การประยุกต์ใช้วิธีการสำรวจข้อมูลระยะไกลและวิธีการธรณีฟิสิกส์ เพื่อหารอยเลื่อนในเขตพื้นที่ส่วนในและส่วนนอก รอบแอ่งหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

Application of Remote Sensing and Geophysical Methods for Investigating Faults in and around HatYai Basin, Songkhla Province

ภูวนารถ จงจิตร

Puwanat Jongjit

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
2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้วิธีการสำรวจข้อมูลระยะไกลและวิธีการธรณีฟิสิกส์เพื่อหารอยเลื่อนในเขตพื้นที่ส่วนในและส่วนนอก รอบแอ่งหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ผู้เขียน นายภูวนารถ จงจิตร

สาขาวิชา ธรณีฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

……

(ดร.กำแหง วัฒนเสน)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

……

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดนุพล ตันนโยภาส)

……..

(ดร.สวัสดี ยอดขยัน)

คณะกรรมการสอบ

……..ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เฉลิมยานนท์)

…….....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดนุพล ตันนโยภาส)

…….....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวุฒิ โลหะวิจารณ์)

…….....กรรมการ

(ดร.สวัสดี ยอดขยัน)

…….กรรมการ

(ดร.กำแหง วัฒนเสน)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาธรณีฟิสิกส์

……

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจาการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอแสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

ลงชื่อ……..
(ดร.กำแหง วัฒนเสน)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ……
(นายภูวนารถ จงจิตร)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายภูวนารถ จงจิตร)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้วิธีการสำรวจข้อมูลระยะไกล และวิธีการธรณีฟิสิกส์เพื่อหารอยเลื่อนในเขตพื้นที่ส่วนในและส่วนนอก รอบแอ่งหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ผู้เขียน นายภูวนารถ จงจิตร

สาขาวิชา ธรณีฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาธรณีแปรสัณฐานที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของรอยเลื่อนในพื้นที่แอ่งหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลความหมายข้อมูลจากการสำรวจข้อมูลระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมชนิดแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขซึ่งปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการแรเงาภูมิประเทศเพื่อกำหนดตำแหน่งของแนวเส้นความไม่ต่อเนื่องทางธรณีวิทยาที่คาดว่ามีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของรอยเลื่อนและยืนยันผลการแปลคามหมายข้อมูลจากการสำรวจข้อมูลระยะไกลโดยใช้วิธีการวัดคลื่นไหวสะเทือนและวิธีการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าซึ่งทำการสำรวจใน 3 พื้นที่ทางฝั่งตะวันออกและทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของแอ่งหาดใหญ่

ผลการศึกษาของทั้ง 3 พื้นที่พบว่า 1) พื้นที่ที่ 1 ตำบลเขามีเกียรติ จากรอยเลื่อนที่ปรากฏบนหน้าผามี มุมเทเท่ากับ 60^{o} และแนวระดับเท่ากับ $N54^{o}W$ ผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์แสดงตำแหน่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชั้นดินตามแนวราบที่สัมพันธ์กับตำแหน่งรอยเลื่อนมีมุมเทและแนวการวางตัวประมาณ 55^{o}-65^{o} และ $N52^{o}$-$54^{o}W$ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่งรอยเลื่อนที่หน้าผาและข้อมูลจากคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน ยืนยันว่ารอยเลื่อนเป็นรอยเลื่อนย้อน 2) พื้นที่ที่ 2 ตำบลนาหม่อม จากภาพถ่ายดาวเทียมพบลักษณะของคลองท่าโต้ราดไหลตามแนวเส้นความไม่ต่อเนื่องทางธรณีวิทยา ในทิศทาง $N65^{o}E$ การสำรวจธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่นี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่ารอยเลื่อนตามแนวลำคลองเป็นรอยเลื่อนแบบเลื่อนตามแนวมุมเท ดังนั้นความลึกจากผิวดินถึงชั้นหินฐานที่อยู่คนละด้านของลำคลองต้องไม่เท่ากัน ผลจากสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ยืนยันการมีอยู่ของรอยเลื่อนตามแนวมุมเท โดยพบว่าความลึกจากผิวดินถึงชั้นหินฐานทางด้านทิศเหนือของคลองอยู่ตื้นกว่าทางด้านทิศใต้ของคลอง 3) พื้นที่ที่ 3 ตำบลคลองหรัง จากภาพถ่ายดาวเทียมพบบริเวณที่มีการตัดออกเป็นท่อน ๆ ของแนวเขาและทางน้ำหักงอที่ปรากฏชัดเจน คาดว่ามีรอยเลื่อนตามแนวระดับ มีแนว strike เท่ากับ $N40^{o}E$ ผลจากวิธีทางธรณีฟิสิกส์ไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าพื้นที่นี้มีรอยเลื่อนในแนวระดับ แต่พบความแตกต่างของความลึกจากผิวดินถึงชั้นหินฐานที่อยู่ฝั่งตรงข้ามของทางน้ำ โดยฝั่งทางทิศเหนือพบที่ความลึกประมาณ 10 เมตรซึ่งขั้นหินฐานอยู่ตื้นกว่า

ทางทิศใต้ที่พบที่ความลึกมากกว่า 30 เมตร เป็นไปได้ที่บริเวณพื้นที่ศึกษานี้จะมีรอยเลื่อนตามแนวเฉียง (oblique-slip fault) ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวตามแนวมุมเทและแนวระดับพร้อมกัน

Thesis Title Application of Remote Sensing and Geophysical methods for investigating faults in and around HatYai basin, Songkhla Province

Author Mr. Puwanat Jongjit

Major Program Geophysics

Academic year 2012

Abstract

A study of geomorphology that related to fault location in an area of Hat Yai Basin, Songkhla Province with the aim to investigate faults in the area by applying an interpretation of remote sensing data accompanied with geophysics methods (seismic and resistivity survey). Three areas that the prominent lineaments are possibly related to faults were extracted from Shade relief image of Digital Elevation Model (DEM). The existence of faults in these areas was proved by geological and geophysical studies.

The results of study area 1) area 1 (Khao-Mea-Kait), an evident of fault can be found clearly on the cliff cut with a dip angle of 60^{o} and a strike direction of N54^{o} W. Geophysical results showed the position of lateral resistivity variation and the position of horizontal discontinuities of reflected seismic signals which was interpreted as fault with a dip angle of around 55^{o}-65^{o} and a strike direction of around N52^{o}-54^{o}W. This position correlated well to the position of fault found on the cliff cut Seismic reflection survey on Line C suggested that the fault here is a reverse fault. 2) area 2 (Na-Mom), remote-sensing data showed that the position of lineament coincides with the direction of the Ta-Toh-Rad canel (strike direction of N65^{o}E). The fault here was tested with base on an hypothesis of a dip-slip fault. Thus, the depth to the bed rock at the positions which locate opposite side of the canel should be difference. Results from VES data and logging data found that there is a difference in depth to bedrock at the position of opposite side of the canel. It is therefore possible that the fault here is a normal or a reverse fault. 3) area 3 (Klong Rang), remote sensing data has found a truncation of beds and the off-set stream with the offset about 200 meters long. This evidence of offset stream is an indicator of a strike-slip fault (strike direction of N40^{o}E). The geophysical data here could not be confirmed the strike-slip fault, however they suggested that the to the bedrock in the north of offset stream (10 m) is shallow than the depth to the bedrock in the south of offset stream (> 30m). It is thus possible that

in this area there should has an oblique-slip fault caused by the movement of subsurface structure in the dip and horizontal directions.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพประกอบ	(13)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 ขอบเขต ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา	2
1.3 ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง	4
1.4 ลักษณะธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย	6
1.5 ทฤษฎีพื้นฐาน	11
1.5.1 แผนดินไหว	11
1.5.2 รอยเลื่อน	12
1.5.3 การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล	14
1.5.4 การสำรวจด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์	20
1.5.4.1 การสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือน (Seismic survey)	20
1.5.4.2 การสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity survey)	25
1.6 ตรวจเอกสาร	28
1.7 วัตถุประสงค์	43
2. วิธีการวิจัย	44
2.1 วัสดุและอุปกรณ์	45
2.2 วิธีดำเนินการวิจัย	48
2.2.1 การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการ	48
2.2.1.1 การวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม	48
2.2.1.2 การวิเคราะห์ผลของการสำรวจด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์	56
2.2.2 การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลในภาคสนาม	62

สารบัญ (ต่อ) 7

หน้า

2.2.2.1 บริเวณที่ 1 ในพื้นที่ตำบลเขามีเกียติ อำเภอสะเดา 62
2.2.2.2 บริเวณที่ 2 ในพื้นที่บริเวณตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม 65
2.2.2.3 บริเวณที่ 3 ในพื้นที่บริเวณคลองหรัง ตำบลนาหม่อม 69
3. ผลและการอภิปรายผล 74
3.1 ผลการแปลความข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม 74
3.2 ผลการสำรวจด้วยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ 78
3.2.1 ผลการสำรวจพื้นที่สำรวจที่ 1 ตำบลเขามีเกียติ อำเภอสะเดา 79
3.2.2 ผลการสำรวจพื้นที่สำรวจที่ 2 ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม 84
3.2.3 ผลการสำรวจพื้นที่สำรวจที่ 3 ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม 100
4. สรุปและวิจารณ์ 113
บรรณานุกรม 121
ภาคผนวก 127
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์ 153
ประวัติผู้เขียน 166

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	คำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับรอยเลื่อน	13
1.2	แสดงค่าความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนของดินและหินแต่ละชนิด	24
2.1	กระบวนการที่ใช้ในการแปลความคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน (reflection processing parameters	57
2.2	แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกข้อมูลในภาคสนาม	70
2.3	ตารางบันทึกผลการสำรวจการวัดระดับความสูง	73
3.1	ผลการแปลความหมายข้อมูลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดวัด VES1	87
3.2	ผลการแปลความหมายข้อมูลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดวัด VES2	88
3.3	ผลการแปลความหมายข้อมูลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดวัด VES3	89
3.4	ผลการแปลความหมายข้อมูลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดวัด VES4	90
3.5	ผลการแปลความหมายข้อมูลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดวัด VES5	91
3.6	ผลการแปลความหมายข้อมูลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดวัด VES6	92

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1.1	รอยเลื่อนที่มีพลังในประเทศไทยและพื้นที่ศึกษา	3
1.2	โครงสร้างกราเบนและฮอร์สบริเวณแอ่งหาดใหญ่	4
1.3	ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	6
1.4	แผนที่ธรณีแปรสัณฐานในบริเวณภูมิภาคเอเชียใต้และตะวันออกแสดงรอยต่อแผ่นเปลือกโลกและการกระจายตัวของรอยเลื่อนหลัก ๆ	8
1.5	โครงร่างการแปรสัณฐานแผ่นเปลือกโลก (tectonic frame work of plates) ของผืนแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้อันเป็นส่วนหนึ่งของดินแดนซุนดา (Sundaland) ของเอเชีย	10
1.6	รอยเลื่อนชนิดต่างๆ	12
1.7	แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	15
1.8	แสดงพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากดวงอาทิตย์ (electromagnetic radiation or EMR) ตกกระทบมายังโลกและสะท้อนกลับไปยังดาวเทียมและพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากวัสดุบนโลกโดยที่ดาวเทียมจะรับสัญญาณ	17
1.9	กราฟเวลาเดินทางคลื่น (travel time curve) ของคลื่นตรง, คลื่นหักเห และคลื่นสะท้อนที่เดินทางจากจุดกำเนิดคลื่นไปยังตัวรับคลื่นที่เวลาแตกต่างกันตามระยะห่างที่เพิ่มขึ้น	22
1.10	รูปแบบการจัดวางขั้วไฟฟ้าซึ่งใช้ในงานวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า	25
1.11	ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน หินและแร่	27
1.12	แสดงวงจรไฟฟ้าของการสำรวจด้วยวิธีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ	28
1.13	รอยเลื่อนที่พบบนหน้าผาในพื้นที่ตำบลเขามีเกียติ อำเภอสะเดา	29
1.14	แสดงแนวที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อน (เส้นประสีส้ม, สุกิจ อติพันธ์, 2550) ในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ตำบลนาหม่อม พร้อมแนว lineament (หมายเลข 2) ในพื้นที่ศึกษาที่ 2	31
1.15	ลักษณะคลองในอำเภอนาหม่อม (ดัดแปลงจาก ธงชัย พึ่งรัศมี, 2527) (a) แสดงตำแหน่งคลองหวะและ (b) ภาพถ่ายดาวเทียมชนิด DEM ในพื้นที่ศึกษาที่ 3	33
1.16	แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาที่ 3	34

รายการภาพประกอบ (ต่อ) 33

ภาพประกอบ	หน้า
1.17 รูปบริเวณทางน้ำหักงอในพื้นที่ศึกษา	35
1.18 ชั้นหินที่ถูกตัดแทรกด้วยสายแร่ควอตซ์ (quartz vein)	35
1.19 รอยเลื่อนที่ในพื้นที่ศึกษาที่ 3 ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม	36
1.20 คอนทัวร์ความเข้มข้นของเรดอน-226 น้ำบ่อตื้นในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา เส้นประแทนตำแหน่งที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อน	37
1.21 รอยเลื่อนในภาคใต้และจังหวัดสงขลา	38
1.22 ธรณีวิทยาและรอยเลื่อนบริเวณแอ่งหาดใหญ่	39
1.23 แสดงรอยเลื่อนในจังหวัดสงขลา	40
1.24 รอยเลื่อนที่ตรวจพบในพื้นที่จังหวัดสงขลา	41
2.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัยโดยสรุป	44
2.2 เครื่อง SmartSies™S-24 Seismograph	46
2.3 ABEM Terrameter SAS 1000	46
2.4 Electrode selector ES 464 system	46
2.5 สายเคเบิลเชื่อมต่อระหว่าง ES 464 และ Terrameter	46
2.6 ตัวอย่างการจัดวางขั้วไฟฟ้าสำหรับการสำรวจแล้ว 2 มิติ (2D electrical survey) และลำดับการสำรวจเพื่อสร้างเป็นภาพตัดขวางทางไฟฟ้า	47
2.7 ลักษณะการเก็บข้อมูลด้วยใช้วิธีสำรวจแบบ lund imaging system และแสดงลักษณะการเคลื่อนย้ายสาวเคเบิลโดยใช้ roll-along technique	47
2.8 ภาพถ่ายดาวเทียม DEM ที่ผ่านการประมวลผลด้วยโปรแกรม Envi 4.0 ด้วยคำสั่ง replace bad value และ Create Hill Shade Image	49
2.9 แสดงค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรม Envi 4.0 ที่ใช้ในการปรับทิศทางการส่องแสงของดวงอาทิตย์ประกอบด้วย (sun azimuth angle) และมุมของดวงอาทิตย์ (sun elevation angle) เพื่อสร้างภาพแลเงาภูมิประเทศ	50
2.10 ภาพถ่ายดาวเทียมทั้งแปดภาพที่ได้จากภาพ DEM ที่ทำการเปลี่ยนมุมการส่องแสง (มุมระดับความสูงดวงอาทิตย์ (sun elevation angle) ที่ 30^{o} และมุม sun azimuth ที่แตกต่างกันจาก 0^{o}, 45^{o}, 90^{o}, 135^{o}, 180^{o}, 225^{o}, 270^{o} และ 315^{o})	51

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
2.11 แสดงโปรแกรม Global mapper version 8 และคำสั่ง Open Your Own Data Files	52
2.12 แสดงคำสั่ง Atlas shader ในโปรแกรม Global mapper	52
2.13 แสดงภาพที่สีแตกต่างกันตามระดับความสูงของพื้นที่โดยที่สีฟ้าแทนระดับความสูงต่ำสุดไปจนถึงสีแดงที่แสดงความสูงสูงสุด	53
2.14 ภาพแสงเงาภูมิประเทศ (shade relief image) ของพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง ที่ได้จาก SRTM DEM	54
2.15 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้รับการปรับปรุงด้วยโปรแกรม Global mapper ด้วยคำสั่ง atlas shader ของพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียงแสดงภาพที่สีแตกต่างกันตามระดับความสูงของพื้นที่โดยที่สีฟ้าแทนระดับความสูงต่ำสุดไปจนถึงสีแดงที่แสดงความสูงสูงสุด	55
2.16 แสดงโปรแกรม ArcGis 4.2 ที่ทำการ import ภาพ DEM	56
2.17 แสดงตัวอย่างภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน	58
2.18 การกำหนดเวลาที่คลื่นแรกเดินทางมาถึงจีโอโฟนแต่ละตัว (First breaks) โดยใช้โปรแกรม SIP	59
2.19 กำหนดชั้นดินในกราฟโดยตัวเลขแทนชั้นดินแต่ละชั้น	59
2.20 ตัวอย่างแบบจำลองลักษณะโครงสร้างใต้ผิวดินจากการสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห	60
2.21 ตัวอย่างกราฟแสดงสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจแบบ VES	61
2.22 ตัวอย่างภาพตัดขวางทางไฟฟ้าใน 2 มิติ	62
2.23 บริเวณพื้นที่ทั้ง 3 บริเวณที่จะทำการสำรวจภาคสนาม	63
2.24 ตำแหน่งของการสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยที่แนวสำรวจคลื่นไหวสะเทือนคือแนว A แนว C และแนวการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าแนว A และแนว B	64
2.25 แผนที่ธรณีวิทยาและจุดสำรวจธรณีฟิสิกส์ของพื้นที่สำรวจที่ 2 ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม และตำแหน่งสีน้ำเงินแทนตำแหน่งข้อมูลหลุมเจาะในพื้นที่ศึกษา	66
2.26 แสดงข้อมูลหลุมเจาะในพื้นที่ ตำบลนาหม่อมและตำบลพิจิตร อำเภอนาหม่อม (รูปที่ 2.25) โดยที่ระดับความสูงเทียบจากระดับน้ำทะเล โดยแต่ละหลุมเจาะเทียบกับระดับความสูงของหลุม H0724SKL327 ซึ่งใช้เป็นระดับอ้างอิง	67

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
2.27 แนวสำรวจทางธรณีฟิสิกส์โดย S1 และ S2 แทนการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแนวสำรวจที่ 1 และที่ 2 ตามลำดับ และแนวการสำรวจด้วยการหยั่งลึกด้วยไฟฟ้า (VES1, VES2, VES3, VES4, VES5 and VES6) เส้นตรงสีแดงแทนแนวที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อน	68
2.28 แสดงการจัดวางขั้วไฟฟ้าแบบ schlumberger array ที่ใช้ในงานสำรวจ VES โดยที่ขั้ว ขั้วกระแสไฟฟ้า และขั้ว M, N เป็นขั้วศักย์ไฟฟ้า	69
2.29 แผนผังแสดงการวางแนวสำรวจด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์ A1, A2, B1 และ B2	71
2.30 การวัดระดับความสูงของพื้นที่ศึกษา	72
2.31 การวัดระดับความสูงบนแนววัดในพื้นที่ศึกษา	73
3.1 แผนที่แสดงแนว lineaments ที่ทำการแปลความลงบนภาพแลเงาภูมิประเทศ (shade relief image) ที่ได้จาก SRTM DEM ของพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง	75
3.2 แผนที่แสดงแนว lineaments ที่ทำการแปลความลงบนภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้รับปรับปรุงด้วยโปรแกรม Grobal mapper ที่แสดงภาพสีที่แตกต่างกันตามระดับความสูงของพื้นที่โดยที่สีฟ้าแทนระดับความสูงต่ำสุดไปจนถึงสีแดงที่แสดงความสูงสูงสุด	76
3.3 แนว lineaments ในพื้นที่ศึกษา 3 กลุ่มหลัก ๆ (a) ทิศทางเหนือ-ใต้ (b) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (c) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (d) แผนภาพดอกกุหลาบ (rose diagram) ในพื้นที่ศึกษาแสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (strike) โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้	77
3.4 พื้นที่ที่จะลงสำรวจภาคสนาม 3 พื้นที่ คือ 1) ตำบลเขามีเกียรติ อำเภอสะเดา 2) ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม 3) ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม	78
3.5 (a) ธรณีวิทยาโครงสร้างแนวเส้น lineaments ในพื้นที่ศึกษา (b) รอยเลื่อนในพื้นที่อำเภอสะเดา บ้านเข้ามีเกียรติ (ดาวสีเหลือง), (c) แสดงแผนภาพรูปกุหลาบ (rose diagram) ในพื้นที่ที่ 1 แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (strike) โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในทิศเหนือ-ใต้	79
3.6 แสดงแบบจำลองลักษณะโครงสร้างใต้ผิวดินจากการสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหในแนวสำรวจ A (a) และ C (b)	80

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.7 แสดงการแปลความร่วมกันของการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ในแนวสำรวจ A (a) แบบจำลองลักษณะโครงสร้างใต้ผิวดินจากการสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหซ้อนทับลงบนภาพตัดขวางทางไฟฟ้า (b) ผลการสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน	82
3.8 แสดงการแปลความร่วมกันระหว่าง (a) การสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนในแนวสำรวจ C, (b) และ (c) การสำรวจด้วยวิธีสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจ A, B โดยแสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในหน่วย Ωm	83
3.9 (a) ธรณีวิทยาโครงสร้างแนวเส้น (lineaments) ในพื้นที่ศึกษา (b) แสดงพื้นที่ศึกษาที่ 2 พื้นที่ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม (c) แสดง rose diagram ในพื้นที่ที่ 2 แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (strike) โดยมี 2 แนวหลักๆ คือทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้	85
3.10 แนว lineaments (หมายเลข 2) บนพื้นที่สำรวจที่ 2 ตำบลนาหม่อม และพื้นที่ใกล้เคียง	85
3.11 กราฟค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏที่จุดวัด VES1	86
3.12 กราฟค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏที่จุดวัด VES2	88
3.13 กราฟค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏที่จุดวัด VES3	89
3.14 กราฟค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏที่จุดวัด VES4	90
3.15 กราฟค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏที่จุดวัด VES5	91
3.16 กราฟค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏที่จุดวัด VES6	92
3.17 ข้อมูลผลการสำรวจ VES ทั้ง 6 จุดสำรวจ ลงบนแผนที่ธรณีวิทยา	93
3.18 แบบจำลองใต้พื้นดินที่ได้จากการแปลความหมายด้วยการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหในแนวสำรวจที่ 1 และ 2 ตามลำดับ	94
3.19 ผลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนของแนวสำรวจ S1	95
3.20 ผลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนของแนวสำรวจ S2	96
3.21 ผลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนและแบบหักเหของแนวสำรวจ S1 สูงจากระดับน้ำทะเลเท่ากับ 38 เมตร และ S2 สูงจากระดับน้ำทะเลเท่ากับ 30 เมตร เมื่อปรับแก้ระดับความสูงของพื้นที่ (S1 สูงกว่า S2 เท่ากับ 8 เมตร)	96

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.22 ผลการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า VES ทั้ง 6 แนวสำรวจในพื้นที่สำรวจที่ 2 โดยที่ปรับแก้ระดับความสูง (เทียบจากระดับน้ำทะเล) โดยแต่ละแนวสำรวจเทียบกับระดับความสูงของจุดสำรวจที่ 2 ซึ่งใช้เป็นระดับอ้างอิง (ให้เป็น “0”) แสดงภาพตัดขวางในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ขนานกับแนวรอยเลื่อน โดยที่ระยะห่างของแต่ละจุดสำรวจเทียบกับจุดสำรวจที่ 1	98
3.23 ภาพตัดขวางในแนวเหนือ-ใต้ของข้อมูลหลุมเจาะในพื้นที่ตำบลนาหม่อมและตำบลพิจิตร อำเภอนาหม่อม (รูปที่ 2.28) โดยที่ระดับความสูงเทียบจากระดับน้ำทะเล โดยแต่ละหลุมเจาะเทียบกับระดับความสูงของหลุมเจาะ H0724SKL327 ซึ่งใช้เป็นระดับอ้างอิง	99
3.24 (a) ธรณีวิทยาโครงสร้างแนวเส้น (lineaments) ในพื้นที่ศึกษา, (b) แสดงพื้นที่ศึกษาที่ 3 พื้นที่ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม และ(c) แสดง rose diagram ในพื้นที่ที่ 3 แสแนวการวางตัวของชั้นหิน (strike) โดยมี 2 แนวหลักๆ คือทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้เช่นเดียวกับพื้นที่ศึกษาที่ 2	100
3.25 ธรณีวิทยาโครงสร้างแนวเส้น (lineaments) ของพื้นที่ศึกษาที่ 3	101
3.26 แบบจำลองชั้นดินจากการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหของแนวสำรวจ A1	102
3.27 แบบจำลองชั้นดินจากการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหของแนวสำรวจ A2	102
3.28 แบบจำลองชั้นดินจากการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหของแนวสำรวจ B1	103
3.29 แบบจำลองชั้นดินจากการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหของแนวสำรวจ B2	104
3.30 แบบจำลองภาคตัดขวางสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจ A1	104
3.31 แบบจำลองภาคตัดขวางสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจ A2	105
3.32 แบบจำลองภาคตัดขวางสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจ B1	106
3.33 แบบจำลองภาคตัดขวางสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจ B2	107
3.34 การเปรียบเทียบแนวสำรวจระหว่าง A1 กับ B1	108
3.35 การเปรียบเทียบระดับภูมิประเทศของแนวสำรวจ A1 กับ B1	108
3.36 การเปรียบเทียบแนวสำรวจระหว่าง A2 กับ B2	109
3.37 การเปรียบเทียบระดับภูมิประเทศของแนวสำรวจ A2 กับ B2	109
3.38 การเปรียบเทียบระดับภูมิประเทศของแนวสำรวจ A2 กับ A1	110

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.39 การเปรียบเทียบระดับภูมิประเทศของแนวสำรวจ B2 กับ B1	110
3.40 การเปรียบเทียบแนวสำรวจระหว่าง A1 กับ B2 ในบริเวณที่แนวสำรวจขนานกัน ที่อยู่ภายในเส้นประสีฟ้า	111
4.1 แสดงรอยเลื่อนในพื้นที่จังหวัดสงขลาและพื้นที่ใกล้เคียง เส้นที่แดงคือรอยเลื่อนและแนวที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อน เส้นสีชมพูแทนรอยเลื่อนที่เคยศึกษามาแล้วในพื้นที่ดังกล่าวดังแสดงในบทที่ 1 หัวข้อ 1.6.1 และเส้นสีขาวแทนรอยเลื่อนที่พบในงานวิจัยครั้งนี้	117
4.2 แสดงรอยเลื่อนในพื้นที่จังหวัดสงขลาและพื้นที่ใกล้เคียง และลักษณะของโครงสร้าง โครงสร้างกราเบนและฮอร์ส (วรวุฒิ โลหะวิจารณ์, 2548)	118
4.3 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่พบบริเวณหน้าผาในพื้นที่ใกล้กับสำรวจที่ 1 ตำบลเขามีเกียติ อำเภอสะเดา	119
4.4 รอยเลื่อนที่พบบริเวณหน้าผาในพื้นที่ใกล้แนวสำรวจที่ 1 ตำบลเขามีเกียติ อำเภอสะเดา	119
4.5 แนวหินแกรนิตดันตัวที่คาดว่าเป็นระนาบรอยเลื่อนในพื้นที่สำรวจที่ 3 ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม	120

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

แผ่นดินไหว เป็นปรากฏการณ์สั่นสะเทือนของพื้นผิวโลก เพื่อปรับตัวให้อยู่ในสภาวะสมดุล ซึ่งแผ่นดินไหวสามารถก่อให้เกิดความเสียหายและภัยพิบัติต่อบ้านเมือง ที่อยู่อาศัย สิ่งมีชีวิต ทั้งทางตรงและทางอ้อม เหตุการณ์ที่เกิดขั้นทางอ้อมภายหลังจากเกิดแผ่นดินไหวได้แก่ คลื่นสึนามิ แผ่นดินถล่ม เพลิงไหม้ และความอดอยาก ซึ่งการสั่นสะเทือนของแผ่นดินนี้อาจเกิดจากการระเบิดของระเบิดนิวเคลียร์ การทำเหมือง หรือการระเบิดของภูเขาไฟ เป็นต้น แต่สาเหตุที่ว่ามานี้เกิดไม่บ่อยเมื่อเทียบกับเหตุจากการที่โลกปล่อยพลังงานอย่างรวดเร็วอย่างการเกิดแผ่นดินไหว (Reid, 1910) ทฤษฎีว่าด้วยการคืนตัวของวัตถุ โดยแผ่นดินไหวมาจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน กล่าวคือ เมื่อรอยเลื่อนเกิดการเคลื่อนตัวถึงจุดหนึ่งวัตถุจะขาดออกจากกันและเสียรูปอย่างมาก พร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานมหาศาลออกมาในรูปของคลื่นแผ่นดินไหว และหลังจากนั้นวัตถุจะคืนตัวกลับสู่รูปเดิม ดังนั้นการศึกษาถึงตำแหน่งของแนว lineament (ลักษณะโครงสร้างแนวตรงที่แสดงถึงลักษณะภูมิประเทศ โดยแสดงถึงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่อยู่ด้านล่าง อย่างเช่น รอยเลื่อน โดยทั่วไปแล้ว lineament นั้นจะแสดงลักษณะเป็นกลุ่ม อย่างชุดของรอยเลื่อนหรือชุดของหุบเขาคดโค้ง รวมถึง เขตรอยแตก (fracture zones), รอยตัดเฉือน (shear zones) และการแทรกดันตัวของหินอัคนี (igneous intrusions) Leary et al (1976)) เป็นสิ่งที่จำเป็น เนื่องจากแนวดังกล่าวอาจจะเกิดการเคลื่อนตัวกลายเป็นรอยเลื่อนที่มีพลัง (active fault) สร้างความเสียหายได้ในอนาคต

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าการรู้ตำแหน่งของรอยเลื่อนเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะช่วยลดความสูญเสียที่อาจจะเกิดขึ้นจากธรณีพิบัติภัย งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ประยุกต์ใช้วิธีการสำรวจข้อมูลระยะไกล (remote sensing) และวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ (geophysical method) ในการหาแนว lineament ที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของการมีอยู่จริงของรอยเลื่อนเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน และแสดงให้เห็นข้อดีของการผนวกทั้งสองวิธีเข้าด้วยกัน ในการหาตำแหน่งของรอยเลื่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากสามารถรู้ตำแหน่งรอยเลื่อนที่วางตัวอยู่ใกล้กับชุมชนขนาดใหญ่ ตัวเมือง ก็จะเป็นประโยชน์ในการเตือนภัยและเฝ้าระวังอันตรายที่เกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน อีกทั้งจะมีประโยชน์ในการวางแผนการพัฒนาพื้นที่ในอนาคต รอยเลื่อนที่อยู่ใกล้กับอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นอำเภอที่มีจำนวนประชากรมากและเป็นศูนย์กลางทางด้าน

การศึกษา เศรษฐกิจ ฯลฯ ของภาคใต้ตอนล่าง ซึ่งมีที่ตั้งตั้งอยู่ในพื้นที่ส่วนกลางของแอ่งหาดใหญ่ โดยลักษณะของแอ่งหาดใหญ่มีลักษณะภูมิประเทศตอนกลางที่ค่อนข้างราบปกคลุมด้วยตะกอนในยุค Quaternary ตรงกันข้ามกับบริเวณทางฝั่งตะวันตกและฝั่งตะวันออกของแอ่งหาดใหญ่ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงสลับกับที่ราบและจากข้อมูลจากการสำรวจข้อมูลระยะไกลจึงพบว่าบริเวณนี้มีแนว lineament ค่อนข้างหนาแน่น เพื่อเป็นการพิสูจน์การมีอยู่จริงของรอยเลื่อนจากการแปลความด้วยการสำรวจข้อมูลระยะไกล จึงได้เลือกพิสูจน์แนว lineament ในพื้นที่ที่อยู่ทางด้านตะวันออกของแอ่งหาดใหญ่เป็นส่วนใหญ่

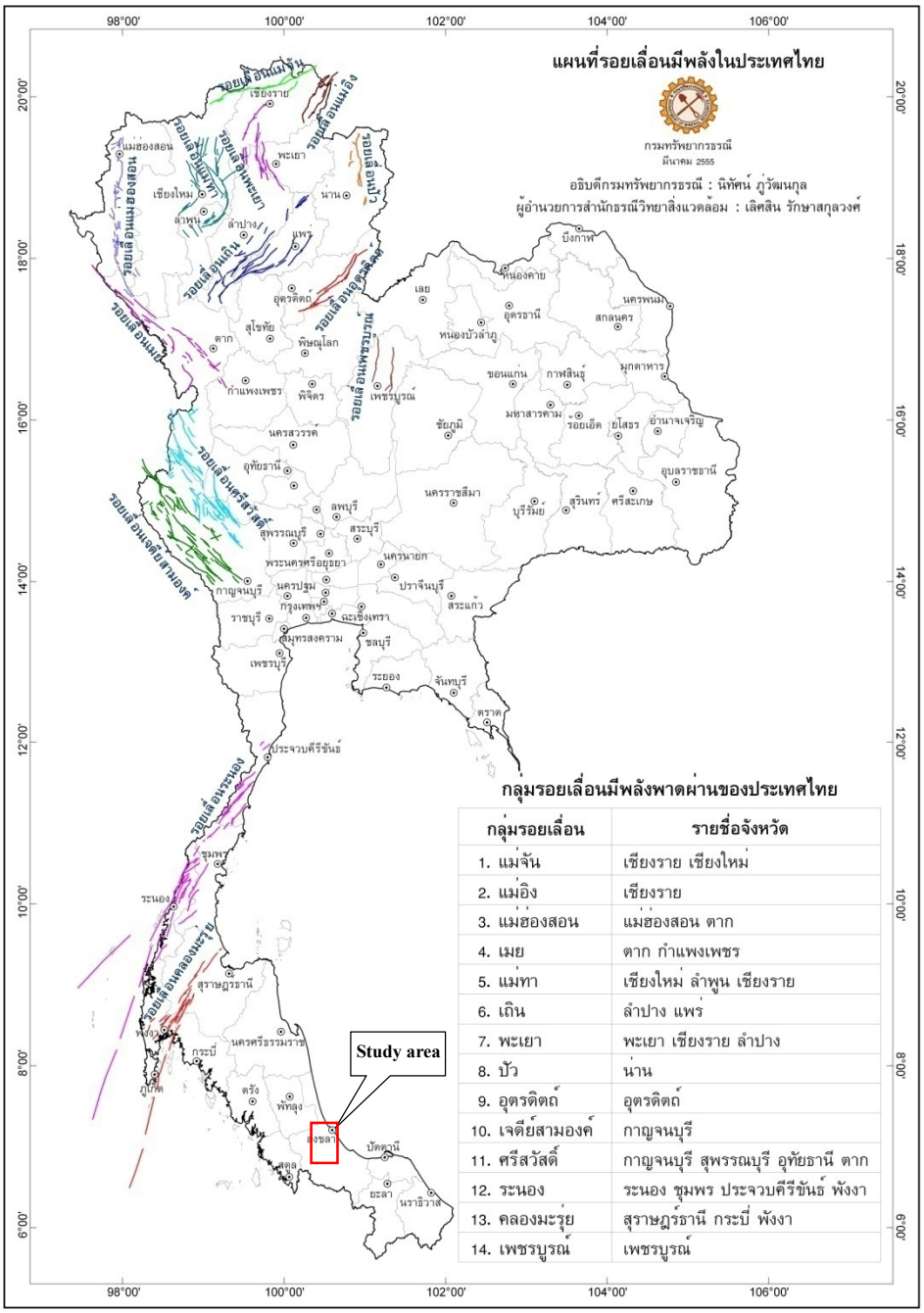
1.2 ขอบเขต ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา

จังหวัดสงขลามีพื้นที่ประมาณ 7,393 ตารางกิโลเมตร โดยมีทิศเหนือติดต่อกับจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดพัทลุง ทิศใต้ติดต่อกับจังหวัดยะลา, ปัตตานีและประเทศมาเลเซีย ทิศตะวันออกติดต่อกับอ่าวไทย ทิศตะวันตกติดต่อกับจังหวัดพัทลุงและจังหวัดสตูล ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดสงขลาทางด้านตะวันออกจะเป็นที่ราบลุ่ม ทางทิศใต้มีทิวเขาสันกาลาคีรีเป็นแนวกั้นเขตประเทศมาเลเซียและไทยและทิวเขานี้จะมีเขาเป็นแขนงพุ่งตรงขึ้นสู่ทางเหนือทำให้เกิดพื้นที่ราบเชิงเขา โดยทางทิศตะวันตกมีทิวเขาบรรทัด ซึ่งทอดยาวมาจากพัทลุงทำหน้าที่แบ่งเขตจังหวัดสงขลาและสตูลออกจากกันและยังเป็นต้นกำเนิดของลำน้ำหลายสาย ส่วนตอนกลางของพื้นที่จังหวัดสงขลา นับจากอำเภอสะเดาขึ้นไปถึงอำเภอหาดใหญ่ จะเป็นที่ราบเชิงเขาสลับกับลอนคลื่น ส่วนอำเภอรัตภูมิ อำเภอบางกล่ำ อำเภอควนเนียง และอำเภอหาดใหญ่ นั้นเป็นบริเวณที่ราบลุ่มริมทะเลสาบ

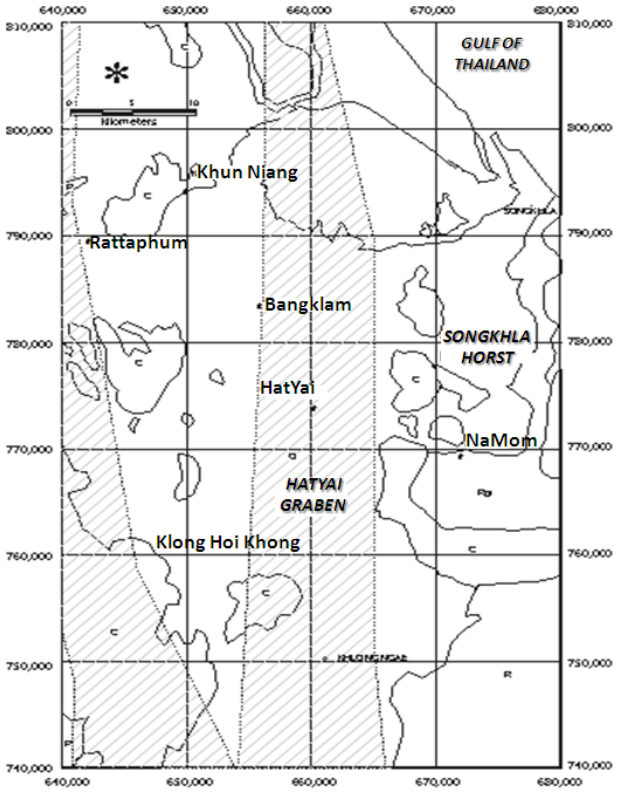
แอ่งหาดใหญ่ คือ แอ่งสะสมตะกอนในคาบสมุทรไทย โดยมีที่ตั้งอยู่ที่ประมาณลองจิจูด 100 องศา 15 ลิปดาและ 100 องศา 30 ลิปดา ตะวันออก และละติจูด 6 องศา 30 ลิปดา และ 7 องศา 15 ลิปดา เหนือ แอ่งหาดใหญ่ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 1,200 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 5 อำเภอในจังหวัดสงขลา โดยประกอบด้วยพื้นที่ของ อำเภอหาดใหญ่ อำเภอบางกล่ำ อำภอคลองหอยโข่ง อำเภอควนเนียงและ อำเภอสิงหนคร ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของแอ่งหาดใหญ่เป็นที่ราบล้อมรอบด้วยภูเขา ประกอบด้วยเทือกเขาบรรทัดทางทิศตะวันตก เขาวังชิงทางด้านทิศใต้และติดทะเลอ่าวไทยด้านทิศเหนือและทิศตะวันออก บริเวณกลางแอ่งเป็นที่ราบสลับเนินเขา (อรุณ ลูกจันทร์ และคณะ, 2552)

จากการแปลความค่าสนามโน้มถ่วงผิดปกติตกค้างของแอ่งหาดใหญ่ พบว่าแอ่งหาดใหญ่จะมีความลึกมากที่สุดประมาณ 1 กิโลเมตร มีความยาวประมาณ 60 กิโลเมตร และมีความกว้างประมาณ 20 กิโลเมตร (วรวุฒิ โลหะวิจารณ์, 2548) แอ่งหาดใหญ่มีลักษณะโครงสร้างแบบกรา

เบน (แท่งหินแนวยาวยุบตัวลงระหว่างรอยเลื่อน) เนื่องด้วยมีแนวเขาและแอ่งขนาดเล็กอยู่ทางด้านตะวันออกของกราเบนคือโครงสร้างแบบฮอร์ส (แท่งหินดันขึ้นมาระหว่างรอยเลื่อน) โดยที่โครงสร้างกราเบนและฮอร์สนี้เป็นลักษณะเหมือนกันกับโครงสร้างในบริเวณอ่าวไทยที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน (Sawata et al., 1983)



รูปที่ 1.1 รอยเลื่อนที่มีพลังในประเทศไทยและพื้นที่ศึกษา (กรมทรัพยากรธรณี, 2555)



รูปที่ 1.2 โครงสร้างกราเบนและฮอร์สบริเวณแอ่งหาดใหญ่ (วรวุฒิ โลหะวิจารณ์, 2548)

1.3 ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง

พื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดสงขลา ประกอบไปด้วยชั้นหินที่มีอายุแตกต่างกันตั้งแต่หินอายุมากที่สุดคือหินแคมเบรียนถึงตะกอนที่มีอายุอ่อนที่สุด คือ ตะกอนควาเทอร์นารี ลักษณะธรณีวิทยา ดังรูป 1.3 ประกอบด้วยหินตะกอน หินแปร หินอัคนี ดิน ทราย และ กรวดที่ยังไม่จับตัว หินตะกอนและหินแปรมีอายุประมาณต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัส ปลายยุคไทรแอสซิก หินอัคนีมีอายุประมาณปลายยุคไทรแอสซิกถึงต้นยุคจูแรสซิก ดิน ทราย กรวด สะสมตัวในยุคควอเทอร์นารี โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

หินอัคนี

หินอัคนี มี 2 ยุค คือยุคไทรแอสซิก (triassic) และยุคครีเทเชียส (cretaceous) ซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการให้กำเนิดแร่ดีบุก ทังสเตน และแร่อื่น ๆ

หินอัคนียุคครีเทเชียส (cretaceous) ประกอบด้วย หินแกรนิต หินเพกมาไทต์ (pegmatite) หินแอไพลต์ (aplite) หินทัวร์มาลีนแกรนิต (tourmaline granite) พบอยู่ในพื้นที่อำเภอนาหม่อม อำเภอจะนะ และอำเภอเทพา

หินอัคนียุคไทรแอสซิก (triassic) ประกอบด้วย หินไบโอไทต์แกรนิต (biotite granite) หินทัวร์มาลีนแกรนิต (tourmaline granite) หินแกรนิตเนื้อดอก (porphyritic granite) และสายแร่ควอรตซ์ (quartz veins) พบมากในพื้นที่รอยต่อจังหวัดสงขลาและจังหวัดสตูล และบางส่วนของอำเภอเมือง อำเภอหาดใหญ่ และอำเภอนาหม่อม

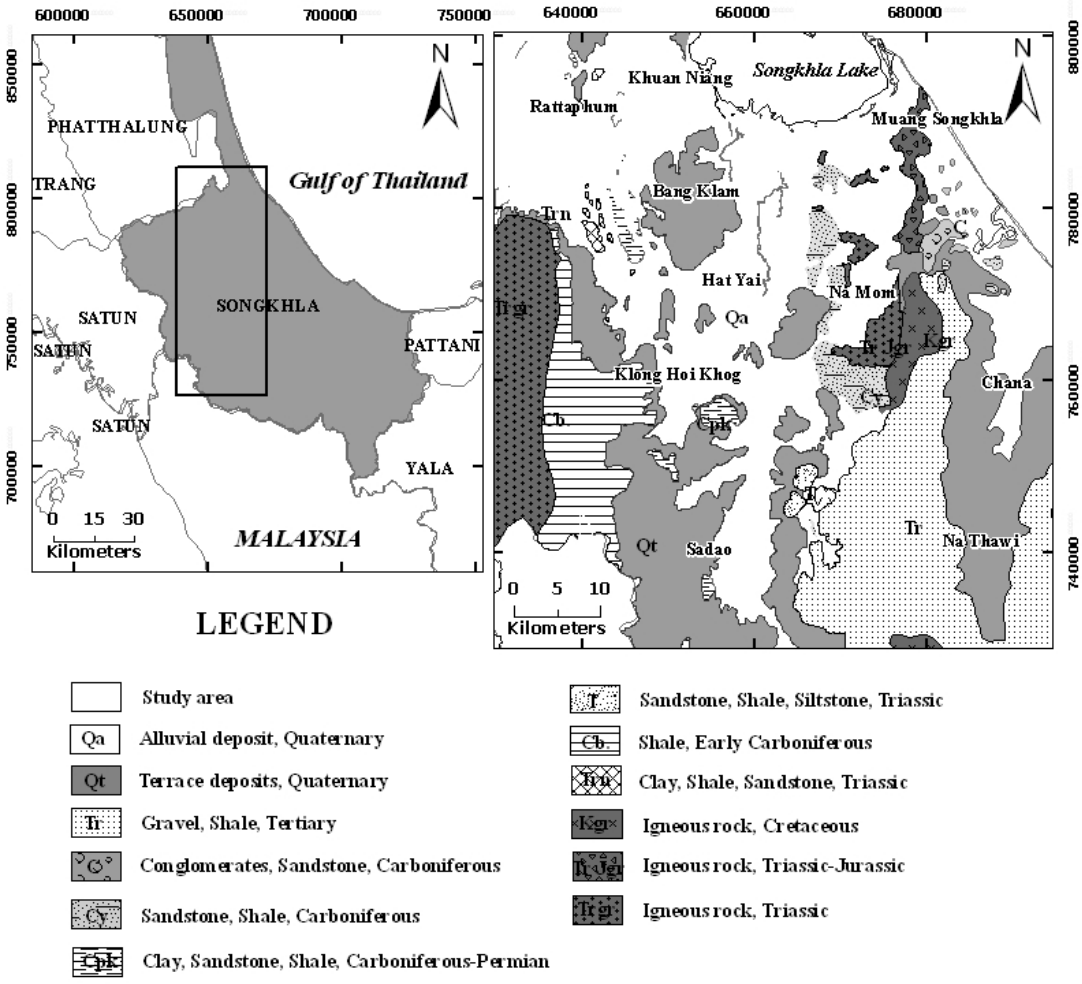
หินตะกอนและหินแปร

หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous) พบวางตัวตามแนวเหนือ-ใต้ จากบริเวณอำเภอสะเดา ติดต่อขึ้นมาทางเหนือ จนถึงอำเภอเมือง อำเภอรัตภูมิ และยังต่อไปในพื้นที่จังหวัดพัทลุง ประกอบด้วย หินควอร์ตไซต์ (quartzite) หินทราย หินเชิร์ต (chert) หินดินดาน (shale) หินดินดานเนื้อปนทราย หินดินดานเนื้อปนซิลิกา (siliceous shale) และหินทรายแป้ง (siltstone)

หินยุคเพอร์เมียน (Permian) หรือเรียกว่า กลุ่มหินราชบุรี (Rat buri group) มักโผล่เป็นเขาโดด ๆ ตามที่ราบบริเวณอำเภอรัตภูมิและตอนใต้ของอำเภอสะบ้าย้อย ประกอบด้วยหินปูน (limestone) เนื้อสมานแน่น (massive) สีเทา และหินปูนเป็นชั้น (bedded limestone) และหินเชิร์ต หินทราย หินดินดาน

หินยุคไทรแอสซิก (Triassic) ประกอบด้วย หินทราย หินกรวดมน (conglomerate) หินทรายแป้ง หินโคลน (mudstone) หินดินดาน ชั้นหินนี้จัดอยู่ในหน่วยหินนาทวี (Na Thawi Formation) พบมากในพื้นที่อำเภอที่อยู่ด้านทิศตะวันออกและทิศใต้ของจังหวัดสงขลา

ตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) เป็นตะกอนที่ยังไม่ถูกประสานเชื่อมให้แข็งกลายเป็นหิน ได้แก่ ชั้นตะกอนกรวด ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว และโคลนตม ที่มีสภาพแวดล้อมการสะสมตัวของตะกอนในพื้นที่จังหวัดสงขลา 2 แบบ คือ สภาพแวดล้อมทะเล และสภาพแวดล้อมพื้นทวีป บริเวณด้านทิศตะวันออกของแอ่งลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เป็นบริเวณที่มีการสะสมตัวจากการกระทำของน้ำทะเล ได้แก่ทรายชาดหาด (beach sands) ตะกอนใกล้ฝั่ง (nearshore sediments) และแหล่งตะกอนน้ำทะเลตื้น พื้นที่ด้านตะวันตกของแอ่งหาดใหญ่และด้านทิศใต้ ส่วนใหญ่เป็นบริเวณที่มีการสะสมตัวของตะกอนที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล นั่นคือ เป็นตะกอนเศษหินเชิงเขา (colluvial sediments) ที่อยู่เป็นแนวยาวบริเวณของภูเขา เชิงเขา โดยอาจมีดินลูกรังที่วางตัวอยู่บนชั้นกรวดที่เกิดจากหินที่ผุ (weathered rocks) และตะกอนธารน้ำพาที่มาสะสมตัวบริเวณที่ราบ (fluvial sediments) พบอย่างกว้างขวางในที่ราบ ที่มีส่วนประกอบเป็น ดินเหนียว ทรายแป้ง ทรายที่มีเศษพืชปนค่อนข้างมาก นอกจากนั้น ยังมีบริเวณเปลี่ยนแปลง (transitional zone) ที่มีอิทธิพลจากทั้งแม่น้ำและการมีน้ำขึ้นน้ำลง ส่วนใหญ่ในบริเวณนี้ประกอบด้วยตะกอนทรายแป้งดินเหนียวปนพีต (peaty clay) หรือมีชั้นของพีต (peats) อยู่บริเวณที่เป็นแหล่งตะกอนน้ำพาต่อกับบริเวณที่มีอิทธิพลของทะเล (นิรันทร์ ชัยมณี และคณะ, 2527)



รูปที่ 1.3 ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

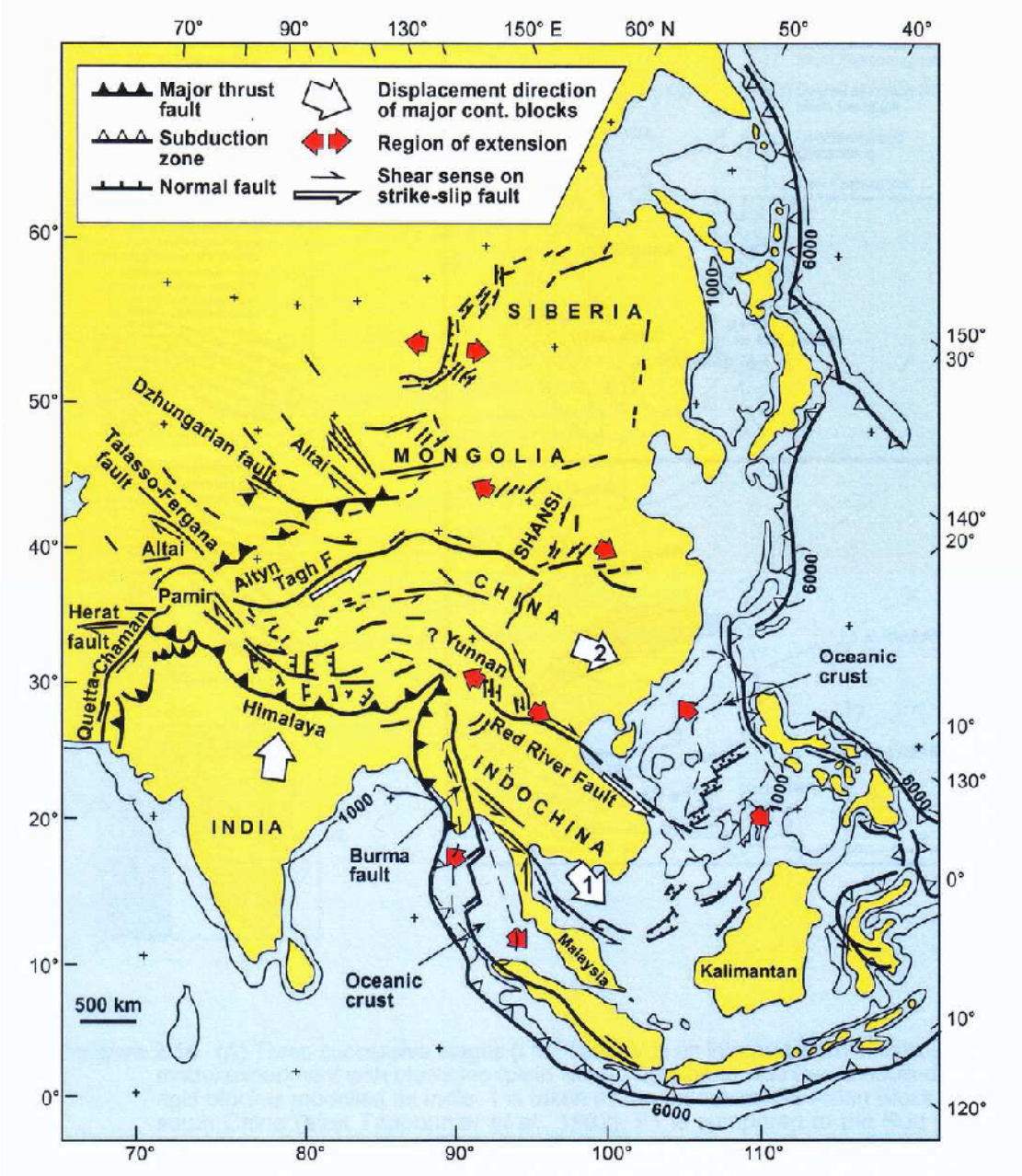
1.4 ลักษณะธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย

จากลักษณะทางธรณีวิทยานั้นพบว่าประเทศไทยไม่ได้อยู่ในเขตพื้นที่แผ่นดินไหวและยังอยู่นอกแนวรอยต่อของธรณีภาค ทำให้โอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยมีค่อนข้างน้อย โดยสาเหตุที่จะทำให้เกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยอาจเกิดจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่นอกประเทศ แล้วส่งแรงสั่นสะเทือนมายังประเทศไทย ส่วนใหญ่จะมีแหล่งกำเนิดจากตอนใต้ของประเทศจีน พม่า ลาว บริเวณทะเลอันดามันและตอนเหนือของเกาะสุมาตรา ถ้าเกิดแผ่นดินไหวในแนวนี้จะทำให้พื้นที่ในประเทศไทยบริเวณภาคเหนือ ภาคใต้ ภาคตะวันตก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและกรุงเทพมหานครเกิดการสั่นไหวที่รู้สึกได้ สภาพทางภูมิศาสตร์และธรณีวิทยาที่ปรากฏในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่า ประเทศไทย ตั้งอยู่ท่ามกลางแผ่นฐานธรณีใหญ่ที่มาบรรจบกัน 3 แผ่นฐาน ได้แก่ แผ่นอินเดีย (Indian plate) แผ่นแปซิฟิก (Pacific plate) และแผ่นยูเรเชีย (Urasia plate) โดยมี

หลักฐานต่าง ๆ ที่บ่งชี้ว่าแผ่นฐานธรณีแปซิฟิกยังคงเคลื่อนตัวไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ แผ่นฐานธรณียูเรเชียกำลังเคลื่อนตัวไปทางตะวันออกเฉียงใต้ และแผ่นฐานธรณีอินเดียยังคงเคลื่อนตัวขึ้นไปทางทิศเหนือ โดยการเกิดธรณีแปรสัณฐานในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีแนวโครงสร้างใหญ่ดังรูปที่ 1.4 และรูปที่ 1.5 ทำให้บริเวณขอบของแผ่นเปลือกโลกเหล่านี้แสดงสภาพเป็นร่องลึก (trench) และเกิดเป็นแนวมุดตัว (subduction zone) เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวในทะเลอันดามันบ่อยครั้ง

ในประเทศไทยมีช่วงการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานที่สำคัญในมหายุคมีโซโซอิกตอนปลายที่เกิดขึ้นพร้อมกันและมีความสัมพันธ์กับการชนกันระหว่างคาบสมุทรอินเดียกับทวีปเอเชีย ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2545) นั่นคือรอยเลื่อนในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้เกิดการเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา ส่วนรอยเลื่อนตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้เคลื่อนตัวในทิศตามเข็มนาฬิกา และเกิดการแทรกดันของหินอัคนีบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ระหว่างแนวรอยเลื่อนแม่น้ำแดง แนวรอยเลื่อนแม่ปิง และแนวรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ เชื่อว่าทำให้เริ่มเกิดแอ่งตะกอนชนิดถูกดึง (pull-apart basin) เกิดการสะสมตัวของหินยุคเทอร์เชียรี และเกิดการยุบตัวซึ่งทำให้เกิดการเปิดของอ่าวไทย, ทะเลจีนใต้ เป็นต้น

ปัญญา จารุศิริ และคณะ (2543) สรุปโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีความสัมพันธ์กับแผ่นดินไหวบนทวีปในพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากข้อมูลภาพดาวเทียมและข้อมูลธรณีวิทยาอ้างอิงออกเป็นกลุ่มรอยเลื่อนใหญ่ๆ จำนวน 7 รอยเลื่อน (รูปที่ 1.4 และ 1.5) ซึ่งจากธรณีวิทยาโครงสร้างแนวเส้นของรอยเลื่อนที่ปรากฏบนภาพดาวเทียมพบว่า กลุ่มรอยเลื่อนมีทิศทางการวางตัว 3 แนวได้แก่ แนวเหนือ-ใต้, แนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ กลุ่มรอยเลื่อนมีดังนี้ (รูปที่ 1.5)



รูปที่ 1.4 แผนที่ธรณีแปรสัณฐานในบริเวณภูมิภาคเอเชียใต้และตะวันออกแสดงรอยต่อแผ่นเปลือกโลกและการกระจายตัวของรอยเลื่อนหลัก ๆ (Tapponnier et al., 1982)

1) กลุ่มรอยเลื่อนเทือกเขาอินโด-พม่า (Indo-Burman ranges fault zone) เป็นรอยเลื่อนย้อน ทางทิศตะวันออกของเทือกเขาซึ่งเป็นแนวยาวในทิศเหนือ-ใต้ จนถึงลุ่มน้ำอิระวดีฝั่งตะวันตก และจากข้อมูลแผ่นดินไหวสามารถสรุปแน่นอนได้ว่ากลุ่มรอยเลื่อนนี้เป็นรอยเลื่อนมีพลัง

2) กลุ่มรอยเลื่อนสะเกียง-ปานหลวง-ตวงกุย (Sagaing-Panlaung-Tuanggui fault zone) เป็นรอยเลื่อนระนาบขวาเข้าครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ฝั่งตะวันออกของแม่น้ำอิระวดีซึ่งครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของที่ราบลุ่มภาคกลางของพม่าจนถึงฝั่งตะวันตกของแม่น้ำสะโตง จากข้อมูลแผ่นดินไหวพบว่าเคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มาก (>7 ริกเตอร์)

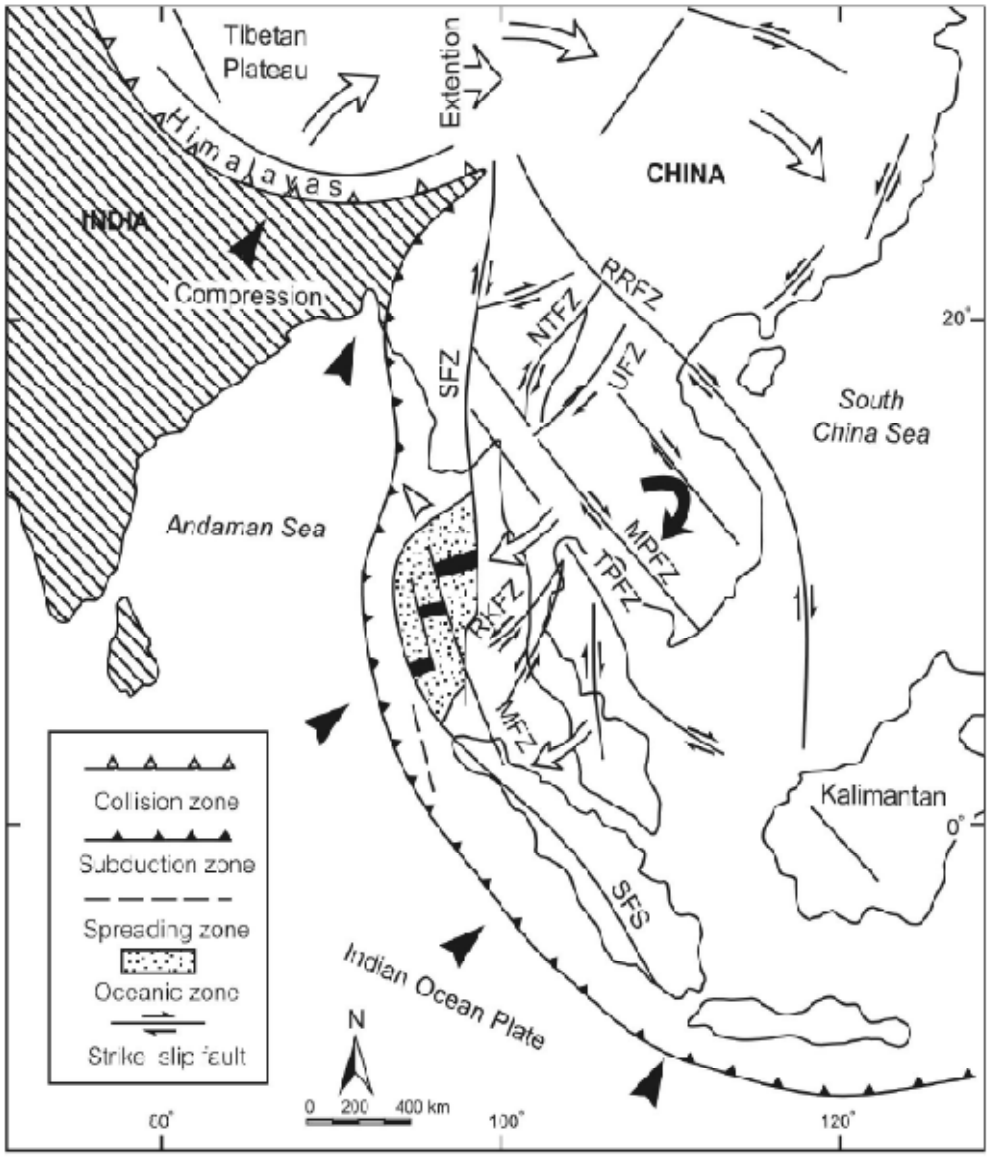
3) กลุ่มรอยเลื่อนนานติง-เปาซาน-เชียงราย (Nanting-Paosan-Chaing Rai fault zone) มีการวางตัวในแนวเกือบตะวันออก-ตะวันตก จากข้อมูลแผ่นดินไหวคาดว่าน่าจะเป็นแนวรอยเลื่อนมีพลังอยู่ กลุ่มรอยเลื่อนนี้มีความสำคัญมากที่สุดกลุ่มหนึ่งตามทฤษฎีธรณีวิทยาแปรสัณฐาน ซึ่งพบว่าแนวรอยเลื่อนบริเวณนี้เป็นจุดอ่อนตัวที่สุดของแผ่นทวีปเดิม ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวเป็นไปได้มาก

4) กลุ่มรอยเลื่อนแม่น้ำแดง-มา-ดา (Red-Ma-Da fault zone) วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ จากข้อมูลแผ่นดินไหวบริเวณกลุ่มรอยเลื่อนนี้พบว่ามีความรุนแรงในส่วนของรอยเลื่อนในเขตมณฑลยูนานมากกว่าบริเวณเวียดนามตอนเหนือในแง่ของธรณีวิทยาแปรสัณฐานกลุ่มรอยเลื่อนนี้เป็นรอยต่อหรือตะเข็บโลกที่เกิดจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน กับแผ่นจีนใต้ ในยุคไทรแอสซิกตอนปลายทำให้น่าจะเป็นบริเวณที่มีความอ่อนตัวของเปลือกโลกอย่างมาก มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวได้ง่ายเมื่อเกิดการหมุนตัวของแผ่นเปลือกโลกเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จากการดันตัวของแผ่นทวีปอินเดีย

5) กลุ่มรอยเลื่อนแม่สะเรียง-แม่ปิง-ด่านเจดีย์สามองค์ (Mae Sariang-Mae Ping-Three Pagoda fault zone) วางตัวทางด้านตะวันตกของประเทศไทย โดยกลุ่มรอยเลื่อนแม่ฮ่องสอนวางตัวในแนวเกือบเหนือ-ใต้ ทอดตัวลงมาต่อเข้ากับกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิง-เจดีย์สามองค์ ซึ่งวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ จากข้อมูลแผ่นดินไหวพบว่ามีขนาดเล็กและเกิดเป็นกระจุกในเขตประเทศพม่ามากกว่าที่เกิดในประเทศไทย ในแง่ของอายุรอยเลื่อนจัดว่าเป็นรอยเลื่อนมีพลัง สอดคล้องกับหลักฐานทางธรณีวิทยาแปรสัณฐาน

6) กลุ่มรอยเลื่อนเดียนเบียนฟู-หลวงพระบาง-แพร่-เถิน-อุตรดิถต์ (Dien Bien Phu-Luang Prabang-Phrae-Thoen-Uttradit fault zone) วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ จากข้อมูลแผ่นดินไหวพบว่ามักจะเกิดแผ่นดินไหวขนาดเล็ก (3-4 ริกเตอร์) บ่อยครั้งทางด้านของธรณีวิทยาแปรสัณฐาน กลุ่มรอยเลื่อนนี้เป็นรอยตะเข็บโลก จากการชนกันของแผ่นจุลทวีปฉาน-ไทยและจุลทวีปอินโดจีน ทำให้เป็นบริเวณที่มีความหยุ่นและอ่อนตัวมากมีโอกาสในการเกิดแผ่นดินไหวมาก สอดคล้องกับการหาอายุรอยเลื่อน

7) กลุ่มรอยเลื่อนแม่ทา-แม่ริม (Mae Tha-Mae Rim fault zone) กลุ่มรอยเลื่อนนี้มีลักษณะคล้ายกับกลุ่มรอยเลื่อนเปาซาน-เชียงราย คือมีลักษณะโค้งรูปตัว S จากข้อมูลแผ่นดินไหวพบว่าส่วนใหญ่มีขนาดประมาณ 3-4 ริกเตอร์ จากการหาอายุรอยเลื่อน น่าจะยังคงมีพลังอยู่



รูปที่ 1.5 โครงร่างการแปรสัณฐานแผ่นเปลือกโลก (tectonic frame work of plates) ของผืนแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้อันเป็นส่วนหนึ่งของดินแดนซุนดา (Sundaland) ของเอเชีย (ลูกศรขนาดใหญ่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ ลูกศรขนาดเล็กแสดงรอยเลื่อน หลังจากที่ทวีปอินเดียเข้ามาชนทวีปเอเชีย) (MPFZ - Mae Ping Fault Zone; NTFZ – Northern Thailand Fault Zone; TPFZ - Three Pagodas Fault Zone; UFZ - Uttaradit Fault Zone.) (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2543)

1.5 ทฤษฎีพื้นฐาน

1.5.1 แผ่นดินไหว

แผ่นดินไหว คือ ปฏิกิริยาการสั่นสะเทือนของแผ่นดิน ที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยพลังงาน สาเหตุส่วนใหญ่ของแผ่นดินไหวจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกและรอยเลื่อน สำหรับแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในภาคพื้นทวีปและที่เกิดใกล้ ๆ กับผิวโลกมักจะแสดงรอยแตกหรือรอยร้าวตามแนวของการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนให้เห็น (Stein and Wysession, 2003) ในแผ่นดินไหวระดับตื้น การสะสมพลังงานจะสัมพันธ์กับความเครียดที่สร้างขึ้นในบริเวณที่มีการผิดรูปอย่างต่อเนื่อง และเกิดจากการปลดปล่อยพลังงานจากรอยเลื่อนที่มีอยู่ และพลังงานที่มากกว่าความต้านทานต่อแรงเสียดสีของหินจะทำให้วัตถุบริเวณผิวรอยเลื่อนร้อนจนละลายได้ โดยพบว่าการเลื่อนตัวแนวราบนั้นเป็นหลักการสำคัญต่อการเกิดแผ่นดินไหวชนิดตื้นในขณะที่การเลื่อนตัวแบบเฉียงก่อให้เกิดแผ่นดินไหวระดับกลาง

สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ 1) แผ่นดินไหวจากธรรมชาติ (natural earthquake) คือ แผ่นดินไหวที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก (tectonic-involving earthquake) การเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน และแผ่นดินไหวจากการระเบิดของภูเขาไฟ (volcanic earthquake) เป็นต้น 2) แผ่นดินไหวจากมนุษย์ (man-made earthquake) อย่างเช่น แผ่นดินไหวจากระเบิดปรมาณู (atomic-bomb earthquake) จากการระเบิดหน้าเหมือง รวมทั้งการสำรวจเพื่อก่อสร้าง เพื่อการทำลายตึก เป็นต้น

1.5.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับกลไกการเกิดแผ่นดินไหว

1) ทฤษฎีการหดสะท้อนกลับ (elastic rebound theory) ซึ่งอธิบายว่าการสั่นสะเทือนเกิดจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนเป็นหลัก กล่าวคือ เมื่อวัตถุได้รับแรงกระทำจากแรงซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกัน วัตถุจะโค้งงอจนถึงระดับหนึ่งและเมื่อถึงจุดหนึ่งวัตถุจะขาดออกจากกันพร้อมกับปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นไหวสะเทือน และหลังจากนั้นวัตถุจะคืนตัวกลับเข้าสู่สภาวะเดิม ทฤษฎีนี้สนับสนุนแนวความคิดที่เชื่อว่าแผ่นดินไหวมีกลไกลการกำเนิดเกี่ยวข้องโดยตรงและใกล้ชิดกับแนวรอยเลื่อน (Reid, 1910)

2) ทฤษฎีการขยายตัวของเปลือกโลก (dilation source theory) อันเชื่อว่าแผ่นดินไหวเกิดจากการที่เปลือกโลกเกิดการคดโค้งโก่งงออย่างฉับพลัน และเมื่อวัตถุขาดออกจากกันจึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแผ่นดินไหว

1.5.2 รอยเลื่อน

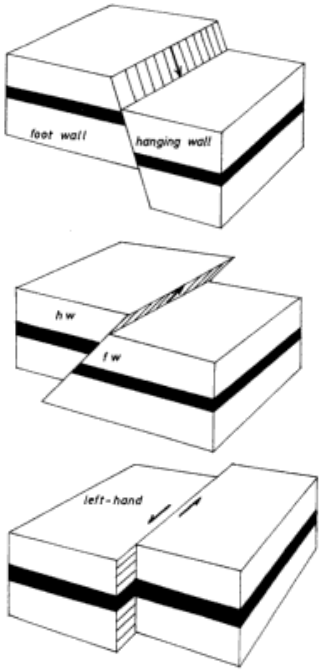
รอยเลื่อน(fault) บางทีก็เรียกว่า “รอยเหลื่อม” เป็นแนวรอยแตกของเนื้อหินที่มีการเคลื่อนที่ขาดออกจากกันอย่างชัดเจน การเลื่อนตัวอาจเป็นระยะทางสั้นๆตั้งแต่เซนติเมตรหรืออาจยาวถึงกว่าร้อยกิโลเมตรก็ได้ การเกิดรอยเลื่อนจึงเป็นผลมาจากแรงจากกระบวนการแปรสัณฐาน ในการศึกษารอยเลื่อนเราจำเป็นต้องรู้จักศัพท์เทคนิคที่นิยมใช้กันในหมู่นักธรณีด้วยกันคำที่สำคัญๆ ดังแสดงดังตารางที่ 1. 1

ประเภทของรอยเลื่อนแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม จำแนกตามลักษณะของระยะเลื่อน (sense of slip) คือ

1. รอยเลื่อนตามแนวมุมเท (dip-slip fault) แบ่งได้เป็น รอยเลื่อนย้อน (reverse fault) และรอยเลื่อนปกติ (normal fault) ดังรูปที่ 1.6 A, B ซึ่งเป็นรอยเลื่อนที่ชั้นหินทั้ง 2 ระนาบเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง โดยชั้นหินด้านหนึ่งจะเคลื่อนที่ขึ้น ขณะที่อีกด้านหนึ่งจะเคลื่อนที่ลง ขึ้นอยู่กับทิศทางและมุมที่ชั้นหินทั้งสองระนาบทำต่อกัน

2. รอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike-slip fault) เป็นรอยเลื่อนที่ชั้นหินทั้ง 2 ระนาบเคลื่อนตัวในแนวระดับ ในทิศทางตรงข้ามกัน ดังรูปที่ 1.6 C

3. รอยเลื่อนตามแนวเฉียง (oblique-slip fault) เป็นรอยเลื่อนที่ชั้นหินทั้ง 2 ระนาบมีการเคลื่อนตัวตามแนวมุมเท และแนวระดับพร้อมกัน



(A) รอยเลื่อนปกติ

(B) รอยเลื่อนย้อน

(C) รอยเลื่อนตามแนวระดับ

รูปที่ 1.6 รอยเลื่อนชนิดต่าง ๆ A) รอยเลื่อนปกติ B) รอยเลื่อนย้อน C) รอยเลื่อนตามแนวระดับ (Ramsay et al., 1987)

ตารางที่ 1.1 คำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับรอยเลื่อน

ลักษณะ	คำบรรยาย
1) หินพื้น(foot wall)	1) ส่วนของหินที่อยู่ใต้ระนาบรอยเลื่อน
2) หินเพดาน(hanging wall)	2) ส่วนของหินที่อยู่เหนือระนาบรอยเลื่อน
3) ระนาบรอยเลื่อน(fault plane)	3) เป็นแนวระนาบของรอยเลื่อนที่แยกหินออกจากกัน
4) ระยะเลื่อนจริง หรือระยะเลื่อนสุทธิ (net slip หรือ actual slip หรือ true slip)	4) ระยะห่างระหว่างจากจุด 2 จุด ที่เดิมเคยอยู่ติดกัน แต่-ต่อมาเคลื่อนออกจากกันหลังเกิดการเลื่อน
5) ผิวรอยเลื่อน(fault surface)	5) โดยทั่วไปมักเรียกผิวรอยเลื่อนแทนระนาบรอยเลื่อน (fault plane) จนหลายคนมักเข้าใจผิดว่าผิวรอยเลื่อนต้องแบนราบ ซึ่งแท้จริงแล้วอาจเป็นโค้งงอหรือบิดเบี้ยวได้ ซึ่งควรเรียกว่าผิวรอยเลื่อนซึ่งน่าจะเหมาะสมกว่า
6) ผิวรอยครูด หรือรอยไถล(slicken side)	6) เวลาเกิดรอยเลื่อน มักทำให้เกิดผิวรอยไถลหรือรอยครูดบนระนาบรอยเลื่อน
7) ร่องรอยเลื่อน(fault groove)	7) รอยครูด หรือรอยไถล(slicken side) ที่เป็นแนวเส้นตรงขนาดใหญ่ของริ้วลายขนาน(striation) ที่ปรากฏบนผิวรอยเลื่อน
8) เขตรอยเลื่อน(fault zone)	8) เป็นเขตกลุ่มรอยแตกที่มีการบดครูดถูกัน พบได้ตั้งแต่เซนติเมตรจนถึงหลายๆ กิโลเมตร
9) ผงรอยเลื่อน(gouge หรือ fault gouge)	9) ผงละเอียดที่พบตามระนาบรอยเลื่อน เป็นเศษหินที่เกิดจากการบดและขัดสีกันของหิน 2 ฝากรอยเลื่อน
10) ผารอยเลื่อน (fault scrap)	10) ผาที่ปรากฏขึ้นหลังจากเกิดรอยเลื่อน สังเกตได้ง่ายตรงที่ผารอยเลื่อนมักจะมีแนวตรงตัดกับภูมิประเทศ ชัดกว่าผาตั้งหรือผาชัน
11) แนวรอยเลื่อน (fault line)	11) เป็นแนวแยกที่ปรากฏบนพื้นผิวโลก หรือแนวที่ลากบนแผนที่ธรณีวิทยาเพื่อระบุตำแหน่งของรอยเลื่อน มักมีแนวเกือบตรงหรือโค้งเล็กน้อยก็ได้

รอยเลื่อนที่เกิดขึ้นในระดับตื้น จะทำให้ปริมาตรของช่องว่างในหินเพิ่มขึ้น ซึ่งบริเวณรอยเลื่อนจะเป็นช่องทางสำหรับการไหลของน้ำใต้ดินและของไหลที่ได้รับความร้อนจากใต้ดิน (hydrothermal fluids) และบริเวณรอยเลื่อนหลายพื้นที่จะประกอบด้วยการตกตะกอนภายหลัง

ของแร่หลาย ๆ ชนิด อย่างเช่น แคลไซต์ (calcite), และพวกซิลิกา (เช่น ควอตซ์ (quartz), โอปอ (opal), คาลซิโดนี (chalcedony)) จะตกตะกอนเป็นสายแร่ หรือเป็นก้อนเหลี่ยมเล็ก ๆ จับกันอยู่เป็นก้อนตามบริเวณรอยเลื่อน (Twiss and Moores, 1992) รอยเลื่อนมีพลัง (active fault) ตามระเบียบว่าด้วยการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ของสหรัฐอเมริกา(U.S. nuclear regulatory comission) กล่าวว่ารอยเลื่อนมีพลัง หมายถึง รอยเลื่อนที่เคยมีประวัติการเคลื่อนตัวอย่างน้อยหนึ่งครั้งนับจากปัจจุบันย้อนหลังไป 50,000 ปี หรือมีการเคลื่อนตัวหลายครั้งในช่วงเวลา 500,000 ปี ล่วงมาแล้วจนถึงปัจจุบัน (Keller and Pinter, 2002)

1.5.3 การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล

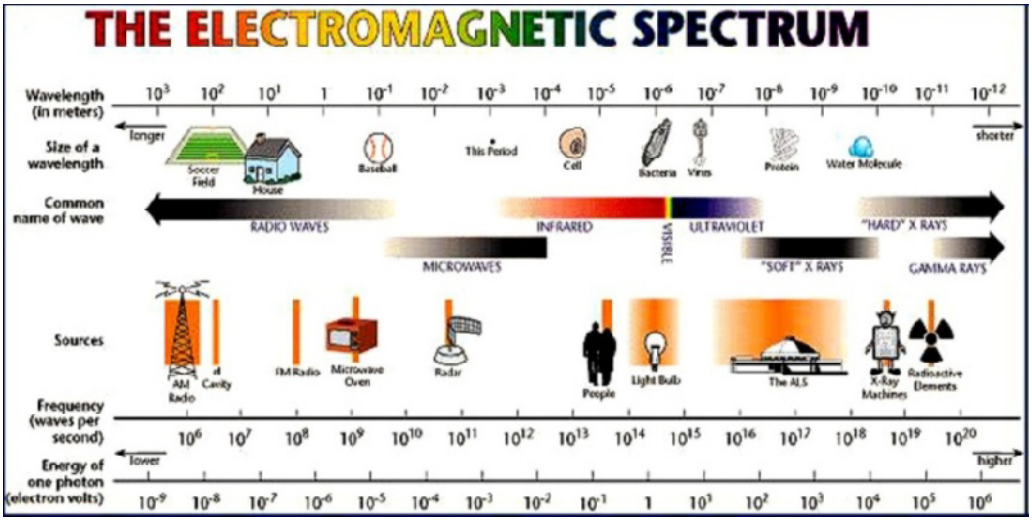
การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล หรือ รีโมทเซนซิ่ง (remote sensing) เป็นวิทยาศาสตร์ศิลปะ และเทคโนโลยีแขนงหนึ่งของการได้รับข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ หรือปรากฏการณ์จากอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (remote sensor) โดยมิได้สัมผัสกับวัตถุหรือพื้นที่เป้าหมาย ทั้งนี้อาศัยคลื่นแสงที่เป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (รูปที่ 1.7) เป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลที่แสดงสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน 3 ลักษณะ คือ 1) ช่วงคลื่น (spectral) 2) ตำแหน่งของข้อมูลเชิงพื้นที่บนพื้นผิวโลก (spatial) และ 3) การเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal) โดยข้อมูลที่ได้รับถูกนำมาจัดการ ทำการวิเคราะห์ และแปลตีความหมายของข้อมูล เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สามารถนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้คุณลักษณะของวัตถุทั้ง 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น ตำแหน่งของข้อมูลเชิงพื้นที่บนพื้นผิวโลก และช่วงเวลา สามารถหาได้จากลักษณะของการสะท้อนหรือการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุหรือพื้นที่เป้าหมายนั้นๆ โดย “วัตถุแต่ละชนิดจะมีลักษณะการสะท้อนแสงหรือการแผ่รังสีที่เฉพาะตัวแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกัน” สำหรับคำจำกัดความของคำว่าโทรสัมผัส เพิ่มเติมคือ การได้มาของข้อมูลทางกายภาพ (physical data) ของวัตถุโดยปราศจากการสัมผัสวัตถุนั้นดังรูปที่ 1.8 (Lintz and Simonett, 1976) และการศึกษาความสัมพันธ์ของลักษณะภูมิประเทศกับโครงสร้างทางธรณี นับเป็นก้าวสำคัญในการศึกษาธรณีสัณฐาน ภาพจากดาวเทียมช่วยให้เห็นข้อมูลอย่างกว้าง ๆ ได้เด่นชัดขึ้น เช่น สภาพภูมิประเทศกับโครงสร้างทางธรณีวิทยา ได้แก่ แนวรอยเลื่อนขนาดใหญ่ ๆ เป็นต้น (ดาราศรี ดาวเรือง, 2533)

อนึ่งคำว่า รีโมทเซนซิ่ง อาจจำกัดความให้กระชับขึ้น ซึ่งหมายถึง วิธีการใช้พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (คลื่นแสงคลื่นความร้อน และคลื่นวิทยุ) สำหรับตรวจวัดคุณลักษณะเฉพาะของเป้าหมายที่ต้องการ โดยไม่มีการสัมผัสโดยตรงระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดกับ

เป้าหมายที่ถูกตรวจวัด แล้วทำการบันทึกข้อมูลเก็บไว้หรือส่งผ่านไปยังเครื่องประมวลผล ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของภาพถ่ายทางอากาศ หรือภาพถ่ายดาวเทียม

1.5.3.1 พื้นฐานของรีโมทเซนซิงด้านภูมิศาสตร์

รีโมทเซนซิงที่นำมาใช้ด้านภูมิศาสตร์เป็นระบบวิทยุหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อสร้างเป็นข้อมูลภาพ โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของพลังงานจากดวงอาทิตย์มาถึงโลกในลักษณะของแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเร็วเท่าความเร็วของแสง คือ 299,792.458 กิโลเมตร/วินาที และมีขนาดช่วงคลื่นที่แตกต่างกันโดยที่ช่วงคลื่นที่กว้างเรียกว่า “คลื่นความถี่ต่ำ” หรือ “คลื่นยาว” และช่วงคลื่นที่แคบเรียกว่า “คลื่นความถี่สูง” หรือ “คลื่นสั้น” ความถี่มีหน่อยเป็นรอบต่อวินาทีหรือ เฮิรตซ์(hertz) สำหรับความยาวช่วงคลื่นมีหน่วยวัดเป็นอังสตรอม (angstroms) ไมโครเมตร หรือไมครอน (μm) เซนติมิเตอร์(centimeter) เมตรและเมตร นอกจากดวงอาทิตย์ที่เป็นแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล (สมพร สง่าวงศ์, 2543) กล่าวว่า พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทหลักดังรูปที่ 1.8 คือ



รูปที่ 1.7 แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (http://www.nasa.gov)

1) พลังงานธรรมชาติ (natural electromagnetic energy) ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าตามธรรมชาติที่สำคัญในด้านการสำรวจจากระยะไกลโดยพลังงานจากแสงอาทิตย์มีลักษณะเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันออกไป เรียกกว่า “แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า” (electromagnetic spectrum) ประกอบด้วยช่วงคลื่นที่สั้นที่สุด คือ รังสีคอสมิค

(cosmic rays) ซึ่งมีความยาว 10-12 เมตร ไปจนถึงช่วงคลื่นยาวที่สุด คือ คลื่นวิทยุและโทรทัศน์ (radio and television wave) ซึ่งมีความยาวมากกว่า 1 กิโลเมตรขึ้นไปช่วงคลื่นที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการสำรวจจากระยะไกลเป็นช่วงคลื่นที่ไม่ถูกดูดกลืนทั้งหมดโดยบรรยากาศชั้นบนและสามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศของโลกมาตกกระทบกับวัตถุบนพื้นโลก ได้แก่ ช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) ช่วงคลื่นแสงสีขาวหรือช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (visible rays) ช่วงคลื่นอินฟราเรด (infrared rays) โดยระบบการสำรวจจากระยะไกลในช่วงคลื่นดังกล่าวเรียกว่า “passive remote sensing”

2) พลังงานที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made electromagnetic energy) พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่มนุษย์สร้างขึ้นอยู่ในย่านช่วงคลื่นไมโครเวฟ (microwave) ที่ถูกใช้ในระบบ RADAR (radio detector and ranging) ซึ่งเป็นระบบที่สร้างพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าและส่งผ่านไปยังวัตถุบนพื้นผิวโลกที่ต้องการสำรวจโดยเกี่ยวข้องกับเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากอุปกรณ์สร้างพลังงานไปสัมผัสกับวัตถุเป้าหมายและกระจัดกระจายกลับมายังอุปกรณ์บันทึกข้อมูล ระบบการสำรวจจากระยะไกลลักษณะนี้เรียกว่า “active remote sensing”

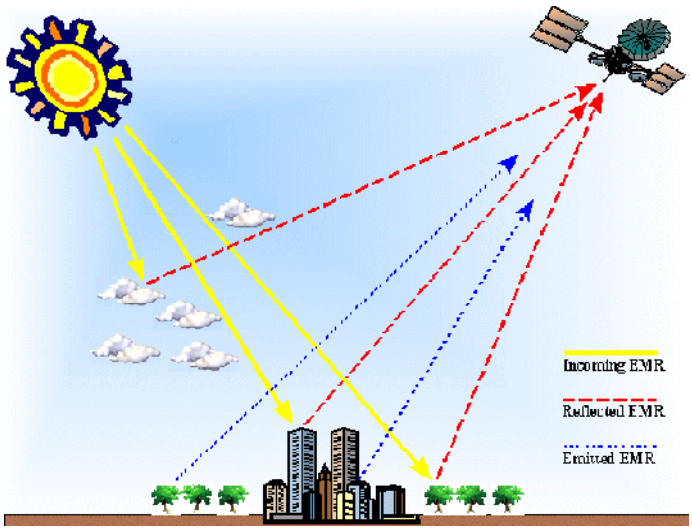
ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ที่ได้จากการแปลความภาพถ่ายดาวทียม สามารถจำแนกได้เป็นสองประเภทหลัก คือ

1) ข้อมูลด้านกายภาพ ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ ซึ่งประกอบด้วยที่ราบในลักษณะต่างๆ เช่น สันเขา ทิวเขา หน้าผารอยหัก รอยเลื่อน ลักษณะโครงสร้างของหิน รูปทรงของหินทราย หินปูน หินอัคนี หรือการจำแนกระบบ การระบายน้ำ เช่น ระบบการระบายน้ำ การจำแนกประเภทของแหล่งน้ำ เช่น หนองบึง อ่างเก็บน้ำ การจำแนกลักษณะดิน เช่น บริเวณดินตะกอน ดินพังทลาย การจำแนกลักษณะชายฝั่ง เช่น ชายฝั่งยุบจม ชายฝั่งงอกยื่น สันทรายที่เกิดขึ้นชายฝั่ง สันดอนชายฝั่ง ชายหาด เกาะแก่งต่างๆ การจำแนกประเภทของป่าไม้ เช่น ป่าไม่ผลัดใบ ป่าผลัดใบ ป่าถูกบุกรุก ถูกทำลาย เป็นต้น

2) ข้อมูลด้านมนุษย์ เนื่องจากดาวเทียมที่ใช้ในการสำรวจทรัพยากรพื้นโลกสามารถโคจรกลับมาบันทึกข้อมูลในที่เดิมเช่น ดาวเทียม LANDSAT จะกลับมาบันทึกข้อมูลบริเวณพื้นที่เดิมทุก 16 วัน หรือดาวเทียม TERRA มีความถี่ในการกลับมาบันทึกข้อมูลบริเวณเดิมเกือบทุกวัน (near daily frequency of pass) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงบนพื้นโลกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์สามารถถูกตรวจพบได้อย่างทันเหตุการณ์จากข้อมูลภาพดาวเทียม ตัวอย่างเช่น การเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจตามฤดูกาล ซึ่งข้อมูลจากดาวเทียมสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อประเมินผลผลิตของพื้นที่เพาะปลูกได้ หรือ การบันทึกข้อมูลจากดาวเทียมในหลายช่วงระยะเวลาสามารถนำมาติดตามตรวจสอบการขยายตัวของชุมชนเมือง เพื่อศึกษาถึงแนวโน้มการขยายตัวของชุมชน

เมืองได้ โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงจากกิจกรรมประเภทต่างๆ ของมนุษย์ สามารถเห็นได้ชัดเจนในภาพถ่ายจากดาวเทียม

ปัจจุบันเทคโนโลยีรีโมทเซนซิ่งได้รับการพัฒนาให้ก้าวหน้าโดยมีการประดิษฐ์คิดค้นอุปกรณ์รับสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูง เทคนิคที่นำมาใช้ในการแปลความก็ได้รับการพัฒนาควบคู่กันไปให้มีความถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็วยิ่งขึ้น จึงพบว่ามีการนำข้อมูลทั้งภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายจากดาวเทียม และสารสนเทศเชิงพื้นที่ (spatial information) มาใช้ประโยชน์ในทางภูมิศาสตร์อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน



รูปที่ 1.8 แสดงพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากดวงอาทิตย์ (electromagnetic radiation or EMR) ตกกระทบมายังโลกและสะท้อนกลับไปยังดาวเทียมและพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากวัสดุบนโลกโดยที่ดาวเทียมจะรับสัญญาณและแปลความกลับมาเป็นภาพ (www.ellie.cla.sc.edu)

1.5.3.2 สมบัติของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ภาพถ่ายจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากร เป็นภาพที่มีลักษณะพิเศษตามคุณสมบัติของดาวเทียมที่ใช้ในการสำรวจข้อมูลระยะไกล พอสรุปได้ดังนี้ (สมพร สง่าวงศ์. 2543)

1) การบันทึกข้อมูลเป็นบริเวณกว้าง (synoptic view) ภาพจากดาวเทียมภาพหนึ่งๆ ครอบคลุมพื้นที่กว้างทำให้ได้ข้อมูลในลักษณะต่อเนื่องในระยะเวลาการบันทึกภาพสั้นๆ สามารถศึกษาสภาพแวดล้อมต่างๆ ในบริเวณกว้างต่อเนื่องในเวลาเดียวกันทั้งภาพ เช่น ดาวเทียม LANDSAT-MSS และ TM หนึ่งภาพครอบคลุมพื้นที่ 175 x 184 ตารางกิโลเมตร หรือ 32,220

ตารางกิโลเมตร ภาพจากดาวเทียม SPOT คลุมพื้นที่ 3,600 ตารางกิโลเมตร หรือ ภาพจากดาวเทียม MOS-MESSR คลุมพื้นที่ 10,000 ตารางกิโลเมตร เป็นต้น

2) การบันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่น (multispectral) ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีระบบกล้องที่บันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่นในบริเวณเดียวกัน ทั้งในช่วงคลื่นที่สายตามองเห็น และช่วงคลื่นนอกเหนือการมองเห็นของสายตามนุษย์ ทำให้สามารถแยกวัตถุต่าง ๆ บนพื้นโลกตามวัตถุประสงค์ที่เฉพาะเจาะจงได้อย่างชัดเจน เช่นระบบ MSS และ MESSR มี 4 ช่วงคลื่น, ระบบ ETM+ มี 8 ช่วงคลื่น, ระบบ HRG ภาพขาวดำและสีมี 1 และ 4 ช่วงคลื่นตามลำดับ

3) การบันทึกภาพในบริเวณเดิม (repetitive coverage) ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรส่วนใหญ่ มีวงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ โดยโคจรรอบโลกในแนวจากเหนือลงใต้ และกลับมายังบริเวณเดิมในเวลาท้องถิ่นอย่างสม่ำเสมอ ในช่วงเวลาที่แน่นอน ทำให้ได้ข้อมูลบริเวณเดียวกันหลายๆ ช่วงเวลาที่ทันสมัย สามารถเปรียบเทียบและติดตามการเปลี่ยนแปลงต่างๆ บนพื้นโลกได้เป็นอย่างดี และช่วยให้มีโอกาสได้ข้อมูลที่ไม่มีเมฆปกคลุม

4) การให้รายละเอียดหลายระดับ ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมจะให้รายละเอียดเชิงพื้นที่หลากหลายระดับ มีผลดีในการเลือกนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาด้านต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ เช่น ภาพจากดาวเทียม SPOT-5 ช่วงคลื่น panchromatic (ภาพขาวดำ) มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ 5 และ 2.5 เมตร สามารถนำไปศึกษาตัวเมืองเส้นทางคมนาคมระดับหมู่บ้าน หรือปรับปรุงแก้ไขแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ขณะเดียวกันภาพหลายช่วงคลื่น (multispectral) ที่มีรายละเอียด 10 เมตร สามารถศึกษาถึงการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เฉพาะจุดเล็กๆ ได้หรือการหาพื้นที่แหล่งน้ำขนาดเล็ก สำหรับภาพจากดาวเทียม LANDSAT-7 ระบบ ETM+ รายละเอียด 30เมตร เหมาะสมในศึกษาสภาพการใช้ที่ดินระดับจังหวัด

5) การให้ภาพสีผสม (color composite) ข้อมูลจากดาวเทียมแต่ละแบนด์ที่เป็นข้อมูลภาพขาวดำ (gray scale image) สามารถนำมาซ้อนทับกันได้ครั้งละ 3 แบนด์ โดยแต่ละแบนด์ได้จากการรวมแม่สีแสงบวก (additive primary color) 3 สีหลัก คือ สีน้ำเงิน (blue) สีเขียว (green) และสีแดง (red) เมื่อนำมาซ้อนทับกัน ทำให้ได้ภาพสีผสม มีสีต่าง ๆ ปรากฏขึ้นตามทฤษฎีสี

6) การเน้นคุณภาพของภาพ (image enhancement) ข้อมูลจากดาวเทียมต้นฉบับที่อยู่ในลักษณะข้อมูลเชิงเลข (digital data) สามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพให้มีความชัดเจนเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจากค่าระดับสีเทาของกราฟแท่งแสดงการกระจายของข้อมูล หรือ histogram ของข้อมูลดาวเทียม โดยทั่วไปนิยมใช้ 2 วิธี คือ 1) การขยายพิสัย (range) ความเข้มระดับสีเทาให้กระจายจนเต็ม เรียกว่า “linear contrast stretch” และ 2) non-linear contrast stretch โดยให้มีการ

กระจายของข้อมูลในแต่ละค่าความเข้มระดับสีเทาซึ่งเรียกเทคนิคนี้ว่า “histogram equalization stretch”

การนำข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมาใช้งานในงานวิจัยครั้งนี้ จะมีลักษณะและวิธีการแตกต่างไปจากการแปลข้อมูลด้านอื่นๆ เช่นป่าไม้ การใช้ที่ดิน และเกษตรกรรม ซึ่งอาศัยแต่เพียงปัจจัยการแปลภาพพื้นฐานก็สามารถศึกษาข้อมูลเหล่านั้นได้ แต่การแปลความหมายทางธรณีวิทยาและธรณีสัณฐาน จะอาศัยวิธีการอ่านข้อมูลที่เห็นได้โดยตรง เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะทางน้ำ ความสามารถของดาวเทียมในปัจจุบันนี้ มีคุณสมบัติในการแสดงภาพแบบสามมิติ จึงทำให้สามารถศึกษาลักษณะภูมิประเทศได้ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งภาพจากดาวเทียมซึ่งมองเห็นบริเวณกว้างขวาง สามารถรวมเอาภาพทางธรณีสัณฐานขนาดใหญ่ไว้ในภาพเดียวกันได้ สำหรับการแปลความภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อศึกษาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างแนวเส้น (lineament)

คำว่า lineament คือโครงสร้างแนวตรงในลักษณะทางธรณีวิทยา ซึ่งเป็นร่องรอยของความไม่ต่อเนื่องในโครงสร้างของมวลหินหรือชั้นเปลือกโลก (Ekneligoda and Henkel, 2010)

(Leary et al., 1976) ได้ให้คำจำความของ Lineament คือ ลักษณะโครงสร้างแนวตรงที่แสดงถึงลักษณะภูมิประเทศ โดยแสดงถึงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่อยู่ด้านล่าง อย่างเช่น รอยเลื่อน โดยทั่วไปแล้ว lineament นั้นจะแสดงลักษณะของชุดของแนวที่แสดงเป็นกลุ่มอย่างชุดของรอยเลื่อนหรือชุดของหุบเขาคดโค้ง รวมถึง เขตรอยแตก (fracture zones), รอยตัดเฉือน (shear zones) และการแทรกดันตัวของหินอัคนี (igneous intrusions)

สำหรับการวิเคราะห์หาแนว lineament นั้นทำได้ด้วยการพิจารณาและวิเคราะห์โดยสายตาของผู้วิจัย โดยที่งานวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศเพื่อหาตำแหน่งของแนว lineament นั้นได้ใช้กันอย่างกว้างขวางในหลาย ๆ วัตถุประสงค์

Gupta (2003) ได้ทำการศึกษาบริเวณที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อนจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และได้สรุปเกณฑ์ในการพิจารณาบริเวณที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อนจากสิ่งที่แสดงให้เห็นบนภาพถ่าย ดังนี้

(1) การเคลื่อนออกแนวหิน (displacement of beds or key horizons)

(2) การตัดเป็นท่อน ๆ ของชั้นหิน (truncation of beds)

(3) ผลกระทบจากการดึง (drag effects)

(4) การปรากฏของหน้าผารอยเลื่อน (presence of scarps)

(5) หน้าผาสามเหลี่ยม (triangular facets)

(6) แนวของโครงสร้างภูมิประเทศรูปอานม้า (alignment of topography including saddles, knobs etc.)

