone. The Silurian-Devonian rocks of the Pa-Samed Formation are black shale and mudstone. The Carboniferous Khuan Klang Formation includes gray mudstone, siliceous mudstone, shale, chert, and sandstone. The Ratburi Group Permian rocks are mainly white limestone and dolomitic limestone that form isolated hills in the eastern part of study area. The Jurassic-Cretaceous rocks of the Lam Thap Formation are arkosic.

sandstone, siltstone, and conglomerate. The Quaternary sediment includes gravel, sand, silt, and clay. Intrusive igneous rocks are Triassic in age. They are mainly biotite-muscovite granite and porphyritic granite and occur in a large area as isolated hills in the western part of Phattalung Province. They form a north-south belt and they may be heat sources of the geothermal system in the study area (Department of Mineral Resources, 2007).

The major structures in the study area are the northeast-southwest and northwest-southeasttrending faults and fractures in the Ordovician and Silurian-Devonian rocks and in the Triassic granite (Department of Mineral Resources, 2007)

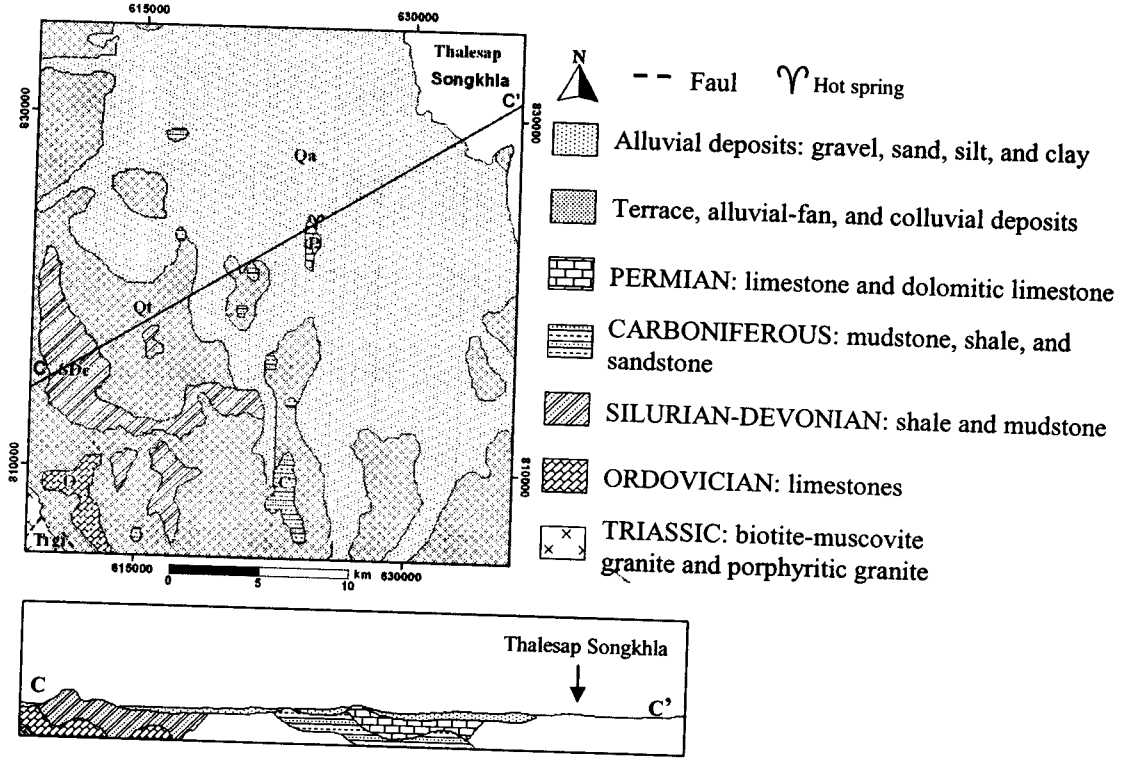


Figure 1. Geological map and cross section of the study area

Sawata and others (1983) conducted Quaternary geological studies in southern Thailand and concluded that the north-south-trending basin, located between east longitudes 100°15′ and 100°30′E and extending from the coast east of Nakhon Si Thamarat to the Thai-Malaysian border, is a graben.The hill range and the neighboring small basins east of the graben are parts of a horst. This graben and

horst structure may be a southern extension of a geological structure formed by block faulting that has trapped some oil and natural gas under the Gulf of Thailand.

Raksaskulwong and Theinprasert (1995) suggested that hot springs in Thailand may be associated with granitic rocks that are heated by the decay of an abnormally high content of radioactive elements or because they occur at active fault zones that are leakage points for deep and hot zones. Charusiri and others (2003) suggested that the most probable heat source of Chantaburi hot spring is nearsurface active rift-related magmatism. Such magmatism could have been the source of past basalt and may be responsible for hot spring development as a result of active intra-plate mantle melting through the major fault.

The objective of this research work was to determine the subsurface geological structure related to the Kaochaison hot spring using gravity and vertical electrical sounding methods.

Previous gravity and vertical electrical sounding measurements conducted in order to delineatesubsurface plutons and fault systems are Majumdar and others (2001), Donnell and others (2001), Khawdee and others (2007), and Khawtawan and others, (2004).

METHODOLOGY

Gravity measurements investigate the subsurface geology by measuring variations in the Earth's gravitational field generated by density differences between subsurface rocks (Kearey and Brooks, 1991). The resistivity method investigates the subsurface by measuring the potential differences of electric currents that are introduced into the ground. The measured potential difference depends on the size, shape, location, and electrical resistivity of subsurface layers or bodies. In this study, vertical electrical sounding measurement was used in determining horizontal or near-horizontal interfaces.

Gravity measurement

The gravity value of each point was measured with a LaCoste and Romberge gravimeter, model G-565. Ninety-five measuring points were placed along roads in the study area. The spacing between measuring points was 2 kilometers. Gravity measurement was conducted in leap-frog loops with a period of 2 to 3 hours for each closing loop. The location of measuring points was determined with a Trimble Pathfinder basic-plus geographic positioning system instrument. The elevation of gravity points was measured with an American Paulin altimeter.

The measured gravity values were corrected for the effects of instrumental drift and tides, latitude, elevation, and surrounding terrain (Telford and others, 1998). The data were corrected to give gravity anomalies at mean sea level, these being Bouger anomalies. A Bouguer anomaly map was drawn and used for qualitative and quantitative interpretation in order to determine the geological structure at depth.

Vertical electrical sounding

Thirty-seven electrical resistivity soundings in the Schlumberger electrode configuration were conducted in the study area. The maximum spacing between current electrodes was 700 meters. The ground resistance was measured with an ABEM Terrameter SAS-1000 and the Resist program (Velpen, 1988) was used for one-dimensional modelling of sounding data.

Density of rock samples

Two to ten hand specimens of six rock-types exposed in the study area and the vicinity of study area were collected from seven sites. Sample weight did not exceed 3 kilograms. The densities of these samples were determined in the Prince of Songkla University geophysics laboratory and were used as constraints in gravity modellling for determining subsurface geological structures.

RESULTS AND DISCUSSION

Gravity and vertical electrical sounding results

A Bouguer anomaly contour map superimposed on the geological map of study area is shown in Figure 2(b). There are three prominent Bouguer anomalies on the Bouger map. One is an area of very low Bouguer values, -60 to 20 gravity units, near granitic outcrops in the western part of study area. A second is an area of medium Bouguer values, 20 to 110 gravity units, in Carboniferous sandstone and Silurian-Devonian mudstone in the southern part of the study area and those covered by Quaternary sediments. A third is an area of high Bouguer values, 110 to 220 gravity units, with northwesterlytrending elongated shape in Permian limestone and Quaternary sediments in the northern and eastern parts of the study area.

Figure 2(c) is a true resistivity map at a depth of 75 meters. An area of high resistivity is in the central part of the study area and coincides with the high Bouguer anomaly. An area of low resistivity occurs in the eastern part of study area and coincides with the low Bouguer anomaly. These coincidences indicate that the causative body, considered to be Permian limestone, in the central part of the study area possesses higher density and resistivity than surrounding areas, particularly that of low Bouguer anomaly and low resistivity to the east. Hot spring PL01 is located exactly on the contact between the high and low anomalies. The high Bouguer anomaly area in the central part of the study area and the low Bouguer anomaly in the eastern part of the study area correspond with the horst and graben structures proposed by Sawata and others (1983).