(7) ทางน้ำหักงอ (off-setting of streams)

(8) แนวหนองน้ำที่อยู่ในแนวเดียวกัน (alignment of ponds or closed depressions) ที่แสดงถึงการมีรอยเลื่อนที่ตัดผ่านชั้นน้ำใต้ดินด้านล่าง ทำให้น้ำใต้ดินแทรกตัวขึ้นมาปรากฏเป็นหนองน้ำด้านบน

(9) แนวของน้ำพุร้อน (spring alignment)

(10) แนวของพฤกษชาติ (alignment of vegetation)

(11) การแยกเป็นท่อนแนวตรงของลำน้ำ (straight segment of streams)

(12) น้ำตกที่ตัดผ่านเส้นทางของลำน้ำ (waterfalls across stream courses)

(13) ความสูงชันของทางน้ำเดิม (knick points or local steepening of stream gradient)

(14) การหยุดชะงักของร่องหุบเขา (disruption of valley channels)

1.5.4 การสำรวจด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์

หลังจากที่ได้ทำการแปลความข้อมูลการสำรวจจากระยะไกลพร้อมทั้งลากโครงสร้างแนวเส้น เป็นที่เรียบร้อยแล้วก็ได้ทำการเลือกพื้นที่เพื่อจะศึกษาในภาคสนามในการพิจารณาบริเวณที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อนเพื่อดูลักษณะทางธรณีวิทยาและธรณีสัณฐาน พร้อมทั้งวางแนวสำรวจด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์เพื่อยืนยันผลการแปลความข้อมูลการสำรวจระยะไกล ซึ่งการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลในภาคสนามได้ใช้วิธีการทางธรณีฟิสิกส์ ดังนี้

1.5.4.1 การสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือน (seismic method)

เทคนิคพื้นฐานของการสำรวจด้านคลื่นไหวสะเทือนคือการส่งคลื่นยืดหยุ่น โดยตัวกำเนิดคลื่นอาจจะใช้ค้อนทุบลงบนแผ่นเหล็กที่วางไว้ที่ผิวดิน หรือการจุดระเบิดของวัตถุระเบิดลงไปยังใต้ดิน บันทึกเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นผ่านตัวกลาง (geologic materials) เกิดการหักเหหรือสะท้อนที่บริเวณรอยต่อระหว่างชั้นหินหรือบริเวณที่มีความแตกต่างของค่าความยืดหยุ่น และเดินทางกลับมายังตัวรับสัญญาณที่อยู่บนผิวดิน นำข้อมูลจากการวัดมาเขียนกราฟระหว่างเวลาที่คลื่นเดินทางมาถึงตัวรับสัญญาณกับตำแหน่งของตัวรับสัญญาณที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดคลื่น (T-X graph) จากนั้นจึงสามารถคำนวณหาความเร็วของคลื่นในตัวกลางได้ ระเบียบวิธีคลื่นไหวสะเทือนได้มีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง อย่างเช่น การตรวจหาและทำแผนที่ขอบเขตของชั้นหินใต้ผิวดิน, ลำดับความต่อเนื่องของชั้นตะกอน และการสำรวจหาแหล่งกักเก็บ

น้ำมันและก๊าซธรรมชาติ นอกจากนี้วิธีการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนนี้ยังเหมาะสมในการสำรวจระดับเล็ก (small scale) เช่นการสำรวจของชั้นตะกอนใกล้ผิวดิน, หารอยเลื่อน ร่วมทั้งการหาระดับของชั้นน้ำใต้ดิน หาความลึกถึงชั้นหินฐาน (bed rock) (Kearey and Brooks, 1991)

ถ้ากำหนดให้ชั้นหินสองชั้นซึ่งมีความเร็วคลื่น V_1 วางตัวปิดทับอยู่บนชั้นหินที่มีความเร็วคลื่น V_2 โดยที่ $V_1 < V_2$ ความหนาของหินชั้นบนมีค่าเท่ากับ z จะมีคลื่น 3 ชนิด จากแหล่งกำเนิดคลื่น เดินทางไปยังตัวรับสัญญาณ ที่มีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นเท่ากับ X จะมีคลื่นหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1. คลื่นตรง (direct waves) จะเดินทางเป็นเส้นตรงในส่วนบนของชั้นหินชั้นบน จากแหล่งกำเนิดคลื่นไปยังตัวรับสัญญาณด้วยความเร็ว V_1 เวลาที่ใช้ในการเดินทางของคลื่นตรงเป็นไปตามสมการ

$$t = \frac{1}{V_1} X \tag{1.1}$$

กราฟของทางเดินคลื่นตรงเป็นกราฟเส้นตรง ที่มีค่าความชันเท่ากับ $1/V_1$ และตัดผ่านจุดกำเนิด รูปที่ 1.9

2. คลื่นสะท้อน (reflected waves) จะเดินทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นผ่านชั้นหินชั้นแรกไปตกกระทบยังรอยต่อระหว่างชั้นหินชั้นแรกและชั้นหินชั้นที่สองด้วยความเร็ว V_1 โดยมีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน และเกิดการสะท้อนกลับผ่านหินชั้นแรกมายังตัวรับสัญญาณด้วยความเร็ว V_1 เวลาที่คลื่นสะท้อนใช้ในการเดินทางเป็นไปตามสมการ

$$t = \frac{\left(X^2 + 4Z^2\right)^{1/2}}{V_1} \tag{1.2}$$

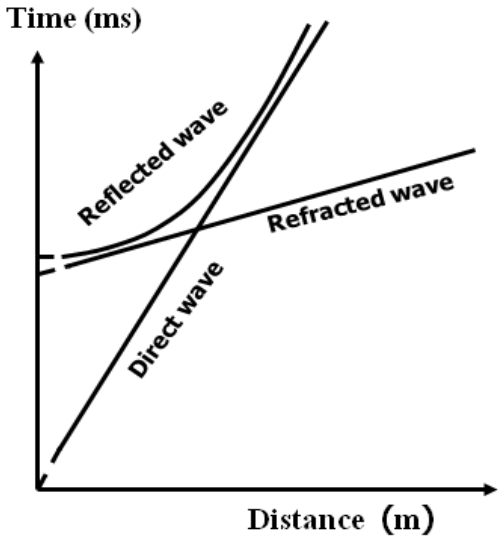
กราฟเวลาเดินทางของคลื่นสะท้อนเป็นกราฟไฮเปอร์โบลา เมื่อ Z คือ ความหนาของชั้นดิน ดังรูป 1.9

3. คลื่นหักเห (refracted waves) จะเดินทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นผ่านชั้นหินชั้นแรกด้วยความเร็ว V_1 ไปตกกระทบยังรอยต่อระหว่างชั้นหินชั้นแรกและชั้นหินชั้นที่สอง โดยมีมุมตกกระทบเท่ากับมุมวิกฤต ทำให้เกิดการหักเหเป็นมุม 90 องศา และคลื่นเดินทางต่อไปตามรอยต่อระหว่างชั้นหินสองชั้นด้วยความเร็ว V_2 และคลื่นเกิดการหักเหผ่านชั้นหินชั้นแรกกลับมายังตัวรับสัญญาณด้วยความเร็ว V_1 เวลาที่คลื่นหักเหใช้ในการเดินทางเป็นไปตามสมการ

$$t = \frac{X}{V_2} + \frac{2Z\left(V_2^2 - V_1^2\right)^{1/2}}{V_1 V_2} \qquad (1.3)$$

กราฟเวลาเดินทางของคลื่นหักเหเป็นสมการเส้นตรง ที่มีค่าความชันเท่ากับ $1/V_2$ และตัดแกนของเวลาที่ $2Z\left(V_2^2 - V_1^2\right)^{1/2} / V_1 V_2$

การทราบความเร็วคลื่นสั่นสะเทือนในหิน จะช่วยในการแปลความหมายคุณสมบัติและชนิดของหินได้ ความเร็วของคลื่นสั่นสะเทือนในหินชนิดต่าง ๆ แสดงดังตาราง 1.2 เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ออกจากจุดกำเนิด และตกกระทบกับรอยต่อของชั้นดิน ที่มีค่าความต้านทานเชิงซ้อนของส่วนค่าเรดาร์ (acoustic impedance) แตกต่างกัน คลื่นส่วนหนึ่งหักเหลงไปในชั้นดินที่อยู่ข้างล่าง คลื่นอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับขึ้นมา และถ้าหน้าคลื่นตกกระทบทำมุมวิกฤต (critical angle) กับเส้นสมมุติแนวฉากกับรอยต่อของชั้นดินหิน คลื่นจะวิ่งขนานไปกับรอยต่อ และเดินทางกลับขึ้นมาด้วยมุมวิกฤต



รูปที่ 1.9 กราฟเวลาเดินทางคลื่น (travel time curve) ของคลื่นตรง, คลื่นหักเห และคลื่นสะท้อน ที่เดินทางจากจุดกำเนิดคลื่นไปยังตัวรับคลื่นที่เวลาแตกต่างกันตามระยะห่างที่เพิ่มขึ้น

ความต้านทานเชิงซ้อนของส่วนค่าเรดาร์ของหินแต่ละชนิดเป็นผลคูณระหว่างความหนาแน่นและความเร็วคลื่น $Z = \rho V_1$ ในกรณีที่คลื่นตกกระทบตั้งฉากกับรอยต่อของชั้นหิน ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (reflection coefficient, R) และสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (transmission coefficient, T) (Telford et al., 1990) สามารถคำนวณได้จาก

$$R = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \tag{1.4}$$

$$T = \frac{2Z_1}{Z_2 + Z_1} \tag{1.5}$$

จะเกิดการเลี้ยวเบน (diffraction) ของสัญญาณคลื่นไหวสะเทือน ปรากฏเป็นรูปโค้งไฮเพอร์โบลา ในกรณีที่ตัวสะท้อนมีความไม่ต่อเนื่อง เช่น รอยเลื่อน (Telford et al.,1990) ระเบียบวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนใช้งานได้ดีในที่ซึ่งระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้กับพื้นผิว และทะลุทะลวงได้ง่ายในชั้นดินที่มีความชื้น (Steeples and Mille, 1990)

ถ้าแนวของรอยเลื่อนมีความกว้างเพียงพอและถ้ามีความแตกต่างของความเร็วกับหินท้องที่ สามารถตรวจพบได้ด้วยการสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห (Palmer, 1981)

การลดทอนลงของคลื่นยืดหยุ่น (attenuation of elastic wave)

พลังงานของคลื่นที่ส่งผ่านลงไปในชั้นดินหินจะมีขนาดลดลงซึ่งขบวนการสูญเสียพลังงานบางทีเรียกว่า การทำให้ลดลงของแอมพลีจูดของคลื่น เพราะพลังงานของคลื่นมีความสัมพันธ์กับแอมพลิจูดของคลื่น กระบวนการที่ทำให้สูญเสียพลังงาน (Kearey and Brooks, 1991) มีดังนี้

1. การแผ่เชิงเรขาคณิต (geometrical spreading) คลื่นยืดหยุ่นที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดคลื่น ซึ่งมีพลังงานเท่ากับ E จะกระจายตัวออกไปในทุกทิศทุกทางเป็นรูปทรงกลม ถ้ากำหนดให้รัศมีของทรงกลมมีค่าเท่ากัน r ปริมาณของพลังงาน ในพื้นที่เล็กๆของทรงกลมมีค่าเท่ากับ $E/4\pi r^2$ ตามทางที่คลื่นเดินทางไป นั้นคือพลังงานของคลื่นจะลดลงตามเป็นสัดส่วนกับ r^{-2}

2. การสะท้อนและหักเหของคลื่นในรอยต่อระหว่างตัวกลางที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่นต่างกัน ยังผลให้พลังงานส่วนหนึ่งสะท้อนกลับและส่วนหนึ่งหักเหไป

3. การดูดกลืน (absorption) คือ พลังงานของคลื่นยังสูญเสียไปเนื่องจากพื้นดินมีสมบัติที่ไม่ยืดหยุ่นสมบูรณ์ พลังงานจึงถูกดูดซับเนื่องจากแรงเสียดทานภายในของวัตถุ สมการที่อธิบายการดูดกลืนของคลื่นดังสมการที่ 1.6

นอกจากนี้ยังพบว่าการดูดกลืนคลื่นขึ้นกับค่าความเร็วคลื่นและค่าความถี่ของคลื่น ซึ่งสองค่าเป็นตัวแปรกับความยาวคลื่น และระยะทางจากจุดเริ่มต้นสู่จุดสุดท้ายที่สนใจ นั้นคือถ้าความถี่สูงจะสูญเสียพลังงานมากกว่าความถี่ต่ำ

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (1.6)$$

เมื่อ I_0 คือ ความเข้มของพลังงานเริ่มต้น

I คือ ความเข้มของพลังงานที่ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเป็นระยะทาง x ใดๆ

x คือ ระยะทางจากจุดเริ่มต้น

α คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของพลังงานมีหน่วยเป็นเดซิเบลต่อความยาวคลื่น (dB/λ)

ตารางที่ 1.2 ค่าความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนของดินและหินแต่ละชนิด

Rock type	Vp (m/s)
Air	330
Water	1,400-1,500
Ice	3,000-4,000
Permafrost	3,500-4,000
Weathered layer	250-1,000
Alluviam, sand (dry)	300-1,000
Sand (water-saturated)	1,200-1,900
Clay	1,100-2,500
Glacial moraine	1,500-2,600
Coal	1,400-1,600
Sandstone	2,000-4,500
Slates and shales	2,400-5,000
Limestones and dolomites	3,400-6,000
Anhydrite	4,500-5,800
Rocksalt	4,000-5,500
Granites and gneisses	5,000-6,200
Basalt flow top (highly fractured)	2,500-3,800
Basalt	5,500-6,300
Gabbro	6,400-6,800
Dunite	7,500-8,400

1.5.4.2 การสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity servey)

หลักการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า

เป็นการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปในดินด้วยตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าตรง (direct current) หรือบางครั้งจะใช้กระแสสลับก็ได้ แต่ต้องมีความถี่ต่ำๆลงไปในดินแบบช้าๆ คล้ายกระแสตรง คุณสมบัติที่มีผลต่อค่าความต่างศักย์และสามารถวัดได้โดยวิธีนี้คือ การมีรูพรุนในดิน แร่ดินเหนียว และองค์ประกอบต่างๆ ของดินที่มีผลของการไหลของกระแสไฟฟ้า วิธีการทั่วไปคือการส่งกระแสไฟฟ้าผ่านทางขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว (ขั้วกระแสไฟฟ้า) และวัดความต่างศักย์ผ่านขั้วไฟฟ้าอีก 2 ขั้ว (ขั้วศักย์ไฟฟ้า) ดังรูปที่ 1.10 และ 1.12

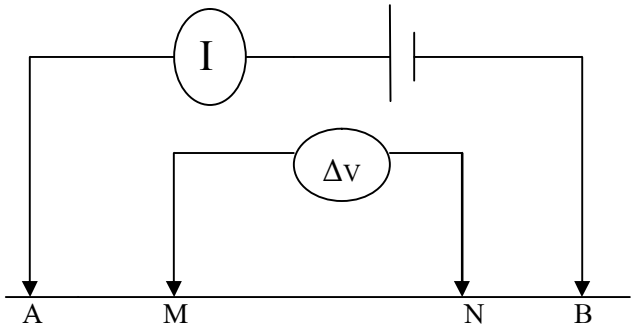
การสำรวจด้วยไฟฟ้า เป็นการวัดค่าของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าเคลื่อนไหลในพื้นดิน การสำรวจด้วยไฟฟ้ามีหลายวิธีด้วยกัน ดังนี้คือ การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity survey), การสำรวจแบบโพลาไรเซชั่นเหนี่ยวนำ (IP), การสำรวจแบบ self-polarization (SP), การสำรวจแบบ electromagnetic (EM), การสำรวจแบบ magnetotelluric (MT) แต่ในที่นี้เราจะกล่าวเฉพาะวิธีที่ใช้ในการสำรวจครั้งนี้คือ การสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานกระแสไฟฟ้าของดินสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็นคุณสมบัติของหินที่จะจำกัดปริมาณของกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านตัวมันเอง ถ้าวัสดุนั้นมีความต้านทาน R มีพื้นที่หน้าตัด A และยาว L ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ρ จะมีค่าเท่ากับ

$$\rho = \frac{RA}{L} \tag{1.7}$$

โดย ρ คือ สภาพต้านทานไฟฟ้าในหน่วย โอห์ม-เมตร (Ohm-m)

R คือ ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในหน่วย โอห์ม

พิจารณา กรณีขบวนขั้วไฟฟ้า ดังรูป 1.10



รูปที่ 1.10 รูปแบบการจัดวางขั้วไฟฟ้าในการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเมื่อขั้ว A และ B เป็นขั้วกระแสไฟฟ้าและขั้ว M และ N เป็นขั้วศักย์ไฟฟ้า

ในกรณีที่ขั้วไฟฟ้าลบอยู่ใกล้ขั้วไฟฟ้าบวกดังรูปที่ 1.10 ศักย์ไฟฟ้า V_M จะเป็นผลรวมของศักย์ไฟฟ้า V_{MA} จากขั้วไฟฟ้าบวกที่ A และ V_{MB} จากขั้วไฟฟ้าลบที่ B

$$V_M = V_{MA} + V_{MB}$$

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{MA} - \frac{1}{MB}\right)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$V_N = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{NA} - \frac{1}{NB}\right)$$

ดังนั้น

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi}\{(\frac{1}{MA} - \frac{1}{MB}) - (\frac{1}{NA} - \frac{1}{NB})\}$$

$$\rho = \frac{2\pi\Delta V}{I\left(\left(\frac{1}{MA} - \frac{1}{MB}\right) - \left(\frac{1}{NA} - \frac{1}{NB}\right)\right)} \qquad (1.8)$$

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} G$$

$$G = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{MA} - \frac{1}{NA} - \frac{1}{MB} + \frac{1}{NB}\right)}$$

โดยที่ค่า G เรียกว่าตัวประกอบเชิงเรขาคณิต (geometric factor)

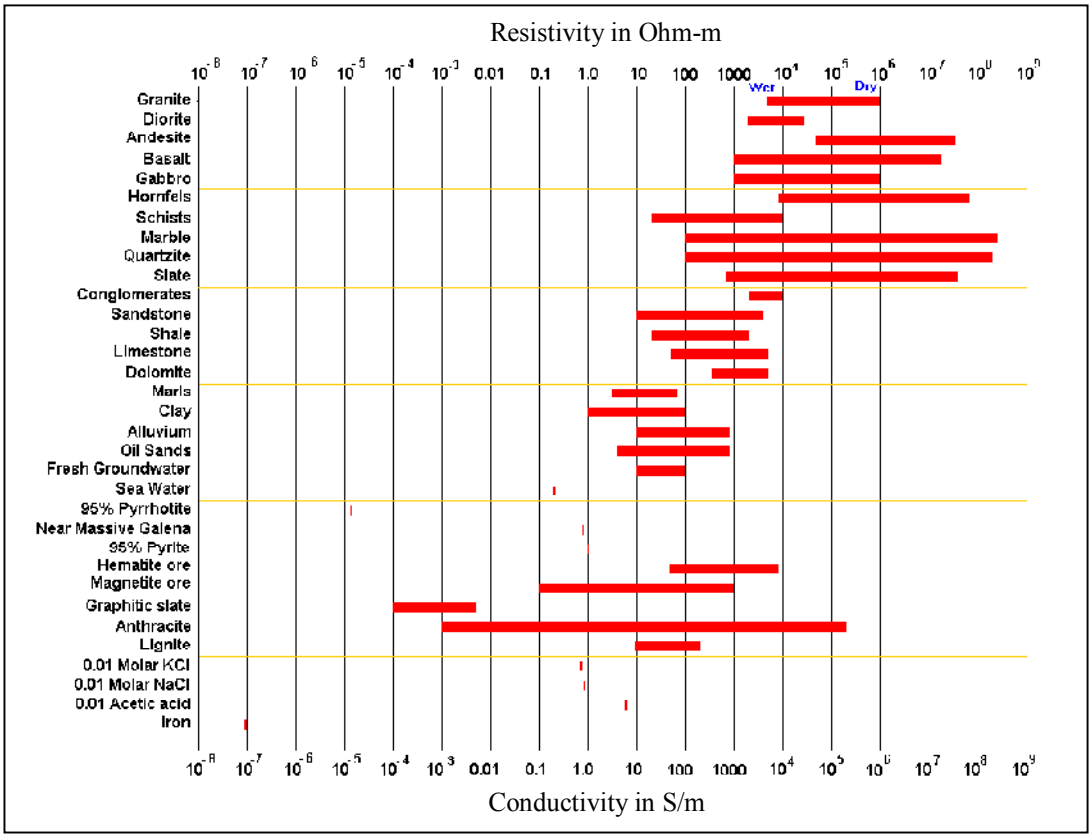
ในกรณีที่ดินมีลักษณะเป็นตัวกลางเอกพันธ์ (homogeneous ground) และค่ากระแสคงที่ สภาพต้านทานซึ่งคำนวณได้จากสมการ (1.8) จะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าหรือตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าแต่ถ้าดินไม่มีลักษณะเอกพันธ์ ค่าสภาพต้านทานจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าและเรียกว่า สภาพต้านทานปรากฏ (ρ_a คือ apparent resistivity) ซึ่งสามารถใช้สมการ (1.8) เป็นสมการพื้นฐานซึ่งใช้คำนวณค่าสภาพต้านทานปรากฏสำหรับการจัดวางรูปขบวนไฟฟ้าใดๆ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของหินจะแตกต่างกันโดยจะขึ้นอยู่กับชนิดของหิน ความหนาแน่น ความพรุน ขนาดและรูปร่างของช่องว่าง ปริมาณและคุณภาพของน้ำและอุณหภูมิดังรูปที่ 1.11 โดยปกติ หินหรือแร่ประกอบหินโดยทั่ว ๆไป เช่น ควอร์ตซ์ เฟลสปาร์ ไมก้า และอื่น ๆจะไม่นำไฟฟ้ากล่าวคือ เป็นฉนวนแต่เนื่องจากหินมีช่องว่างซึ่งมีน้ำหรือ

สารละลายเกลือแร่ละลายกักเก็บอยู่ อาจเป็นในลักษณะเพียงบางส่วน หรืออิ่มตัวทั้งหมด สารละลายหรือน้ำเหล่านี้จึงเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านไปมาในตัวหินได้

ระเบียบวิธีปฏิบัติสำรวจวัดสภาพต้านทานมี 2 วิธี คือ

1) การหยั่งทางไฟฟ้าในแนวดิ่ง (Vertical Electrical Sounding, VES)

เพื่อสำรวจหาผิวรอยต่อในแนวระดับระหว่างชั้นดินโดยมีเงื่อนไขว่าสภาพต้านทานของดินเปลี่ยนแปลงตามความลึกเท่านั้นโดยไม่เปลี่ยนแปลงทางแนวราบ เช่น กรณีของพื้นที่ดินตะกอนที่มีมุมเทน้อยหรือในกรณีที่ชั้นหินวางตัวราบในแนวนอน VES เป็นเทคนิคซึ่งนิยมใช้สำหรับงานสำรวจด้านธรณีเทคนิค (geotechnical survey) เพื่อกำหนดความหนาของเปลือกดิน (overburden) สำหรับงานอุทกธรณีวิทยาใช้สำหรับหาชั้นหินอุ้มน้ำใต้ดิน

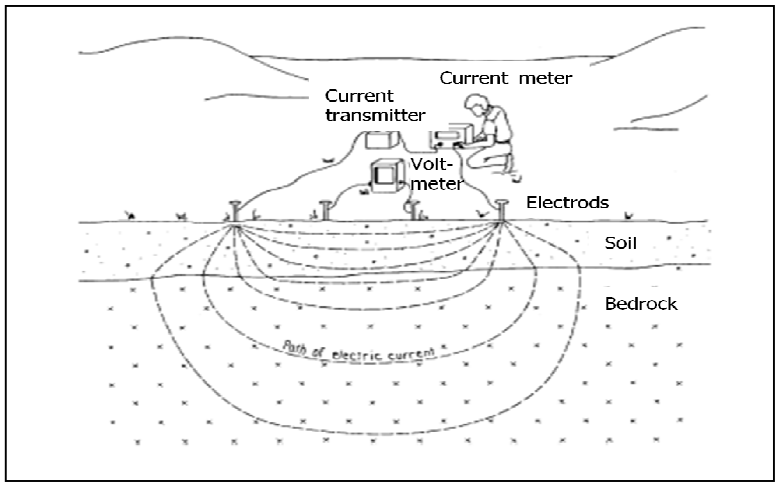


รูปที่ 1.11 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดิน หินและแร่ (Loke, 2004)

2) การทำแผนที่ทางไฟฟ้า (electrical mapping)

วัตถุประสงค์เพื่อสำรวจการแปรผันตามแนวราบของสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินมีประโยชน์สำหรับการตรวจหาวัตถุเชิงตำบลที่มีลักษณะไม่เอกพันธ์ และอยู่ที่ระดับตื้นและเป็นที่นิยมในงาน

สำรวจแหล่งแร่ และการลากขอบเขตด้านธรณีวิทยารอยแตกและโพรงเป็นระเบียบวิธีการสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้สร้างแบบจำลองลักษณะทางกายภาพของพื้นโลกมีอยู่จำนวนมาก สำหรับระเบียบวิธีวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้านั้นถูกใช้อย่างกว้างขวาง นั่นคือแบบจำลองค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียม 2 มิติ ซึ่งมีรูปแบบการจัดวางขั้วไฟฟ้าในการสำรวจลักษณะเดียวกันกับเทคนิคการสำรวจแบบหยั่งลึก ประกอบด้วย Wenner, Schlumberger และ dipole-dipole



รูปที่ 1.12 วงจรไฟฟ้าของการสำรวจด้วยวิธีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (ดัดแปลงจาก Robinson and Coruh, 1988)

1.6 การตรวจเอกสาร

1.6.1 ธรณีวิทยาสัณฐานรอยเลื่อนและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษาวิจัย โดยเลือกพื้นที่สำรวจทางธรณีฟิสิกส์เพื่อยืนยันผลการแปลความการสำรวจจากระยะไกลและการสำรวจธรณีสัณฐานรอยเลื่อนด้วยกัน 3 พื้นที่ ดังต่อไปนี้

1.6.1.1 ลักษณะทั่วไปของภูมิประเทศและธรณีสัณฐานของพื้นที่ศึกษาที่ 1 ตำบลเขามีเกียรติ อำเภอสะเดา นั้นมีสภาพพื้นที่เป็นที่ราบทางทิศเหนือ มีเทือกเขาทางด้านทิศใต้, ทิศ-ตะวันออก และทิศตะวันตกทำให้มีลักษณะภูมิประเทศแบบแอ่งกระทะ ลักษณะทางภูมิศาสตร์ดังกล่าวทำให้คลองสายต่างๆ ของอำเภอหาดใหญ่มีต้นกำเนิดจากคลองของอำเภอสะเดาโดยทั่วไป แล้วพื้นที่บริเวณตอนกลางเป็นที่ราบลูกคลื่นลอนลาดหรือลอนชัน เนื่องจากถูกลำธารขนาดเล็กไหลตัดผ่าน ในอดีตพื้นที่บริเวณนี้เคยเป็นลานตะพักลำน้ำระดับต่ำมาก่อนและเกิดการเปลี่ยนแปลงมาทางธรณี การกัดเซาะของทางน้ำเปลี่ยนแปลงไป ประกอบกับมีน้ำสายเล็ก ๆ กัดเซาะไหลผ่าน จึง

ทำให้พื้นที่ราบเดิมถูกกัดเซาะและถูกตัดออกเป็นช่วง ๆ กลายเป็นพื้นที่ลูกคลื่นสูง ๆ ต่ำ ๆ มีระดับความสูงของพื้นที่ระหว่าง 26 ถึง 240 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

รอยเลื่อนที่พบบนหน้าผาในพื้นที่ตำบลเขามีเกียติ (ดังรูป 1.13) อยู่ในหินดินดานและหินทรายในยุคไทรแอสซิก โดยพบการสลับชั้นของหินดินดานและหินทรายอย่างชัดเจน วัดมุมเทได้เท่ากับ 60° และแนวระดับได้ N54°W อย่างไรก็ตามจากหลักฐานที่พบยังไม่สามารถยืนยันได้ว่ารอยเลื่อนชนิดนี้เป็นรอยเลื่อนชนิดใด โดยคาดว่าลักษณะธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษานี้เกิดเป็นกลุ่มรอยเลื่อน (faults zone) อันเนื่องมาจากการดันตัวของหินอัคนีในยุคไทรแอสซิก ในพื้นที่นี้หรือในบริเวณใกล้เคียงซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นฮอร์ส (horst) ทางด้านตะวันออกของแอ่งหาดใหญ่ ที่ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกันกับบริเวณตำบลนาหม่อมซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษานี้

รูปที่ 1.13 รอยเลื่อนที่พบบนหน้าผาในพื้นที่ตำบลเขามีเกียติ อำเภอสะเดา

1.6.1.2 ลักษณะทั่วไปของภูมิประเทศและธรณีสัณฐาน ของพื้นที่ศึกษาที่ 2 บ้านนา-หม่อม อำเภอนาหม่อม ลักษณะภูมิประเทศประกอบด้วยที่ราบลุ่มตอนกลางของพื้นที่และมีภูเขาล้อมรอบทั้งสี่ด้านซึ่งประกอบด้วย ทิศเหนือมีเขาคอหงส์ ทิศตะวันตกมีเขาคันหลาว ควนจง และควนป่ายาง ซึ่งเป็นที่ตั้งของเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์อยู่ทางลาดเขาด้านทิศตะวันออก และเหมืองแร่ทุ่งขมิ้นอยู่ทางทิศเหนือมีคลองหวะเป็นคลองสายหลัก ไหลไปเชื่อมต่อกับคลองอู่ตะเภา ผ่านอำเภอ

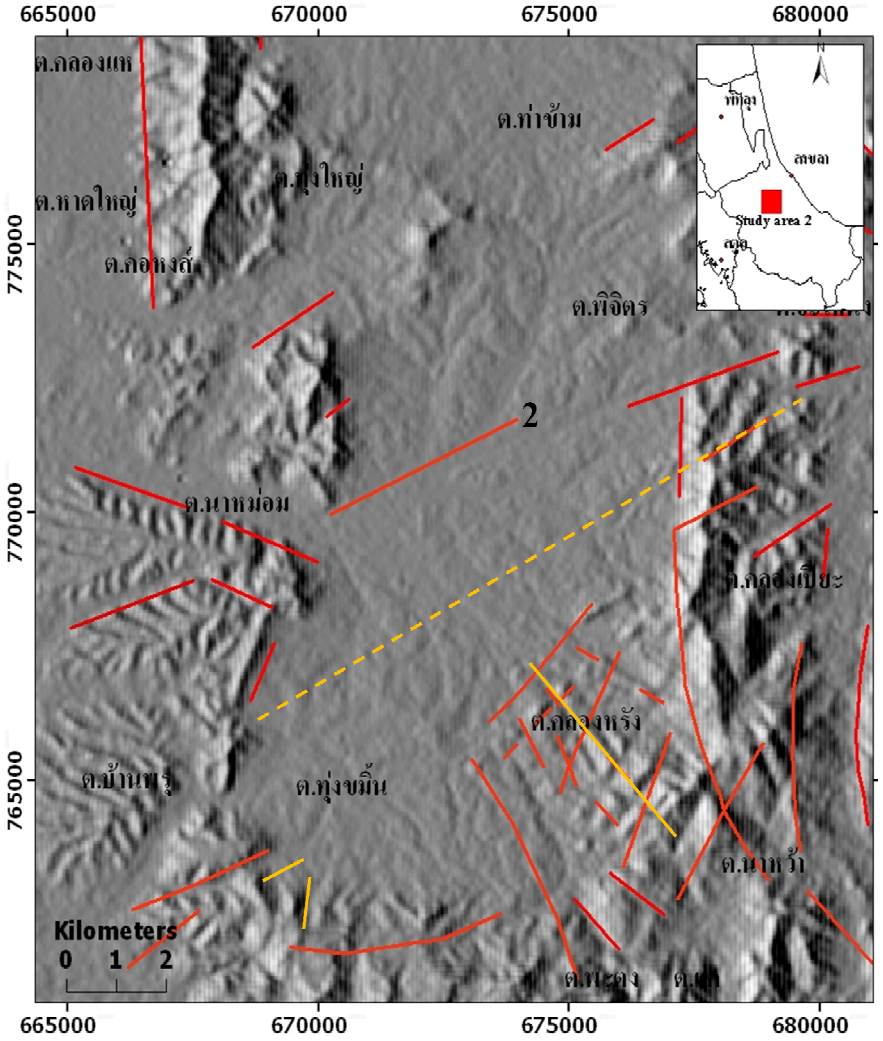
หาดใหญ่ไปออกสู่ทะเลสาบสงขลา ลักษณะธรณีวิทยาของอำเภอนาหม่อมดังรูปที่ 1.19 ประกอบด้วย หินตะกอน หินแปร หินอัคนี และ ดิน ทราย กรวด ที่ยังไม่จับตัว ทางด้านทิศตะวันตกเป็นหินตะกอนและหินแปร มีหินอัคนีแทรกอยู่ทางทิศตะวันออกวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ หินตะกอนและหินแปรมีอายุประมาณต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัส หินอัคนีมีอายุประมาณปลายยุคไทรแอสซิกถึงต้นยุคจูแรสซิก และ ดิน ทราย กรวด ที่สะสมในยุคควอเทอร์นารี (ธงชัย พึ่งรัศมี, 2527) หินแกรนิตที่พบเป็นพวกเนื้อดอก เม็ดหยาบ บางแห่งมีเม็ดขนาดกลางและเล็ก ประกอบด้วยแร่หลัก คือ ควอตซ์ (quartz, SiO_2) เฟลด์สปาร์ แร่รองคือ ไบโอไทต์ (Biotite, $K(Mg, Fe^{2+})_3(Al, Fe^{3+})Si_3O_{10}(OH)_2$) และมัสโคไวต์ (muscovite, $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$) ยกเว้นบริเวณที่เป็นหย่อมหินอัคนีเป็นพวกลิวโคแกรนิต (leucogranite) ซึ่งมีแร่ดำปนอยู่น้อยมากหรือแร่ดำถูกเปลี่ยนสภาพไปหมด โครงสร้างทางธรณีวิทยาโดยทั่วไปของบริเวณนี้ส่วนใหญ่เป็นผลจากเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาครั้งล่าสุด คือในระยะเวลาใกล้กับการดันตัวของหินหนืดแกรนิต (granitic magma) เกิดการคดโค้งของชั้นหิน การเลื่อน และการดันตัวของหินแกรนิตในแนวเหนือ-ใต้ หินแกรนิตในเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์มีการแปรสภาพด้วยอิทธิพลของก๊าซและสารละลายร้อน โดยตรวจพบแร่เฟลด์สปาร์แปรสภาพไปเป็นแร่ดินขาว (kaolinite, $Al_2Si_2O_5(OH)_4$) และมีการพบแร่กัมมันตรังสีตระกูลยูเรเนียม คือ ทอร์เบอร์ไนต์ โดยการแทรกในหินแกรนิต บริเวณเหมืองแร่ดีบุก ในเขตอำเภอนาหม่อม (ธงชัย พึ่งรัศมี, 2527)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในพื้นที่สำรวจที่ 2 ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม

สุกิจ อติพันธ์ (2550) ทำการวัดความเข้มข้นธาตุกัมมันตรังสีในตัวอย่างดิน ดินก้นบ่อ ทรายคลอง และหินแกรนิตจากอำเภอนาหม่อม ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา หัววัดรังสีแบบ HPGe มีวัตถุประสงค์เพื่อหาว่าในตัวอย่างดิน ทราย และหินแกรนิตมีปริมาณยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียมมากน้อยเพียงใด ผลการสำรวจพบว่าเมื่อเปรียบเทียบผลการตรวจวัดรังสีแกมมาที่ผิวดินพบว่าพื้นที่ที่มีความเข้มข้นธาตุกัมมันตรังสีสูง สอดคล้องกันทั้งที่ผิวดิน และในตัวอย่างดิน ดินก้นบ่อ ทรายคลอง หินแกรนิต คือ ตำบลคลองหรังและตำบลทุ่งขมิ้น ซึ่งสัมพันธ์กับหินแกรนิตที่ปรากฏในแผนที่ธรณีวิทยา (รูปที่ 1.19) โดยเฉพาะบริเวณที่พบหินแกรนิตผุและรอยเลื่อนในตำบลคลองหรังส่วนตำบลที่มีความเข้มข้นธาตุกัมมันตรังสีต่ำ คือ ตำบลนาหม่อมและตำบลพิจิตร ซึ่งสัมพันธ์กับตะกอนควอเทอร์นารีที่ปรากฏในแผนที่ธรณีวิทยา ยกเว้นตอนกลางของพื้นที่ซึ่งตะกอนควอเทอร์นารีที่ปกคลุมหินแกรนิตอาจจะบางมาก หรือ อาจจะเป็นผลจากการสะสมของตะกอนที่ถูกชะล้างหรือพัดพาไปตามแนวลำคลองจากภูเขาหินแกรนิตทางตอนใต้ของพื้นที่นี้ การมีปริมาณรังสีค่อนข้างสูงในพื้นที่นี้ น่าจะเกิดจากหินแกรนิตผุ โดยหินแกรนิตเหล่านี้ผุพังแตกสลายกลายเป็นดินและทราย โดยเสนอแนะว่าเพื่อตรวจสอบว่ามีแนวรอยเลื่อนบริเวณตอนกลาง

ของอำเภอนาหม่อม (รูปที่ 1.14) หรือไม่น่าจะทำการสำรวจด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ เช่น การวัดคลื่นไหวสะเทือนชนิดสะท้อน การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า การวัดเรดาห์หยั่งความลึก และการวัดเรดอน เป็นต้น

โดยที่แนวที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อนตามที่ สุกิจ อติพันธ์ (2550) ได้คาดการณ์ไว้นั้นวางตัวในทิศทางเดียวกันกับแนว lineament หมายเลข 2 ซึ่งวางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้มีทิศทางประมาณ N65^{0}E เหมือนกันโดยมีระยะห่างระหว่างแนวทั้งสองเท่ากับ 2.5 กิโลเมตร



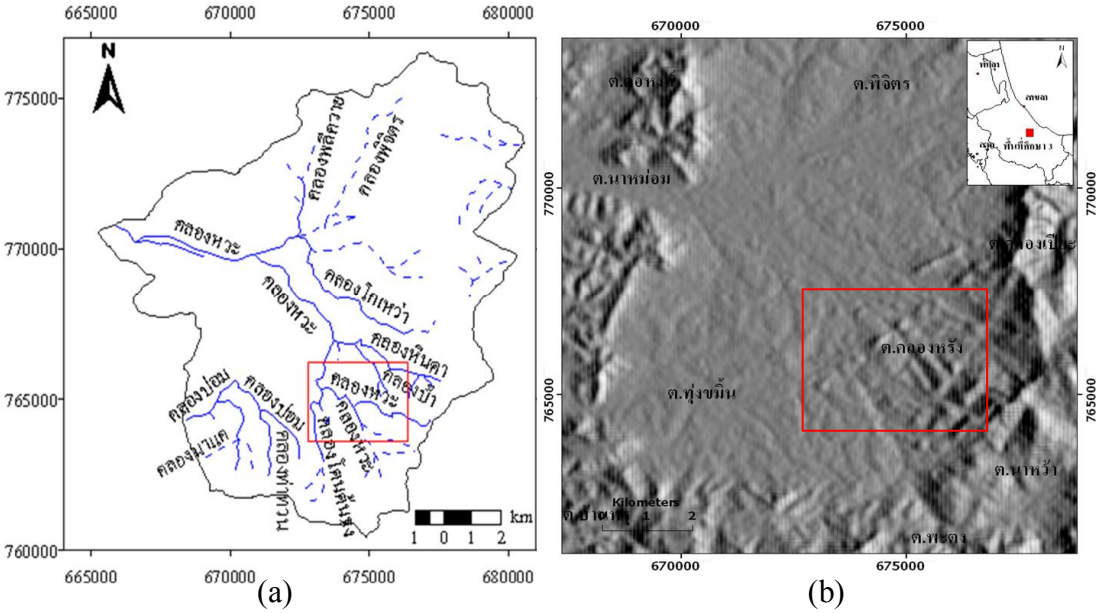
รูปที่ 1.14 แสดงแนวที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อน (เส้นประสีส้ม, สุกิจ อติพันธ์, 2550) ในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ตำบลนาหม่อม พร้อมแนว lineament (หมายเลข 2) ในพื้นที่ศึกษาที่ 2

1.6.1.3 ลักษณะทั่วไปของภูมิประเทศและธรณีสัณฐาน ของพื้นที่ศึกษาที่ 3 ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม ลักษณะทางภูมิประเทศและธรณีสัณฐานโดยทั่วไปมีลักษณะเช่นเดียวกับพื้นที่สำรวจที่ 2 ในตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อมหัวข้อ 1.6.1.2 โดยพื้นที่ศึกษานี้อยู่ทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาที่ 2 โดยแนวลำคลองที่ศึกษานั้นเมื่อพิจารณาในแผนที่ธรณีวิทยาดังรูปที่ 1.16 นั้นพบว่าอยู่บนหินแกรนิต เนื้อผลึกสองขนาด สีเทา หินไบโอไทต์-ฮอร์นเบลนด์ ในยุคไทรแอสซิกโดยคลองที่เราสนใจที่คาดว่าจะมีรอยเลื่อนตัดผ่านได้แก่คลองหวะซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอนาหม่อมที่แสดงในกรอบสีแดงดังรูป 1.15

เมื่อพิจารณาภาพถ่ายดาวเทียมดังจะเห็นในรูปที่ 1.15 (b) พบบริเวณการตัดเป็นท่อน ๆ ของแนวเขา (truncation of beds) และพบทางน้ำ (คลองหวะ) ที่มีลักษณะธรณีสัณฐานที่บ่งชี้ถึงรอยเลื่อนอย่างเช่นทางน้ำหักงอดังรูป 1.17 เมื่อเข้าไปสำรวจในพื้นที่จริงจะพบว่าทางน้ำหักงอมีแนวยาวประมาณ 200 เมตร พร้อมกันนั้นได้พบชั้นหินบางแห่งถูกตัดแทรกด้วยสายแร่ควอตซ์ (quartz vein) ดังรูปที่ 1.18 ทั้งนี้คาดว่าเกิดพร้อมกับการดันตัวของแกรนิตด้านล่าง

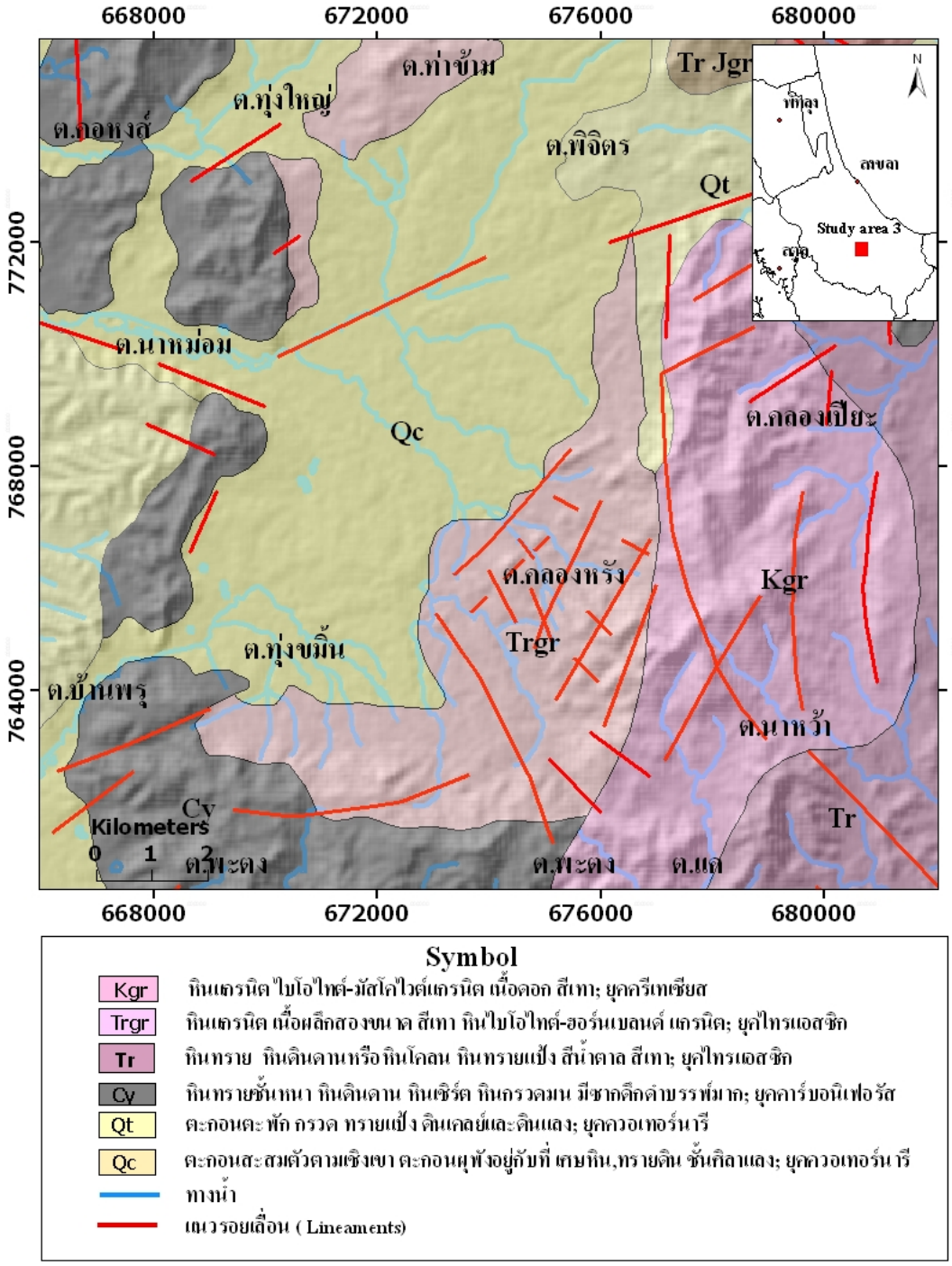
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในพื้นที่สำรวจที่ 3 ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม

(ธงชัย พึ่งรัศมี, 2527)โครงสร้างทางธรณีวิทยาโดยทั่วไปของบริเวณนี้ส่วนใหญ่เป็นผลจากเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาครั้งล่าสุด คือเกิดขึ้นในระยะเวลาใกล้กับการดันตัวของหินหนืดแกรนิต (granitic magma) เกิดการคดโค้งของชั้นหิน การเลื่อน และการดันตัวของหินแกรนิตในแนวเหนือ-ใต้ จากแนวรอยเลื่อนที่เคยศึกษามาก่อนหน้านี้โดย (ธงชัย พึ่งรัศมี, 2527) ที่อ้างอิงถึงรอยเลื่อนในพื้นที่ตำบลคลองหรังดังรูปที่ 2.34 ที่เกิดขึ้นในบริเวณหินแกรนิต (ต้นยุคจูแรสซิก-ปลายยุคโทรแอสซิก) นั้นพบว่าเป็นไปในทำนองเดียวกันกับตำแหน่งของทางน้ำที่หักงอในพื้นที่ศึกษา ซึ่งแนวรอยเลื่อนนั้นวางตัวในทิศทางเดียวกันคือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ -ตะวันตกเฉียงใต้และทำมุม N40^{o}E-N55^{o}E โดยประมาณ

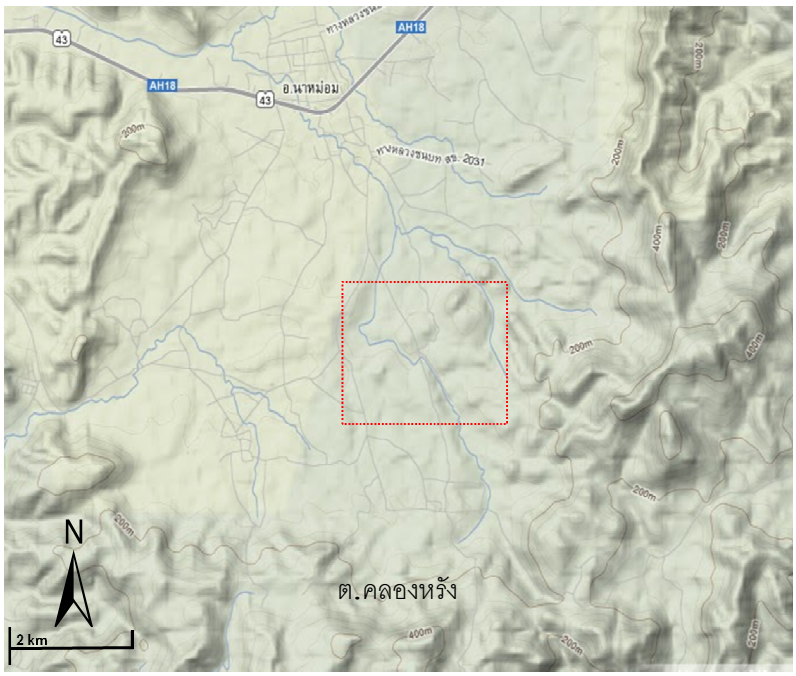


รูปที่ 1.15 ลักษณะคลองในอำเภอนาหม่อม (ดัดแปลงจาก ธงชัย พึ่งรัศมี, 2527) (a) แสดงตำแหน่งคลองหวะและ (b) ภาพถ่ายดาวเทียมชนิด DEM ในพื้นที่ศึกษาที่ 3

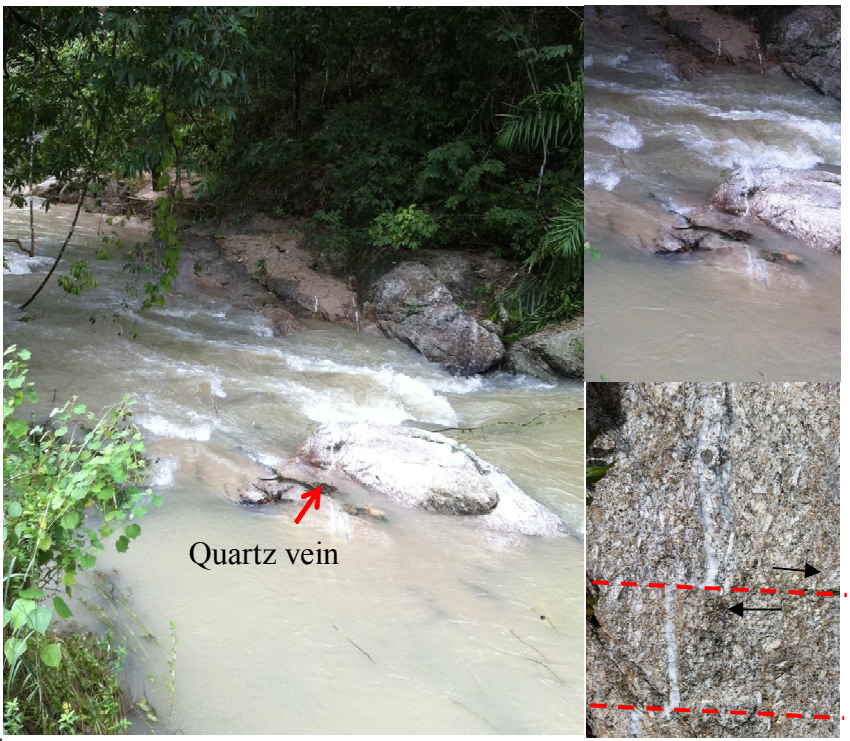
(สุกิจ อติพันธ์, 2550) ได้ศึกษาและวิจัยเพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่มีรังสีภูมิหลังสูง ในเขตอำเภอนาหม่อมจังหวัดสงขลา ด้วยวิธีวัดรังสีแกมมาพบว่าความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีที่มีค่าสูงจะกระจายตัวรอบๆ รอยเลื่อนและหินแกรนิตในตำบลคลองหรัง (จเร วุฒิศาสน์, 2548) ศึกษาความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้นในพื้นที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา พบว่าเส้นคอนทัวร์ของค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ระหว่าง 100 – 250 mBq/l จับกลุ่มอยู่เป็นบริเวณกว้างใน ตำบลคลองหรัง และกินเนื้อที่เข้าไปใน ตำบลนาหม่อมทางทิศตะวันตกเมื่อพิจารณาแผนที่ธรณีวิทยาพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีชุดหินแกรนิตและรอยเลื่อนหาก พิจารณาค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 ระหว่าง 40 - 120 mBq/l ตีความได้ว่าเรเดียม-226 อาจจับกลุ่มกันเป็นแนวจาก ตำบลพิจิตร ลงมาถึงตำบลทุ่งขมิ้น ต่อเนื่องจนถึงเหมืองทุ่งโพธิ์ตามเส้นประที่ลากไว้ใน รูปที่ 1.20 เทียบเคียงแนวต่อเนื่องดังกล่าว กับแผนที่ธรณีวิทยา (รูปที่ 1.19) บริเวณแนวต่อเนื่องนี้มีความสัมพันธ์กับรอยเลื่อนที่ปรากฏอยู่ในทางใต้ของตำบลทุ่งขมิ้นในแผนที่ธรณีวิทยา ทำให้ความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในระบบน้ำใต้ดิน มีการแสดงตัวในลักษณะเช่นนี้คาดว่าแนวต่อเนื่อง (เส้นประในรูปที่ 1.20) ดังกล่าวเป็นแนวรอยเลื่อนที่มีทิศทาง ตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ



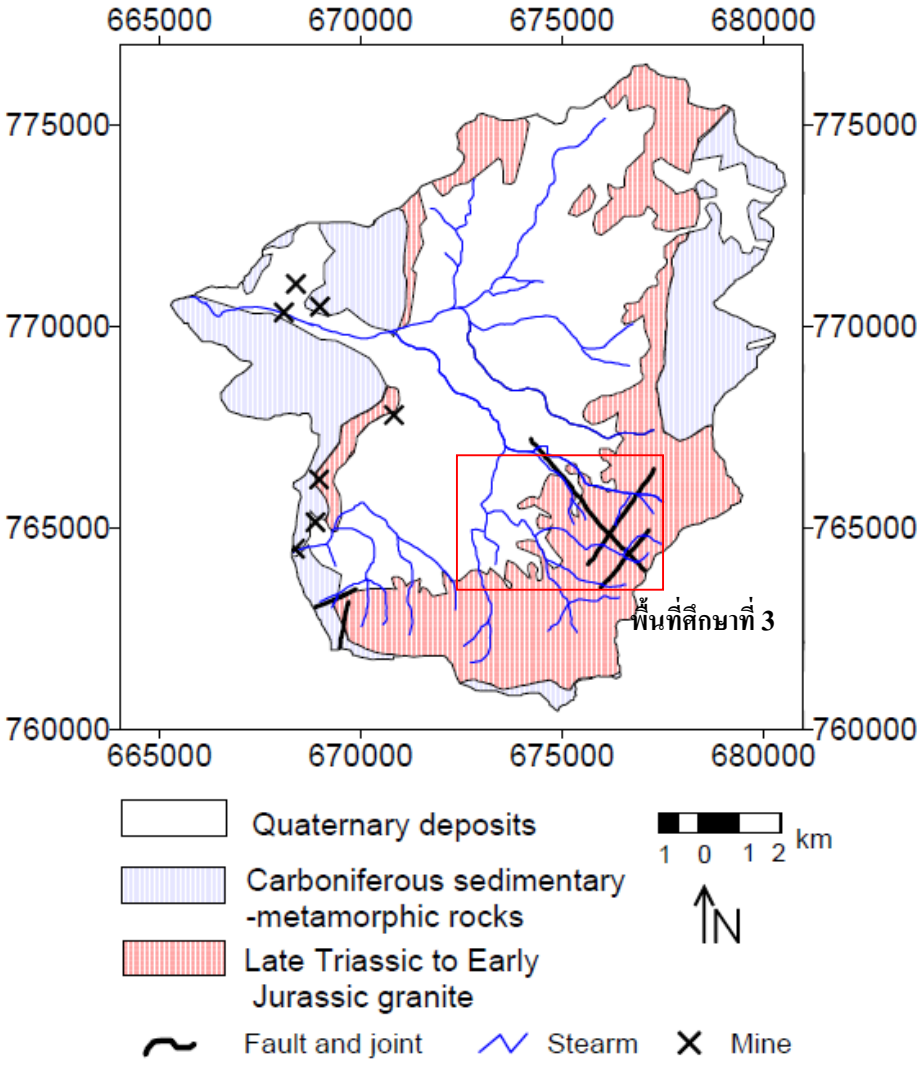
รูปที่ 1.16 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาที่ 3



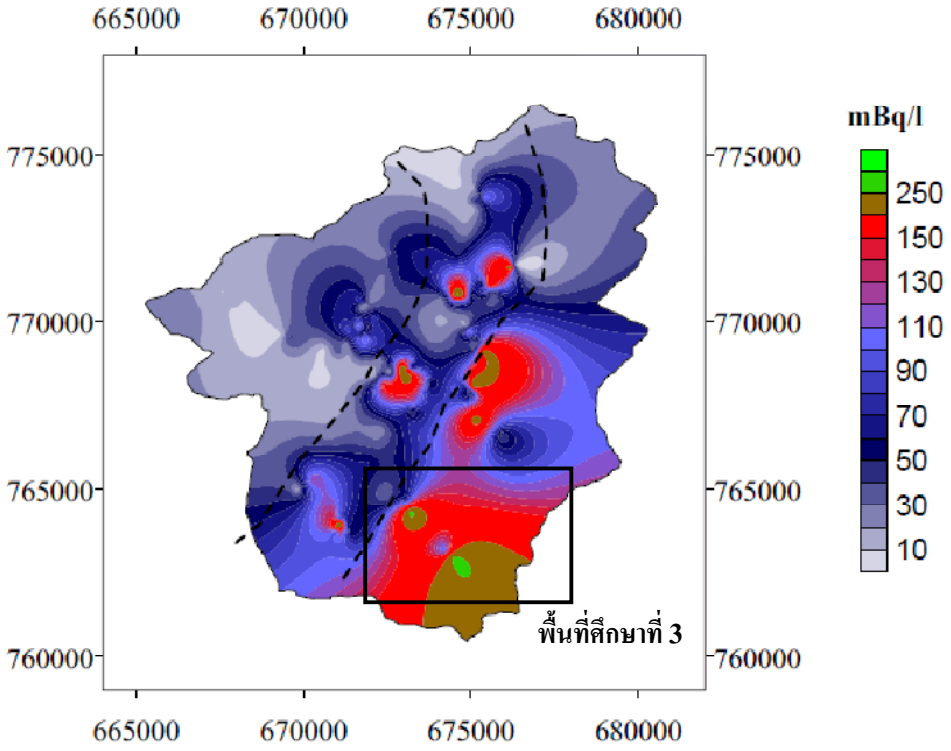
รูปที่ 1.17 รูปบริเวณทางน้ำหักงอในพื้นที่ศึกษาที่ 2 ตำบลคลองหรัง (http://www.maps.google.com)



รูปที่ 1.18 ชั้นหินที่ถูกตัดแทรกด้วยสายแร่ควอตซ์ (quartz vein) ปรากฏบนหินโผล่ กลางลำคลองหวะ ซึ่งอยู่ในพื้นที่ตำบลคลองหรัง



รูปที่ 1.19 รอยเลื่อนที่ในพื้นที่ศึกษาที่ 3 ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม (ดัดแปลงจาก ธงชัย พึ่งรัศมี, 2527)



รูปที่ 1.20 คอนทัวร์ความเข้มข้นของเรดอน-226 น้ำบ่อตื้นในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา เส้นประแทนตำแหน่งที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อน (จเร วุฒิศาสน์, 2548)

1.6.2 รอยเลื่อนที่เคยศึกษาในบริเวณจังหวัดสงขลา

1.6.2.1 กรมทรัพยากรธรณี (2540) รอยเลื่อนในภาคใต้ตอนล่างและจังหวัดสงขลา

รูปที่ 1.15

1) รอยเลื่อนสะบ้าย้อย พาดผ่านอำเภอสะบ้าย้อย จังหวัดสงขลา ประกอบด้วยรอยเลื่อนบริวารในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ทางตอนบน และแนวทิศเหนือ-ใต้ทางตอนล่าง มีความยาวประมาณ 31 กิโลเมตร

2) รอยเลื่อนสตูล พาดผ่านอำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา อำเภอควนกาหลง อำเภอควนโดน และอำเภอเมือง จังหวัดสตูล ประกอบด้วยรอยเลื่อนบริวารในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ทางตอนบน และแนวทิศเหนือ-ใต้ทางตอนล่าง มีความยาวประมาณ 49 กิโลเมตร

ธงชัย พึ่งรัศมี (2529) คาดว่าจะพบรอยเลื่อนอยู่ที่ตำแหน่งทางด้านตะวันออกของแอ่งหาดใหญ่ตรงรอยต่อของหินในยุคไทรแอสซิกกับยุคคาร์บอนิเฟอรัส (หมายเลข1 ในรูปที่ 1.22)

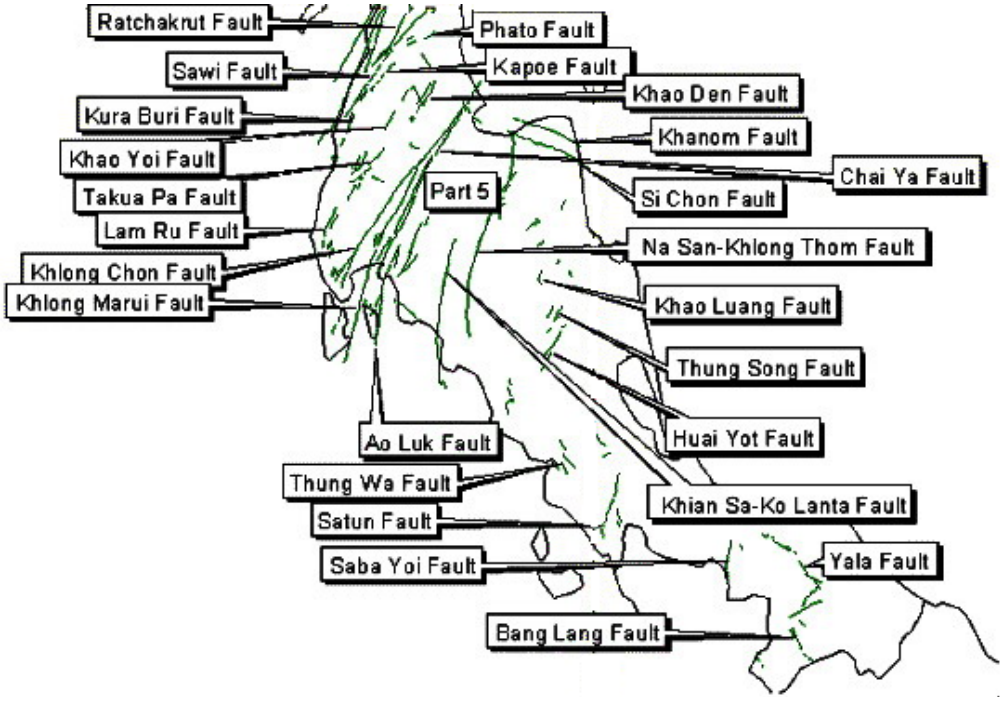
ธงชัย พึ่งรัศมี (2535) ได้กำหนดรอยเลื่อนเด่น 3 ทิศทาง คือ NNE, N-S และWNW (ดังรูปที่ 1.23)

1) รอยเลื่อน NNE เป็นรอยเลื่อนใหญ่มี 3 บริเวณ โดยมี

1.1) รอยเลื่อนนาทวี ผ่านอำเภอนาทวี ที่ราบลุ่มน้ำนาทวี-อำเภอจะนะ ออกสู่อ่าวไทยมีความยาวประมาณ 35 กิโลเมตร

1.2) ทางตะวันออกของควนกรด (693500E, 749000N) ผ่านตะวันออกของควนลาน (696500E, 756000N) -ควนจำศีล(698500E, 759500N)-บ้านปากบางเทพา (702100E, 768200N) ออกสู่อ่าวไทยมีความยาว 23 กิโลเมตร

1.3) รอยเลื่อนวังใหญ่ ทางตะวันออกของควนหมัก (706500E, 742700N), บ้านวังใหญ่ (706500E, 744700N), บ้านโล๊ะบอน (706600E, 746900N), บ้านใหม่เหนือ (706800E, 750700N) มีความยาวประมาณ 15 กิโลเมตร



รูปที่ 1.21 รอยเลื่อนในภาคใต้และจังหวัดสงขลา (กรมทรัพยากรธรณี, 2540)

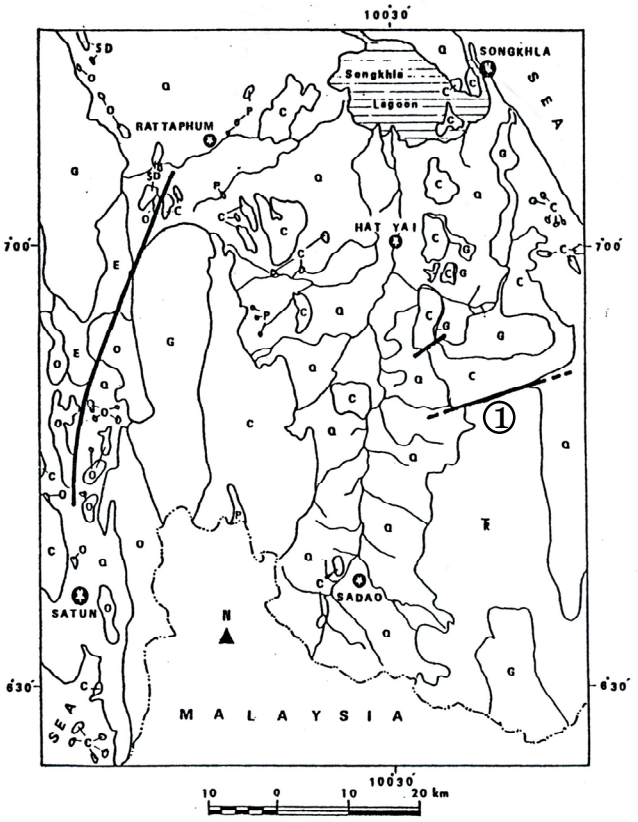
2) รอยเลื่อนทิศทาง N-S เป็นรอยเลื่อนขนาดเล็กพบอยู่ 3 บริเวณ

2.1) บ้านแซ๊ะ (701600E, 757500N) รอยเลื่อนมีความยาวประมาณ 1 เมตรพบในหินเชิร์ตคดโค้งสลับหินทรายเม็ดเล็ก

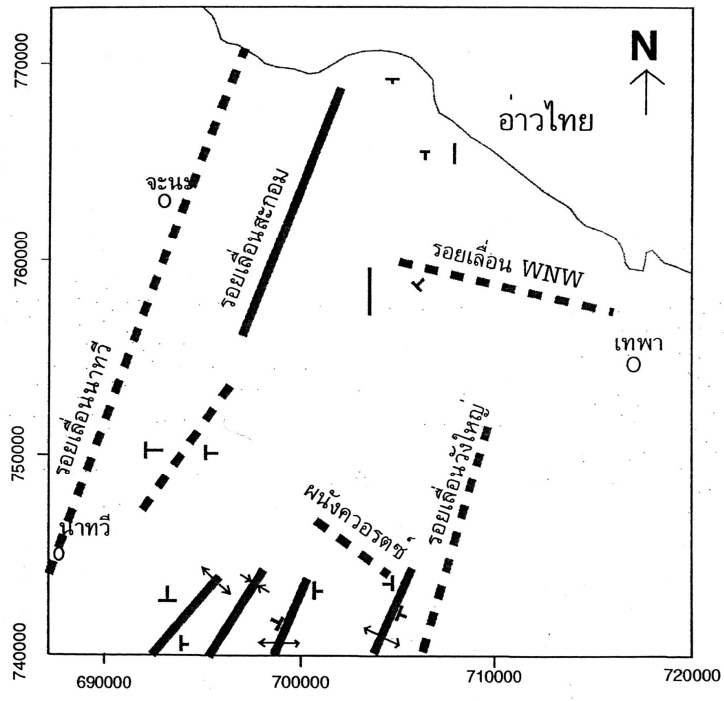
2.2) ควนบุเราะ(707700E, 764800N) พบในหินเชิร์ตสลับหินโคลน

2.3) ควนลิวง (695100E, 748700N) พบในชั้นหินทรายสลับกับหินดินดาน

3) รอยเลื่อนทิศทาง WNW เริ่มจากบริเวณบ้านทุ่งเนียด (710400E, 759100N) ไปควนวังพัง (702200E, 763100N) มีความยาวประมาณ 13 กิโลเมตร

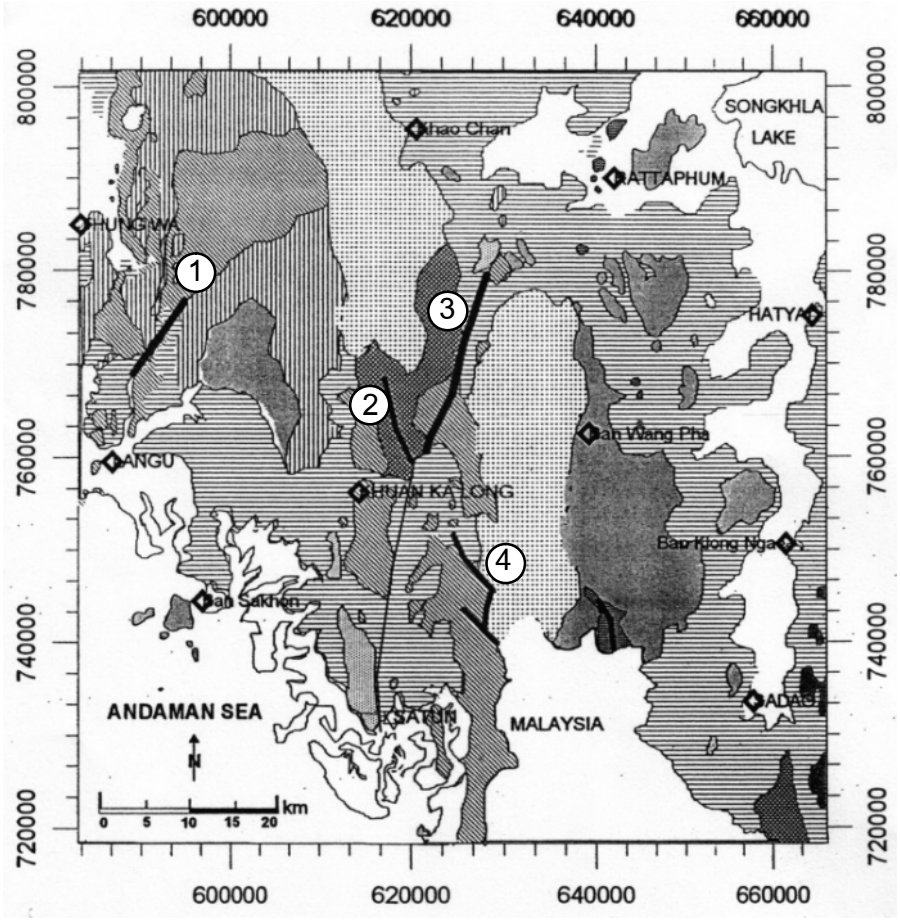


รูปที่ 1.22 ธรณีวิทยาและรอยเลื่อนบริเวณแอ่งหาดใหญ่ (ธงชัย พึ่งรัศมี, 2529)



รูปที่ 1.23 แสดงรอยเลื่อนในจังหวัดสงขลา (พวงทิพย์ ร่างเล็ก, 2538)

ธงชัย พึ่งรัศมี (2532) ตรวจพบรอยเลื่อนที่สำคัญในเขตอำเภอละงู แนวประมาณ N40^{O}E ในหินออร์โดวิเชียนยาวประมาณ 7 กิโลเมตร (หมายเลข 1 ในรูปที่ 1.24) ในเขตอำเภอควนกาหลง มีรอยเลื่อนในหินแคมเบรียน แนวประมาณ N10^{O}W ยาวประมาณ 10 กิโลเมตร (หมายเลข 2 ในรูปที่ 1.24) ในบริเวณอำเภอรัตภูมิ มีรอยเลื่อนแนว N25^{O}E ตรงรอยสัมผัสของหินแคมเบรียนและหินออร์โดวิเชียน ยาวประมาณ 7 กิโลเมตร (หมายเลข 3 ในรูปที่ 1.24) บริเวณอุทยานแห่งชาติทะเลบันมีรอยเลื่อน แนวประมาณ N25 ^{0} – 30 ^{0}W ยาวมากกว่า 7 กิโลเมตร ระหว่างหินปูนออร์โดวิเชียนกับหินแกรนิต (หมายเลข 4 ในรูปที่ 1.24) และที่เขาจังโหลน และในอำเภอรัตภูมิมีรอยเลื่อนในหินเพอร์เมียนแนว N40 ^{0}E ยาวประมาณ 2.5 กิโลเมตร



รูปที่ 1.24 รอยเลื่อนที่ตรวจพบในพื้นที่จังหวัดสงขลา (ธงชัย พึ่งรัศมี, 2532 ; ใน สุรศักดิ์ แก้วอ่อน, 2539)

1.6.3 กลุ่มรอยเลื่อนมีพลังในพื้นที่ภาคใต้

1) กลุ่มรอยเลื่อนระนอง (Ranong fault zone)

เป็นกลุ่มรอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike slip) ที่อยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ประกอบด้วยรอยเลื่อนต่าง ๆ แผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างขนานกันไปจากทะเลอันดามัน จังหวัดระนอง ไปยังอ่าวไทยในทิศตะวันออกเฉียงเหนือที่บริเวณจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และจังหวัดชุมพร ยาวประมาณ 300 กิโลเมตร หินที่ถูกอิทธิพลจากกลุ่มรอยเลื่อนระนองคือ หินยุคคาร์บอนนิเฟอรัส-เพอร์เมียนเป็นส่วนใหญ่ หรือหมวดหินแก่งกระจาน (Garson and Mitchell, 1970) พบว่ากลุ่มรอยเลื่อนเคลื่อนตัวตามแนวระนาบอย่างน้อย 20 กิโลเมตร ต่อมาในช่วงระยะเวลายุคเทอร์เชียรีตอนกลางพบว่า กลุ่มรอยเลื่อนระนองมีการเคลื่อนตัวไปทางขวา (Tapponier et al., 1986)

2) กลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (Klong Marui Fault Zone)

เป็นรอยเลื่อนเหลื่อมข้างเช่นเดียวกับกลุ่มรอยเลื่อนระนองและมีทิศทางขนานกัน คือในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ แผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างจากจังหวัดภูเก็ตและจังหวัดพังงา ฝั่งทะเลอันดามันถึงอ่าวไทยบริเวณ จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นรอยเลื่อนที่สำคัญที่แยกหมวดหินแก่งกระจานยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน ออกจากหินยุคเพอร์เมียน และหินมหายุคมีโซโซอิกที่บริเวณส่วนใต้ของแหลมไทย การเคลื่อนตัวของกลุ่มรอยเลื่อนคลองมารุ่ยนี้มีการเคลื่อนตัวไปทางซ้าย (sinistral) และน่าจะมีผลมาจากการมุดตัว (subduction) ในช่วงยุคจูแรสซิกตอนปลายถึงยุคครีเทเชียส ซึ่งมีการเคลื่อนตัวไปถึงประมาณ 150 กิโมตร (Garson et al., 1970) ในช่วงยุคเทอร์เชียรีตอนกลาง พบว่ากลุ่มรอยเลื่อนคลองมารุ่ยนี้มีการเคลื่อนตัวไปทางขวา (dextral fault) เช่นเดียวกับกลุ่มรอยเลื่อนระนอง (Tapponier et al., 1986)

3) กลุ่มรอยเลื่ยนปัตตานี (Pattani Fault Zone)

คือ รอยเลื่อนที่ต่อมาจากประเทศมาเลเซียแนวเหนือใต้จากเมืองเบตง และเมือง Raub ที่เรียกว่า Tomo-Raub Fault เข้ามาในประเทศไทยบริเวณแม่น้ำสายบุรี ผ่านไปทางด้านตะวันตกของ อำเภอรือเสาะ จังหวัดนราธิวาส ขึ้นไปทางเหนือที่บริเวณ จังหวัดปัตตานี และอาจเลยเข้าไปในอ่าวไทย Tomo-Raub fault ในประเทศมาเลเซียเป็นรอยเลื่อนแบบปกติ ดังนั้นการเคลื่อนตัวของกลุ่มรอยเลื่อนปัตตานีน่าจะเป็นแบบปกติด้วย

1.6.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้การสำรวจจากระยะไกลและการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ในการหารอยเลื่อน

Walker (2006) ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม ในการศึกษารอยเลื่อนมีพลัง ในเขตเมืองเคอร์แมน (Kerman) ประเทศอิหร่าน ซึ่งรอยเลื่อนส่วนใหญ่เหล่านี้เกิดจากแผ่นเปลือกโลกอะราเบียนกับแผ่นยูเรเชียนเคลื่อนที่ชนกัน (Arabia-Eurasia collision) โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในบริเวณกว้าง การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมนั้นจะให้ข้อมูลในบริเวณกว้างเป็นประโยชน์ในการกำหนดขอบเขตของรอยเลื่อนมีพลังในพื้นที่ที่มีการผิดรูปดังกล่าว

Jeng et al (2007) ได้ทดลองใช้การสำรวจคลื่นไหวสะเทือน (seismic survey) กับร่องขุดสำรวจ (tranch) ของรอยเลื่อนชีลุนปู (Chelunpu fault) ประเทศไต้หวัน การศึกษาครั้งนี้แสดงความเป็นไปได้ที่ใช้การสำรวจคลื่นแผ่นดินไหวระดับตื้น กับโครงสร้างระดับตื้น (2-3 เมตร) เหมื่อนกับวิธีสำรวจเรดาร์ทะลุดินที่ใช้กันทั่วไป แต่ในกรณีที่ใกล้ผิวดินประกอบด้วยโคลน และตะกอนก้อนกรวด ทำให้ยับยั้งสัญญาณของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน ก็จะเป็นวิธีที่น่าเชื่อถืออีกหนึ่งทางเลือก โดยจำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดที่มีความถี่สูง

(120-200 Hz) และแอมปลิจูดต่ำ และใช้ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณ(geophone) ให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ (5 เซนติเมตร)

การประยุกต์ใช้การสำรวจจากระยะไกลความละเอียดสูงในพื้นที่ภูเขาขาว ในรัฐเนวาดา (Nevada) และแคลิฟอร์เนีย ในการศึกษาการวางตัวของหน้าผารอยเลื่อนตัดผ่านดินทรายที่ถูกพัดพามาและเนินตะกอนน้ำพารูปพัด (alluvial fans) พบว่าสูงมากกว่า 40 เมตรและทำมุมประมาณ 23 องศากับแนวราบ (Hooper et al., 2003)

กิตติ ขาววิเศษ (2550) ธรณีแปรสัณฐานยุคใหม่ตามแนวรอยเลื่อนปัว จังหวัดน่าน ภาคเหนือของประเทศไทย โดยอาศัยหลักฐานจากข้อมูลการสำรวจจากระยะไกล และการหาอายุตะกอนด้วยวิธีเปล่งแสงด้วยความร้อน ผลการศึกษาวิจัยพบว่า กลุ่มรอยเลื่อนปัว วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ เลื่อนตัวแบบเฉียง มีความยาวรวมทั้งสิ้นประมาณ 130 กิโลเมตร ต่อเนื่องมาจากชายแดนไทย-ลาว ลงมาจนถึงขอบด้านใต้ของแอ่งน่าน สามารถแบ่งออกเป็น 14 รอยเลื่อนย่อย โดยที่รอยเลื่อนปรากฏให้เห็นชัดเจน ผลการแปลความหมายข้อมูลโทรสัมผัสรวมกับการสำรวจภาคสนามพบลักษณะธรณีสัณฐานที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อน ได้แก่ ผาสามเลื่อม ธารเหลี่ยม ผารอยเลื่อน หุบเขาเส้นตรง หุบเขาแก้วไวน์ และสันเขาปิดกั้น ซึ่งธรณีสัณฐานดังกล่าวสามารถพบได้ตลอดแนวรอยเลื่อน

การประยุกต์ใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายดาวเทียม ในการกำหนดตำแหน่งของรอยเลื่อน อย่างเช่น การสำรวจรอยเลื่อนในกรุงเอเทน (Athens) ภายหลังจากเกิดรอยแตกและเกิดแผ่นดินไหว (Ganas et al., 2001) การสำรวจรอยเลื่อนมีพลังในเขตพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและลำปาง-แพร่ ด้วยการแปลความหมายภาพถ่ายทางอากาศและภาพจากดาวเทียม เพื่อให้ได้มาซึ่งลักษณะภูมิประเทศอันเป็นผลจากการแปรสัณฐานจากรอยเลื่อน (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2547)

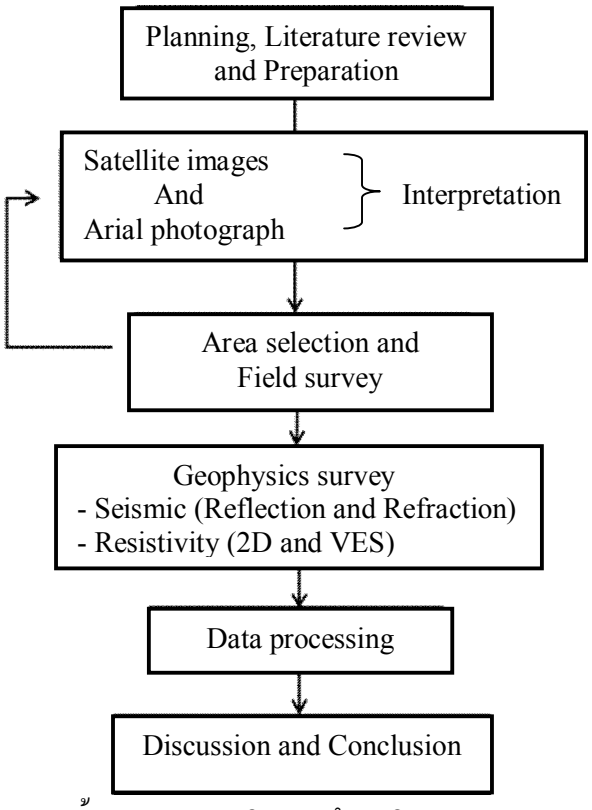
1.7 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการสำรวจข้อมูลระยะไกล และวิธีการธรณีฟิสิกส์ในการหาตำแหน่งของรอยเลื่อน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในงานด้านวิศวกรรม การกำหนดตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวได้ครอบคลุมพื้นที่มากยิ่งขึ้น และการวางผังเมืองเพื่อการพัฒนาพื้นที่ร่วมทั้งในกรณีที่รอยเลื่อนเกิดขึ้นในบริเวณหินแข็ง อาจจะมีศักยภาพเป็นแหล่งน้ำใต้ดินที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในอนาคต

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งขั้นตอนในการวิจัยออกเป็นสองส่วน ประกอบด้วยขั้นตอนการปรับปรุงและแปลความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ประมวลผลข้อมูลภาพด้วยโปรแกรม Envi 4.2 และ ArcGis 9.3 เพื่อกำหนด (lineament) ธรณีวิทยาโครงสร้างแนวเส้นที่สัมพันธ์กับตำแหน่งการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้านธรณีวิทยาและธรณีสัณฐานเพื่อนำไปสู่การวางแผนกำหนดตำแหน่งของแนววัดในการสำรวจด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์เพื่อยืนยันผลการแปลความจากการสำรวจจากระยะไกลรายละเอียดดังรูปที่ 2.1 ได้แก่ วิธีการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนและแบบหักเห ร่วมกับการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ทั้งแบบ VES และ 2D resistivity ทั้งนี้อาจจะแตกต่างกันไปโดยขึ้นอยู่กับสมมติฐานและลักษณะของรอยเลื่อนที่คาดไว้ในแต่ละพื้นที่วิจัย



รูปที่ 2.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ในงานวิจัยครั้งนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนได้แก่ 1) วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการสำรวจด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์และ 2) วัสดุและอุปกรณ์รวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการและแปลความหมายข้อมูล

2.1.1 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการสำรวจด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์

2.1.1.1 เครื่องวัดคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหและสะท้อน (refraction and reflection) ประกอบด้วย

1. เครื่อง SmartSies^{TM}S-24 Seismograph (Geometrics Inc., San Jose, CA, USA) (รูปที่ 2.2) เป็นอุปกรณ์วัดและบันทึกสัญญาณคลื่นไหวสะเทือน

2. จีโอโฟน (geophones) ใช้สำหรับตรวจจับคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางมาจากแหล่งกำเนิดคลื่นและส่งสัญญาณผ่านสายเคเบิล (cable) ที่เชื่อมต่อกับจีโอโฟนแต่ละตัวเข้าสู่เครื่องบันทึกสัญญาณ SmartSies^{TM}S-24 seismograph

3. อุปกรณ์กำเนิดคลื่นและส่งสัญญาณ ได้แก่ แผ่นเหล็ก ค้อน และสวิทซ์ตรวจจับสัญญาณเริ่มกำเนิดคลื่น (hammer switch)

2.1.1.2 เครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity meter)

1. เครื่อง Terrameter ยี่ห้อ ABEM รุ่น SAS 1000 (ABEM Instrument AB, Sundbyberg, Sweden) (รูปที่ 2.3) เป็น Resistivity meter แบบ Single-channel ซึ่งสามารถใช้วัดค่าโพลาไรเซชันเหนี่ยวนำ (IP), ศักย์ไฟฟ้าตามธรรมชาติ (SP) และสภาพต้านทานไฟฟ้า resistivity

2. ระบบ Multi-electrode ยี่ห้อ ABEM รุ่น Electrode Selector 464 (ES 464) (รูปที่ 2.4) เป็นเครื่องสำหรับการจัดการหรือควบคุมการวัดแบบอัตโนมัติโดยใช้ระบบขั้วไฟฟ้าหลายๆตัวเชื่อมต่อกับ Terrameter SAS 1000/4000 ซึ่งจะเชื่อมต่อระหว่างกันผ่านทางสายเคเบิลหนึ่งสาย (multi-function cable) สำหรับ ES 464 (ดังรูปที่ 2.5)

3.สายเคเบิลชนิด multi-electrode 2 ม้วน

4.ขั้วไฟฟ้า (electrode)

5.ชุดโปรแกรม SAS 4000

2.1.1.3 อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ร่วมกัน

1. เครื่องมืออ่านพิกัดภูมิศาสตร์ (GPS) ยี่ห้อ Trimble Basic Pathfinder สำหรับอ่านพิกัดของตำแหน่งสำรวจทางธรณีฟิสิกส์

2. เทปวัดระยะ

3. แบตเตอรี่รถยนต์ขนาด 12 โวลต์

รูปที่ 2.2 เครื่อง SmartSies™S-24 Seismograph

รูปที่ 2.3 ABEM Terrameter SAS 1000

รูปที่ 2.4 Electrode selector ES 464 system

รูปที่ 2.5 สายเคเบิลเชื่อมต่อระหว่าง ES 464 และ Terrameter

2.1.2 วัสดุและอุปกรณ์รวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูล

2.1.2.1)โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลประกอบด้วย

1)โปรแกรม Envi 4.2 สำหรับปรับปรุง (enhancement) ภาพถ่ายดาวเทียม

2)โปรแกรม Groble Mapper 8.0 สำหรับปรับปรุงภาพถ่ายดาวเทียม

3)โปรแกรม ArcGis 9.3 สำหรับแปลความหมายภาพถ่ายดาวเทียม

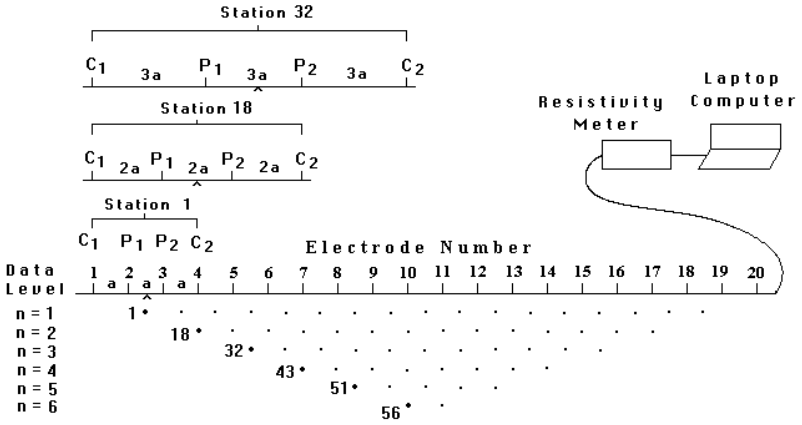
4)โปรแกรม SIP (seismic interpretation program) สำหรับวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลทางด้านคลื่นไหวสะเทือนชนิดหักเห

5) โปรแกรม Claritas สำหรับวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลทางด้านคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน

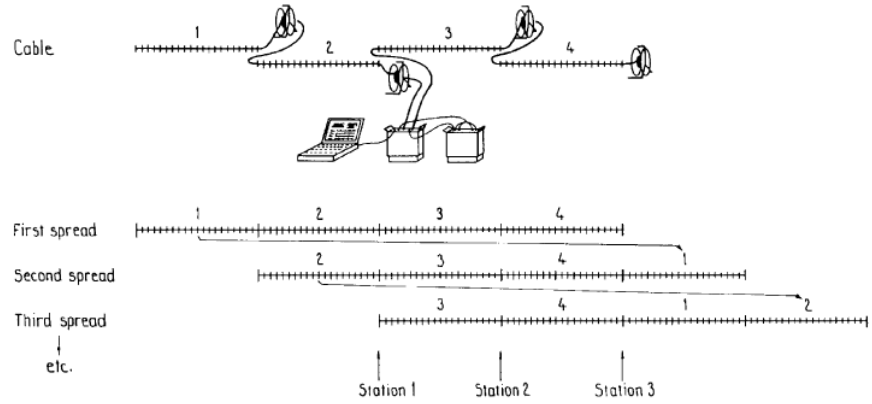
6) โปรแกรม RES2DINV (Loke, 1990) สำหรับสร้างแบบจำลองค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจริงภายใต้ผิวดินใน 2 มิติ

1.7) โปรแกรม RESIST 87 ในการแปลความหมายข้อมูลการสำรวจแบบหยั่งลึกทางไฟฟ้าในแนวดิ่ง

ระบบ Multi-Electrode System ES464 ใช้สำหรับงานสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดินโดยใช้ร่วมกับ Terrameter SAS 1000 เครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในการใช้ระบบ multi-electrode ซึ่งจำเป็นต้องมีโปรแกรมสั่งงานเพื่อสลับการเลือกใช้ขั้วไฟฟ้า เนื่องจากโดยปกติในการวัด 1 ครั้งจะใช้ขั้วไฟฟ้า 4 ขั้ว เป็นขั้วกระแสไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ A และB และขั้วศักย์ไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ M และ N และมีวิธีการเคลื่อนย้ายขั้วไฟฟ้าเพื่อเก็บข้อมูลดังรูปที่ 2.6 และ รูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการจัดวางขั้วไฟฟ้าสำหรับการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าใน 2 มิติโดยใช้รูปแบบชั้วไฟฟ้าแบบไดโพล-ไดโพลเพื่อสร้างเป็นภาพตัดขวางทางไฟฟ้า (Loke, 1999)



รูปที่ 2.7 ลักษณะการเก็บข้อมูลด้วยระบบการวัดอัตโนมัติโดยใช้ Lund Imaging System (Dahlin, 1996) และแสดงลักษณะการเคลื่อนย้ายสาวเคเบิลโดยใช้ roll-along technique (ดัดแปลงจาก Overmeeren and Ritsema, 1988)

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

2.2.1 การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการ

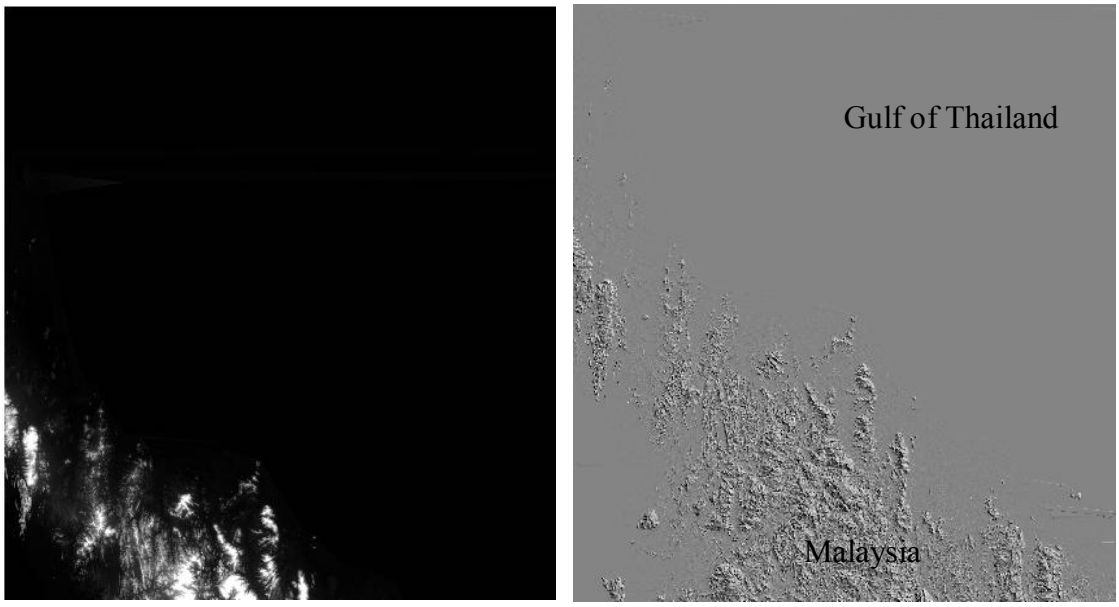
2.2.1.1 การวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม

ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ภาพถ่ายดาวเทียมระดับความสูงเชิงเลข (Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Model หรือ SRTM DEM) สำหรับข้อมูลแบบจำลองระดับความสูง SRTM DEM สร้างขึ้นโดย National Aeronautics and Space Administration (NASA) มีความละเอียดทางราบ 90 เมตร เป็นข้อมูลที่จัดทำขึ้นมาจาก Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometric data (Rabus et al., 2003) ข้อมูลชุดนี้เป็นที่ยอมรับว่าสามารถนำมาสร้างแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลขได้เป็นอย่างดี โดยมีต้นแบบได้ถูกจัดทำขึ้นที่ความละเอียด 1 arc-second หรือประมาณ 30 เมตร แต่ชุดที่ให้บริการฟรีผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ถูกลดความละเอียดลงเหลือ 3 arc-second หรือ 90 เมตร ในระบบพิกัดทางราบอ้างอิง WGS1984 ข้อมูลดังกล่าวมีรูปแบบเป็นข้อมูลดิจิตอลที่บอกถึงระดับความสูงต่ำของพื้นผิวโลก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้เห็นถึงลักษณะภูมิประเทศที่ปรากฏจริง และแสดงออกมาในรูปแบบของแผนที่ภูมิประเทศหรือแบบจำลอง 3 มิติ เนื่องจาก DEM ช่วยให้เห็นถึงสภาพภูมิประเทศในลักษณะที่เสมือนจริง จึงเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการศึกษาธรณีวิทยา โดยเฉพาะใช้ศึกษาด้านธรณีสัณฐาน เพื่อจำแนกชนิดหินและธรณีวิทยาโครงสร้าง ข้อมูล SRTM DEM ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ สามารถดาวโหลดได้จากเว็ปไซต์ http://srtm.usgs.gov โดยพื้นที่ศึกษาวิจัยครอบคลุมข้อมูล DEM จำนวนทั้งหมด 1 ภาพด้วยกัน ดังต่อไปนี้ SRTM_57_11 คือ Path 57 และ Roll 11 ตามลำดับ (ข้อมูลเมื่อ 25 มิถุนายน 2547) ข้อมูลทั้งหมดอยู่ในรูปแบบของข้อมูลดิจิตอล (Digital) และทำการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลด้วยโปรแกรม ENVI 4.2 สำหรับขั้นตอนและโปรแกรมที่ใช้ในการปรับปรุงภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีดังนี้

2.2.1.1.1 โปรแกรม Envi 4.2 ใช้ปรับปรุงแบบจำลองลักษณะภูมิประเทศ (Topographic Modeling)

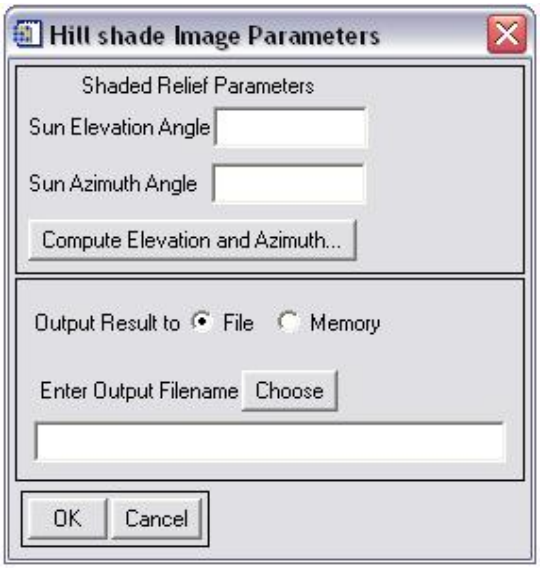
แบบจำลองลักษณะภูมิประเทศนั้นเป็นการประมวลข้อมูล DEM แล้วนำมาแสดงออกมาได้ในหลายแบบ เช่น เส้นชั้นความสูง (contour line), TIN (Triangulated Irregular Network), Shade relief หรือภาพ 3 มิติ ซึ่งในการงานวิจัยครั้งนี้ได้แสดงผลในรูปของการแรเงาภูมิ-ประเทศ (Shade relief) โดยการกำหนดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยค่า sun azimuth และค่า sun elevation angle โดยภาพที่ได้จะเป็นภาพในโทนสีเทาดังรูปที่ 2.8 (b) ซึ่งระดับเข้มโทนสี ขึ้นอยู่กับ

ทิศทาง (azimuth) โดยมีค่าตั้งแต่ 0°-360° และมุมของดวงอาทิตย์ที่สูงจากพื้นผิวโลก (sun angle) โดยมีค่าตั้งแต่ 0°-90° ที่มาตกกระทบกับพื้นผิว ยิ่งแสงอาทิตย์ทำมุมต่ำมากขึ้นเท่าไร ระดับความเข้มของสีเทาก็จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนเข้มที่สุดคือสีดำ และนอกจากนั้นโทนสีเทา ยังขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ เช่น ความชัน (slope) และ ทิศทางของพื้นผิวที่ลาดชัน (aspect)อีกด้วยซึ่งข้อมูล DEM นั้นมีประโยชน์เป็นอย่างมากในการศึกษาธรณีสัณฐาน การจำแนกชนิดหิน และธรณีวิทยาโครงสร้าง โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ ทำการปรับปรุงข้อมูลด้วยการแรเงาภูมิประเทศ (shaded-relief image) ด้วยมุมระดับความสูงของดวงอาทิตย์ (sun elevation angle) ที่ 30° และมุม sun azimuth ที่แตกต่างกันจาก 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° และ 315° ลงในบริเวณพื้นที่ศึกษาดังรูปที่ 2.8 เพื่อให้ได้มุมมองภาพ DEM ที่ครอบคลุมทุกทิศทางทั้ง 360° ซึ่งจะช่วยให้การแปลความหมายได้ดีขึ้นและมีประสิทธิภาพสูงสุด



(a) (b)

รูปที่ 2.8 ภาพถ่ายดาวเทียม DEM ที่ผ่านการประมวลผลด้วยโปรแกรม Envi 4.2 ด้วยคำสั่ง replace bad value และ Create Hill Shade Image (a), (b) ตามลำดับ



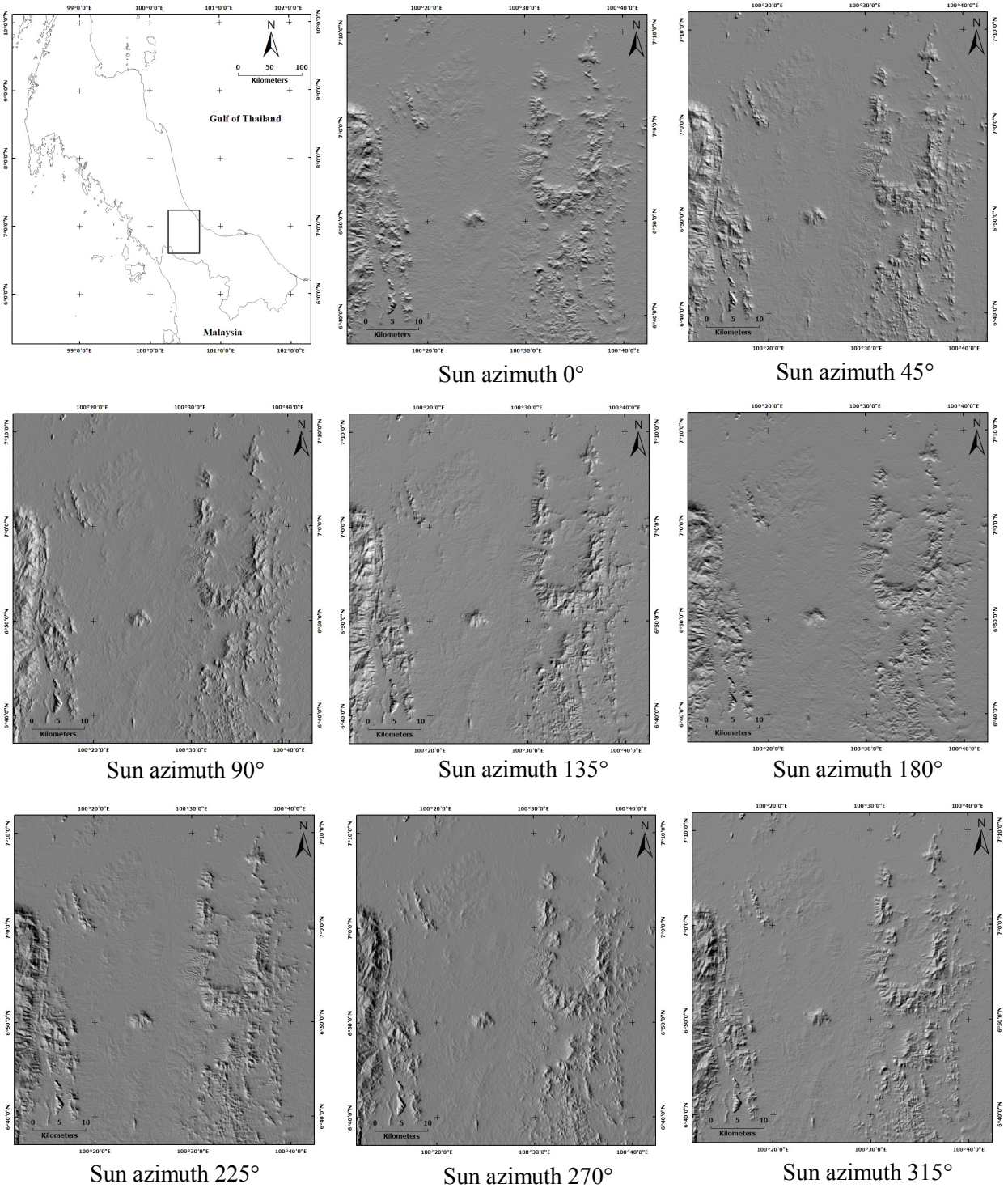
รูปที่ 2.9 แสดงค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรม Envi 4.2 ที่ใช้ในการปรับทิศทางการส่องแสงของดวงอาทิตย์ประกอบด้วย (sun azimuth angle) และมุมของดวงอาทิตย์ (sun elevation angle) เพื่อสร้างภาพแลเงาภูมิประเทศที่ได้ดังรูป 2.8 (b) และรูปที่ 2.10

2.2.1.1.2 โปรแกรม Global Mapper version 8 ใช้ปรับปรุงภาพให้แสดงสีที่แตกต่างกันตามระดับความสูง

ในการปรับปรุงภาพถ่ายดาวเทียมชนิด Digital Elevation Model (DEM) ให้แสดงออกมาในรูปของสีที่แตกต่างกันตามระดับความสูงเพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลในการแปลความเพื่อวิเคราะห์และระบุธรณีวิทยาโครงสร้างแนวเส้น (lineament) โดยมีขั้นตอนดังนี้

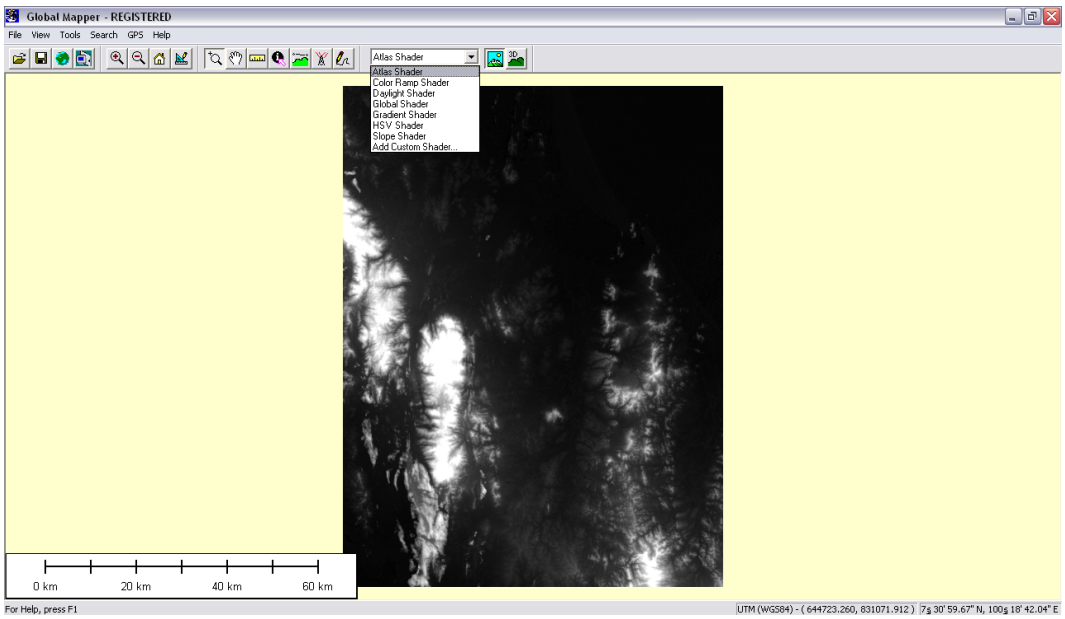
1) นำภาพถ่าย DEM ที่ได้จากการปรับปรุงที่ผ่านคำสั่ง replace bad values ด้วยโปรแกรม Envi 4.2 ดังรูปที่ 2.8 มาเปิดด้วยโปรแกรม Global mapper เลือกคำสั่ง Open Your Own Data Files เพื่อจะนำภาพ DEM เข้ามาประมวลผล

2) เลือกคำสั่ง Atlas shader เพื่อให้โปรแกรมใส่ค่าสีที่แตกต่างกันตามระดับความสูงในภาพ DEM ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการปรับปรุงภาพที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้แสดงดังรูปที่ 2.14 เป็นภาพ DEM ที่ได้จากการแลเงาภูมิประเทศด้วยโปรแกรม Envi 4.2 และรูปที่ 2.15 เป็นภาพ DEM เช่นกันที่ได้ทำการปรับปรุงภาพด้วยโปรแกรม Global mapper เป็นภาพที่ใส่สีแตกต่างกันตามระดับความสูงของพื้นที่นำภาพทั้งสองไปทำการวิเคราะห์หาแนว lineaments ต่อไปด้วยโปรแกรม ArcGis 9.3

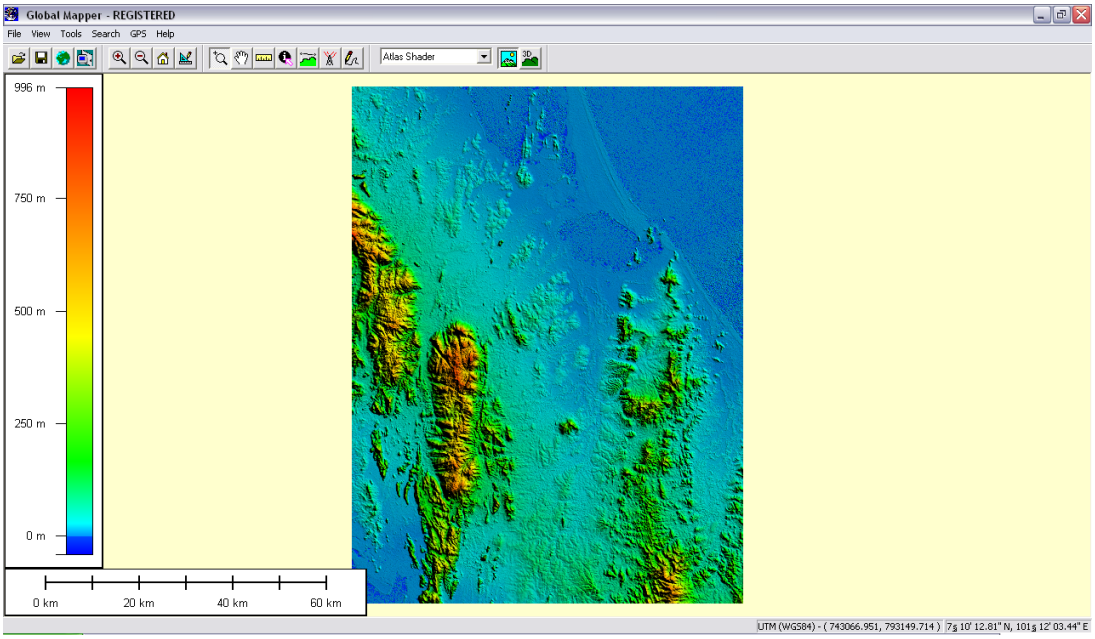


รูปที่ 2.10 ภาพถ่ายดาวเทียมทั้งแปดภาพที่ได้จากภาพ DEM ที่ทำการเปลี่ยนมุมการส่องแสง (มุมระดับความสูงดวงอาทิตย์ (sun elevation angle) ที่ 30^{o} และมุม sun azimuth ที่แตกต่างกันจาก 0^{o}, 45^{o}, 90^{o}, 135^{o}, 180^{o}, 225^{o}, 270^{o} และ 315^{o})

รูปที่ 2.11 แสดงโปรแกรม Global mapper version 8 และคำสั่ง Open Your Own Data Files



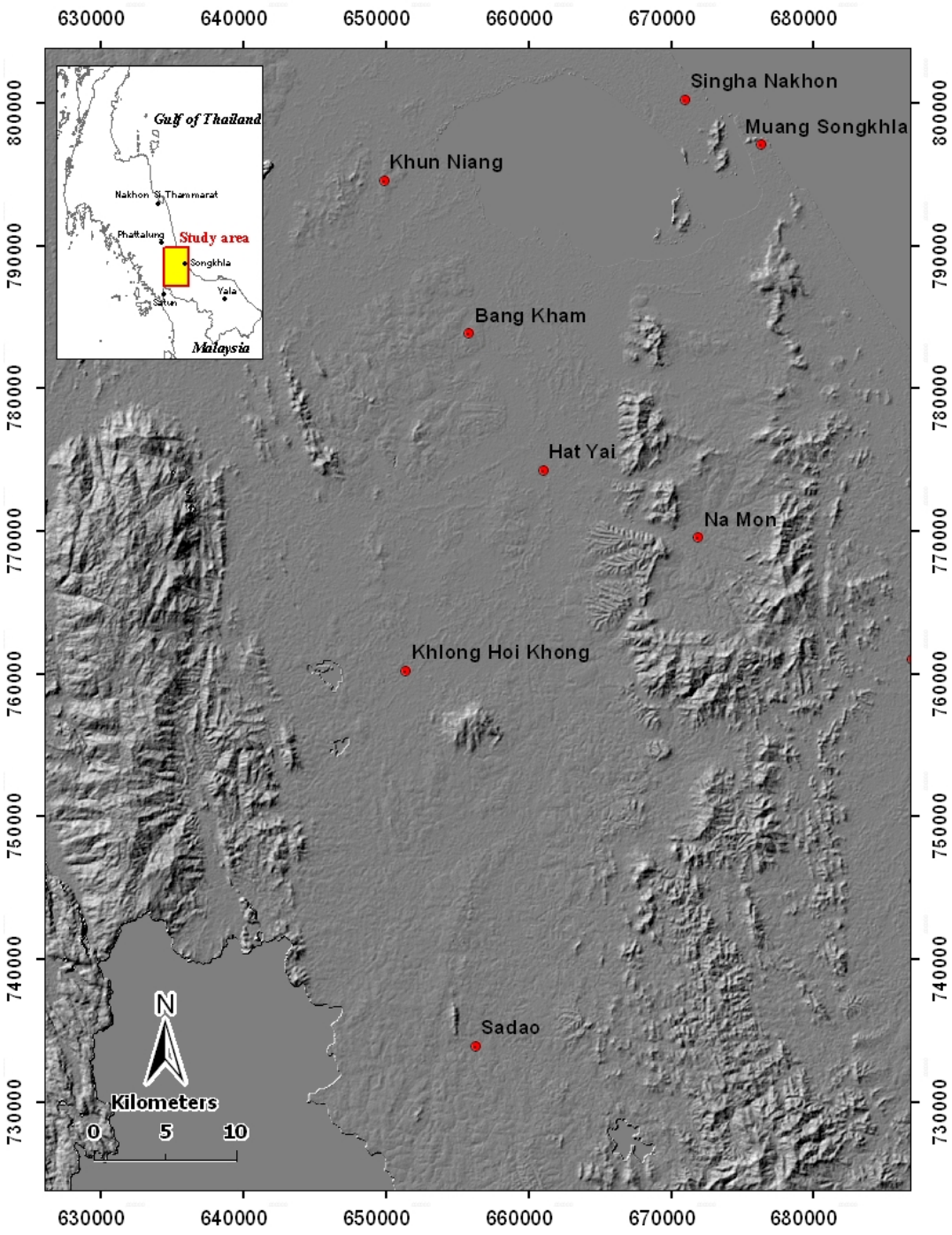
รูปที่ 2.12 แสดงคำสั่ง Atlas shader ในโปรแกรม Global mapper