Quantitative interpretation of Bouguer anomalies was done with forward gravity modelling on profile AA' in Figure 2b to determine subsurface geological structures in the vicinity of hot spring PL01. Surface geological information, ground resistivity models obtained from the electrical sounding, and measured densities of rocks samples obtained from the present and a previous study.

(Phethuayluk, 1996) were used as constraints in the gravity modelling. These constraints were 2,580 kilograms per cubic meter for Carboniferous sandstone, 2,770 kilograms per cubic meter for Permian limestone, 2,250 kilograms per cubic meter for Jurassic-Triassic sandstone, and 2,000 kilograms per cubic meter for Quaternary sediment.

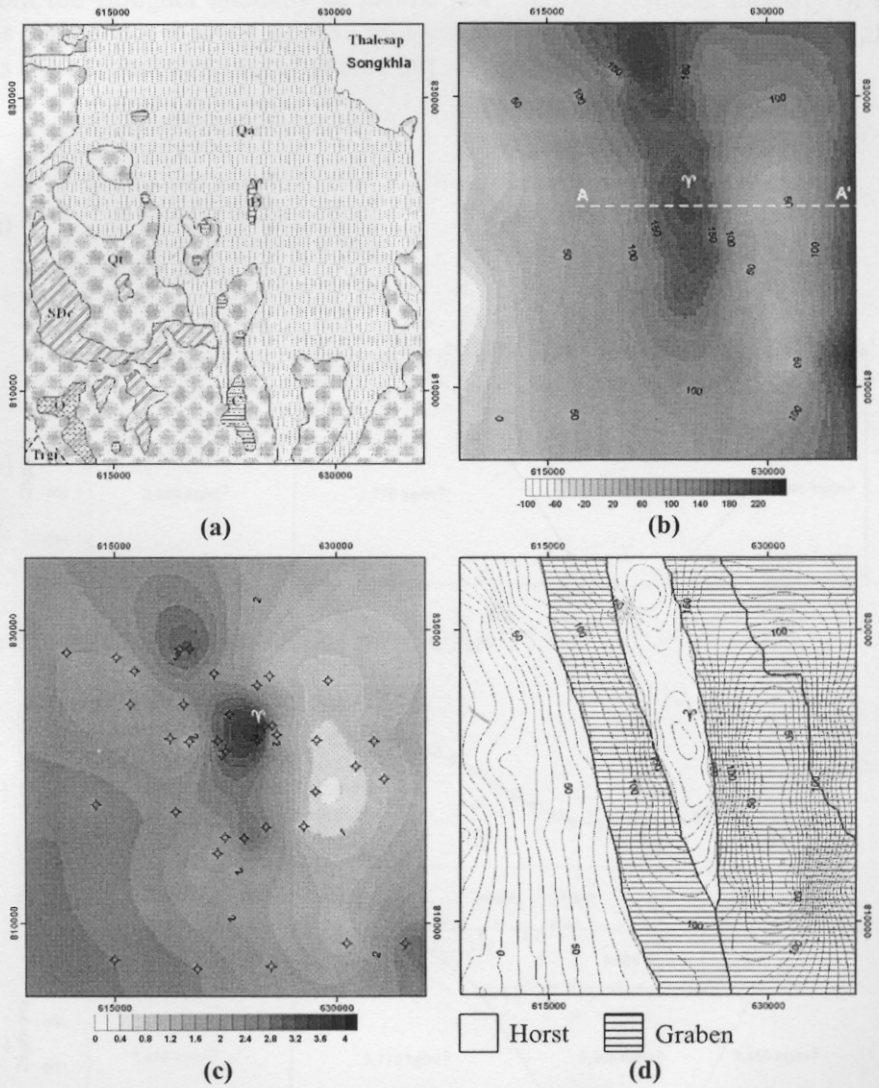


Figure 2. (a) Geological map of the study area; (b) Bouguer anomaly map, contour interval 10 gravity units; (c) modeled resistivity map at 75 meters depth; (d) Bouguer anomaly map superimposed on horst and graben structure map (Sawata and others, 1983) .

Two possible geological structures around hot spring PL01 in profile AA' obtained from the present gravity modelling are shown in Figures 3 and 4. Profile AA' is about 20 kilometers long and crosses thermal spring PL01 (Figure 2b). The regional gravity anomaly in the study area increases eastward with a gradient of 9.8 gravity units per kilometer. This was removed from the Bouguer anomaly of profile AA'. A high residual anomaly of about 51 gravity units occurs at a distance of 6.5 kilometers and a low residual anomaly of about 122 gravity units is 13 kilometers distant (Figure 3a).