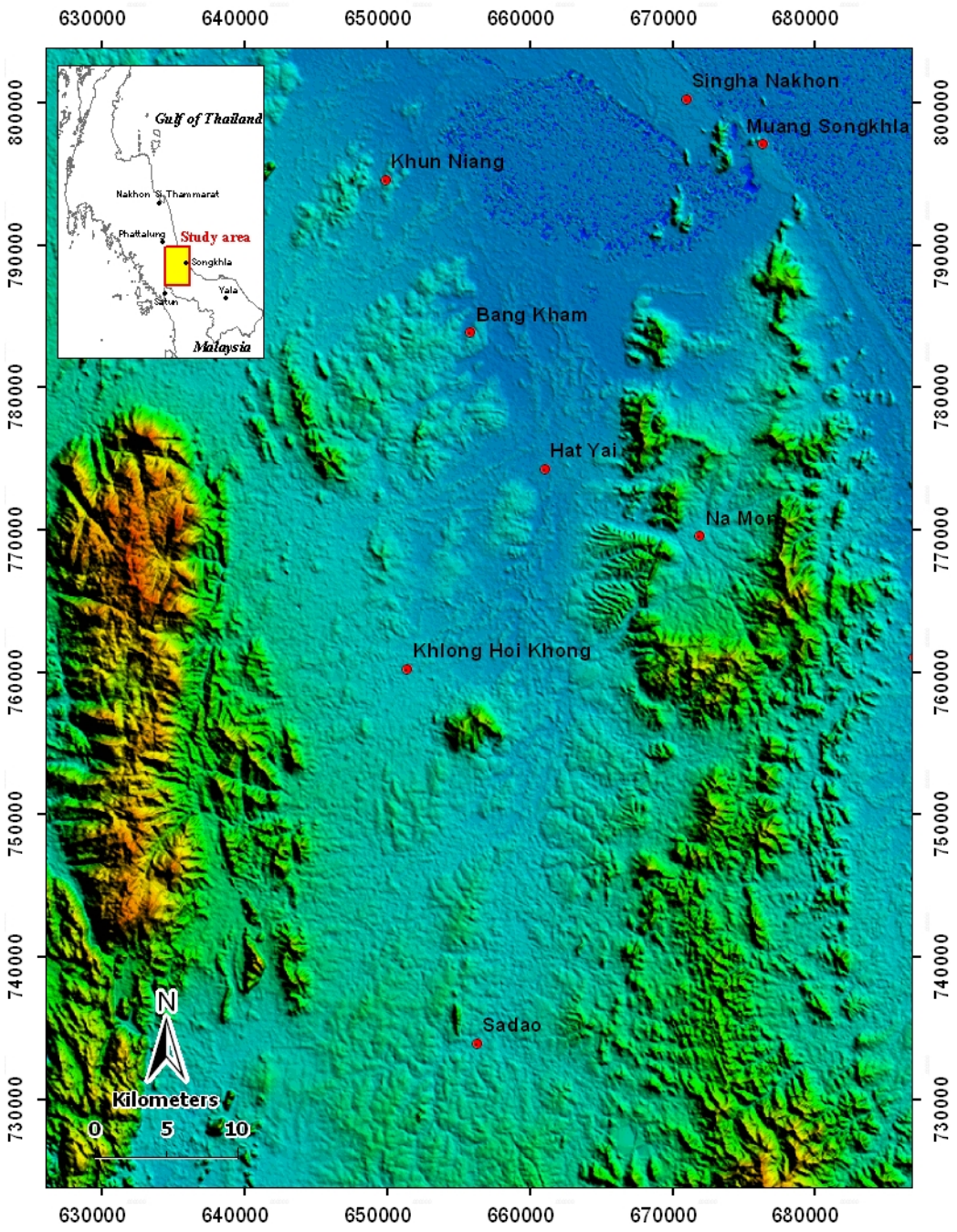
รูปที่ 2.13 แสดงภาพที่สีแตกต่างกันตามระดับความสูงของพื้นที่โดยที่สีฟ้าแทนระดับความสูงต่ำสุดไปจนถึงสีแดงที่แสดงความสูงสูงสุด

2.2.1.1.3 โปรแกรม ArcGis 9.3 สำหรับแปลความหมายภาพถ่ายดาวเทียม

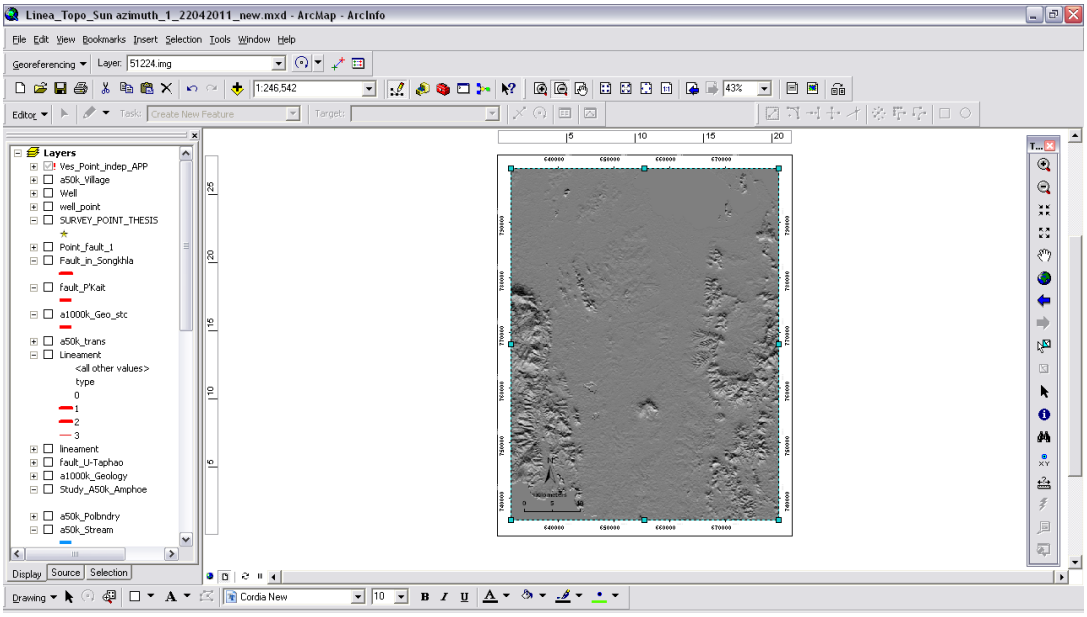
หลังจากทำการปรับปรุงภาพถ่ายดาวเทียมชนิด DEM ด้วยโปรแกรม Envi 4.2 และโปรแกรม Global Mapper 8.0 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็ทำการนำเข้าข้อมูลภาพเหล่านั้นเข้ามาในโปรแกรม ArcGis 9.3 เพื่อทำการแปลความลากแนว lineaments ดังรูปที่ 2.16 ก่อนที่จะทำการลากแนว lineaments นั้นต้องสร้าง shape file ที่เป็นแนวเส้นตรงก่อน สามารถทำได้ด้วยคำสั่ง ArcCatalog ตรงบริเวณ standard bar โดยการเลือกลักษณะของ Shape file ที่จะสร้างเป็น polyline หลังจากนั้นทำการ import ไฟล์ shape file นั้นเข้ามาในโปรแกรมแล้วทำการเลือก editor เพื่อจะได้ทำการลากแนว lineaments ต่อไป



รูปที่ 2.14 ภาพแรเงาภูมิประเทศ (shade relief image) ของพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมชนิด SRTM DEM



รูปที่ 2.15 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้รับการปรับปรุงด้วยโปรแกรม Global mapper ด้วยคำสั่ง atlas shader ของพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียงแสดงภาพที่สีแตกต่างกันตามระดับความสูงของพื้นที่โดยที่สีฟ้าแทนระดับความสูงต่ำสุดไปจนถึงสีแดงที่แสดงความสูงสูงสุด



รูปที่ 2.16 แสดงโปรแกรม ArcGis 9.3 ที่ทำการ import ภาพ DEM เพื่อที่จะทำการลากแนว lineament

2.2.1.2 การวิเคราะห์ผลของการสำรวจด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการออกแบบและดำเนินการสำรวจด้วยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ 2 ระเบียบด้วยกันคือการวัดคลื่นไหวสะเทือนทั้งแบบหักเหและแบบสะท้อนและการสำรวจด้วยการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าทั้งแบบหยั่งลึก (vertical electrical sounding) และการสำรวจแบบ 2 มิติ หรือการสำรวจแบบสร้างภาพตัดขวางทางไฟฟ้าใน 2 มิติ โดยที่การออกแบบและเลือกชุดการสำรวจในแต่ละพื้นที่ที่คาดว่าจะเป็นแนวรอยเลื่อนนั้นจะแตกต่างกันไปตามสมมติฐานการเกิดรอยเลื่อนและลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่นั้นๆ แต่จะใช้ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลที่คล้ายคลึงกันดังแสดงต่อไปนี้

2.2.1.2.1 ขั้นตอนการแปลความข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน (Seismic reflection survey) การแปลความได้ใช้โปรแกรม GLOBE Claritas และใช้เทคนิคจุดความลึกร่วม (CDP) ในการแปลความโดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กระบวนการที่ใช้ในการประมวลผลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน (Reflection processing parameters)

Format from SEG-2 to SEG-Y
Define Geometry
Trace editing
Band-pass filtering-frequency domain
First arrival muting (direct wave and refraction)
AGC
Sort into CDP-gathers
Constant velocity analysis
NMO corrections
Stack
Time to depth conversion

1) ทำการแปลงไฟล์ข้อมูลจาก SEG-2 ไปเป็น SEG-Y

2) กำหนดตำแหน่งของ shot และ geophone ให้ถูกต้อง

3) ทำการลบสัญญาณที่ไม่ได้คุณภาพออกไป (trace editing)

4) ทำการกรองค่าข้อมูล (band-pass filter) ตัดสัญญาณช่วงความถี่อื่นๆที่อยู่นอกกลุ่มความถี่ของสัญญาณที่สนใจออก

5) ลบช่วงข้อมูลที่เป็นคลื่นหักเหและคลื่นตรง (direct wave and refraction muting) ซึ่งเราไม่ต้องการในการสำรวจแบบสะท้อน

6) ทำการขยายสัญญาณ (Automatic gain control (AGC)) โดยการเพิ่ม amplitude ให้แก่สัญญาณที่มีแอมพลิจูดต่ำอันเนื่องมาจากการสะท้อนมาไกลจากที่ลึก ให้มีความเข้มเพิ่มขึ้น

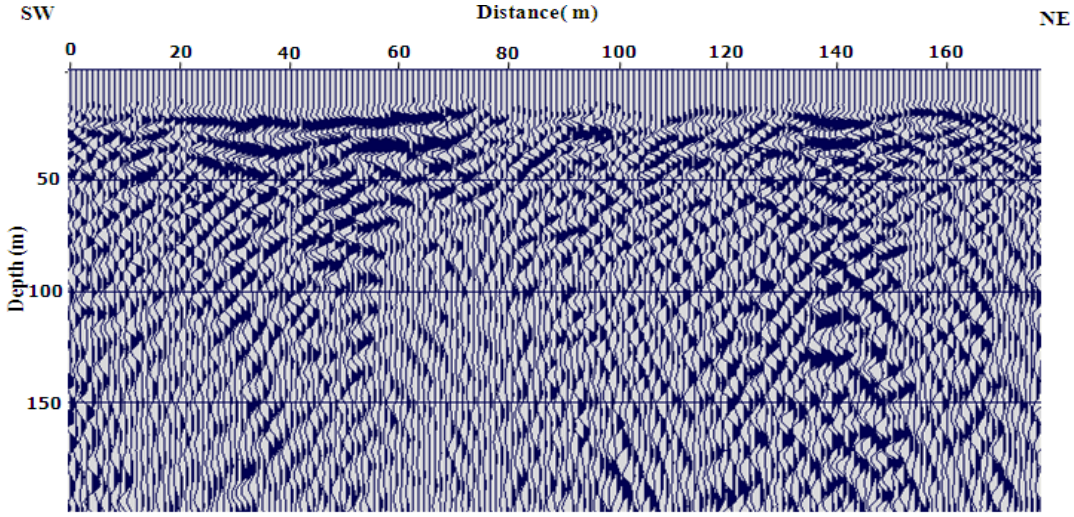
7) ขั้นตอนต่อไปทำการการรวบรวมจุดลึกร่วม (common depth point (CDP) gather) เนื่องจากเส้นคลื่นไหวสะเทือนที่ได้จากการสะท้อนที่จุดเดียวกัน แต่มีระยะห่างระหว่างจุดกำเนิดคลื่นและตัวรับสัญญาณแตกต่างกัน เวลาที่ใช้ในการเดินทางของคลื่นจากแหล่งกำเนิดคลื่นกลับมายังตัวรับสัญญาณย่อมแตกต่างกันด้วย ดังนั้นก่อนที่จะทำการรวมสัญญาณเข้าด้วยกัน

8) ทำการจัดกลุ่ม (sorting) ของเส้นคลื่นไหวสะเทือนที่ได้จากการสะท้อนที่จุดเดียวกันออกเป็นชุด

9) ทำการแก้ไขค่าความแตกต่างของเวลาอันเนื่องจากระยะทางที่แตกต่างกัน (NMO correction) โดยการวิเคราะห์หาความเร็วด้วยวิธี Constant velocity analysis

10) นำเส้นคลื่นไหวสะเทือนเหล่านี้มารวมกัน ผลจากการรวมกันนี้ จะได้เส้นคลื่นไหวสะเทือนเส้นใหม่ที่เป็นตัวแทน ณ ตำแหน่งที่เกิดการสะท้อน

11) เส้นคลื่นไหวสะเทือนเส้นใหม่ที่นำมาเรียงต่อกัน จะให้ภาพของโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่อยู่ใต้พื้นผิวที่เรียกว่า ภาพตัดขวางการรวมสัญญาณคลื่น (stacked section) หรือภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือน (seismic section) ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน

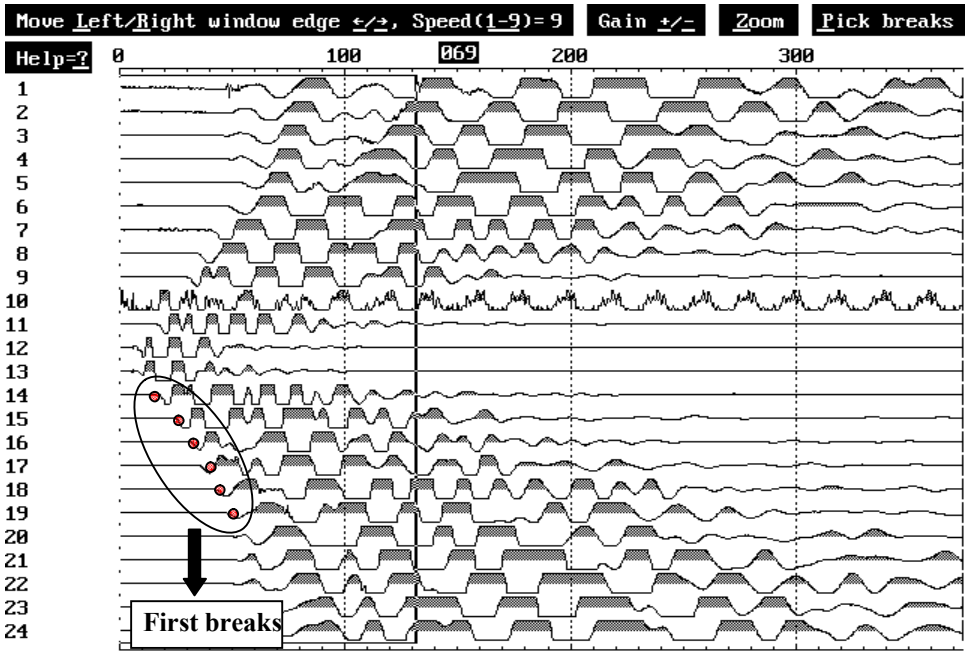
2.2.1.2.2 การแปลความหมายข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห (Seismic refraction survey) สำหรับการประมวลผลของการสำรวจเคลื่อนไหวสะเทือนแบบหักเหนั้นใช้โปรแกรม SIP version 1.0 จาก Rimrock Geophysics มีขั้นตอนดังนี้

1) เปิดโปรแกรม SIP แล้วกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการประมวลผล อย่างเช่นหน่วยที่ใช้ในการประมวลผลใช้หน่วยเมตร

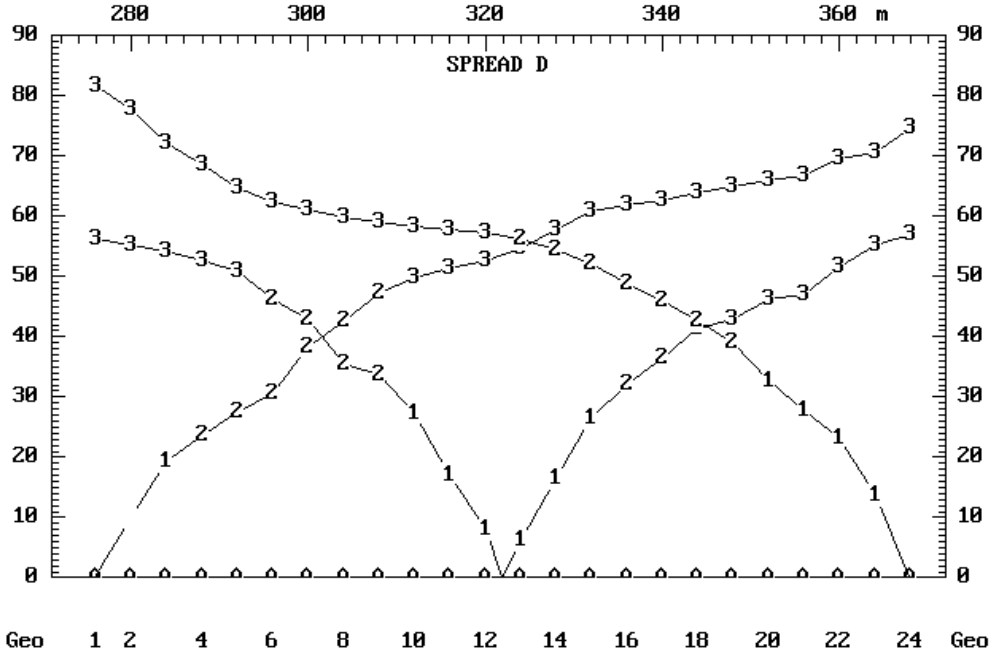
2) เปิด Menu เลือก SIPIK เพื่อเข้าไปกำหนดเวลาที่คลื่นแรกเดินทางมาถึง จี-โอโฟนแต่ละตัว (first breaks)

3) กำหนดตำแหน่งของ first breaks ของทุกชุดข้อมูลในแต่ละแนววัดจนครบดังรูป 2.16

4) นำข้อมูลที่ได้จากการกำหนดตำแหน่งของ first break มาเขียนกราฟระหว่างเวลา – ระยะทาง



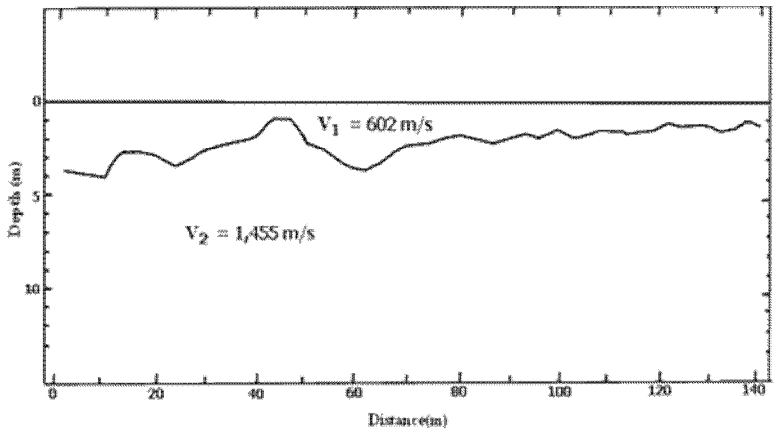
รูปที่ 2.18 การกำหนดเวลาที่คลื่นแรกเดินทางมาถึงจีโอโฟนแต่ละตัว (First breaks) โดยใช้โปรแกรม SIP



รูปที่ 2.19 การกำหนดชั้นดินในกราฟโดยตัวเลขแทนชั้นดินแต่ละชั้น

5) กำหนดชั้นดินโดยดูจากค่าความชันของกราฟในแต่ละช่วงรูปที่ 2.19 (ความชันของกราฟที่แตกต่างกันแสดงถึงความเร็วของคลื่นในชั้นดินที่แตกต่างกัน)

6) เลือกเมนู SIPT2 เป็นการแปลข้อมูลโดยการสร้างรูปแบบจำลอง เพื่อที่จะประมาณค่าความลึก ความเร็วของดินแต่ละชั้นสุดท้ายจะแสดงดังรูปที่ 2.20

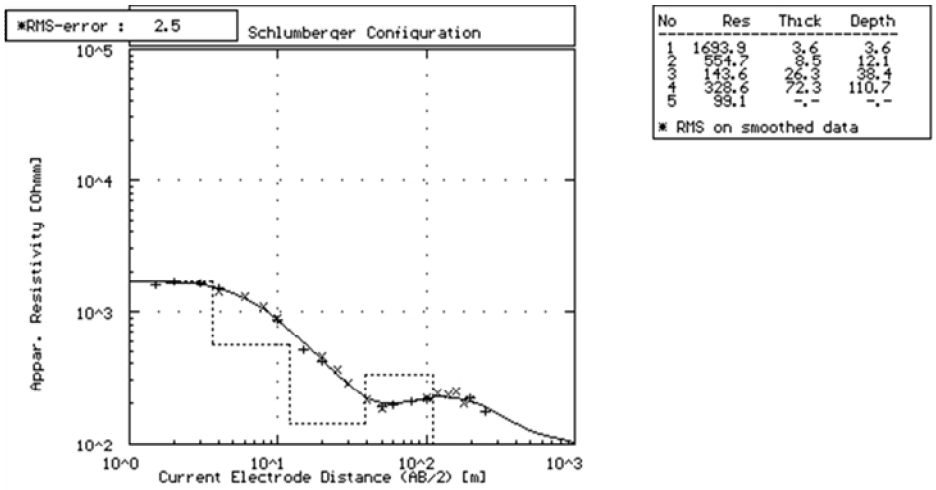


รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างแบบจำลองลักษณะโครงสร้างใต้ผิวดินจากการสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห

2.2.1.2.2 การแปลความหมายข้อมูลจากวิธีการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก (Vertical Electrical Sounding)

นำข้อมูลที่ได้จากภาคสนามมาทำการแปลข้อมูลเพื่อหาแบบจำลองโครงสร้างของชั้นดินโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ RESIST87 ที่พัฒนาโดย Vander Velpen B.P.A. (ITC, Department of Resources Survey, The Netherland) โดยมีหลักการคร่าวๆ คือ โปรแกรมจะนำเข้าข้อมูลสนามที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏกับค่าครึ่งหนึ่งของระยะทางของขั้วกระแส (AB/2) ซึ่งจะเป็นกราฟที่แสดงจุดของค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าปรากฏเทียบกับระยะระหว่าง AB/2 ทางของขั้วกระแส โดยจัดเก็บข้อมูลไฟล์ที่มีนามสกุล *.DAT จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างของลักษณะทางธรณีวิทยาโดยประมาณ (จำนวนชั้นดินและความหนาของชั้นดินแต่ละชั้น) ซึ่งพิจารณาจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้า เพื่อให้โปรแกรมทำการปรับเปลี่ยนแบบจำลองใหม่ด้วยเทคนิคการแปลงกลับข้อมูล (Inversion method) โดยผ่านกระบวนการทำซ้ำ (iteration process) เพื่อให้ข้อมูลที่คำนวณได้ (calculated data) โดยอ้างอิงจากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการวัด (measured data) มากที่สุด ซึ่งในกระบวนการทำสามารถพิจารณาได้จากเส้นกราฟและค่าความผิดพลาด (Root Mean Square Error) น้อยที่สุด

ผลที่ได้นี้จะแสดงออกถึงลักษณะชั้นใต้ดินส่วนที่เป็นความหนา ความลึก และค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นนั้นๆ (รูปที่ 2.21) ที่เก็บไว้ในไฟล์ข้อมูลที่มีนามสกุล *.RST การสำรวจ VES เป็นการสำรวจที่วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าปรากฏ โดยวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าหยั่งลึกลงไปในแนวดิ่งเพื่อต้องการค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจริงกับความลึก เสมือนการเจาะเก็บตัวอย่างดินโดยหลุมเจาะธรณีวิทยา เป็นต้น



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างกราฟแสดงสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจแบบ VES

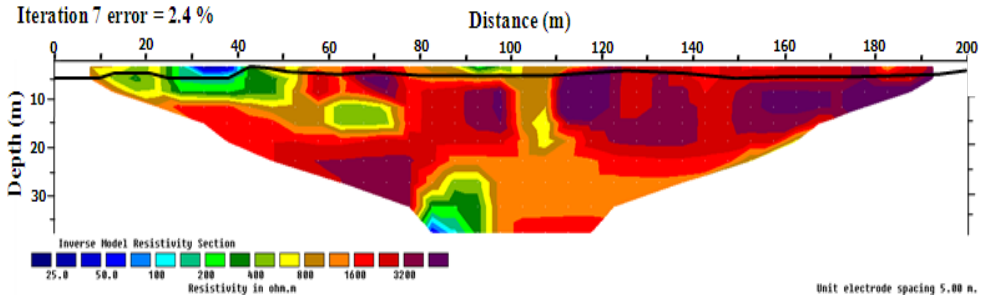
2.2.1.2.3 การแปลความหมายข้อมูลวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าใน 2 มิติหรือการสำรวจแบบสร้างภาพตัดขวางตัดขวางทางไฟฟ้าใน 2 มิติ (2D Resistivity Survey)

การใช้โปรแกรม RES2DINV ในการทำภาคตัดขวางเชิงลึกของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า กรรมวิธีการสร้างแบบจำลองของภาคตัดขวางค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ากับความลึกของชั้นดิน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) เปิดโปรแกรม RES2DINV แล้วทำการเรียกข้อมูลที่บันทึกไว้ขึ้นมาโดยเลือกเมนู file > read data file > เลือกข้อมูลที่ต้องการ run program

2) ตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจากการวัด โดยเลือกเมนู edit > exterminate bad datum point

3) ใช้โปรแกรมสร้าง model ย้อนกลับ (inversion model section) โดยเลือกเมนู inversion > least-square inversion แล้วกำหนดจำนวนครั้งที่จะโปรแกรมจะสร้างแบบจำลองย้อนซ้ำ เมื่อสร้างแบบจำลองเสร็จสมบูรณ์จะปรากฏภาพตัดขวางดังรูปที่ 2.22



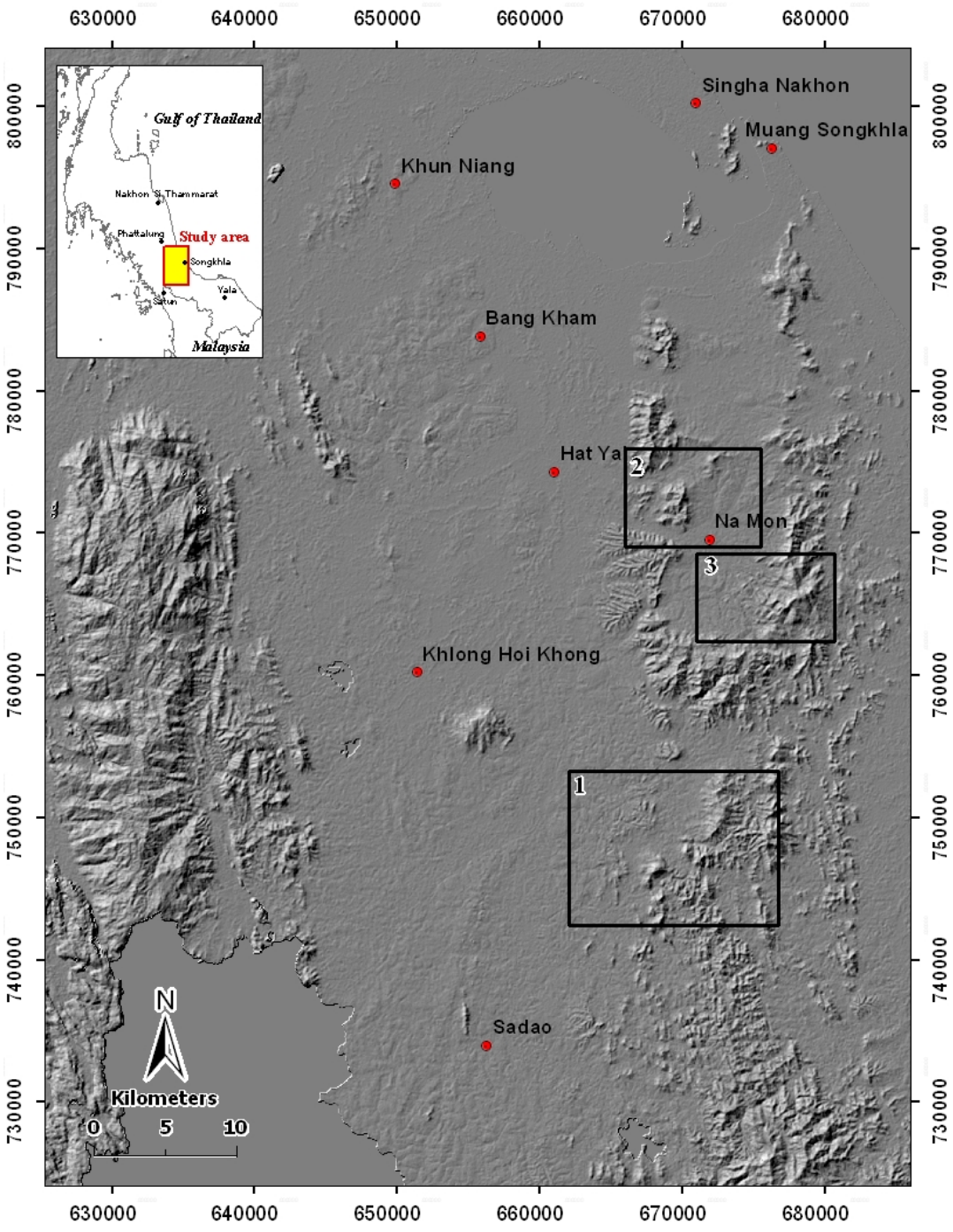
รูปที่ 2.22 ตัวอย่าง model ภาพตัดขวางทางไฟฟ้าใน 2 มิติ

2.2.2 การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลในภาคสนาม

หลังจากการปรับปรุงและแปลความหมายข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและทำการลากแนว lineaments ลงในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่บริเวณใกล้เคียงเป็นที่เรียบร้อยแล้ว (แสดงในบทที่ 3 ผลและอภิปรายผล) ได้พิจารณาและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของแต่ละพื้นที่ที่ได้ทำการลากแนว lineaments ไว้พร้อมทั้งเลือกบริเวณที่จะลงพื้นที่สำรวจในภาคสนาม ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการสำรวจใน 3 พื้นที่ คือ 1) ตำบลเขามีเกียติ อำเภอสะเดา 2) ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม 3) ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม ดังรูปที่ 2.23 เพื่อดูลักษณะทางธรณีวิทยาและลักษณะทางธรณีสัณฐานรอยเลื่อนพร้อมทั้งกำหนดตำแหน่งสำรวจธรณีฟิสิกส์

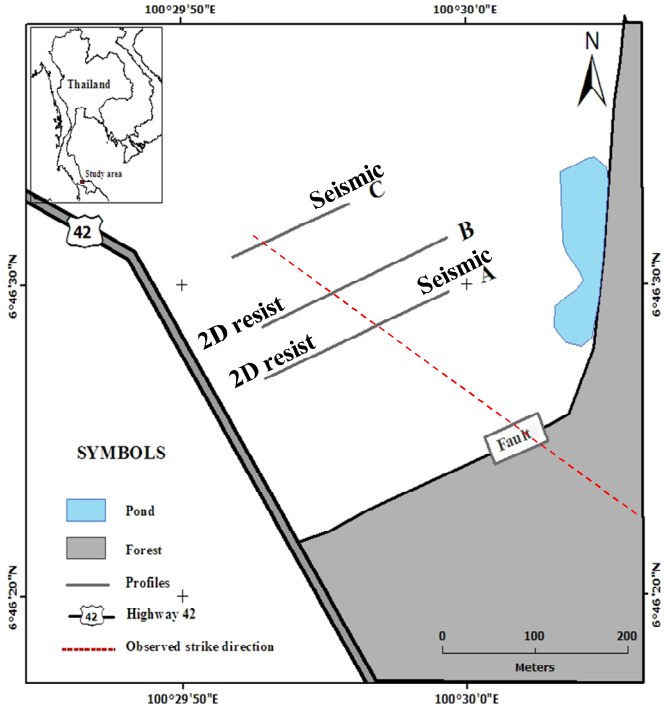
2.2.2.1 บริเวณที่ 1 พื้นที่ตำบลเขามีเกียรติ อำเภอสะเดา

จากลักษณะของรอยเลื่อนที่เห็นได้อย่างชัดเจนบนหน้าผาที่ถูกขุดออกไปในพื้นที่ตำบลเขามีเกียติ อำเภอสะเดา จึงได้ทำการเปรียบเทียบกับการศึกษาภาพถ่ายดาวเทียมในพื้นที่ดังกล่าว (แสดงในบทที่ 3 ผลและอภิปรายผล) หลังจากที่ได้พิจารณาแนวการวางตัวของรอยเลื่อนและพบว่าหินที่โผล่ขึ้นมาบริเวณด้านหน้าของรอยเลื่อนและคาดว่าน่าจะเป็นแนวเดียวกันกับรอยเลื่อนที่หน้าผา จึงได้ทำการกำหนดแนวสำรวจทางธรณีฟิสิกส์เพื่อดูมุมเทและลักษณะการวางตัวของรอยเลื่อนว่าอยู่ในแนวที่คาดไว้หรือไม่และพิสูจน์ว่ารอยเลื่อนที่ปรากฏที่หน้าผาเป็นรอยเลื่อนชนิดใด



รูปที่ 2.23 แสดงบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 บริเวณที่จะทำการสำรวจภาคสนาม

2.2.2.1.2 การออกแบบการสำรวจด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ ในพื้นที่วิจัยนี้ได้ใช้วิธีการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนและแบบหักเหและใช้การสำรวจการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าใน 2 มิติ โดยมีแนวสำรวจด้วยกันทั้งหมด 3 แนว คือแนว A, B และ C วางตัวในทิศทางขนานกับหน้าผาที่เห็นรอยเลื่อน (ดังรูปที่ 2.24) โดยเลือกใช้การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนและหักเหในแนวสำรวจ A และ C และใช้การสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าใน 2 มิติในแนวสำรวจ A และ B ระยะห่างระหว่างแนว A กับแนว B เท่ากับ 32 เมตร และระยะห่างระหว่างแนว A กับแนว C เท่ากับ 124 เมตรไปทางทิศทะวันตกเฉียงเหนือ



รูปที่ 2.24 ตำแหน่งของการสำรวจธรณีฟิสิกส์การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนกระทำบนแนว A แนว C และการสำรวจด้วยวิธีวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ากระทำบนแนว A และ B

การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนในภาคสนาม พื้นที่ตำบลเขามีเกียติ

การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน (Seismic reflection) ได้ทำการสำรวจ 2 แนวด้วยกัน คือ แนว A มีความยาว 190 เมตร และแนว C มีความยาว 142 เมตร แนวสำรวจทำมุม 60° กับทิศเหนือ ทั้งสองแนวอยู่ห่างกันเป็นระยะทาง 124 เมตร แต่ละแนวประกอบด้วย 2 spreads แต่ละ spread มี 12 shot และมีระยะห่างระหว่าง shot แรกกับ geophone ตัวแรก (Offset) เท่ากับ 20 เมตร และ 28 เมตรในแนวสำรวจ A และ C ตามลำดับ ทั้งสองแนวสำรวจมีระยะระหว่าง shot และ

ระยะห่างระหว่าง geophone เท่ากับ 2 เมตร และใช้เครื่อง Smartseis™ S-24 Seimograph สำหรับบันทึกข้อมูลภาคสนามและใช้ค้อนและแผ่นเหล็กเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไหวสะเทือน

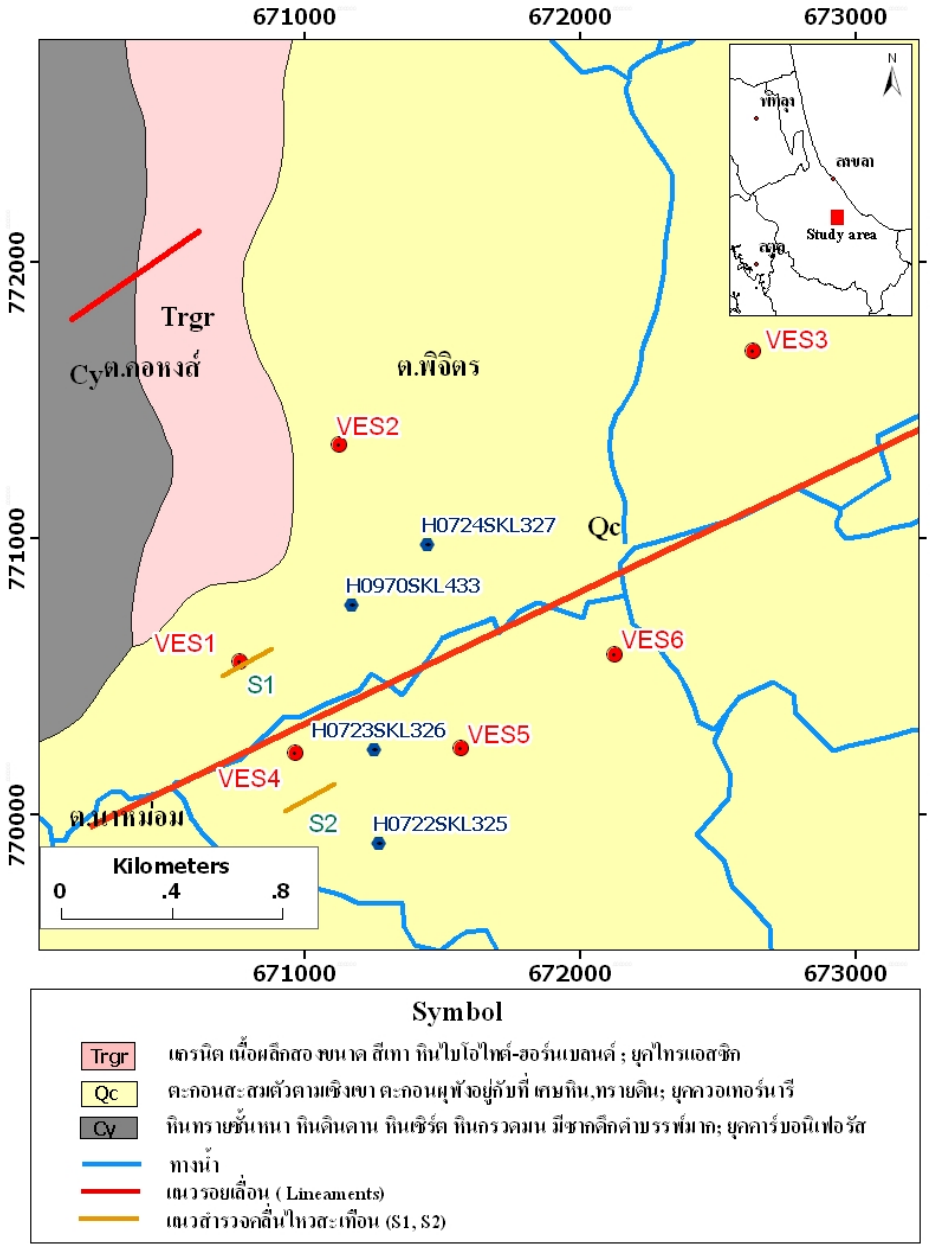
การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห (Seismic refraction) สำหรับการสำรวจแบบหักเหทำการสำรวจบนแนวเดียวกันกับแนวสำรวจแบบสะท้อน (แนว A และ C) โดยในการวิเคราะห์เราจะพิจารณาคลื่นแรก (first break) ที่เดินทางถึงตัวรับสัญญาณ การสำรวจทั้งสองแนวสำรวจใช้ตัวรับสัญญาณ 24 ตัว ระยะห่างระหว่าง geophone เท่ากับ 2 เมตรทั้งสองแนวสำรวจ แต่ละแนวประกอบด้วย 2 spreads โดยมีจุดกำเนิดคลื่น 3 shot ต่อ 1 spread โดยที่ตำแหน่ง shot แรกอยู่ที่ตำแหน่ง geophone ตัวแรก shot ที่ 2 อยู่ระหว่าง geophones ตัวที่ 12 กับ 13 และตำแหน่งสุดท้ายตำแหน่ง shot อยู่ที่ geophone ตัวสุดท้าย บันทึกข้อมูลภาคสนามด้วยเครื่อง Smartseis™ S-24 Seimograph และใช้ค้อนและแผ่นเหล็กเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไหวสะเทือน

การสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าใน 2 มิติในภาคสนาม พื้นที่ตำบลเขามีเกียติ

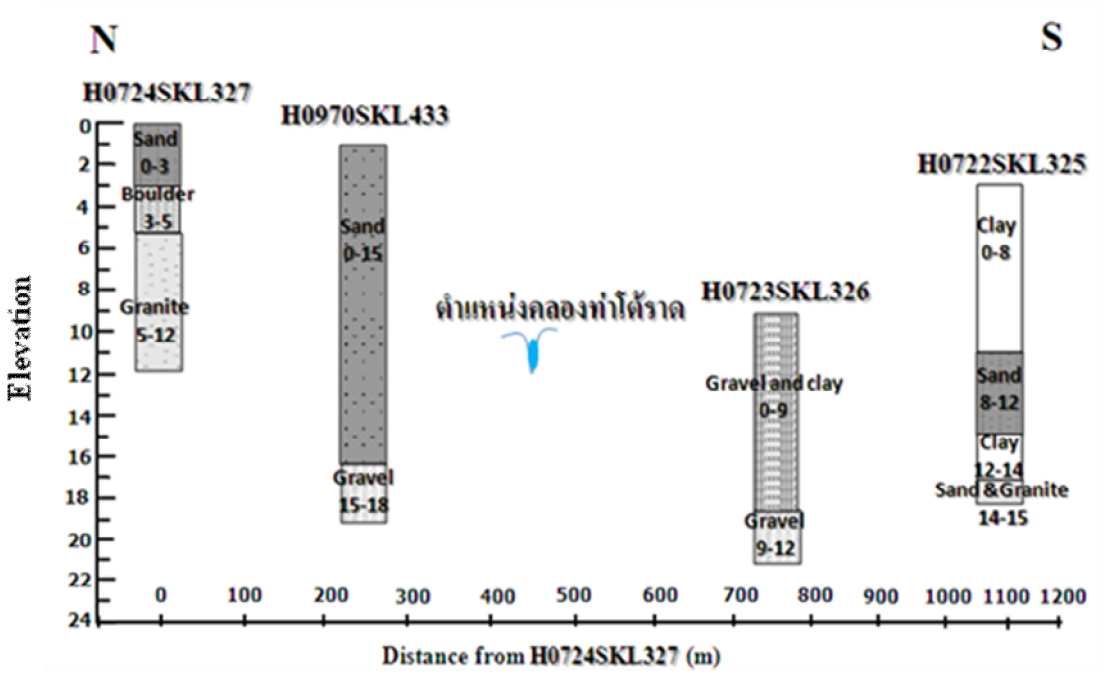
โดยใช้ระบบการวัดแบบอัตโนมัติ (SAS 1000 และ Lund imaging System) ทำการวัดเฉพาะในแนว A และแนว B ดังรูปที่ 2.24 โดยเลือกใช้รูปแบบการจัดขบวนขั้วไฟฟ้าแบบ Wenner-Wenner เพื่อดูทิศทางการวางตัวและความต่อเนื่องของรอยเลื่อน แนวสำรวจทั้งสองแนวสำรวจมีความยาว 200 เมตร เท่ากันและวางตัวขนานกันในทิศทาง N60^{o}E

2.2.2.2 บริเวณที่ 2 พื้นที่บริเวณคลองท่าโต้ราด ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม

2.2.2.2.1 การออกแบบการสำรวจด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ จากลักษณะของรอยเลื่อนที่อยู่ในแนวเดียวกับคลองท่าโต้ราด ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อมจากข้อมูล remote sensing เราไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นรายเลื่อนชนิดใด (รอยเลื่อนตามแนวมุมเท หรือรอยเลื่อนตามแนวระดับ) จึงได้วางแผนการสำรวจโดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่ารอยเลื่อนในพื้นที่นี้เป็นรอยเลื่อนแบบเลื่อนตามแนวมุมเท ดังนั้นความลึกจากผิวดินถึงชั้นหินฐานที่อยู่คนละด้านของลำคลองต้องไม่เท่ากัน เพื่อต้องการพิสูจน์สมมติฐานดังกล่าวข้างต้นจึงได้เลือกใช้การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าฟ้าแบบหยั่งความลึก (VES) โดยทำการสำรวจจำนวน 6 จุดวัดและการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนและหักเหจำนวน 2 แนว คือแนว S1 (อยู่ใกล้กับแนวสำรวจ VES1) และแนว S2 ตำแหน่งจุดวัด VES และแนวสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแสดงดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แผนที่ธรณีวิทยาและจุดสำรวจธรณีฟิสิกส์ของพื้นที่สำรวจที่ 2 ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม ตำแหน่งสีน้ำเงินแทนตำแหน่งข้อมูลหลุมเจาะในพื้นที่ศึกษา (ภาคผนวก ก)

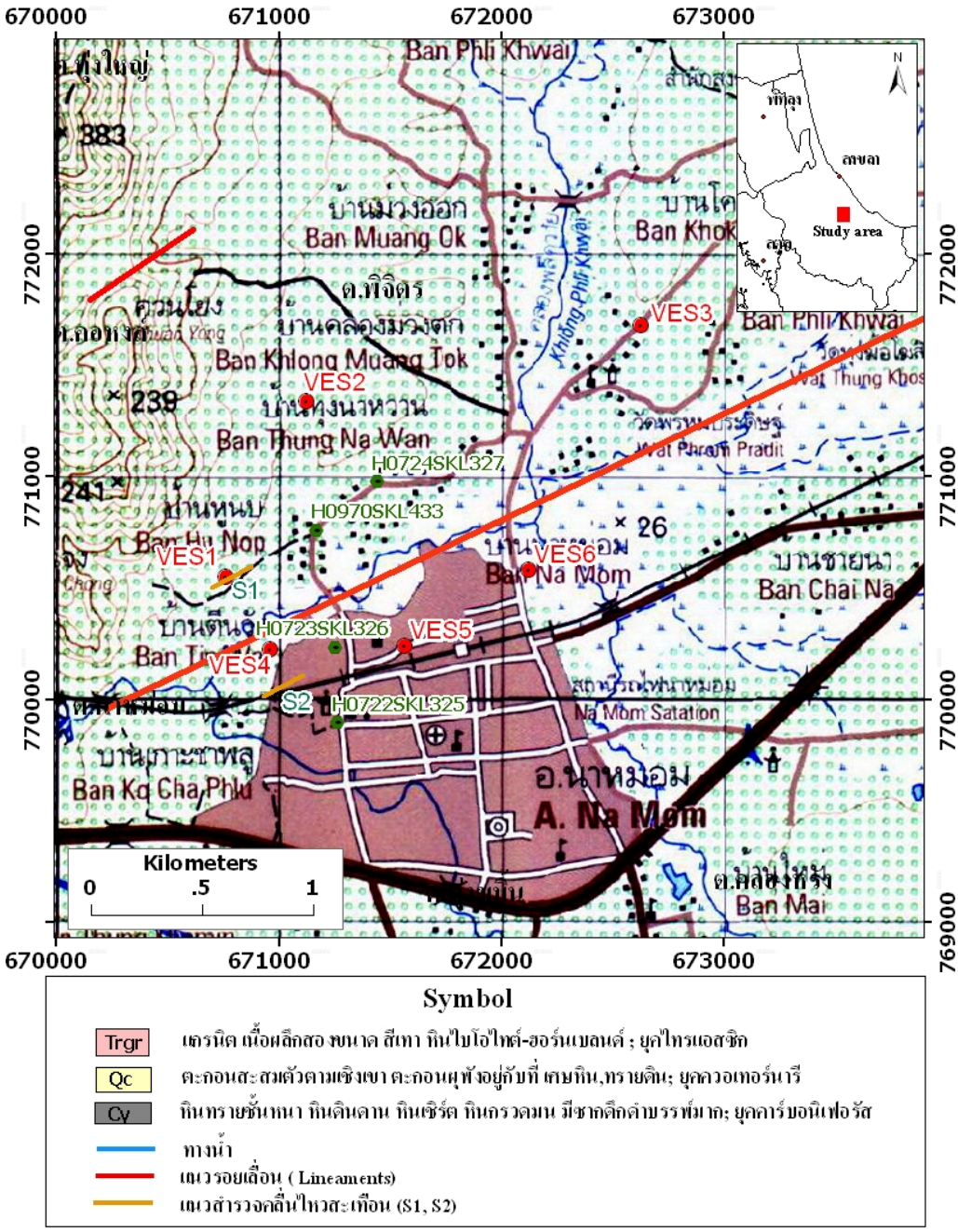


รูปที่ 2.26 แสดงข้อมูลหลุมเจาะในพื้นที่ ตำบลนาหม่อมและตำบลพิจิตร อำเภอนาหม่อม (รูปที่ 2.25) โดยที่ระดับความสูงเทียบจากระดับน้ำทะเล โดยแต่ละหลุมเจาะเทียบกับระดับความสูงของหลุม H0724SKL327 ซึ่งใช้เป็นระดับอ้างอิง

การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนและแบบหักเห ในพื้นที่ตำบลนาหม่อม

การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน โดยได้ทำการสำรวจ 2 แนวด้วยกัน คือ แนว S1 กับแนว S2 ดังรูปที่ 2.25 ซึ่งมีความยาว 157.5 เมตร และ 230 เมตรตามลำดับ มีระยะห่างระหว่างแนวทั้งสองเท่ากับ 550 เมตรแต่ละแนวประกอบด้วย 2 spreads แต่ละspread มี 12 shot ทั้งสองแนวสำรวจ มีระยะห่างระหว่าง shot แรกกับ geophone ตัวแรก (offset) เท่ากับ 30 และมีระยะระหว่าง shot และระยะห่างระหว่าง geophone เท่ากับ 5 เมตร

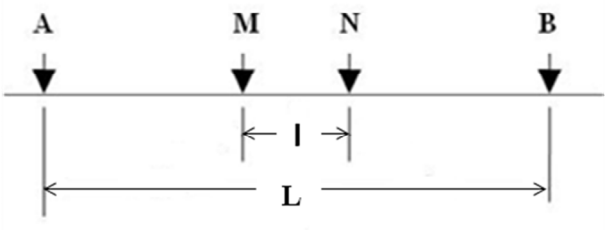
การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห การสำรวจครั้งนี้ใช้ ตัวรับสัญญาณ 24 ตัว มีแนวสำรวจแนวเดียวกับการสำรวจแบบสะท้อน โดยมีจุดกำเนิดคลื่น 7 จุดใน 1 spread สำหรับการแปลความได้ใช้โปรแกรม SIP version 1.0 จาก Rimrock Geophysics



รูปที่ 2.27 แนวสำรวจทางธรณีฟิสิกส์โดย S1 และ S2 แทนการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแนวสำรวจที่ 1 และที่ 2 ตามลำดับ และแนวการสำรวจด้วยการหยั่งลึกด้วยไฟฟ้า (VES1, VES2, VES3, VES4, VES5 and VES6) เส้นตรงสีแดงแทนแนวที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อน

การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวดิ่ง (VES)

ในการสำรวจลักษณะโครงสร้างของชั้นดินด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์ ในพื้นที่ตำบลนาหม่อม ครั้งนี้ได้ทำการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของดินจำนวน 6 จุดวัด ประกอบด้วย VES1, VES2, VES3, VES4, VES5 และ VES6 ดังรูปที่ 2.25, รูปที่ 2.27 โดยทำการจัดวางขั้วแบบชลัมเบอร์เจอร์ (schlumberger array) ในการเก็บข้อมูลในภาคสนามนั้นกำหนดระยะขั้วไฟฟ้า AB/2 นั้นเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้คือ AB/2 = L = 1.5, 2, 3, 4, 6, 8 ,10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 เมตร โดยที่ระยะทั้งสองนี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ของแต่ละจุดวัดดังตาราง 2.2



รูปที่ 2.28 แสดงการจัดวางขั้วไฟฟ้าแบบ schlumberger array ที่ใช้ในงานสำรวจ VES โดยที่ขั้ว A, B เป็นขั้วกระแสไฟฟ้า และขั้ว M, N เป็นขั้วศักย์ไฟฟ้า

2.2.2.3 บริเวณที่ 3 ในพื้นที่บริเวณตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม

2.2.2.3.1 การออกแบบการสำรวจด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์

จากลักษณะของแนว lineament ที่เลื่อนตัวในแนวระดับที่ทำให้คลองมีระยะ offset ไปเป็นระยะประมาณ 200 เมตรนั้นคาดการได้ว่าเกิดจากรอยเลื่อนในแนวระดับ เนื่องจากเรายังไม่มีรูปแบบการสำรวจธรณีฟิสิกส์ที่เป็นสากลในการสำรวจเพื่อยืนยันรอยเลื่อนในแนวระดับ (strike slip fault) การสำรวจในพื้นที่นี้จึงใช้สมมติฐานที่ออกแบบว่าลักษณะของชั้นดินและความลึกถึงชั้นหินฐานในพื้นที่ใกล้เคียงกันย่อมต้องมีลักษณะคล้ายคลึงหรือเหมือนกัน โดยตัดระยะ offset ที่เกิดจากรอยเลื่อนออกไป ทำให้แนวสำรวจที่ A1 และ A2 อยู่ฝั่งเดียวกันและ B1 และ B2 อยู่ฝั่งเดียวกันก่อนที่จะเกิดเหตุการณ์การเลื่อนตัว (รูปที่ 2.29) โดยในพื้นที่วิจัยนี้ได้ใช้วิธีการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบแบบหักเห และการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าใน 2 มิติ มี 4 แนวสำรวจดังรูป 2.29

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกข้อมูลในภาคสนาม

SCHLUMBERGER ARRAY

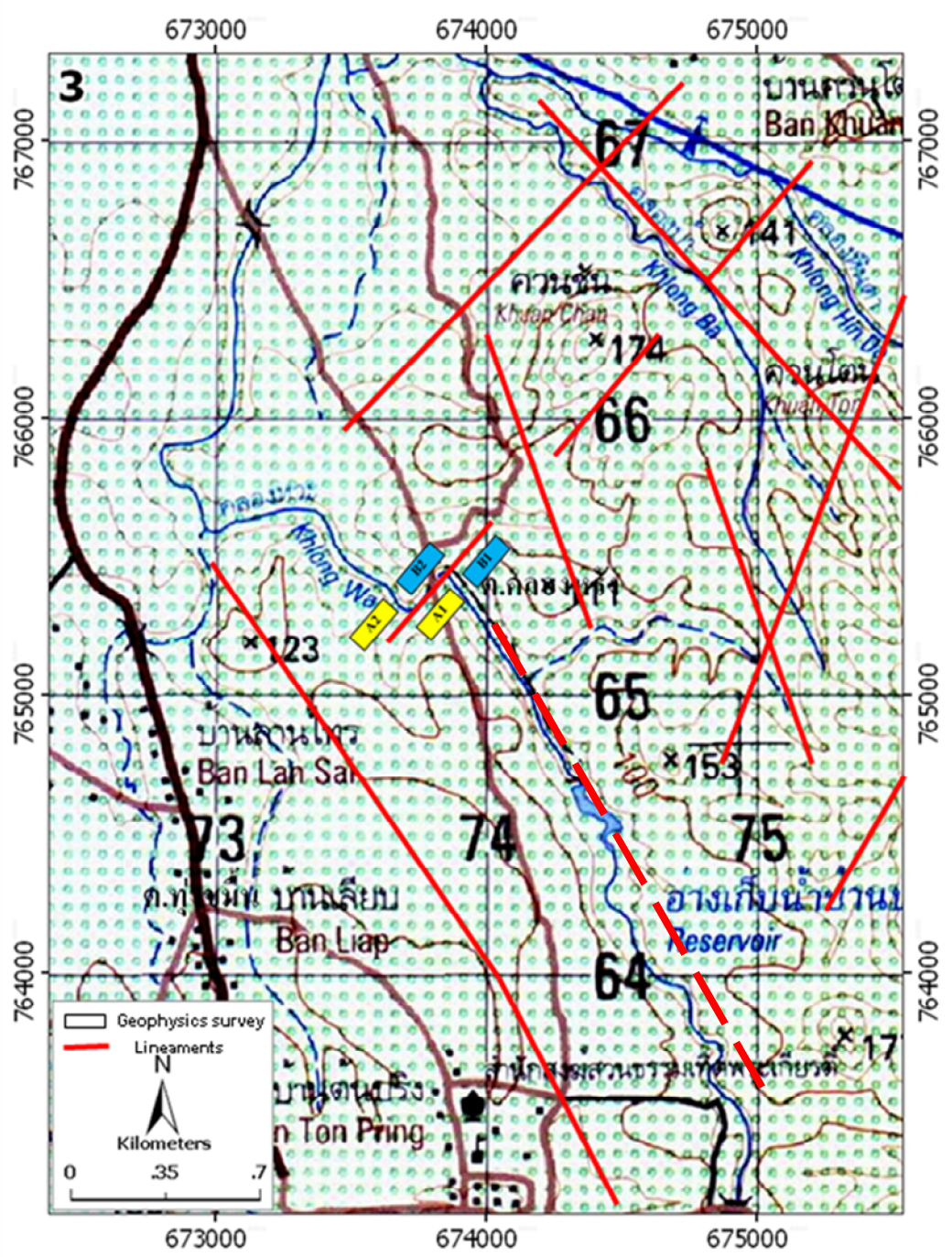
Coordinate : 672630E 771676N

Station : 3

No.	MN/2	AB/2	K	R(Ohm)	App.res (Ohm.m)
1	0.5	1.5	6.2	47.0	295.5
2	0.5	2.0	11.7	30.5	360.3
3	0.5	3.0	27.4	15.8	436.8
4	0.5	4.0	49.4	9.2	459.3
5	1.0	4.0	23.5	19.2	453.9
6	1.0	6.0	54.9	8.5	470.2
7	1.0	8.0	98.9	5.0	495.2
8	1.0	10	155.5	3.0	475.9
9	2.0	10	75.3	6.2	471.8
10	2.0	15	173.5	2.5	443.3

การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห ในพื้นที่ตำบลคลองหรัง

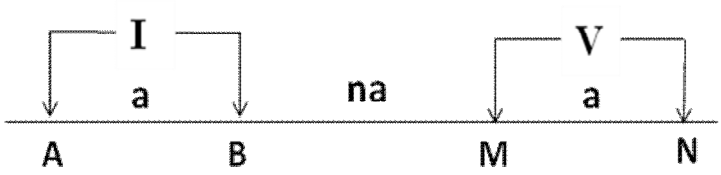
การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห (Seismic refraction) การสำรวจครั้งนี้ใช้ตัวรับสัญญาณ 24 ตัวมีแนวสำรวจแนวเดียวกับการสำรวจแบบสะท้อน โดยทำการเก็บข้อมูล 7 จุด ใน 1 spread ใน 1 แนวสำรวจมี 2 spread ตัวรับสัญญาณ ห่างกัน 2 เมตร จุดกำเนิดคลื่น ห่างกันแต่ละจุดเท่ากับ 24 เมตร สำหรับการแปลความได้ใช้โปรแกรม SIP version 1.0 จาก Rimrock Geophysics



รูปที่ 2.29 แผนผังแสดงการวางแนวสำรวจด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์ A1, A2, B1 และ B2

การสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าใน 2 มิติในภาคสนาม พื้นที่ตำบลคลองหรัง

กำหนดขอบเขตของพื้นที่ที่คาดว่าเกิดรอยเลื่อนแล้วก็ทำการวางแนวสำรวจจำนวน 4 แนว คือ แนวสำรวจ A1, A2, B1 และ B2 ดังรูป 2.29 โดยที่แต่ละแนวสำรวจมีความยาว 200 เมตร โดยวางแนวเทปวัดระยะให้ได้แนววัดยาว 200 เมตร ทำการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยต่อสายไฟเข้ากับขั้วอิเล็กโตรดทั้งสี่ขั้ว แล้วจึงปักขั้วอิเล็กโตรดลงในดินตามรูปแบบการจัดวางขั้วไฟฟ้าแบบไดโพล-ไดโพล ดังรูป 2.30 โดยมีค่าระยะห่างระหว่างขั้ว A กับ B และระหว่างขั้ว M กับ N เท่ากับ 5 เมตร (ระยะ a)



รูปที่ 2.30 แสดงการจัดวางขั้วไฟฟ้าแบบ Dipole-Dipole array

การวัดระดับความสูงของภูมิประเทศ (leveling)

เนื่องจากสภาพภูมิประเทศในพื้นที่ศึกษาไม่ได้เป็นที่ราบเรียบจึงได้ทำการวัดระดับความสูงต่ำในพื้นที่นี้เพื่อนำไปปรับแก้เมื่อความสูงต่ำของบริเวณที่มีค่าความชันเปลี่ยนแปลงเกินกว่า 10 องศา อุปกรณ์ที่ใช้ คือ ไม้ระดับ (staff) ขาตั้งกล้อง (tripod) เทปวัดระยะ และกล้องวัดระดับ (telescope) สำหรับการวางแนวการสำรวจให้วางตามแนวที่ใช้การสำรวจเริ่มจากการตั้งกล้อง telescope บน tripod ให้เรียบร้อยพร้อมตั้งลูกน้ำให้อยู่ในตรงกลางของวงกลม เมื่อตั้งกล้องเสร็จให้เริ่มวัด back ward (BW) ของจุดวัดก่อน แล้วจึงวัด forward (FW) (รูปที่ 2.31) บันทึกแต่ละค่าที่วัดให้เรียบร้อย และทำการสำรวจไปจนกระทั่งเสร็จทั้งแนวสำรวจ ตัวอย่างการบันทึกผลแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งช่องแรกจะเป็นการระบุตำแหน่งซึ่งจะบันทึกเป็นระยะหรือจุดก็ได้แล้วแต่ความถนัดของผู้ใช้

สามารถคำนวณหาค่าความแตกต่างของความสูง Delta ได้จากสมการ

$$\text{Delta} = \text{BW-FW}$$

ตารางที่ 2.3 ตารางบันทึกผลการสำรวจการวัดระดับความสูง

Station	Distance (m)	BW (m)	FW (m)	Delta (m)	Height refer toS1 (m)
S1	0.0	2.048	-	-	0.000
S2	36.0	0.593	2.015	0.033	0.033
S3	50.0	0.593	1.465	-0.872	-0.839
S4	81.0	0.332	3.92	-3.327	-4.166
S5	92.5	0.246	3.689	-3.357	-7.523
S6	101.0	0.900	3.805	-3.559	-11.082
S7	126.0	0.435	3.847	-2.947	-14.029
S8	134.0	0.568	3.876	-3.441	-17.470
S9	140.0	0.161	3.808	-3.24	-20.710
S10	152.0	0.161	2.518	-2.357	-23.067
S11	159.0	2.565	1.531	-1.370	-24.437
S12	169.5	3.753	0.455	2.110	-22.327
S13	187.0	2.668	0.671	3.082	-19.245
S14	200.0	-	0.578	2.090	-17.155

รูปที่ 2.31 การวัดระดับความสูงบนแนววัดในพื้นที่ศึกษา

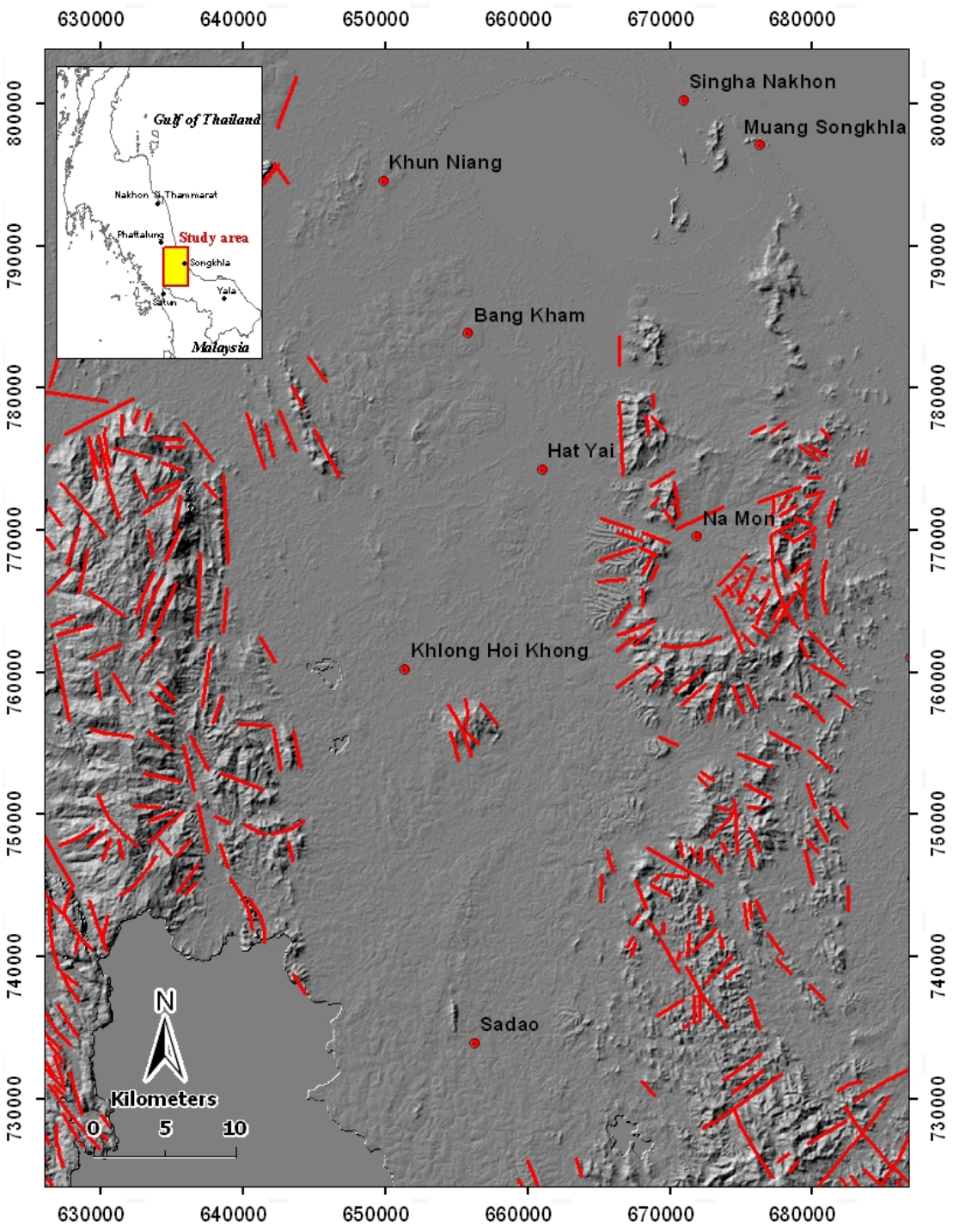
บทที่ 3

ผลและการอภิปรายผล

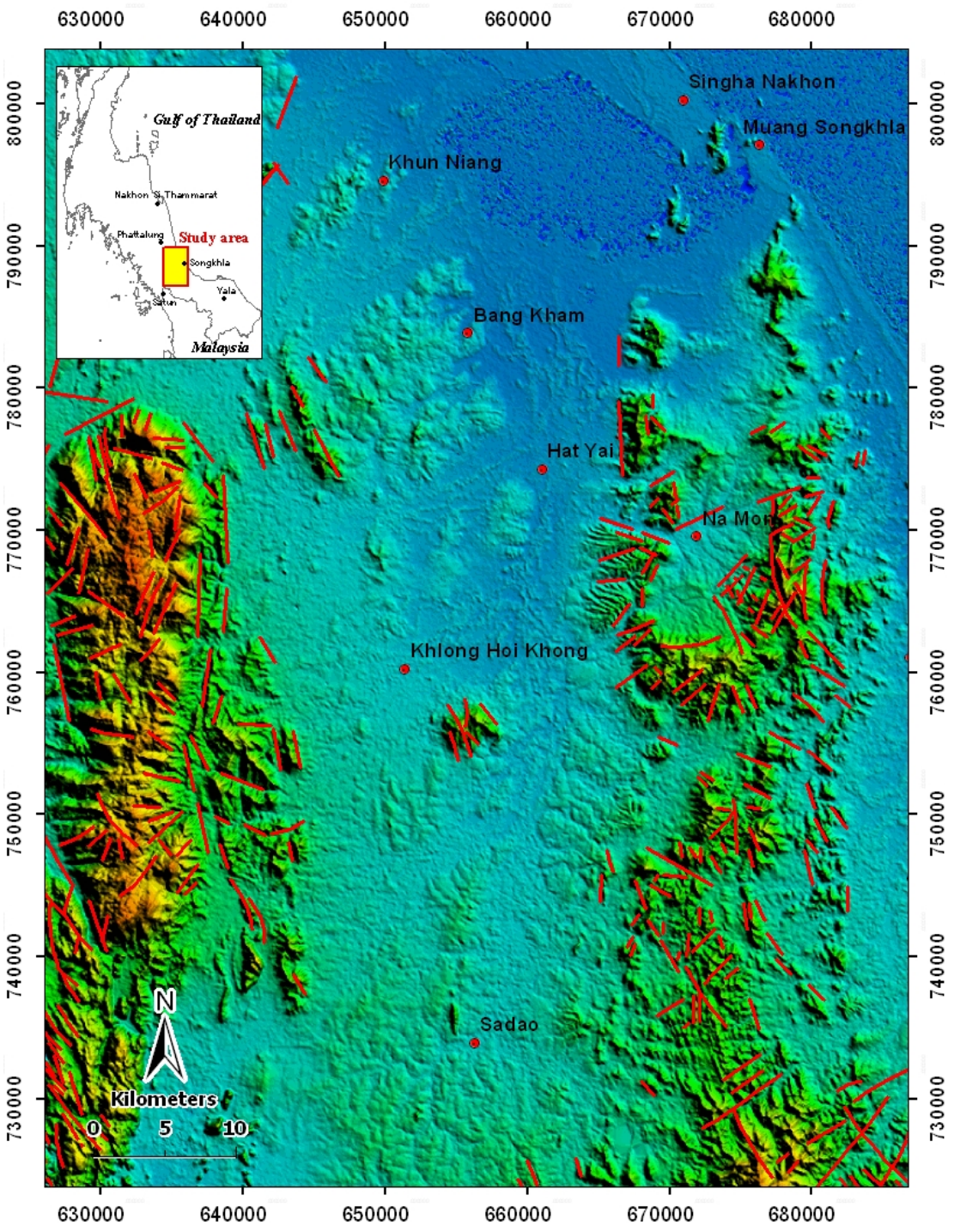
3.1 ผลการศึกษาด้วยการสำรวจจากระยะไกล

3.1.1 ผลจากการแปลความข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

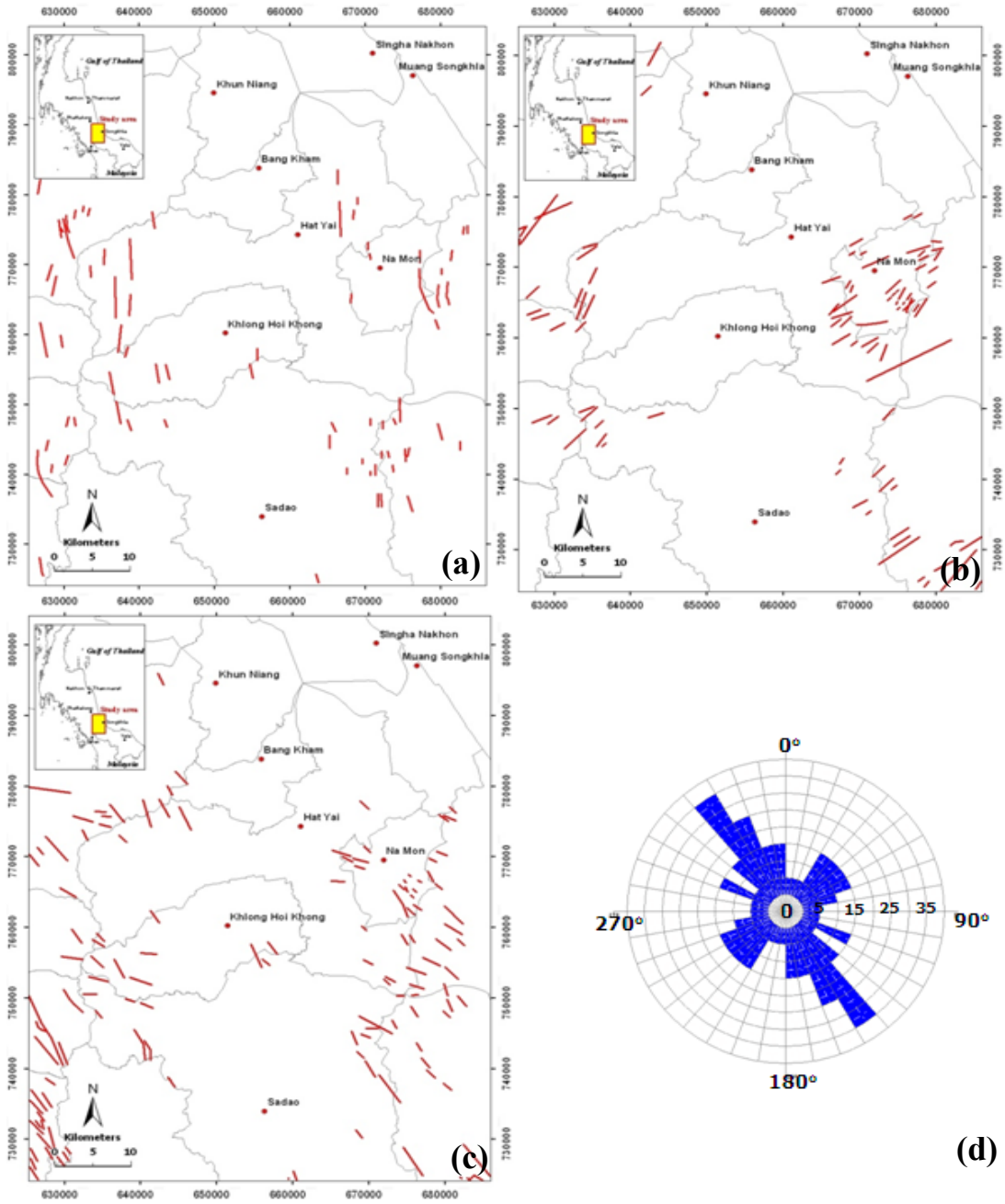
หลังจากการปรับปรุงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมชนิด DEM ดังรูปที่ 2.14 และ 2.15 ได้ทำการแปลความหมายข้อมูลเพื่อกำหนดและจัดทำแผนที่ธรณีวิทยาโครงสร้างแนวเส้น (lineaments) ลงในพื้นที่จังหวัดสงขลาและพื้นที่ใกล้เคียงดังรูป 3.1 และ 3.2 การได้มาของข้อมูลแนว lineaments ในพื้นที่ศึกษานั้นได้มาจากการลากเส้นแนวที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อนในบริเวณกว้างเพื่อกำหนดการวางตัวและทิศทางของรอยเลื่อนนั้น โดยพบว่าแนว lineaments ในพื้นที่ศึกษานั้นจะมีปริมาณค่อนข้างหนาแน่นอยู่ทางด้านทิศตะวันตกและทิศตะวันออกของแอ่งหาดใหญ่ส่วนบริเวณตอนกลางของพื้นที่ซึ่งจะมีน้อยเนื่องจากเป็นพื้นที่ค่อนข้างราบปกคลุมด้วยตะกอนในยุค Quaternary ซึ่งถูกกัดกร่อนและพัดพามาจากแนวเขาสูงทั้งสองด้านของแอ่งหาดใหญ่ แนว lineaments ในพื้นที่ศึกษาสามารถแยกเป็น 3 กลุ่มหลักๆ ดังรูปที่ 3.3 ได้ดังนี้ คือ 1) วางตัวในทิศทางเหนือ-ใต้ จะเห็นได้ค่อนข้างชัดมากกว่าในทิศทางอื่นโดยที่จะกระจายอยู่อย่างหนาแน่นในทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของแอ่งหาดใหญ่โดยมีความยาวตั้งแต่ 2.5 ถึง 5 กิโลเมตร 2) อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้มีความยาวตั้งแต่ 1.5 ถึง 3.5 กิโลเมตร จะเห็นได้ชัดในหินอัคนีสีเทายุคไทรแอสซิก (Triassic grey igneous rock) บริเวณเขาแก้วทางด้านทิศตะวันตกของแอ่งหาดใหญ่ 3) วางตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้พบมากบริเวณทิศตะวันออกของแอ่งหาดใหญ่บริเวณอำเภอนาหม่อมตรงบริเวณรอยต่อของหินอัคนีและหินทรายยุคไทรแอสสิก, หินดินดาน และหินทรายแป้ง มีความยาวตั้งแต่ 1 ถึง 5 กิโลเมตร



รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงแนว lineaments ที่ทำการแปลความลงบนภาพแลเงาภูมิประเทศ (shade relief image) ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมชนิด SRTM DEM ของพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง



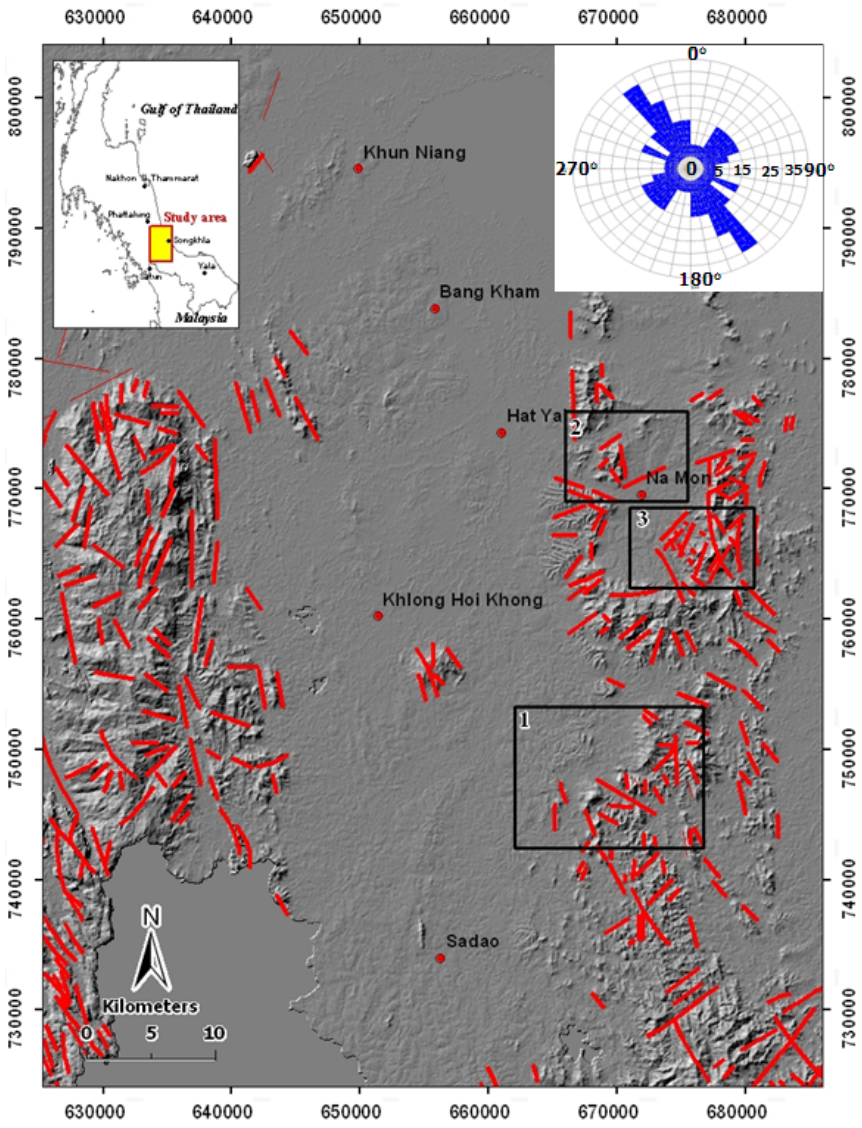
รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงแนว lineaments ที่ทำการแปลความลงบนภาพถ่ายดาวเทียมชนิด SRTM DEM ที่ได้รับการปรับปรุงด้วยโปรแกรม Global mapper ที่แสดงภาพสีที่แตกต่างกันตามระดับความสูงของพื้นที่โดยที่สีฟ้าแทนระดับความสูงต่ำสุดไปจนถึงสีแดงที่แสดงความสูงสูงสุด



รูปที่ 3.3 แนว lineaments ในพื้นที่ศึกษา 3 กลุ่มหลัก ๆ (a) ทิศทางเหนือ-ใต้ (b) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (c) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (d) แผนภาพดอกกุหลาบ (rose diagram) ในพื้นที่ศึกษาแสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (strike) โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

3.2 ผลการสำรวจภาคสนามด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์

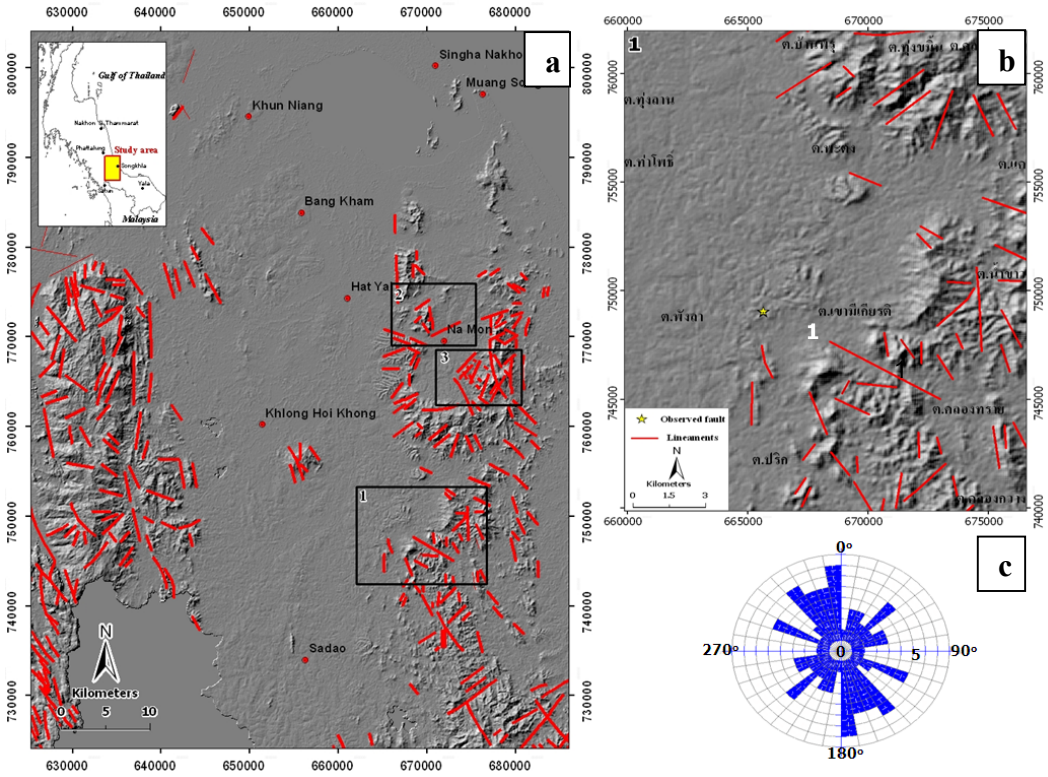
ผลการแปลความหมายภาพถ่ายดาวเทียมผนวกกับการสำรวจธรณีภาคสนามเพื่อตรวจสอบสภาพภูมิประเทศจริง และลักษณะธรณีสัณฐานที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อน พร้อมกับกำหนดตำแหน่งสำรวจธรณีฟิสิกส์ รายละเอียดดังแสดงในบทที่ 2 การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเลือกพื้นที่สำรวจ 3 พื้นที่ คือ 1) ตำบลเขามีเกียรติ อำเภอสะเดา 2) ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม 3) ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงพื้นที่ที่จะลงสำรวจภาคสนาม 3 พื้นที่ คือ 1) ตำบลเขามีเกียรติ อำเภอสะเดา 2) ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม 3) ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม

3.2.1 ผลการสำรวจด้วยภาพถ่ายดาวเทียมและธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่สำรวจที่ 1 ในตำบลเขามีเกียรติ อำเภอสะเดา

จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเมื่อพิจารณาถึงแนว lineament กับตำแหน่งของรอยเลื่อนที่ปรากฏให้เห็นบนหน้าผานั้น (รูปที่ 1.13) จะพบว่ามีแนว lineament ที่มีความเป็นไปได้ว่าน่าจะไปในทิศทางเดียวกันโดยอยู่ในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (หมายเลข 1 รูปที่ 3.5 (b)) มีความยาวประมาณ 5 กิโลเมตรและทำมุม strike direction เท่ากับ N54°W



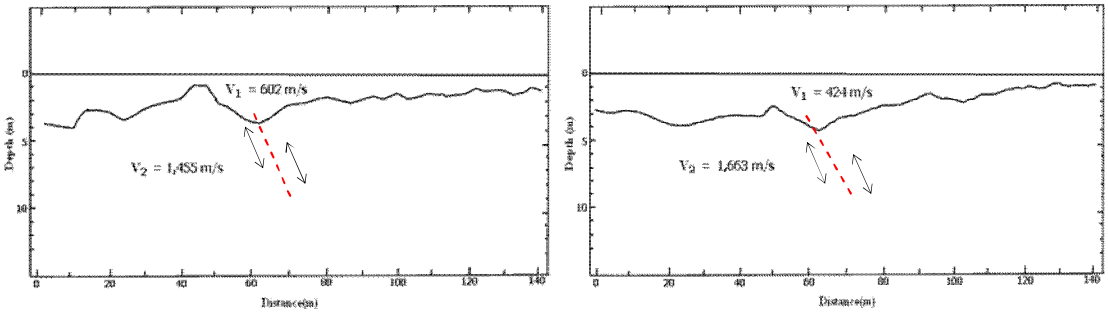
รูปที่ 3.5 (a) ธรณีวิทยาโครงสร้างแนวเส้น lineaments ในพื้นที่ศึกษา (b) รอยเลื่อนในพื้นที่อำเภอสะเดา บ้านเข้ามีเกียรติ (ดาวสีเหลือง), (c) แสดงแผนภาพรูปกุหลาบ (rose diagram) ในพื้นที่ที่ 1 แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (strike) โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในทิศเหนือ-ใต้

ผลการสำรวจด้วยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์

วางแนวสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ 3 แนวคือแนว A, B และ C ดังรูป 2.24 เพื่อพิสูจน์การมีอยู่จริงของรอยเลื่อนและพิจารณาแนว strike direction ของรอยเลื่อนที่พบพร้อมทั้งการวิเคราะห์ผลจากการสำรวจธรณีฟิสิกส์เพื่อยืนยันชนิดของรอยเลื่อนในพื้นที่ศึกษานี้

ผลจากการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห

แบบจำลองลักษณะโครงสร้างใต้ผิวดินของทั้งสองแนวสำรวจ (A, B) แสดงชั้นดินสองชั้นโดยที่ดินชั้นแรกมีความหนาประมาณ 5 เมตรความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนอยู่ในช่วง 424 - 602 เมตรต่อวินาที ซึ่งค่าดังกล่าวนั้นแปลความได้ว่าเป็นชั้นของกรวดหรือทรายแห้งดังรูป 3.6 และที่ความลึกประมาณ 4 เมตรในแนว A และแนว C ค่าความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนเพิ่มขึ้นเป็น 1,455 เมตรต่อวินาที และ 1,663 เมตรต่อวินาที แปลความได้ว่าเป็นชั้นของดินเหนียว, ดินเหนียวปนทรายและทรายเปียกหรือทรายที่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยพบบริเวณที่มีลักษณะที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงทางแนวราบของความสูงของชั้นดินที่อาจเนื่องมาจากแนวรอยเลื่อนของทั้งสองแนวสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหที่ความลึกตั้งแต่ 4 เมตรและที่ระยะทางประมาณ 60 เมตร ถึง 70 เมตร



(a) (b)

รูปที่ 3.6 แสดงแบบจำลองลักษณะโครงสร้างใต้ผิวดินจากการสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหในแนวสำรวจ A (a) และ C (b)

ผลการสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน

ขั้นตอนในการประมวลผลข้อมูล seismic reflection ของแนวสำรวจที่ A และแนวสำรวจที่ C ที่มีละเอียดเพิ่มเติมจากการประมวลผลตามขั้นตอนทั่วไปตามตารางที่ 2.1 คือ

1) ทำการกรองค่าข้อมูล (band-pass filter) ตัดสัญญาณช่วงความถี่อื่นๆที่อยู่นอกกลุ่มความถี่ของสัญญาณที่สนใจออก โดยกลุ่มที่สนใจคือ 20, 40, 160, 220

2) ทำการขยายสัญญาณ (Automatic gain control (AGC)) โดยการเพิ่ม amplitude เท่ากับ 200 ms

ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาความเร็วใช้วิธี constant velocity scan (CVS) แต่ละชั้นจะไล่ไปตาม layer ของ seismic section ความเร็วที่ได้ หาได้จากการลากเส้นไฮเพอร์โบลา และจากการ test ผ่าน stack section

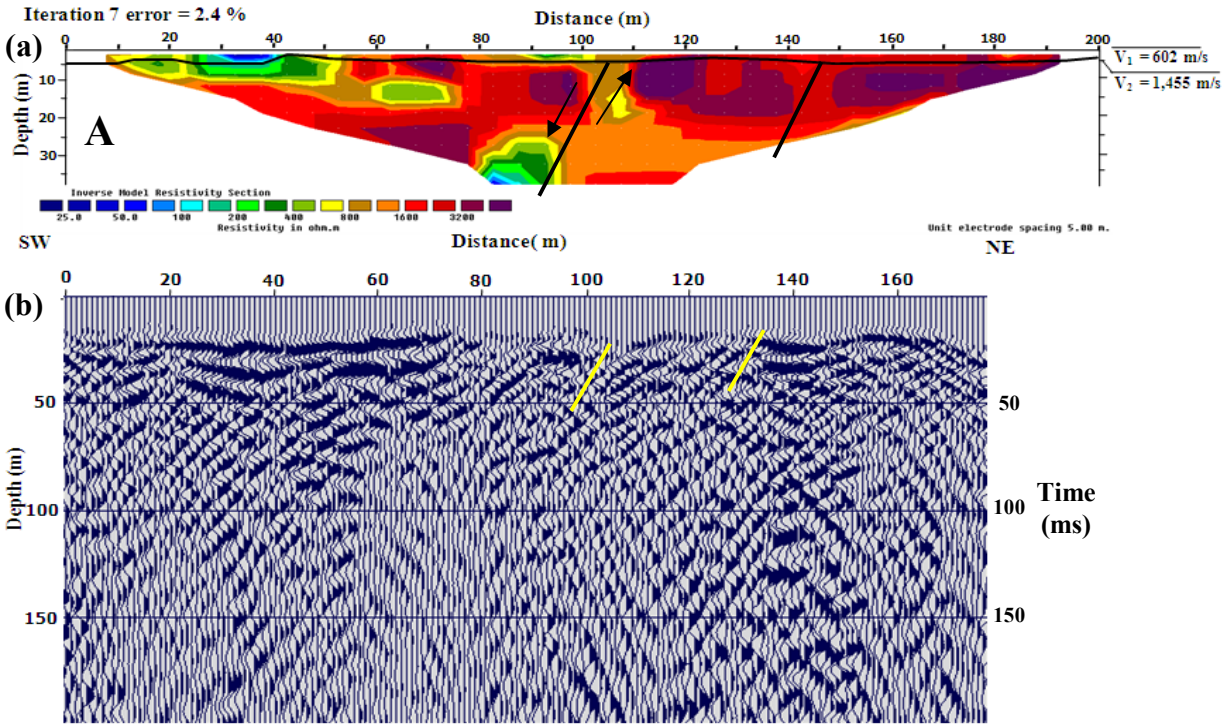
ผลจากการสำรวจของแนว A นั้นพบว่าช่วงด้านบนของภาพ seismic section (ดังรูป 3.7 (b)) ที่ระดับความลึกประมาณ 24 เมตร และประมาณ 31 เมตรจากพื้นผิว แสดงความต่อเนื่องของชั้นดินสองชั้น โดยมีความเร็วเท่ากับ 1,680 เมตรต่อวินาที แปลความได้ว่าเป็นความเร็วของชั้นหินทรายหรือชั้นหินดินดาน จากภาพ Seismic section จะพบความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณตรงระยะประมาณ 104 เมตรและระยะประมาณ 130 เมตร ซึ่งอาจจะผลมาจากมีรอยเลื่อนตัดผ่าน

ผลการสำรวจของแนว C ดังรูปที่ 3.8 (a) ซึ่งอยู่ห่างจากแนวสำรวจ A เป็นระยะ 124 เมตร จาก seismic section พบว่ามีชั้นดินสองชั้นที่มีความต่อเนื่องอยู่ที่ความลึก 34 เมตรและ 47 เมตร จากผิวดิน โดยชั้นดินมีความเร็ว 1,840 เมตรต่อวินาที ซึ่งแปลความว่าเป็นชั้นดินของหินทราย จะเห็นความไม่ต่อเนื่องของชั้นดินในแนวราบตรงระยะประมาณ 82 เมตรถึง 84 เมตร

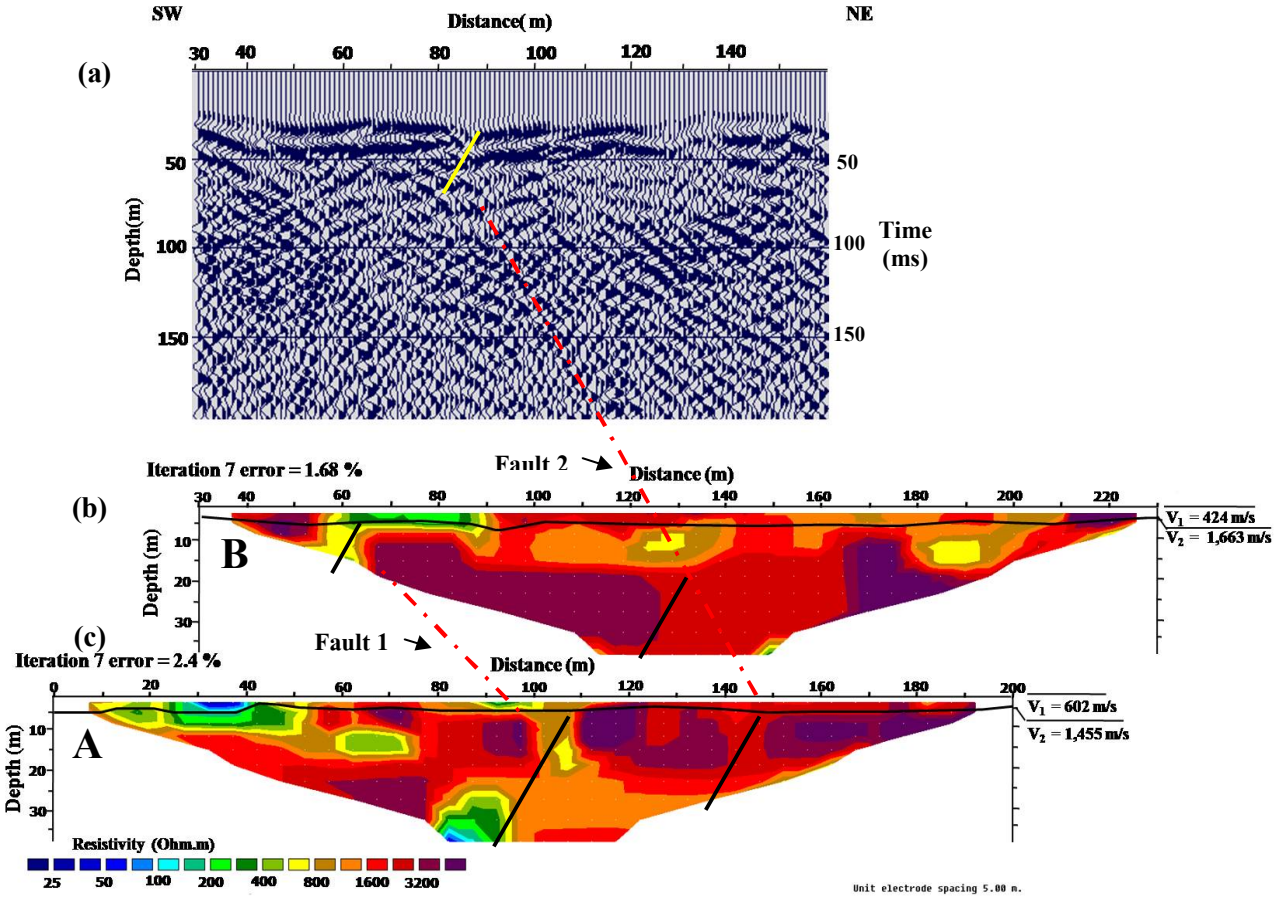
ผลการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ (2D resistivity survey)

ขั้นตอนในการประมวลผลข้อมูล 2D resistivity ด้วยโปรแกรม RES2DINV (ดูหัวข้อ 2.2.1.2.3) หลังจากการเปิด file ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ เลือกคำสั่ง Inversion และ Least-squares inversion ทำ Iteration จนกระทั่งได้ค่าความแตกต่างระหว่างแบบจำลองที่สร้างจากโปรแกรมกับค่าที่ได้จากการวัดในภาคสนาม (Root mean square (RMS)) มีค่าต่ำกว่า 2% ซึ่งค่า RMS error ที่เหมาะสมนั้นคือค่าที่เมื่อเราเพิ่มกระบวนการวนซ้ำ (inversion) แบบจำลองที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ผลจากภาพตัดขวางทางไฟฟ้าของแนวสำรวจ A ของการจัดวางขั้วแบบ Wenner-wenner (รูปที่ 3.7 (a)) สามารถแบ่งค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏออกเป็น 2 บริเวณ (1) บริเวณด้านบนทางซ้ายแสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ (25-250 โอห์ม-เมตร) (2) บริเวณค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง (1,600-3,500 โอห์ม-เมตร) ในบริเวณด้านบนทางด้านขวามือและทางด้านตะวันตกช่วงกลางของภาพตัดขวางทางไฟฟ้า โดยพบว่ารอยเลื่อนนั้นสัมพันธ์กับบริเวณที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแสดงความไม่ต่อเนื่องบริเวณตำแหน่งประมาณ 100-109 เมตร ในบริเวณด้านบนทางด้านขวามือและรอยต่อนั้นมีตะกอนที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำได้ทับถมอยู่ และรอยเลื่อนตำแหน่งที่สองอยู่ที่ระยะประมาณ 145 เมตร ซึ่งเป็นรอยต่อของชั้นดินที่มีค่าสภาพต้านทานสูงที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านข้างในบริเวณด้านขวามือช่วงบนของภาพตัดขวางทางไฟฟ้า ที่ความลึกประมาณ 10 ถึงประมาณ 20 เมตร และมีมุมเทประมาณ 55^{o}-65^{o}



รูปที่ 3.7 แสดงการแปลความร่วมกันของการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ในแนวสำรวจ A (a) แบบจำลองลักษณะโครงสร้างใต้ผิวดินจากการสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหซ้อนทับลงบนภาพตัดขวางทางไฟฟ้า (b) ผลการสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน



รูปที่ 3.8 แสดงการแปลความร่วมกันระหว่าง (a) การสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนในแนวสำรวจ C, (b) และ (c) การสำรวจด้วยวิธีสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจ A, B โดยแสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในหน่วย โอห์ม-เมตร

ผลจากการสำรวจของแนวสำรวจ B ด้วยวิธี 2D electrical resistivity ดังรูปที่ 3.8 (b) ซึ่งอยู่ห่างจากแนวสำรวจ A เป็นระยะ 32 เมตรทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ โดยมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง (1,600 – 3,500 โอห์ม-เมตร) ทางด้านซ้ายและด้านขวาของภาพตัดขวางที่ความลึกประมาณ 10 เมตร ถึง 36 เมตร จากผิวดินซึ่งค่าความไม่ต่อเนื่องของความหนานั้นสัมพันธ์กับการมีรอยเลื่อนตัดผ่าน อีกตำแหน่งอยู่ที่ระยะประมาณ 60 เมตรในแนวสำรวจ B มีความเปลี่ยนแปลงทางด้านข้างของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่มีค่าต่ำนั้นอาจจะเป็นผลมาจากรอยเลื่อน

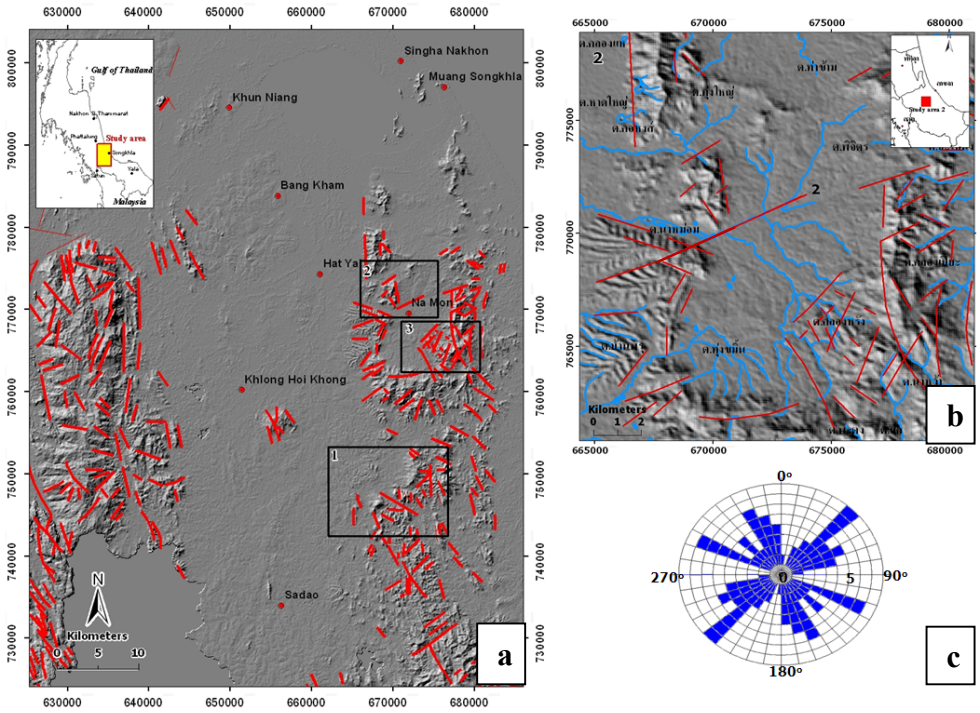
วิเคราะห์ผลการสำรวจในพื้นที่สำรวจที่ 1 ตำบลเขามีเกียติ อำเภอสะเดา

ผลจากการสำรวจด้วยวิธี 2D electrical resistivity ของทั้งสองแนวสำรวจ (แนว A, B) แสดงให้เห็นว่ามีรอยเลื่อน 2 รอยเลื่อนปรากฏขึ้นในลักษณะเดียวกันดังรูปที่ 3.8 โดยรอยเลื่อน 1