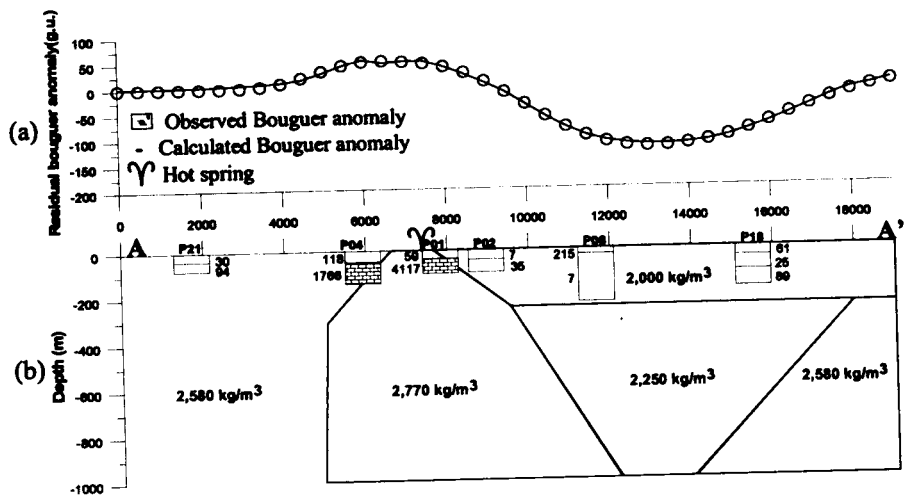


Figure 3. The first gravity model of profile AA'.

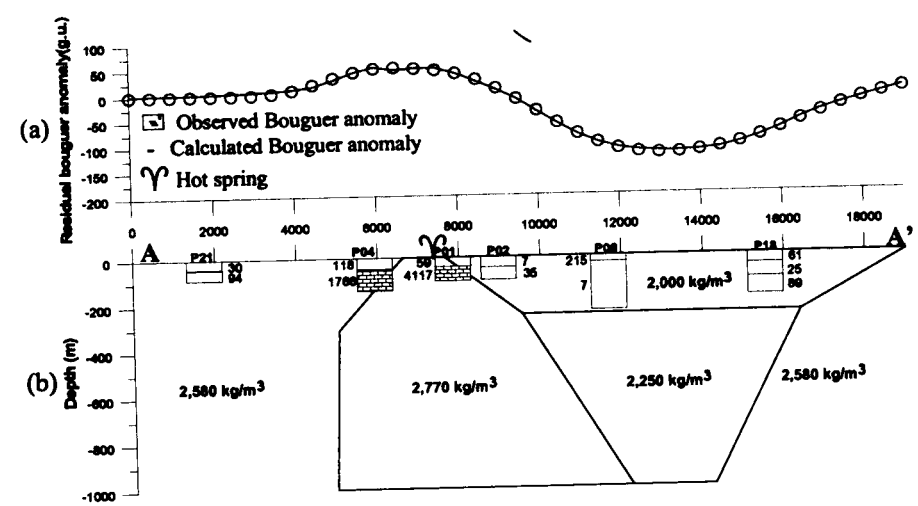


Figure 4. The second gravity model of profile AA'.

In both gravity models, Carboniferous rock of 2,580 kilograms per cubic meter was used as the surrounding rock. Permian limestone, about 1,000 meters thick, was modelled to explain the high residual anomaly at a distance of 6.5 kilometers. Jurassic-Cretaceous rock 800 meters thick, and overlain by 200 meters of Quaternary sediment, was modelled to explain the low residual anomaly at a distance of 13 kilometers (Figure 3b). For the easternmost residual anomaly on profile AA', Permian limestone about 800 meters thick, and overlain by 200 meters of Quaternary sediment in the first gravity model (Figure 3b) and Jurassic-Cretaceous rock about 1,000 meters thick in the second gravity model (Figure 4b) were modelled to explain the anomaly.

The depth to the modelled Permian limestone at distance 6.5 kilometers agrees with the depth to high resistive substratum obtained from the resistivity sounding. In addition, the 100- to 225-meter thickness of the 7 to 25 ohm-meter low resistivity layer at points P06 and P18 in the eastern part of profile is in good agreement with the thickness of the Quaternary sediments obtained from gravity modelling (Figures 3b and 4b).

CONCLUSION

Subsurface geological structures of the PL01 hot spring area in Phattalung Province were
determined from gravity and resistivity sounding measurements. A shallow Permian limestone about 1000 meters thick and trending north 10o west underlying the PL01 hot spring was modelled to explain the high gravity anomaly in the central part of study area. Jurassic-Cretaceous rocks about 800 meters thick underlying 200 meters of Quaternary sediment were modelled to explain the low gravity anomaly to the east of the high gravity anomaly. The locations of the shallow modelled Permian limestone and thick modelled Jurassic-Cretaceous rocks correspond very well with the locations of the proposed horst and graben structures in the study area. These horst and graben structures are the westward extension of the horst and graben structures in the Gulf of Thailand (Sawata and others, 1983). It is likely that faults that bound the horst and graben structures in the study area and fractures in the Permian limestone serve as pathways of hot water from a deep heat source.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the Graduate School and Prince of Songkla University and for research grants. Thanks also to the International Programme in the Physical Sciences of Uppsala University in Sweden for research equipment and interpretation software.

REFERENCES

Charusiri, P., Buenkhuntod, P., Won-In, K., Thayakupt, M. and Niampan, J. 2003. Characteristics of the Chantaburi thermal spring, Eastern Thailand. *Journal of Scientific Research Chulalongkorn University* **28**, Special Issue I (NRC-EHWM), 71-95.

Department of Mineral Resources (DMR). 2007. Geology and geological resources of Phattalung.
Bangkok. Department of Mineral Resources (in Thai)

Donnell, T.M., Miller, K.C. and Witcher, J.C. 2001. A seismic and gravity study of the McGregor
geothermal system, southern New Mexico. *Geophysics* **66**, 1002-1014.

Kearey, p., Brooks, M., and Hill, I. 1991. An introduction to geophysical exploration, 3rd edn., Blackwell Science, London, UK, 119-173 p.

Khawdee, P., 2007. Geophysical study of geothermal resourses in Kanchanadit and Ban Na Doem Distric, Surat Thani province. M.S. Thesis, Prince of Songkla University, SongKhla, Thailand, 83-84 p.

Khawtawan, A., Lohawijarn, W., and Tonnayopas, D. 2004. Gravity anomaly of Chaiya geothermal area. International Conference on Applied Geophysics, Chiang Mai, Thailand, November 26-27, 2004, 15-21.

Majumdar R.K., Majumdar N., and Mukherjee A.L. 2000. Geoelectric investigations in Bakreswar geothermal area, West Bengal, India. *Geophysics* **45**, 187–202.

Phethuayluk, S. 1996. A regional study of geological structure in Changwat Songkhla, Changwat
Phattalung and Changwat Trang with geophysical method, M.S. Thesis, Prince of Songkhla University, Songkhla, Thailand, 51-57 p.

Raksaskulwong, M. and Thienprasert, A. 1995. Heat flow studies and geothermal energy development in Thailand. In: Terrestrial heat flow and geothermal energy in Asia (Eds. by Gupta, M.L. and Yamano, M.), New Delhi. Oxford and IBH Publishing, 129-144 p.

Sawata, H., Wongsomsak, S., Tanchotikul, A., Darnsawasdi, R. Maneeprapun K. and Muenlek, S.
1983. A hypothetical idea on the formation of Hatyai basin and the Songkhla lagoon. Proceeding of the Annual Technical Meeting 1982, Department of Geological Sciences, Chiang Mai University, 1-2 February 1983, 109-112.

Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff R.E. 1998. Applied Geophysics, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Velpen, V. 1988. RESIST Version 1.0. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), The Netherlands.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายสุกฤษฎิ์ จรจะนะ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4910220126

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยทักษิณ	2548

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนผู้ช่วยสอน ของคณะวิทยาศาสตร์ ปีการศึกษา 2549-2551

ผลการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Jonjana, S., Lohawijarn W. and Dürrast H., 2008. Geophysical Anomalies of Kaochaison Hotspring in Phatthalung Province, Proceeding of the International Conference on Applied Geophysics (November 12-13, 2008): Chiang Mai, Thailand.