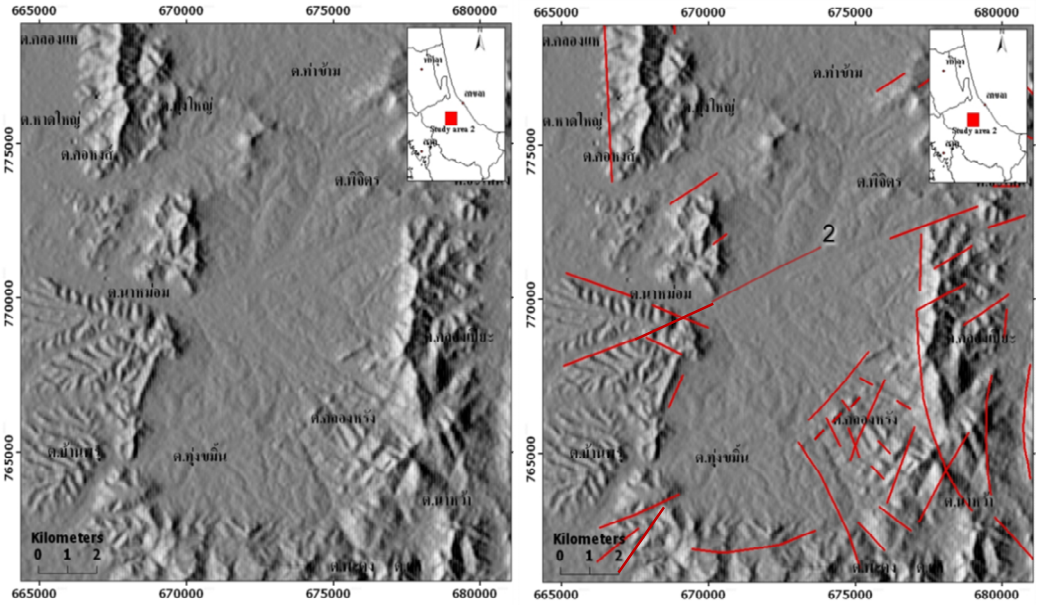
นั้นมีมุมเทประมาณ 55°-65° และแนวการวางตัวเท่ากับ N70°W และรอยเลื่อนที่ 2 นั้นยืนยันได้ด้วยผลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนของแนวสำรวจ C และการสำรวจด้วย 2D electrical resistivity ของทั้งสองแนวสำรวจพบว่ามีมุมเทและแนวการวางตัวประมาณ 55°-65° และ N52°-54°W ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองดังกล่าวสัมพันธ์กับค่าของรอยเลื่อนที่หน้าผาจากการสำรวจนั้นสรุปได้ว่าในพื้นที่ศึกษาที่ 1 พื้นที่ตำบลเขามีเกียติ ผลการสำรวจด้วยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ทั้งสองวิธีนั้นแสดงความไม่ต่อเนื่องของชั้นใต้ผิวดินในแนวระดับอันเนื่องมาจากผลของรอยเลื่อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลจากการสำรวจด้วยวิธีการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนนั้นแสดงลักษณะของรอยเลื่อนนี้ว่าเป็นรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) และจากทิศทางของมุมเทและแนวการวางตัว ที่ได้จะพบว่าน่าจะเป็นรอยเลื่อนที่มีแนวเดียวกันกับรอยเลื่อนที่พบบนหน้าผา

3.2.2 ผลการสำรวจด้วยภาพถ่ายดาวเทียมและธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่สำรวจที่ 2 ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม

พื้นที่บริเวณสองฝั่งคลองท่าโต้ราด อำเภอนาหม่อม จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมนั้นพบ lineaments ที่มีความต่อเนื่องกับลักษณะของลำคลองท่าโต้ราด ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากรอยเลื่อน กล่าวคือ ตัวคลองท่าโต้ราดเองนั้นไหลตามแนวรอยเลื่อน ดังรูป 3.9



รูปที่ 3.9 (a) ธรณีวิทยาโครงสร้างแนวเส้น (lineaments) ในพื้นที่ศึกษา (b) แสดงพื้นที่ศึกษาที่ 2 พื้นที่ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม (c) แสดง rose diagram ในพื้นที่ที่ 2 แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (strike) โดยมี 2 แนวหลักๆ คือทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้

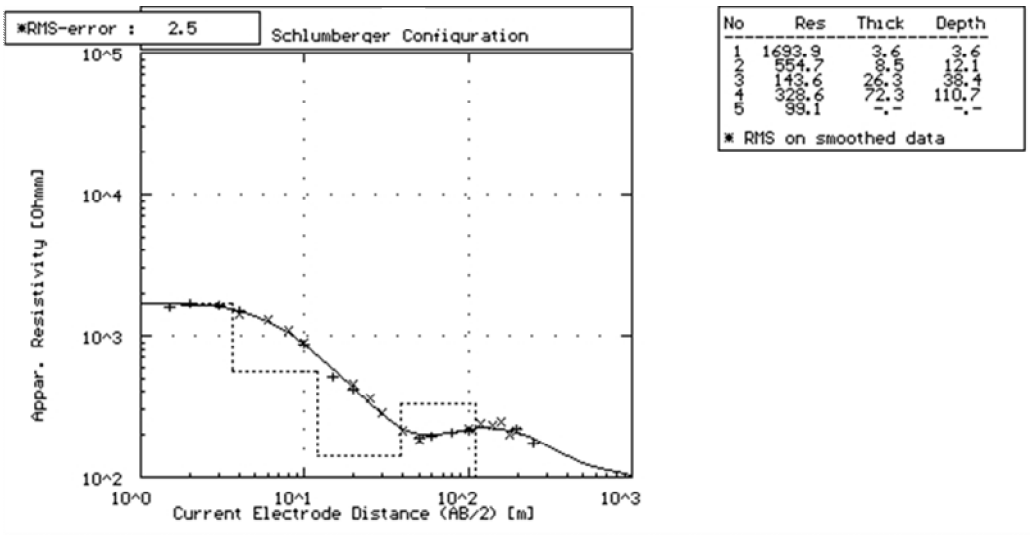


รูปที่ 3.10 แนว lineaments (หมายเลข 2) บนพื้นที่สำรวจที่ 2 ตำบลนาหม่อม และพื้นที่ใกล้เคียง

ผลการสำรวจด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์

ผลการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งความลึกของดิน (Vertical electrical sounding) ได้ทำการสำรวจสองฝั่งของคลองท่าโต้ราด อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ประกอบด้วยจำนวน 6 จุดวัด (รูปที่ 2.27) ผลการสำรวจของแต่ละแนววัด ดังต่อไปนี้

จุดวัดที่ 1 หรือ VES1 จุดวัดนี้อยู่ทางด้านบนของแนวที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อนและลำคลองท่าโต้ราด ที่พิกัด 670768E, 770549N สูงจากระดับน้ำทะเลเท่ากับ 38 เมตร (รูปที่ 2.27) โดยแนวสำรวจวางตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีความยาวเท่ากับ 320 เมตร กราฟค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏและผลการแปลความข้อมูลของจุดที่ 1 แสดงไว้ดังรูปที่ 3.11 จากการวิเคราะห์ตรวจพบชั้นดินจำนวน 5 ชั้น โดยค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและความหนาของดินแต่ละชั้นแสดงไว้ในตารางด้านบนขวา โดยดินชั้นแรกมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงมีค่าเท่ากับ 1693.9 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 3.6 เมตรคาดว่าเป็นชั้นกรวดทราย พวกหินกรวดมนที่ไม่จับตัวกันแน่น ส่วนชั้นที่ 2, 3 และ 4 มีค่าสภาพต้านทานค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 140-550 โอห์ม-เมตร เป็นชั้นก้อนกรวด (gravel) และทรายที่ถูกน้ำพัดพามา (alluvium) ชั้นที่ 5 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 99.1 โอห์ม-เมตร เป็นชั้นดินเหนียว



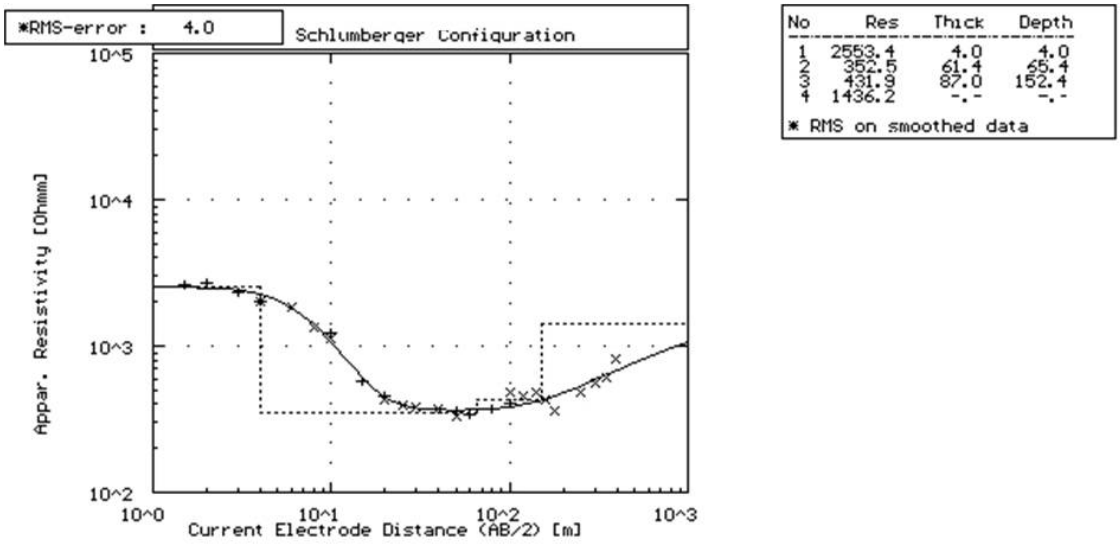
รูปที่ 3.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่คำนวณจากแบบจำลองของชั้นดินกับค่าที่ได้จากการวัดที่จุด VES1

ตารางที่ 3.1 ผลการแปลความหมายข้อมูลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดวัด VES1

ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าจริง (โอห์ม-เมตร)	ความหนา (เมตร)	ความลึก (เมตร)	ลักษณะของชั้นดิน-หิน
1693.9	3.6	3.6	conglomerates
554.7	8.5	12.1	gravel
143.6	26.3	38.4	alluvium
328.6	72.3	110.7	alluvium
99.1	-	>110.7	clay

จุดวัดที่ 2 หรือ VES2 จุดวัดนี้อยู่ทางด้านเหนือของแนวที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อนและลำคลองท่าโต้ราด ที่พิกัด 671129E, 771335N สูงจากระดับน้ำทะเลเท่ากับ 54 เมตร (รูปที่ 2.27)

กราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏและผลการแปลความข้อมูลของจุดที่ 2 แสดงไว้ดังรูปที่ 3.12 จากการวิเคราะห์ตรวจพบชั้นดินจำนวน 4 ชั้น โดยค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและความหนาของดินแต่ละชั้นแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 โดยดินชั้นแรกมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงมีค่าเท่ากับ 2553.4 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 4 เมตรคาดว่าเป็นชั้นกรวดทรายที่ไม่จับตัวกันแน่น ส่วนชั้นที่ 2 และ 3 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 352.5 และ 431.9 โอห์ม-เมตรตามลำดับ เป็นชั้นกรวด ส่วนชั้นที่ 5 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปานกลางมีค่าเท่ากับ 1,436.2 โอห์ม-เมตร และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นตามระยะห่างของ AB/2 คาดว่าจะเป็นชั้นของหินทรายหรือหินแกรนิตผุ (weathered granite)



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่คำนวณจากแบบจำลองของชั้นดินกับค่าที่ได้จากการวัดที่จุด VES2

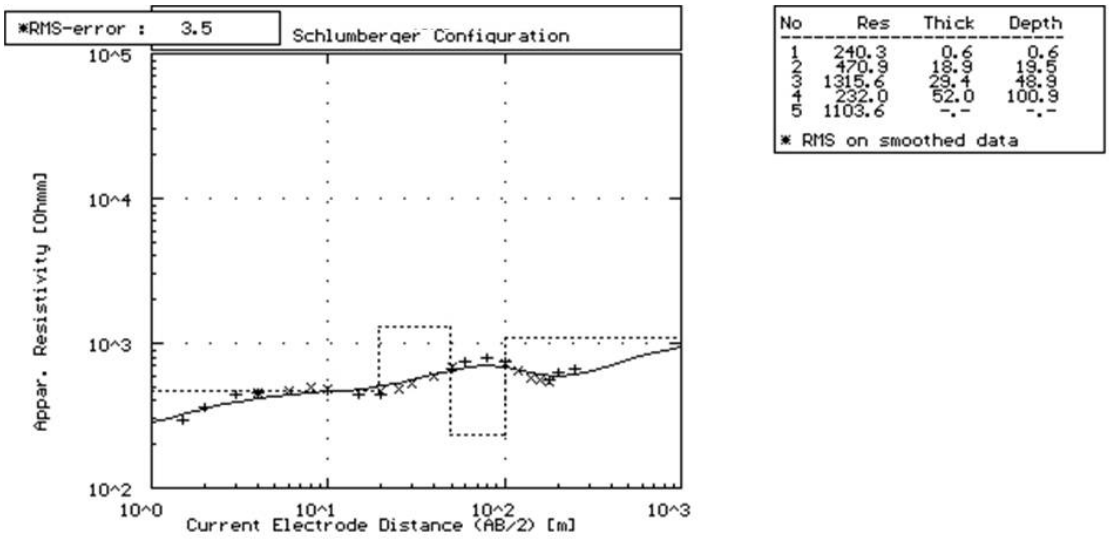
ตารางที่ 3.2 ผลการแปลความหมายข้อมูลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดวัด VES2

ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าจริง (โอห์ม-เมตร)	ความหนา (เมตร)	ความลึก (เมตร)	ลักษณะของชั้นดิน-หิน
2553.4	4.0	4.0	sandstone or conglomerates
352.5	61.4	65.4	alluvium
431.9	87.0	152.4	alluvium
1436.2	-	>153.4	sandstone or weathered granite

จุดวัดที่ 3 หรือ VES3 จุดวัดนี้อยู่ใกล้กับวัดพรหมพระดิษฐ์ซึ่งอยู่ทางด้านเหนือของแนวที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อนและลำคลองท่าโต้ราด ที่พิกัด 672630E, 771676N สูงจากระดับน้ำทะเลเท่ากับ 44 เมตร (รูปที่ 2.27)

กราฟค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏและผลการแปลความข้อมูลของจุดวัดที่ 3 แสดงไว้ดังรูปที่ 3.13 จากการวิเคราะห์ตรวจพบชั้นดินจำนวน 5 ชั้นโดยค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและความหนาของดินแต่ละชั้นแสดงไว้ในตารางที่ 3.3 โดยดินชั้นแรกเป็นดินชั้นบน (top soil) และมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า เท่ากับ 240.3 มีความหนาประมาณ 0.6 เมตร ชั้นที่ 2 มีค่าสภาพต้านทาน

ไฟฟ้า 470.9 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 19 เมตร ชั้นนี้คาดว่าจะเป็นทรายที่ถูกน้ำพัดพามา ส่วนชั้นที่ 3 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 1,315.6 โอห์ม-เมตร เป็นชั้นที่มีค่าสภาพต้านทานค่อนข้างสูง น่าจะเป็นชั้นของหินทราย ส่วนชั้นที่ 4 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 232 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 52 เมตร คาดว่าเป็นชั้นกรวด และจากกราฟจะเห็นว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะของ AB/2 หรือเพิ่มขึ้นตามความลึกดังนั้นในชั้นที่ 5 ซึ่งมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 1,103.6 โอห์ม-เมตร คาดว่าจะเป็นชั้นของหินทรายหรือหินแกรนิตผุ (weathered granite)



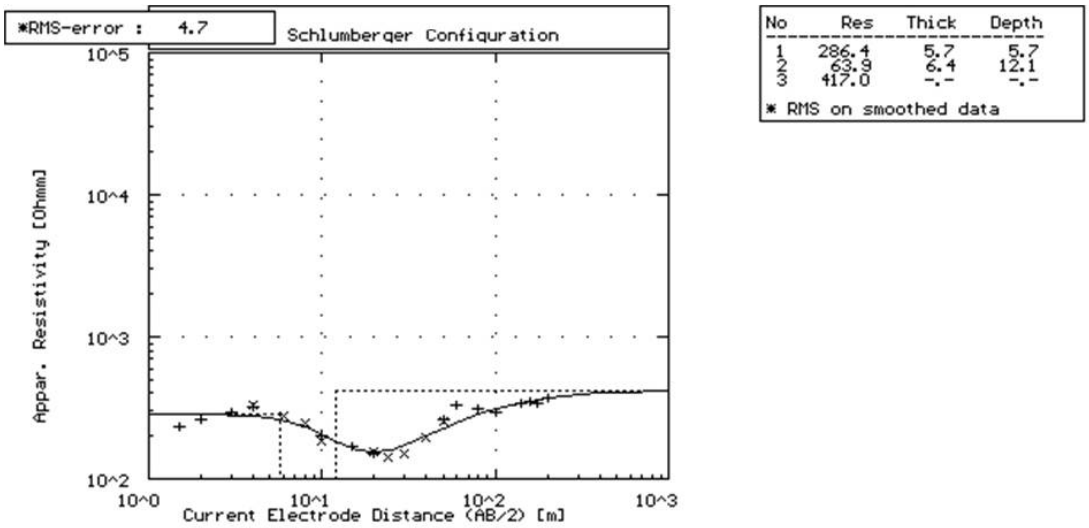
รูปที่ 3.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่คำนวณจากแบบจำลองของชั้นดินกับค่าที่ได้จากการวัดที่จุด VES3

ตารางที่ 3.3 ผลการแปลความหมายข้อมูลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดวัด VES3

ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าจริง (โอห์ม-เมตร)	ความหนา (เมตร)	ความลึก (เมตร)	ลักษณะของชั้นดิน-หิน
240.3	0.6	0.6	top soil
470.9	18.9	19.5	alluvium
1,315.6	29.4	48.9	sandstone
232.0	52.0	100.9	alluvium
1,103.6	-	> 100.9	sandstone or weathered granite

จุดวัดที่ 4 หรือ VES4 จุดวัดนี้อยู่ใกล้กับวัดนาหม่อมซึ่งอยู่ทางด้านทิศใต้ของแนวที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อนและลำคลองท่าโต้ราด ที่พิกัด 670968E, 770222N สูงจากระดับน้ำทะเลเท่ากับ 29 เมตร (รูปที่ 2.27)

กราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏและผลการแปลความข้อมูลของจุดวัดนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.14 จากการวิเคราะห์ตรวจพบชั้นดินจำนวน 3 ชั้นโดยค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและความหนาของดินแต่ละชั้นแสดงไว้ในตารางที่ 3.4 โดยดินชั้นแรกมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 286.4 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 5.7 เมตรคาดว่าเป็นชั้นดินชั้นบน ส่วนชั้นที่ 2 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 63.9 โอห์ม-เมตร คาดว่าเป็นชั้นดินเหนียวและที่ระดับความลึกมากกว่า 12 เมตร ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 417 โอห์ม-เมตรและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก คาดว่าเป็นชั้นหินทรายที่ถูกน้ำพัดพามา



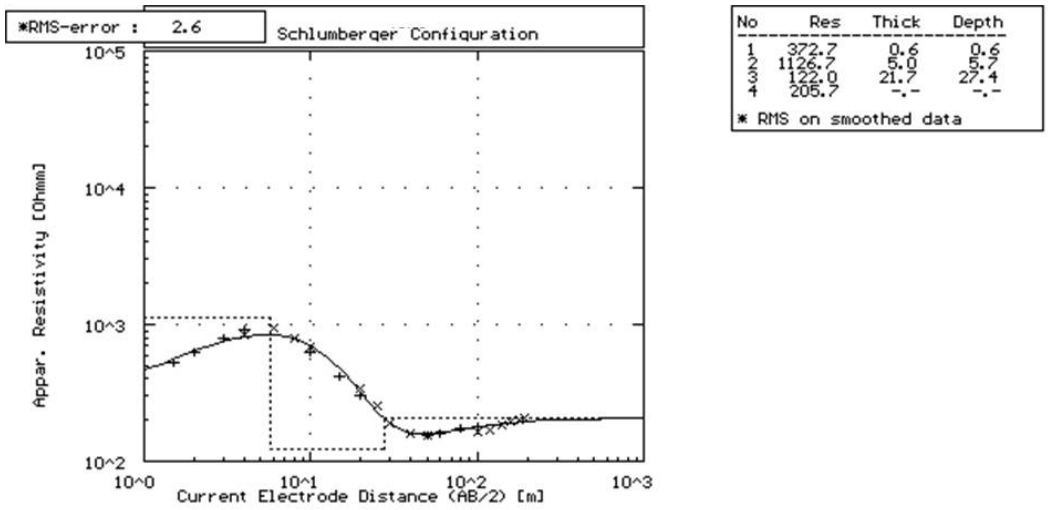
รูปที่ 3.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่คำนวณจากแบบจำลองของชั้นดินกับค่าที่ได้จากการวัดที่จุด VES4

ตารางที่ 3.4 ผลการแปลความหมายข้อมูลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดวัด VES4

ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าจริง (โอห์ม-เมตร)	ความหนา (เมตร)	ความลึก (เมตร)	ลักษณะของชั้นดิน-หิน
286.0	5.7	5.7	top soil
63.9	6.4	12.1	clay
417.0	-	> 12.1	alluvium

จุดวัดที่ 5 หรือ VES5 จุดวัดนี้อยู่ใกล้กับสถานีรถไฟฟ้านาหม่อมซึ่งอยู่ทางด้านทิศใต้ของแนวที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อนและลำคลองท่าโต้ราด ที่พิกัด 671571E, 770237N สูงจากระดับน้ำทะเลเท่ากับ 29 เมตร (รูปที่ 2.27)

กราฟค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏและผลการแปลความข้อมูลของจุดวัดนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.15 จากการวิเคราะห์ตรวจพบชั้นดินจำนวน 4 ชั้นโดยค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและความหนาของดินแต่ละชั้นแสดงไว้ในตารางที่ 3.5 โดยดินชั้นแรกมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 372.7 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 0.6 เมตรคาดว่าเป็นชั้นดินชั้นบน ส่วนชั้นที่ 2 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 1,127 โอห์ม-เมตร คาดว่าเป็นชั้นหินทรายหรือกรวดที่จับตัวกันแน่นและที่ระดับความลึกมากกว่า 5.7 เมตร ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามีค่าต่ำเท่ากับ 122-200 โอห์ม-เมตร คาดว่าเป็นชั้นทรายที่ถูกน้ำพัดพามา



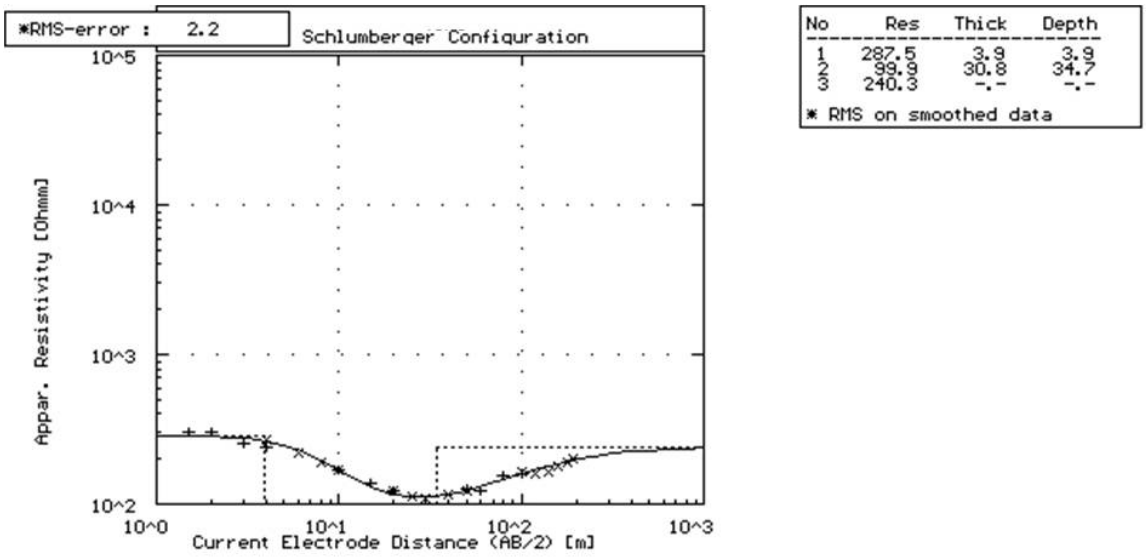
รูปที่ 3.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่คำนวณจากแบบจำลองของชั้นดินกับค่าที่ได้จากการวัดที่จุด VES5

ตารางที่ 3.5 ผลการแปลความหมายข้อมูลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดวัด VES5

ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าจริง (โอห์ม-เมตร)	ความหนา (เมตร)	ความลึก (เมตร)	ลักษณะของชั้นดิน-หิน
372.7	0.6	0.6	top soil
1126.7	5.0	5.7	gravel or Sandstone
122.0	21.7	27.4	alluvium
205.7	-	> 27.4	alluvium

จุดวัดที่ 6 หรือ VES6 จุดวัดนี้อยู่ทางด้านทิศตะวันออกของแนวที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อนและลำคลองท่าโต้ราด ที่พิกัด 672127E, 770578N สูงจากระดับน้ำทะเลเท่ากับ 25 เมตร (รูปที่ 2.27)

กราฟสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏและผลการแปลความข้อมูลของจุดวัดนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.16 จากการวิเคราะห์ตรวจพบชั้นดินจำนวน 3 ชั้น โดยค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและความหนาของดินแต่ละชั้นแสดงไว้ในตารางที่ 3.6 โดยดินชั้นแรกมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 287 โอห์ม-เมตร มีความหนาประมาณ 3.9 เมตรคาดว่าเป็นดินชั้นบนหรือชั้นทรายที่ถูกน้ำพัดพามา ส่วนชั้นที่ 2 มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 99.9 โอห์ม-เมตร คาดว่าเป็นชั้นดินเหนียวและที่ระดับความลึกมากกว่า 34.7 เมตร มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 240.3 โอห์ม-เมตร คาดว่าเป็นชั้นทรายที่ถูกน้ำพัดพามา



รูปที่ 3.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่คำนวณจากแบบจำลองของชั้นดินกับค่าที่ได้จากการวัดที่จุด VES6

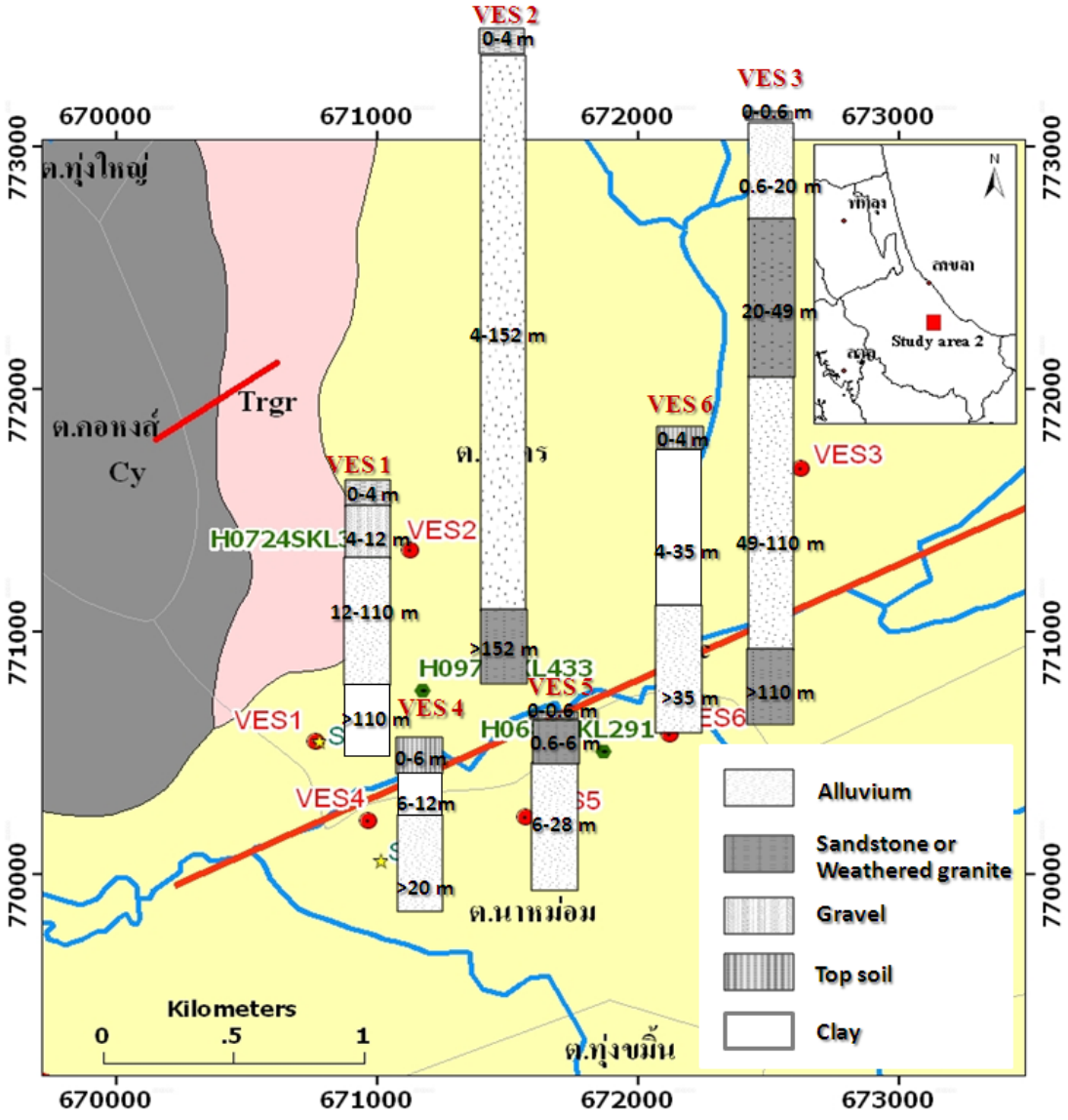
ตารางที่ 3.6 ผลการแปลความหมายข้อมูลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดวัด VES6

ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าจริง (โอห์ม-เมตร)	ความหนา (เมตร)	ความลึก (เมตร)	ลักษณะของชั้นดิน-หิน
287.5	3.9	3.9	top soil or alluvium
99.9	30.8	34.7	clay
240.3	-	>34.7	alluvium

ผลการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหและสะท้อนในพื้นที่สำรวจตำบลนาหม่อม มีด้วยกัน 2 แนวสำรวจ คือ S1 และ S2 (ดังรูปที่ 2.27)

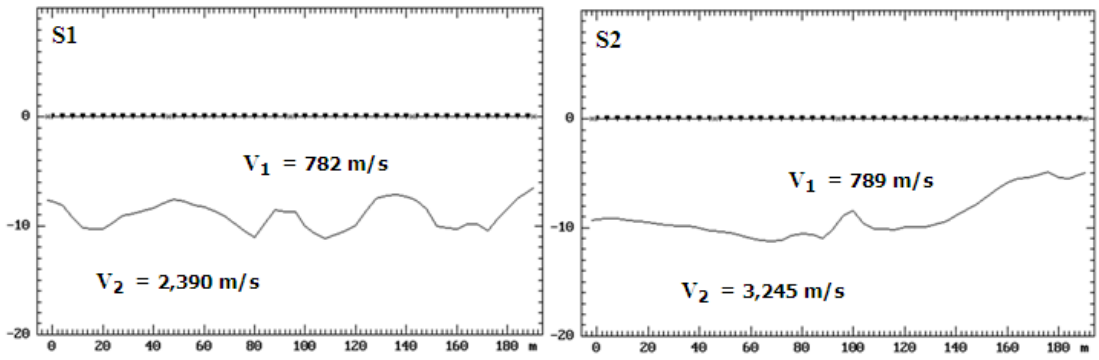
ผลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห

สำหรับแบบจำลองที่ได้จากการแปลความการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหทั้งสองแนวสำรวจนั้นแสดงชั้นใต้ดินเป็น 2 ชั้นดังรูปที่ 3.18 โดยที่ชั้นแรกมีความหนาประมาณ 10



รูปที่ 3.17 แสดงข้อมูลผลการสำรวจ VES ทั้ง 6 จุดวัด ลงบนแผนที่ธรณีวิทยา

เมตรมีความเร็วพี 782 เมตรต่อวินาที และ 789 เมตรต่อวินาที ในแนวสำรวจที่หนึ่งและแนวสำรวจที่สองตามลำดับ ซึ่งค่าความเร็วคลื่นพีดังกล่าวน่าจะเป็นความเร็วคลื่นในชั้นทรายแป้ง ดินเหนียวที่ยังไม่จับตัวแข็ง ทรายแห้งหรือก้อนกรวดชั้นที่ 2 อยู่ที่ระดับความลึกมากกว่า 10 เมตรมีค่าความเร็วคลื่นพีเพิ่มขึ้นทั้งสองแนวคือ 2,390 เมตรต่อวินาที และ 3,245 เมตรต่อวินาที ในแนวสำรวจที่หนึ่งและแนวสำรวจที่สองตามลำดับ ซึ่งค่าความเร็วดังกล่าวน่าจะเป็นความเร็วคลื่นในชั้นหินแข็งจำพวกหินทรายหรือหินแกรนิตผุ



รูปที่ 3.18 แสดงแบบจำลองใต้พื้นดินที่ได้จากการแปลความหมายด้วยการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหในแนวสำรวจที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ผลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน

ขั้นตอนในการประมวลผลข้อมูล seismic reflection ของแนวสำรวจที่ 1 และแนวสำรวจที่ 2 ที่มีละเอียดเพิ่มเติมจากการประมวลผลตามขั้นตอนทั่วไปตามตารางที่ 2.1 คือ

1) ทำการกรองค่าข้อมูล (band-pass filter) ตัดสัญญาณช่วงความถี่อื่นๆที่อยู่นอกกลุ่มความถี่ของสัญญาณที่สนใจออก โดยกลุ่มที่สนใจคือ 20, 40, 100 และ 200

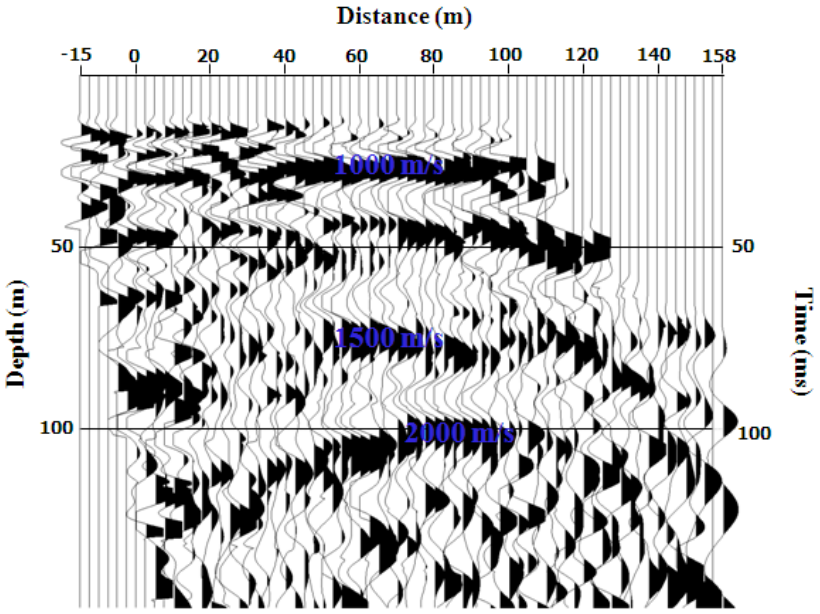
2) ทำการขยายสัญญาณ (Automatic Gain Control (AGC)) โดยการเพิ่ม amplitude เท่ากับ 100 ms

ทำการวิเคราะห์หาค่าความเร็วคล่นโดยวิธี constant velocity analysis แต่ละชั้นจะไล่ไปตาม layer ของ seismic section ความเร็วที่ได้ หาได้จากการลากเส้นไฮเพอร์โบลา และจากการ test ผ่าน stack section

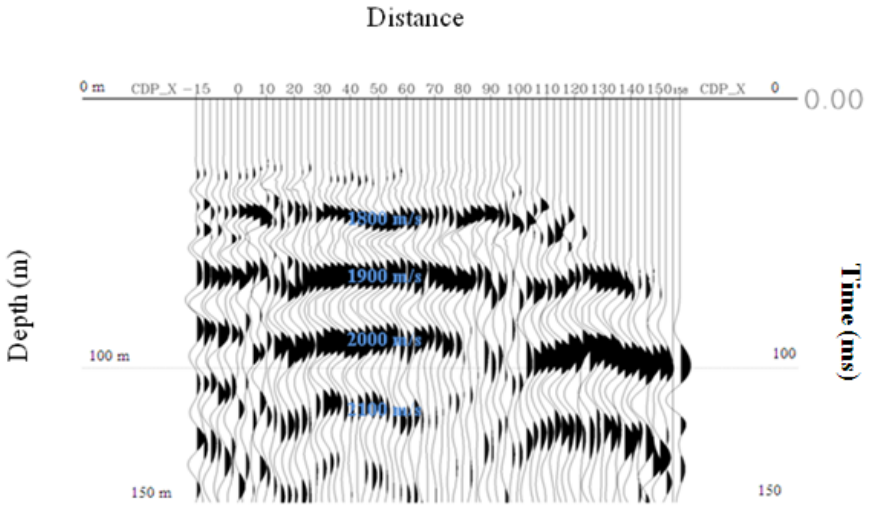
ผลของแนวสำรวจที่ 1 (S1) แสดงดังรูปที่ 3.19 ซึ่งจุดสำรวจนี้อยู่ใกล้กับจุดสำรวจ VES1 ดังรูป 2.27 โดยผลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนที่ได้นั้นพบว่า มีชั้นดิน 3 ชั้น จากการแปลความเมื่อพิจารณาที่ละชั้น พบว่าที่ระดับความลึกจากผิวดิน 25 เมตร เป็นดินชั้นแรกที่

ตรวจวัดได้นั้นมีค่าความเร็วคลื่นพี 1,000 เมตรต่อวินาที น่าจะเป็นความเร็วคลื่นในชั้นดินเหนียว และดินชั้นที่ 2 ที่ความลึกประมาณ 75 เมตร มีความเร็วคลื่นพีเท่ากับ 1,500 เมตรต่อวินาที คาดว่าน่าจะเป็นความเร็วคลื่นในชั้นหินทรายที่มีน้ำแทรกอยู่และดินชั้นที่ 3 ที่ความลึกประมาณ 100 เมตร มีค่าความเร็วคลื่นพีเท่ากับ 2,000 เมตรต่อวินาที น่าจะเป็นความเร็วคลื่นในชั้นหินทราย

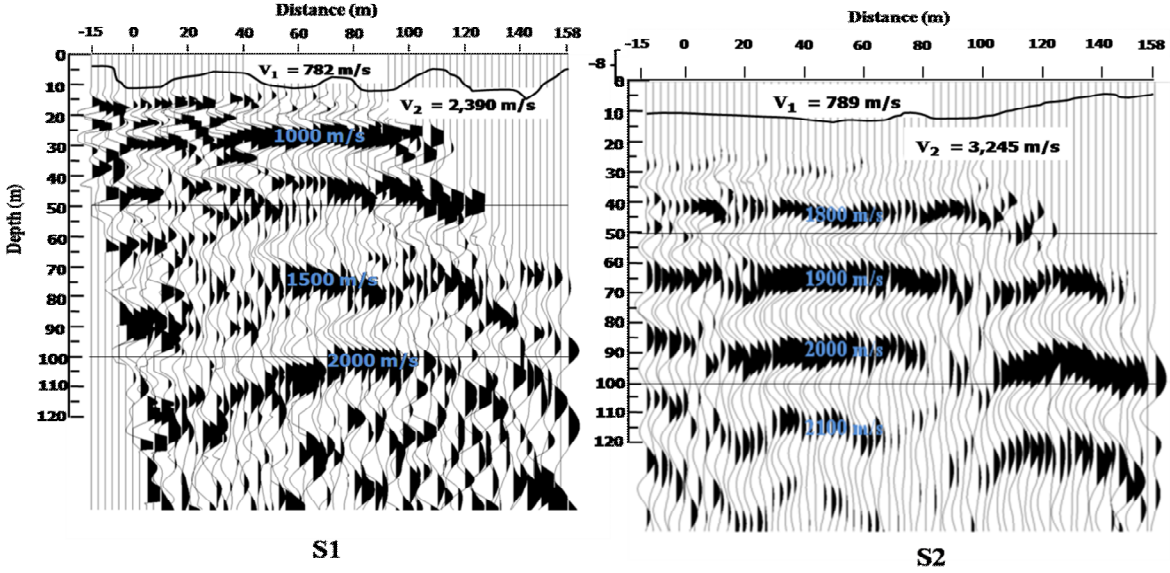
ผลของแนวสำรวจที่ 2 (S2) แสดงดังรูปที่ 3.20 ซึ่งจุดสำรวจนี้อยู่ทางทิศใต้ของจุดสำรวจ VES4 ดังรูป 2.27 นั้นพบว่ามีชั้นดิน 3 ชั้นจากการแปลความเมื่อพิจารณาที่ละชั้น พบว่าที่ระดับความลึก 50 เมตร จากผิวดินเป็นดินชั้นแรกที่ตรวจวัดได้นั้นมีค่า 1,800 เมตรต่อวินาที น่าจะเป็นความเร็วคลื่นในชั้นดินเหนียว และดินชั้นที่ 2 ที่ความลึกประมาณ 75 เมตร มีความเร็วเท่ากับ 1,900 เมตรต่อวินาที คาดว่าน่าจะเป็นความเร็วคลื่นในชั้นหินทรายที่มีน้ำแทรกอยู่และดินชั้นที่ 3 ที่ความลึกประมาณ 90 เมตร มีค่าความเร็วเท่ากับ 2,000 เมตรต่อวินาที น่าจะเป็นความเร็วคลื่นในชั้นหินทราย



รูปที่ 3.19 ผลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนของแนวสำรวจ S1



รูปที่ 3.20 ผลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนของแนวสำรวจ S2



รูปที่ 3.21 ผลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนและแบบหักเหของแนวสำรวจ S1 สูงจากระดับน้ำทะเลเท่ากับ 38 เมตร และ S2 สูงจากระดับน้ำทะเลเท่ากับ 30 เมตร เมื่อปรับแก้ระดับความสูงของพื้นที่ (S1 สูงกว่า S2 เท่ากับ 8 เมตร)

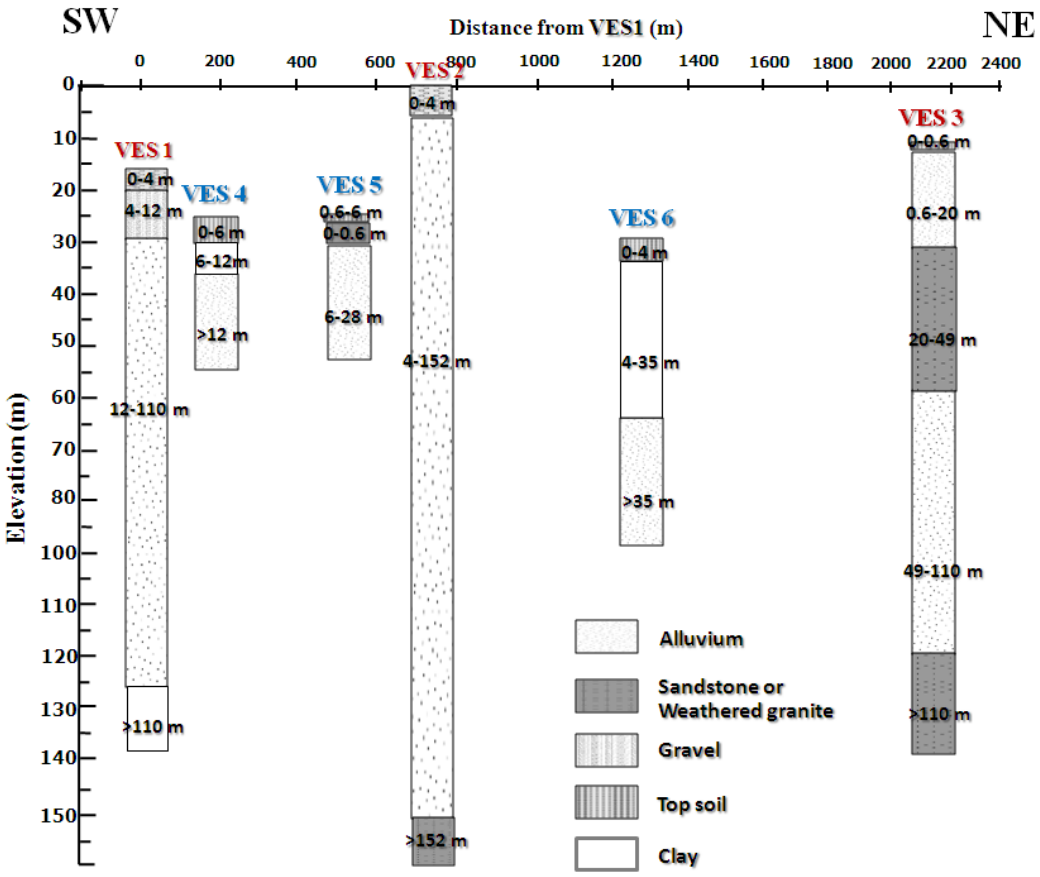
วิเคราะห์ผลการสำรวจในพื้นที่ที่ 2 ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม

จากผลการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า VES ทั้ง 6 แนวสำรวจดังรูป 3.22 พบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของทั้งสองฝั่งคลองท่าโต้ราดจากข้อมูลจากจุดวัดในแนวสำรวจ VES4, VES5 และ VES6 ซึ่งอยู่ทางทิศใต้ของแนวรอยเลื่อนนั้นพบว่าได้ที่ความลึกน้อยกว่า 35 เมตร ส่วนใหญ่เป็นพวกตะกอนที่ยังไม่จับตัวกันแน่น, ดินเหนียวรวมทั้งพวกทรายที่ถูกน้ำพัดพา

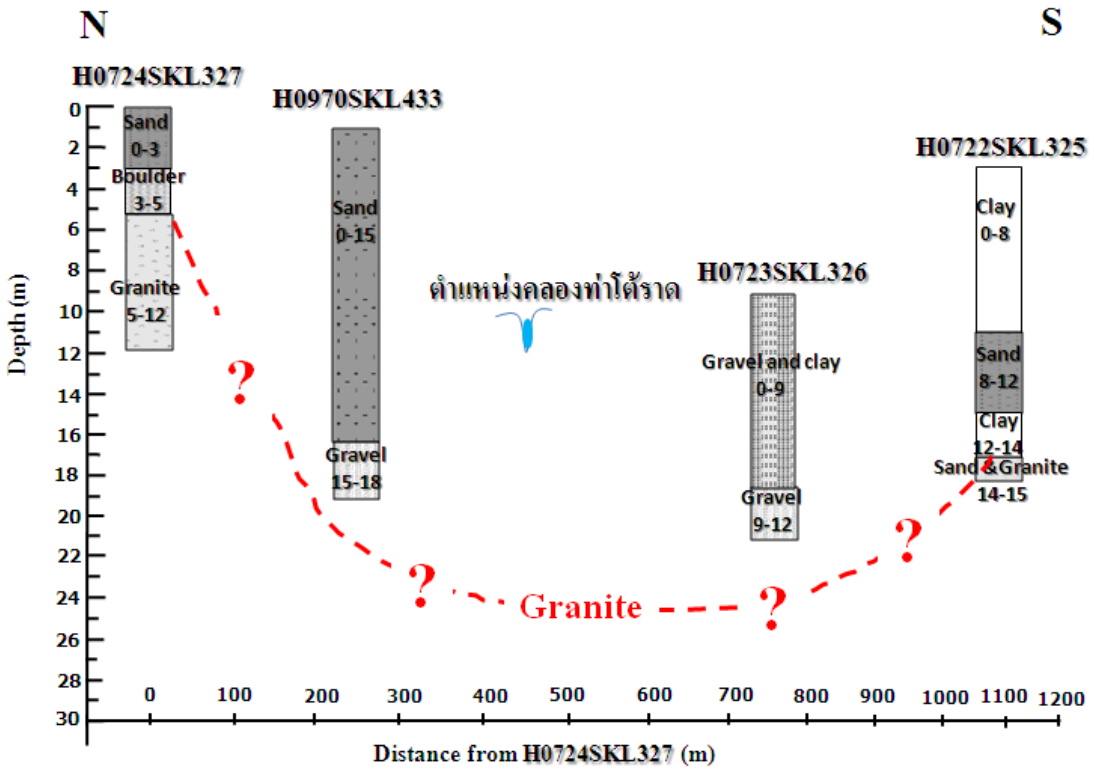
สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากแนวสำรวจทางทิศเหนือของรอยเลื่อน (VES1, 2 และ VES3) ที่ความลึกเดียวกันแต่เมื่อระดับความลึกมากกว่า 100 เมตรนั้นพบว่ามีอยู่สองจุดสำรวจที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่แสดงถึงชั้นหินแข็ง คาดว่าเป็นชั้นหินทรายหรือหินแกรนิตผุนั้นคือแนว VES2 (ความลึก > 152 เมตร) และ VES3 (ความลึก > 110 เมตร) ซึ่งทั้งสองจุดสำรวจอยู่ห่างกันประมาณ 1,400 เมตร และทั้งสองจุดอยู่ในทิศเหนือของคลองท่าโต้ราด

เมื่อพิจารณาผลจากการสำรวจวัดคลื่นไหวสะเทือน S1 และ S2 รูปที่ 3.21 นั้นพบว่าให้ผลการสำรวจที่คล้ายคลึงกันไม่ได้แสดงถึงความแตกต่างของระดับความลึกถึงชั้นหินฐานนั้นคือผลที่ได้แสดงชั้นดิน 2 ชั้นที่ชั้นแรกมีค่าประมาณ 780 เมตรต่อวินาที และลึกประมาณ 10 เมตรและชั้นที่สองเป็นชั้นหินแข็งมีค่าความเร็วคลื่นพีประมาณ 2,400 เมตรต่อวินาที – 3,245 เมตรต่อวินาที

เมื่อพิจารณาข้อมูลหลุมเจาะในพื้นที่ศึกษาที่ 2 ดังรูปที่ 2.27 และ 3.23 นั้นพบว่าระดับความลึกถึงชั้นหินฐานหรือหินแกรนิตของหลุมเจาะที่อยู่ทางทิศเหนือของรอยเลื่อน (H0724SKL327) พบความลึกตั้งแต่ 5 เมตรจากผิวดิน นั้นมีระดับตื่นกว่าหลุมเจาะที่อยู่ทางทิศใต้ (H0722SKL325) ของรอยเลื่อนที่พบว่าความลึกถึงชั้นหินฐานหรือหินแกรนิตนั้นอยู่ที่ความลึกตั้งแต่ 17 เมตรเมื่อเทียบระดับความสูงกับหลุมเจาะ (H0724SKL327) ดังรูป 3.23



รูปที่ 3.22 แสดงผลการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า VES ทั้ง 6 แนวสำรวจในพื้นที่สำรวจที่ 2 โดยที่ปรับแก้ระดับความสูง (เทียบจากระดับน้ำทะเล) โดยแต่ละแนวสำรวจเทียบกับระดับความสูงของจุดสำรวจที่ 2 ซึ่งใช้เป็นระดับอ้างอิง (ให้เป็น “0”) แสดงภาพตัดขวางในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ขนานกับแนวรอยเลื่อน โดยที่ระยะห่างของแต่ละจุดสำรวจเทียบกับจุดสำรวจที่ 1



รูปที่ 3.23 แสดงภาพตัดขวางในแนวเหนือ-ใต้ของข้อมูลหลุมเจาะในพื้นที่ตำบลนาหม่อมและตำบลพิจิตร อำเภอนาหม่อม (รูปที่ 2.27) โดยที่ระดับความสูงเทียบจากระดับน้ำทะเล โดยแต่ละหลุมเจาะเทียบกับระดับความสูงของหลุมเจาะ H0724SKL327 ซึ่งใช้เป็นระดับอ้างอิง

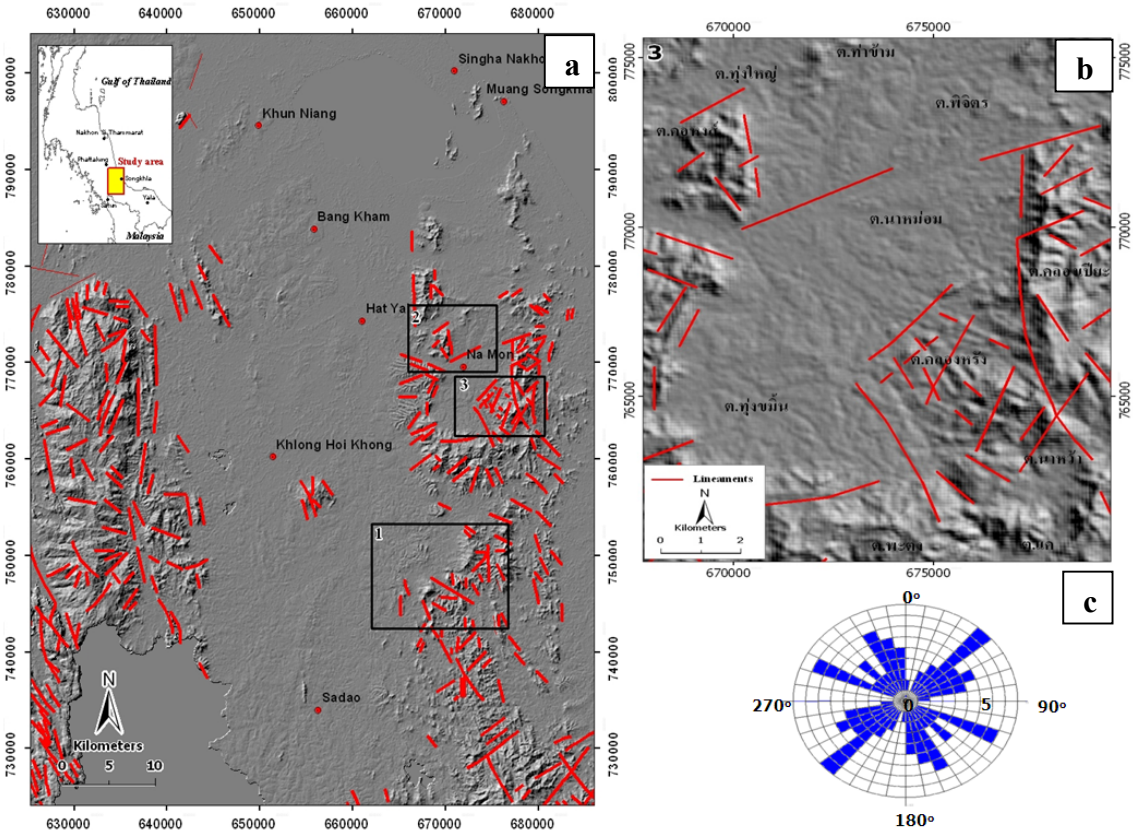
อภิปรายผลการสำรวจในพื้นที่สำรวจที่ 2 ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม

จากข้อมูลการสำรวจจากระยะไกลและจากงานวิจัยที่เคยศึกษามานั้นพบว่าบริเวณคลองท่าโต้ราดเป็นไปได้ที่จะมีแนวรอยเลื่อน ทั้งนี้ไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นรอยเลื่อนชนิดใด โดยตั้งข้อสมมติฐานที่ว่าถ้าเป็นรอยเลื่อนแบบเลื่อนตามแนวมุมเท (normal or reverse faults) นั้น ลักษณะความลึกของชั้นดินและชั้นหินฐานของแนวสำรวจสองฝั่งคลองต้องไม่เท่ากัน ซึ่งจากหลักฐานทางธรณีฟิสิกส์ผนวกกับข้อมูลหลุมเจาะแสดงให้เห็นถึงความต่างของชั้นหินฐานทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของระดับภูมิประเทศ (topography variation of granite) แต่อย่างไรก็ตามแปลความได้ถึงการมีอยู่ของรอยเลื่อนตามแนวมุมเท โดยเป็นไปได้ทั้งรอยเลื่อนแบบปกติ และรอยเลื่อนย้อนทั้งนี้จำเป็นต้องมีข้อมูลเพิ่มขึ้น เพื่อศึกษาถึงระนาบของรอยเลื่อนถึงจะสรุปได้ว่าเป็นรอยเลื่อนชนิดใด แต่ในกรณีถ้าในพื้นที่ศึกษาที่ 2 นี้เป็นรอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike-slip fault) นั้นยังไม่มีรูปแบบการสำรวจที่เป็นสากลคงต้องมีการศึกษาต่อไปในอนาคต โดยได้พยายามนำเสนอผล

การตรวจสอบรอยเลื่อนที่เป็นแบบเลื่อนตามแนวระดับ (strike-slip fault) ในพื้นที่ศึกษาที่ 3 ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม

3.2.3 ผลการสำรวจด้วยภาพถ่ายดาวเทียมและธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่สำรวจที่ 3 ในตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม

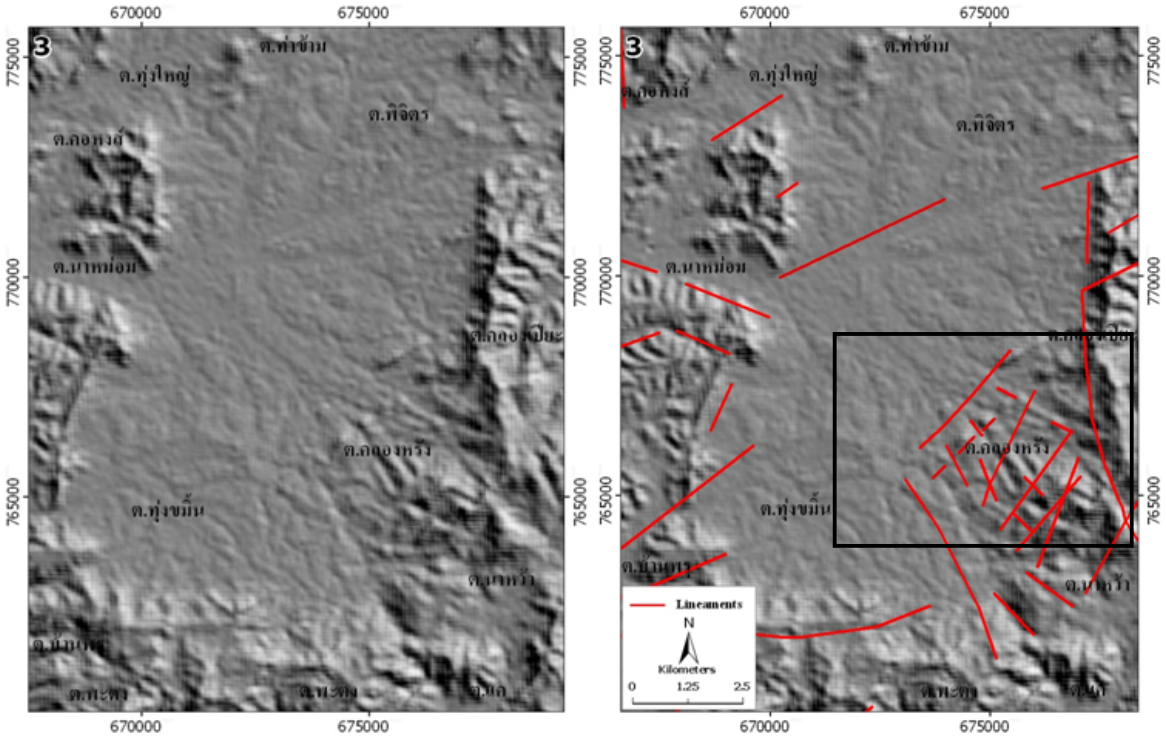
เมื่อพิจารณาแนว lineaments และทางน้ำในบริเวณนี้ดังรูปที่ 1.15 และรูปที่ 1.16 พบลักษณะธรณีสัณฐานที่บ่งชี้ถึงรอยเลื่อนอย่างเช่นทางน้ำหักงอ มีระยะ offset ประมาณ 200 เมตร และพบลักษณะของความไม่ต่อเนื่องของภูเขาคาดว่าน่าจะมาจากการผาดผ่านของชุดรอยเลื่อน (faults zone)



รูปที่ 3.24 (a) ธรณีวิทยาโครงสร้างแนวเส้น (lineaments) ในพื้นที่ศึกษา, (b) แสดงพื้นที่ศึกษาที่ 3 พื้นที่ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม และ(c) แสดงแผนภาพรูปกุหลาบ (rose diagram) ในพื้นที่ที่ 3 แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (strike) โดยมี 2 แนวหลักๆ คือทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้เช่นเดียวกับพื้นที่ศึกษาที่ 2

ผลการสำรวจด้วยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่สำรวจที่ 3

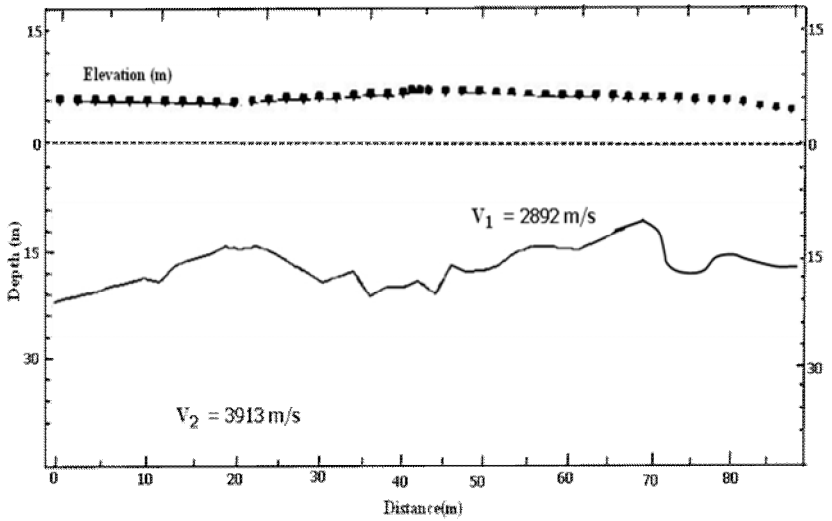
วิธีการสำรวจธรณีฟิสิกส์ที่ใช้ในงานสำรวจรอยเลื่อนในพื้นที่นี้คือ การสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหเพื่อดูลำดับชั้นดินหลังจากนั้นใช้การสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ วางแนวสำรวจธรณีฟิสิกส์ดังรูปที่ 2.27 โดยมีรายละเอียดของผลการสำรวจดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.25 ธรณีวิทยาโครงสร้างแนวเส้น (lineaments) ของพื้นที่ศึกษาที่ 3

ผลการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห ในแนวสำรวจ A1

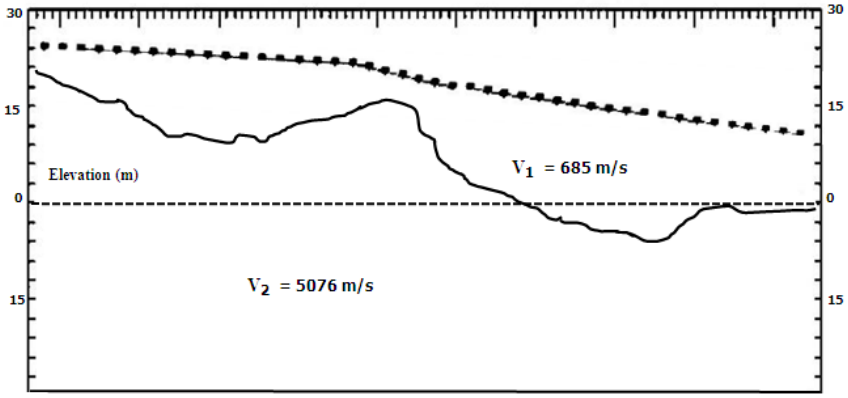
สำหรับแบบจำลองที่ได้จากการแปลความการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหนั้นแสดงชั้นใต้ดินเป็น 2 ชั้นดังรูปที่ 3.26 โดยที่ชั้นแรกมีค่าความเร็วคลื่นพีประมาณ 2,892 เมตรต่อวินาที มีความหนาประมาณ 30 เมตร ซึ่งความเร็วค่าดังกล่าวแปลความได้ว่าเป็นหินทรายหรือหินแปรที่ผุ และชั้นที่สองมีความเร็วคลื่นพี 3,913 เมตรต่อวินาที มีความลึกมากกว่า 30 เมตร แปลความได้ว่าเป็นชั้นหินแปรหรือหินแกรนิตที่ผุ



รูปที่ 3.26 แบบจำลองชั้นดินจากการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหของแนวสำรวจ A1

ผลการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหและการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ ในแนวสำรวจ A2

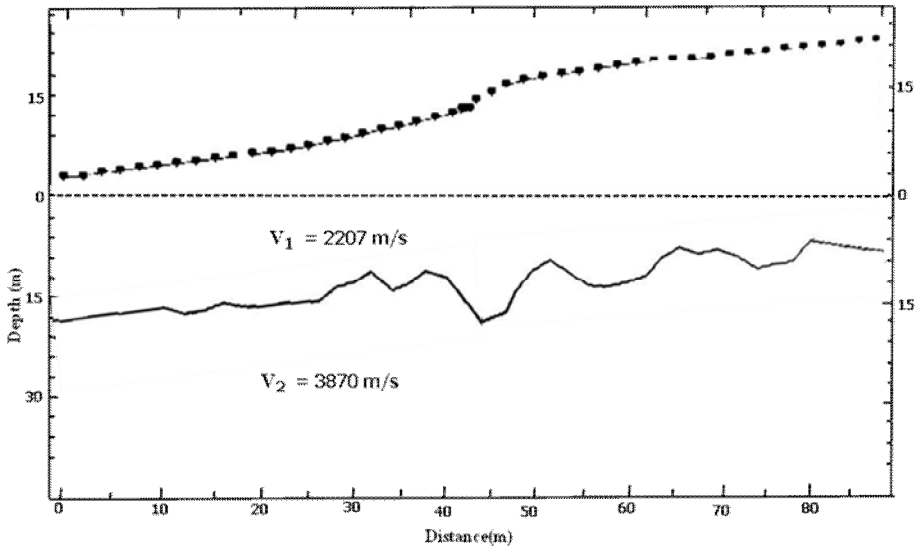
สำหรับแบบจำลองที่ได้จากการแปลความการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหนั้นแสดงชั้นใต้ดินเป็น 2 ชั้นดังรูปที่ 3.27 โดยที่ชั้นแรกมีความเร็วคลื่นพีเท่ากับ 685 เมตรต่อวินาที ความหนาประมาณ 4 เมตรและค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปตามระยะที่มากขึ้น ซึ่งแปลความว่าเป็นหินตะกอนที่ถูกพัดพาและเป็นชั้นหินผุ (weathered layer) และชั้นที่สองมีความเร็ว 5,076 เมตรต่อวินาที ที่ความลึกมากกว่า 10 เมตร แปลความได้ว่าเป็นชั้นหินแกรนิต



รูปที่ 3.27 แบบจำลองชั้นดินจากการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหของแนวสำรวจ A2

ผลการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหในแนวสำรวจ B1

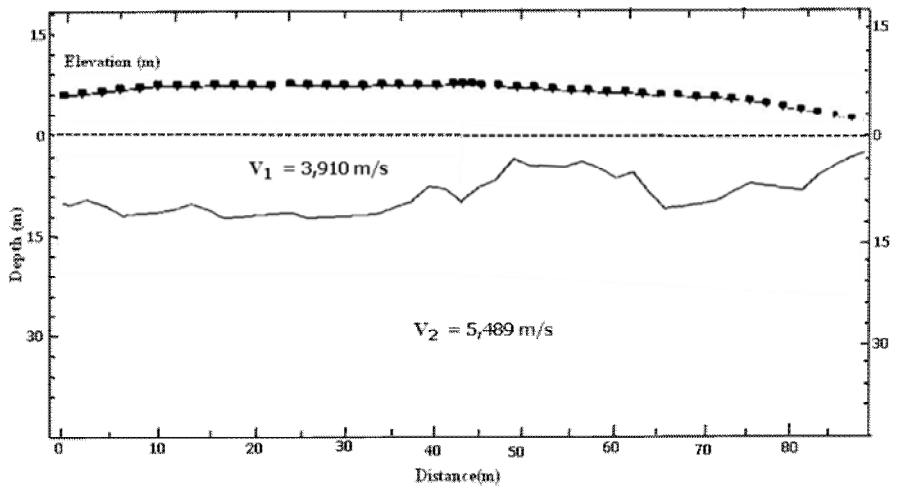
สำหรับแบบจำลองที่ได้จากการแปลความการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหนั้นแสดงชั้นใต้ดินเป็น 2 ชั้นดังรูปที่ 3.28 โดยที่ชั้นแรกมีความเร็วคลื่นพีเท่ากับ 2,207 เมตรต่อวินาที ความหนาประมาณ 20 เมตร ซึ่งแปลความว่าเป็นชั้นหินแข็งจำพวกหินทรายหรือหินแปรที่ผุ และชั้นที่สองมีความเร็วคลื่นพีเท่ากับ 3,870 เมตรต่อวินาที มีความลึกมากกว่า 15 เมตร แปลความได้ว่าเป็นชั้นหินแปรหรือหินแกรนิตที่ผุ



รูปที่ 3.28 แบบจำลองชั้นดินจากการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหของแนวสำรวจ B1

ผลการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหและการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ ในแนวสำรวจ B2

สำหรับแบบจำลองที่ได้จากการแปลความการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหนั้นแสดงชั้นใต้ดินเป็น 2 ชั้นดังรูปที่ 3.29 โดยที่ชั้นแรกมีความเร็วคลื่นพีเท่ากับ 3,910 เมตรต่อวินาที ความหนาประมาณ 15 เมตร แปลความว่าเป็นชั้นหินแข็งจำพวกหินอัคนีหรือหินแปรที่ผุ และชั้นที่สองมีความเร็วคลื่นพี 5,489 เมตรต่อวินาที มีความลึกมากกว่า 15 เมตร แปลความได้ว่าเป็นชั้นหินแกรนิต



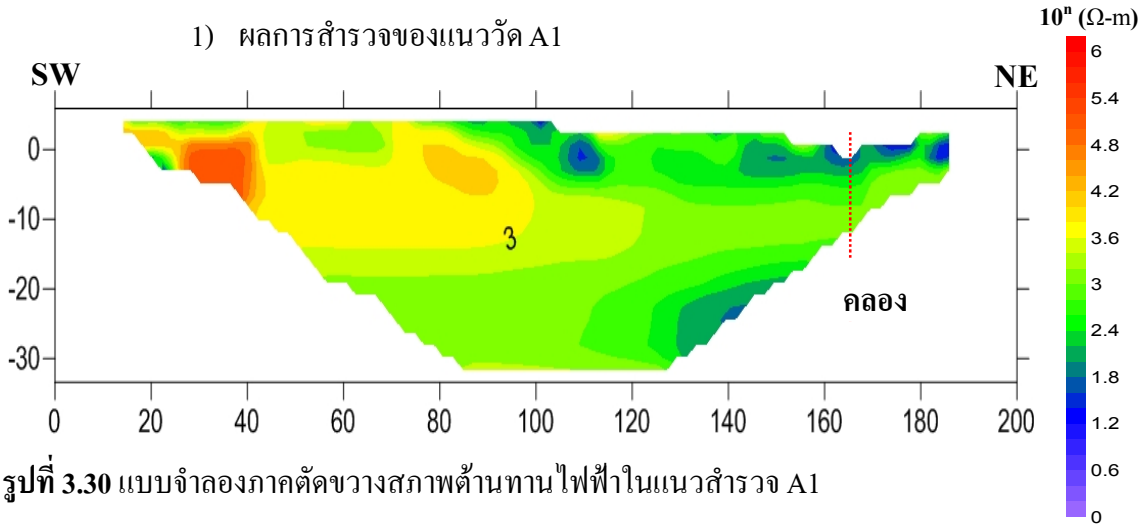
รูปที่ 3.29 แบบจำลองชั้นดินจากการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหของแนวสำรวจ B2

วิเคราะห์ผลการแปลความการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห

แนวสำรวจทั้ง 4 แนวสำรวจนั้นพบว่ามีอยู่ 2 แนวสำรวจที่มีความเร็วที่สูง (V > 5,000 เมตรต่อวินาที) คือแนวสำรวจ A1 และ B2 แนว ซึ่งแนวสำรวจทั้งสองนั้นวางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และอยู่ทางด้านทิศเหนือของแนวรอยเลื่อน โดยพบค่าความเร็วดังกล่าวที่ความลึกเฉลี่ยมากกว่า 10 เมตร โดยเป็นความเร็วในช่วงของหินแกรนิต

ผลการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ

1) ผลการสำรวจของแนววัด A1

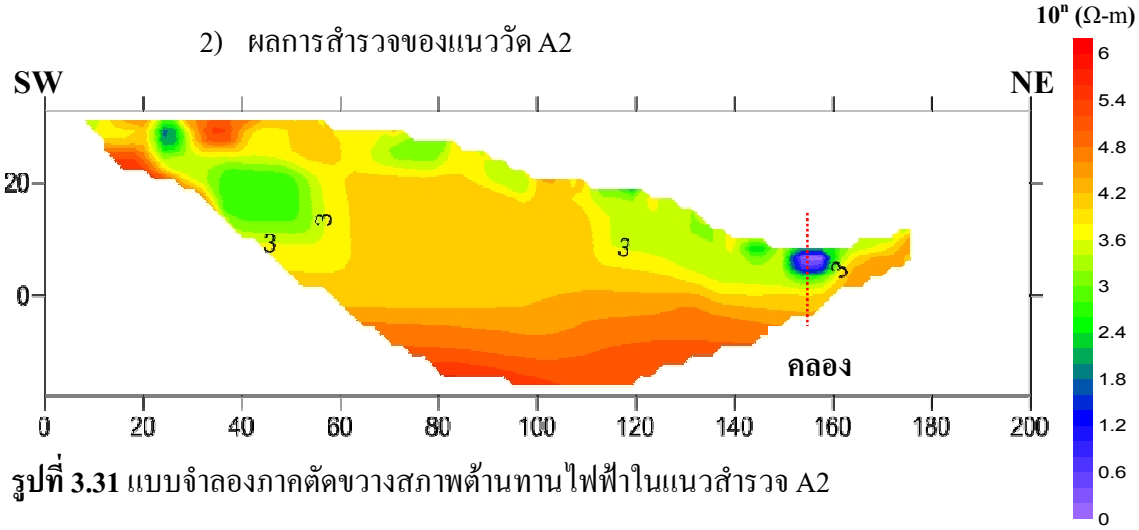


รูปที่ 3.30 แบบจำลองภาคตัดขวางสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจ A1

แบบจำลองภาคตัดขวางสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจ A1 โดยลักษณะภูมิประเทศของแนวสำรวจค่อนข้างราบซึ่งแนวสำรวจนั้นอยู่ในทิศใต้ของแนวรอยเลื่อน มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ ปานกลาง และสูง ในบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ (ρ ตั้งแต่ 10- 100

โอห์ม-เมตร) ในบริเวณทางตะวันออกเฉียงเหนือที่ระดับความลึกมากกว่า 10 เมตร สอดคล้องตำแหน่งของคลอง และบริเวณชั้นหินอุ้มน้ำผิวดินตามลำดับ สำหรับบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปานกลาง ($100 < \rho < 2,500$ โอห์ม-เมตร) คาดว่าเป็นบริเวณของชั้นหินอุ้มน้ำแกรนิตผุ อยู่ที่ระดับความลึกมากกว่า 5 เมตรในบริเวณระยะตั้งแต่ 32 เมตรจนถึงบริเวณตอนกลางของแนวสำรวจที่ระยะเท่ากับ 120 เมตรจากทางด้านซ้ายมือของภาพตัดขวางและในบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง ($\rho > 2,500$ โอห์ม-เมตร) ที่พบบริเวณผิวดินของภาพตัดขวางในบริเวณตำแหน่งที่ 25 – 90 เมตร และที่ระยะ 132-170 เมตรจากทางด้านซ้ายไปขวามือที่ระดับความลึก 0-10 เมตรจากผิวดินและบริเวณตอนกลางที่ระดับความลึกประมาณ 10-20 เมตร ซึ่งยังไม่แน่ชัดว่าเป็นชั้นดินหรือหินชนิดใด

2) ผลการสำรวจของแนววัด A2

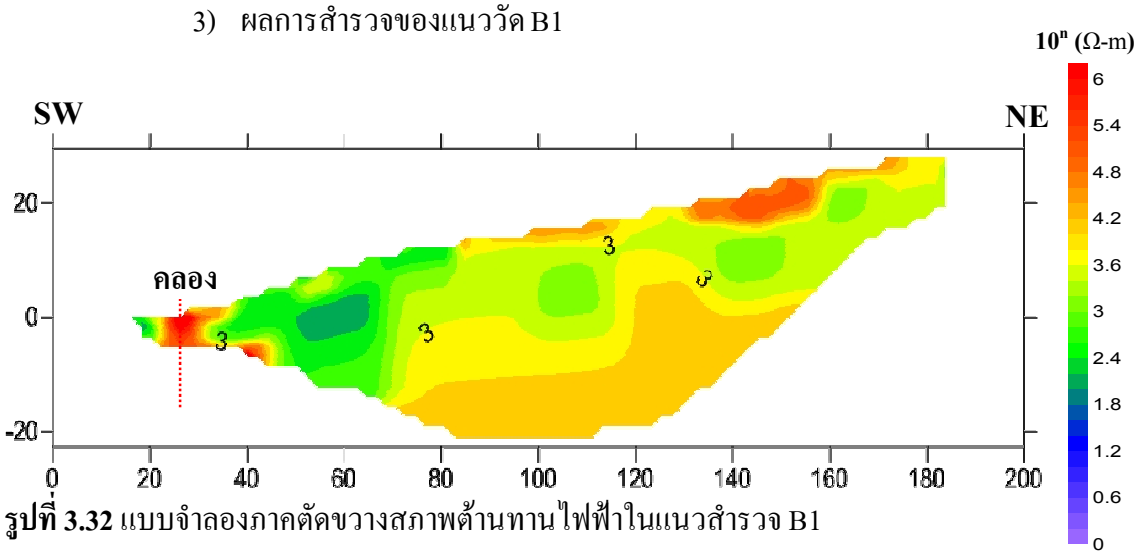


รูปที่ 3.31 แบบจำลองภาคตัดขวางสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจ A2

แบบจำลองภาคตัดขวางสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจ A2 โดยลักษณะภูมิประเทศของแนวสำรวจนั้นมีความชันค่อยๆเพิ่มขึ้นจากขวาไปซ้ายมือโดยที่ตำแหน่งจุดแรกของแนวสำรวจนั้นเป็นตำแหน่งที่สูงที่สุดของแนวสำรวจนี้อยู่สูงจากระดับความสูงอ้างอิง “0” ประมาณ 25 เมตรโดยแนวสำรวจนั้นอยู่ทางด้านทิศเหนือของแนวรอยเลื่อน โดยพบว่าบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ ($\rho <$ 200 โอห์ม-เมตร) ที่ระยะ 150-160 เมตรนั้นค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสอดคล้องกับตำแหน่งของคลอง และบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปานกลาง $10 < \rho < 3,000$ โอห์ม-เมตร พบในบริเวณทางด้านผิวดินทั้งทางด้านทิศตะวันตกและทิศตะวันออกของภาพตัดขวางถึงระดับความลึกประมาณ 25 เมตรจากผิวดินคาดว่าบริเวณนี้เป็นชั้นหินอุ้มน้ำแกรนิตผุ สำหรับบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงคาดว่าเป็นชั้นหินแกรนิตที่มีการแตกและผุพัง ($\rho >$ 3,000 โอห์ม-เมตร) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีหินแกรนิตโผล่สามารถมองเห็นจากผิวดิน โดยพบที่ระยะ 5-

30 เมตรจากซ้ายไปขวามือ นอกจากนี้บริเวณตรงกลางของแนวสำรวจจะพบบริเวณค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่ระดับความลึกประมาณ 30 เมตร คาดว่าเกิดการดันตัวของหินแกรนิตขึ้นมา

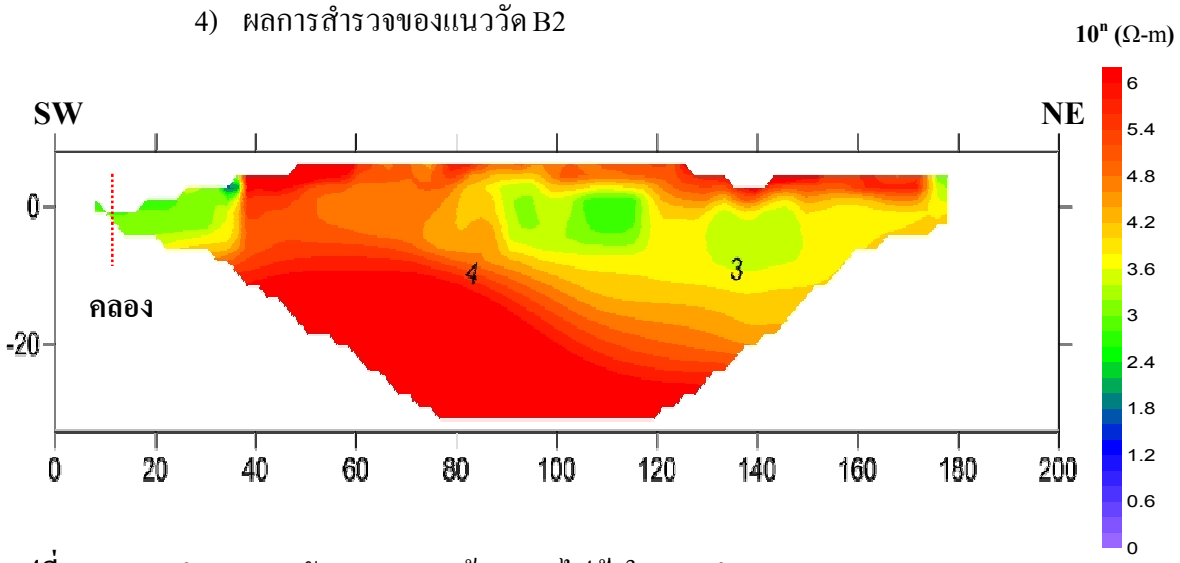
3) ผลการสำรวจของแนววัด B1



รูปที่ 3.32 แบบจำลองภาคตัดขวางสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจ B1

แบบจำลองภาคตัดขวางสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจ B1 โดยลักษณะภูมิประเทศของแนวสำรวจนั้นมีความชันค่อยๆเพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวามือโดยที่ตำแหน่งจุดสุดท้ายของแนวสำรวจนั้นเป็นตำแหน่งที่สูงที่สุดของแนวสำรวจนี้อยู่สูงจากระดับความสูงอ้างอิง “0” ประมาณ 25 เมตรโดยแนวสำรวจนั้นอยู่ทางด้านทิศใต้ของแนวรอยเลื่อน โดยพบว่าภาพตัดขวางทางไฟฟ้านั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 บริเวณคือ บริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ ปานกลาง และสูง ในบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำพบทางด้านซ้ายมือของแนวสำรวจที่ระยะประมาณ 17- 70 เมตร มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ($\rho < 200$ โอห์ม-เมตร) บริเวณนี้เป็นตำแหน่งของคลองที่ระยะ 30 เมตร และบริเวณค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามีค่าปานกลาง (200 โอห์ม-เมตร $< \rho <$ 2,000 โอห์ม-เมตร) คาดว่าเป็นบริเวณของชั้นหินอุ้มน้ำแกรนิตผุหรือบริเวณที่มีการแตกร้าวของหินแกรนิต ซึ่งปรากฏที่ความลึกประมาณ 5-20 เมตร ซึ่งพบตั้งแต่ตอนกลางจนถึงระยะ 187 เมตรของแนวสำรวจ ส่วนบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง (2,000 โอห์ม-เมตร $< \rho <$ 5,000 โอห์ม-เมตร) คาดว่าเป็นชั้นหินแกรนิตที่มีการแตกและผุน้อย มีการดันตัวขึ้นมาในบริเวณตรงกลางของแนวสำรวจที่ความลึกประมาณ 20 เมตร นอกจากนี้ยังมีการปรากฏอยู่ของชั้นค่าสภาพต้านไฟฟ้าสูงบริเวณผิวดินในบริเวณตอนกลางและที่ระยะประมาณ 130- 177 เมตร ซึ่งยังไม่แน่ชัดว่าเป็นชั้นดินหรือหินชนิดใด เนื่องจากในพื้นที่จริงพบว่าเป็นบริเวณสวนยางซึ่งเป็นดินชั้นบน

4) ผลการสำรวจของแนววัด B2



รูปที่ 3.33 แบบจำลองภาคตัดขวางสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจ B2

แบบจำลองภาคตัดขวางสภาพต้านทานไฟฟ้าในแนวสำรวจ B2 โดยลักษณะภูมิประเทศของแนวสำรวจนั้นค่อนข้างราบโดยแนวสำรวจนั้นอยู่ทางด้านทิศเหนือของแนวรอยเลื่อน โดยพบว่าภาพตัดขวางทางไฟฟ้านั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 บริเวณคือ บริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ ($\rho < 200$ โอห์ม-เมตร) พบตรงบริเวณใกล้ ๆ ตำแหน่งของคลองที่ระยะ 10-45 เมตร และบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปานกลาง (100 โอห์ม-เมตร $< \rho <$ 3,000 โอห์ม-เมตร) คาดว่าเป็นบริเวณของชั้นหินอุ้มน้ำแกรนิตผุและหรือบริเวณที่มีการแตกร้าวของหินแกรนิต ซึ่งปรากฏอยู่บริเวณตอนกลางของแนวสำรวจต่อเนื่องไปทางตะวันออกเฉียงเหนือขึ้นสู่ผิวดิน มีความลึกประมาณ 5-15 เมตร ส่วนในบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง ($\rho >$ 3,000 โอห์ม-เมตร) คาดว่าเป็นชั้นหินแกรนิตที่มีการดันตัวขึ้นมาในระดับตื้นอย่างชัดเจนที่ระยะ 45 - 150 เมตร และระดับลึกตั้งแต่ 8-15 เมตรลงไปโดยค่อยๆ ลดระดับต่ำลงไปทางด้านตะวันออกของภาพตัดขวางทางไฟฟ้า

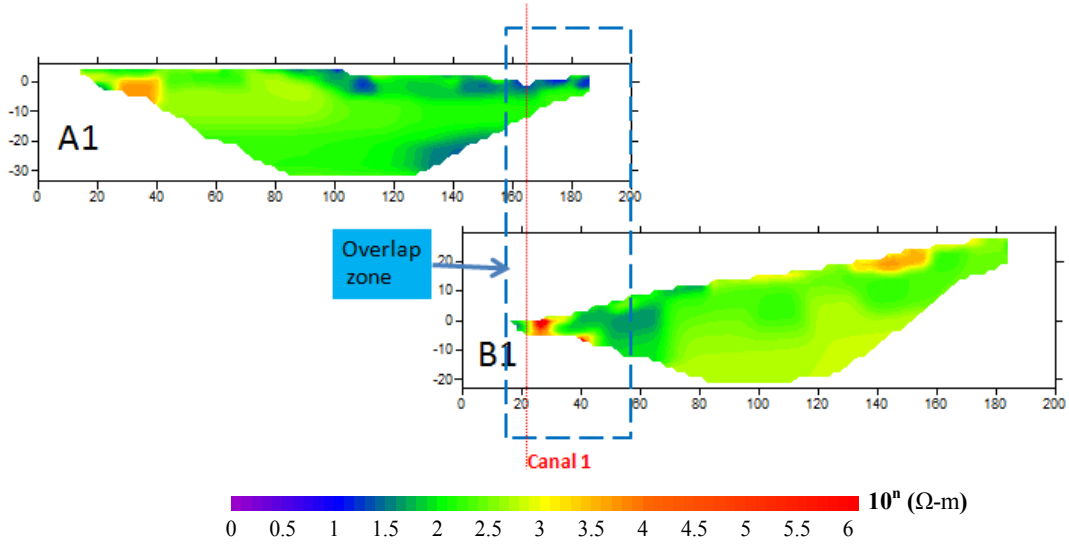
วิเคราะห์ผลการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ

จากการวางแนวสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติทั้ง 4 แนวดังรูปที่ 2.29 เพื่อให้การแปลความมีประสิทธิภาพมากขึ้นและง่ายต่อความเข้าใจได้ทำการเปรียบเทียบผลของแต่ละแนวสำรวจทั้งในแนวสำรวจที่ต่อเนื่องกัน (A1, B1 และ A2, B2) และแนวสำรวจที่ขนานกัน (A1, A2 และ B1, B2) และการเปรียบเทียบแนวสำรวจ A1 กับ B2 ในบริเวณแนวสำรวจที่ซ้อนทับ

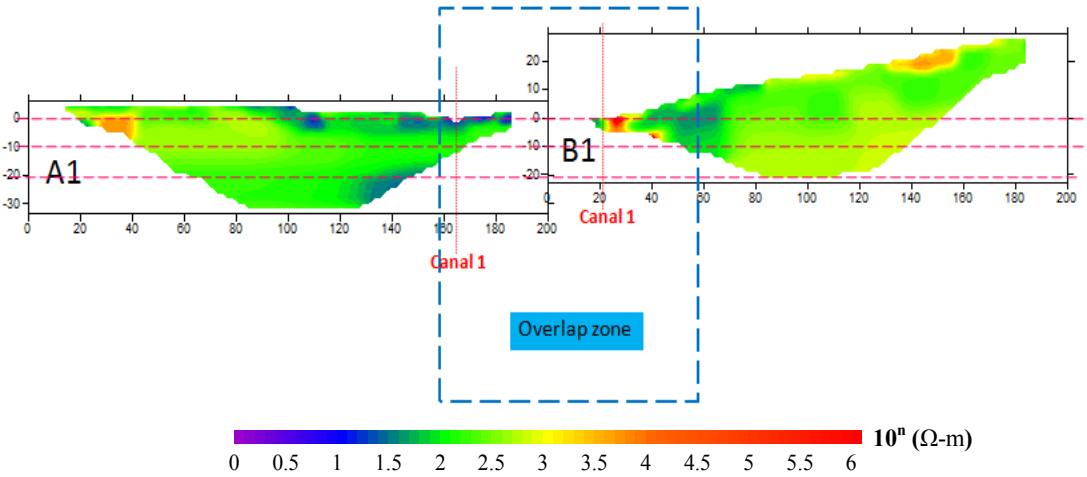
กัน รวมถึงการเปรียบเทียบระดับภูมิประเทศโดยใช้ระดับของแนวคลองเป็นจุดอ้างอิงในการปรับแก้ภูมิประเทศของระดับความสูงในพื้นที่ศึกษาในแต่ละแนวสำรวจ

การเปรียบเทียบแนวสำรวจที่ต่อเนื่องกัน

จากการเปรียบเทียบระหว่างแนวสำรวจ A1 และ B1 พบว่าทั้งสองแนวสำรวจนั้นส่วนใหญ่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ ถึงปานกลาง ($\rho < 3{,}000$ โอห์ม-เมตร) ดังรูปที่ 3.34 บริเวณที่มีการซ้อนทับกันของแนวสำรวจมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำทั้งสองแนวสำรวจในบริเวณใกล้กับลำคลอง



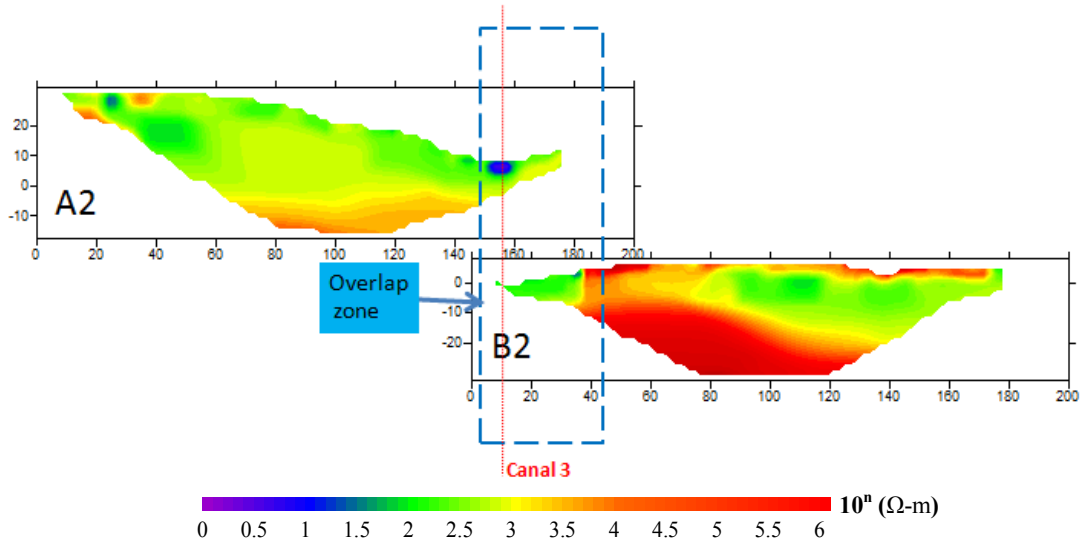
รูป 3.34 การเปรียบเทียบแนวสำรวจระหว่าง A1 กับ B1



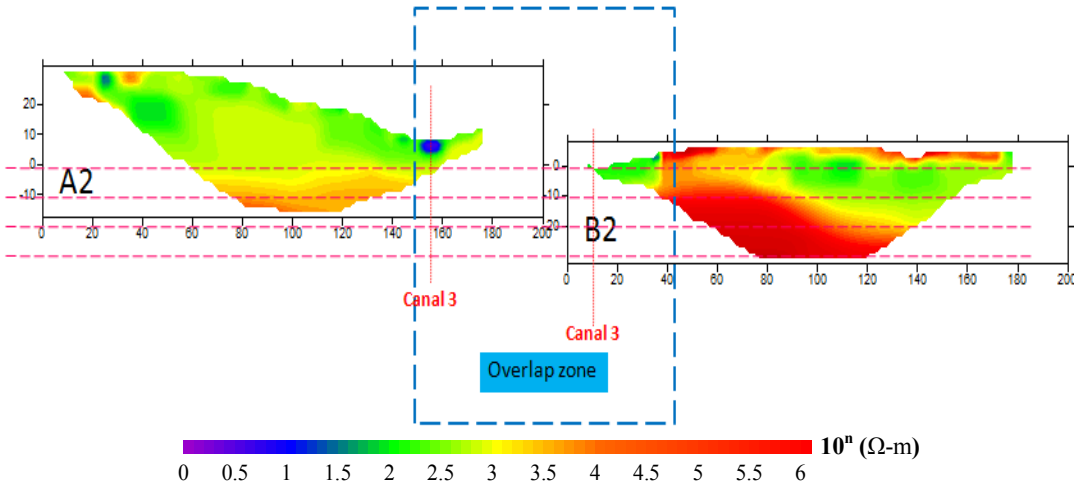
รูป 3.35 การเปรียบเทียบระดับภูมิประเทศของแนวสำรวจ A1 กับ B1

และเมื่อเปรียบเทียบแนวสำรวจ A1 กับ B1 ด้วยการปรับแก้ระดับภูมิประเทศดังรูปที่ 3.35 แสดงให้เห็นค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำที่ระดับลึกใกล้เคียงกัน คือ ที่ระดับไม่เกิน 7 เมตร โดยที่ทั้งสองแนวนั้นยังไม่ปรากฏของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่สูงอย่างชัดเจนที่อาจแปลได้ว่าเป็นชั้นหินฐานมีเพียงบริเวณสำรวจของแนวสำรวจ B1 ที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง (2,000 โอห์ม-เมตร < ρ < 5,000 โอห์ม-เมตร) คาดว่าเป็นชั้นหินแกรนิตที่ที่มีการแตกและผุน้อยที่อยู่ตอนล่างของภาคตัดขวาง

จากการเปรียบเทียบระหว่างแนวสำรวจ A2 และ B2 พบว่าทั้งสองแนวสำรวจนั้นมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ ปานกลาง และสูง โดยพบว่าบริเวณที่มีการซ้อนทับกันของแนวสำรวจแสดงให้เห็นค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำในบริเวณใกล้คลองที่ระดับความลึก 0 - 7 เมตรและมีบริเวณที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงทางตอนล่างของภาพตัดขวางในรูปที่ 3.36



รูป 3.36 การเปรียบเทียบแนวสำรวจระหว่าง A2 กับ B2

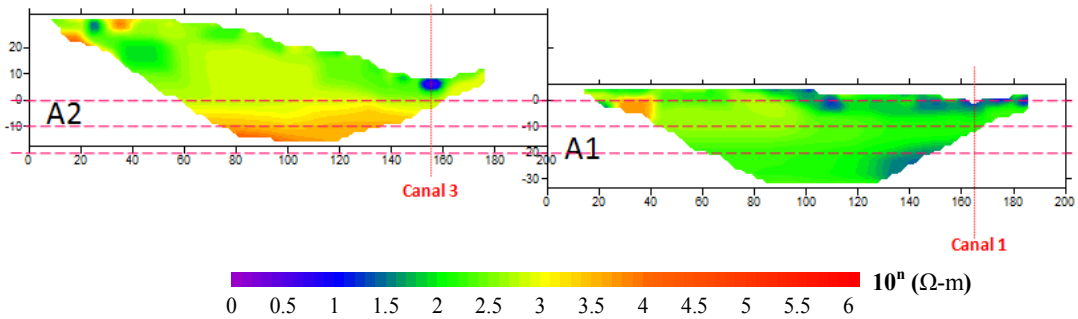


รูป 3.37 การเปรียบเทียบระดับภูมิประเทศของแนวสำรวจ A2 กับ B2

และเมื่อเปรียบเทียบแนวสำรวจ A2 และ B2 ด้วยการปรับแก้ระดับภูมิประเทศ ดังรูปที่ 3.37 แสดงแนวโน้มของความต่อเนื่องของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่ระดับความลึกตั้งแต่ 10 เมตรลงไปจากระดับ “0” อ้างอิง ซึ่งบ่งชี้ถึงการปรากฏอยู่ของชั้นหินฐานที่ระดับความลึกเดียวกัน ที่เกิดจากการดันตัวของหินฐานในเวลาเดียวกัน

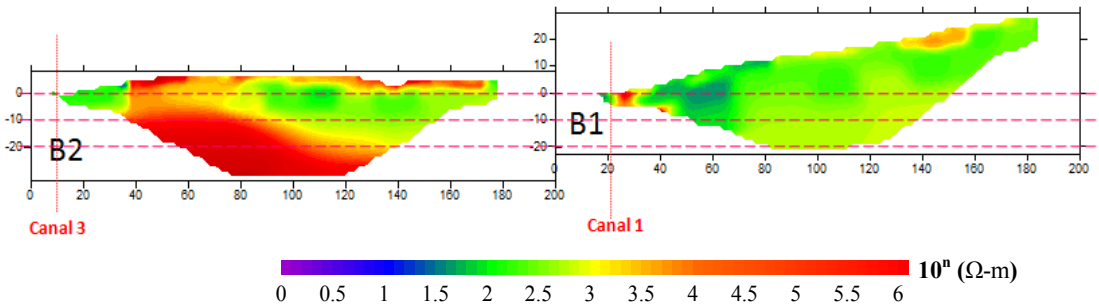
การเปรียบเทียบแนวสำรวจที่ขนานกัน

จากการเปรียบเทียบระหว่างแนวสำรวจ A1 และ A2 ในรูปที่ 3.38 พบว่าในแนวสำรวจ A2 มีการปรากฏอยู่ของชั้นหินฐานที่ระดับความลึกตั้งแต่ 10 เมตรลงไปจากระดับ “0” อ้างอิง แต่ไม่ปรากฏในแนวสำรวจ A1 แสดงถึงการมีระดับหินฐานที่แตกต่างกัน



รูป 3.38 การเปรียบเทียบระดับภูมิประเทศของแนวสำรวจ A2 กับ A1

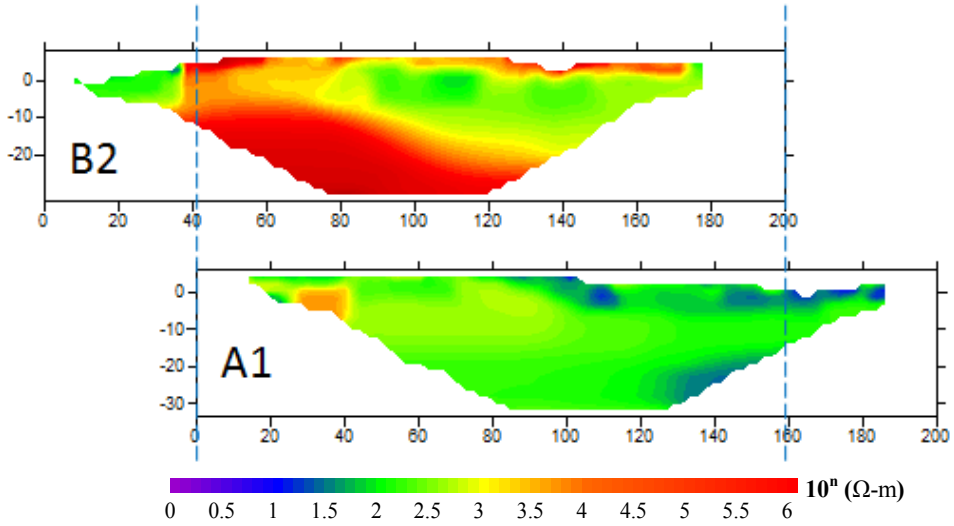
จากการเปรียบเทียบระหว่างแนวสำรวจ B1 และ B2 ในรูปที่ 3.39 พบว่าในแนวสำรวจ B2 มีการปรากฏอยู่ของชั้นหินฐานที่ระดับความลึกตั้งแต่ 10 เมตรลงไปจากระดับ “0” อ้างอิง แต่ไม่ปรากฏในแนวสำรวจ B1 แสดงถึงการมีระดับหินฐานที่แตกต่างกัน



รูป 3.39 การเปรียบเทียบระดับภูมิประเทศของแนวสำรวจ B2 กับ B1

การเปรียบเทียบแนวสำรวจที่ซ้อนทับกันของ A1 กับ B2

จากการเปรียบเทียบระหว่างแนวสำรวจ A1 และ B2 ในบริเวณที่แนวสำรวจขนานกันดังแสดงในรูปที่ 3.40 พบว่ามีการปรากฏอยู่ของชั้นหินฐานที่ระดับความลึกตั้งแต่ ตั้งแต่ 10 เมตรลงไปจากระดับ “0” อ้างอิง ในแนวสำรวจ B2 แต่ไม่ปรากฏในแนวสำรวจ A1 แสดงถึงการมีระดับหินฐานที่แตกต่างกันในพื้นที่ที่อยู่ใกล้เคียงกัน อาจเป็นไปได้ว่ามีการยกตัวเนื่องจากการดันตัวของหินแกรนิตในแนวสำรวจ B2



รูปที่ 3.40 การเปรียบเทียบแนวสำรวจระหว่าง A1 กับ B2 ในบริเวณที่แนวสำรวจขนานกันที่อยู่ภายในเส้นประสีฟ้า

วิเคราะห์และอภิปรายผลการสำรวจรอยเลื่อนในพื้นที่ที่ 3 ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม

จากข้อมูลการสำรวจจากระยะไกลและจากงานวิจัยที่เคยศึกษามานั้นพบว่าพื้นที่ศึกษานี้เป็นไปได้ที่จะมีแนวรอยเลื่อนแบบเลื่อนตามแนวระดับ strike-slip fault จึงได้ตั้งสมมติฐานที่จะพิสูจน์รอยเลื่อนโดยการวางแนวสำรวจธรณีฟิสิกส์ซึ่งพบว่าผลจากการแปลความหมายข้อมูลจากวิธีวัดคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห นั้นพบว่ามีการปรากฏอยู่ของชั้นหินฐานที่ระดับความลึกโดยเฉลี่ยมากกว่า 10 เมตร ในแนวสำรวจ A2 และ B2 ซึ่งสอดคล้องกับผลการแปลความการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ ในสองแนวสำรวจดังกล่าวนั้น พบการปรากฏอยู่ของชั้นหินฐานที่ความลึกโดยเฉลี่ยมากกว่า 15 เมตร ซึ่งค่าความเร็วคลื่นพี (V > 5,000 เมตรต่อวินาที) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ < 5,000 โอห์ม-เมตร) ที่สำรวจได้นั้นเป็นค่าที่สอดคล้องกับชั้นหินแกรนิต แต่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและค่าความเร็วคลื่นดังกล่าวไม่ปรากฏในอีก 2 แนวสำรวจ (A1, B1) เมื่อพิจารณาแนวสำรวจทั้งสอง (A2, B2) พบว่าอยู่ทางทิศเหนือของแนวรอยเลื่อน และแนวสำรวจ (A1,

B1) อยู่ทางทิศใต้ของแนวรอยเลื่อน โดยที่การปรากฏของชั้นหินแกรนิตนี้คาดว่าเกิดการดันตัวขึ้นมา ซึ่งส่งผลให้บริเวณนี้มีรอยเลื่อนชนิดเลื่อนตามแนวมุมเท (normal fault หรือ reverse fault) ในพื้นที่ทำให้ระดับความลึกถึงชั้นหินฐานของหินในแนวสำรวจ A2 และ B2 (ประมาณ 10 เมตร) อยู่ตื้นกว่าแนวสำรวจ A1 และ B1 (> 30 เมตร) ทั้งนี้อาจจะต้องพิจารณาถึงระนาบรอยเลื่อนอีกครั้งหนึ่งจึงจะสามารถบอกได้ว่าเป็นรอยเลื่อนชนิดใด ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่บริเวณพื้นที่ศึกษานี้จะเป็นรอยเลื่อนตามแนวเฉียง (oblique-slip fault) คือรอยเลื่อนที่ชั้นหินมีการเคลื่อนตัวตามแนวมุมเท และแนวระดับพร้อมกัน

บทที่ 4

สรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผล

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอเทคนิคในการวิเคราะห์และแปลความหมายเพื่อหารอยเลื่อนด้วยวิธีการสำรวจระยะไกล (remote sensing) และการสำรวจในภาคสนามเพื่อศึกษาลักษณะธรณีสัณฐาน ผนวกกับการสำรวจด้วยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์เพื่อยืนยันผลการแปลความของทั้งสองวิธีที่กล่าวมา โดยได้ทำการสำรวจในพื้นที่ส่วนในและส่วนนอกของแอ่งหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จากการปรับปรุง วิเคราะห์ และแปลความหมายภาพถ่ายดาวเทียมชนิดแบบจำลองลักษณะความสูงเชิงเลข (digital elevation model) โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงภาพด้วยการแรเงาภูมิประเทศ (shade relief) ซึ่งข้อมูล DEM นั้นมีประโยชน์เป็นอย่างมากในการศึกษาธรณีสัณฐาน การจำแนกชนิดหิน และแนวเส้นความไม่ต่อเนื่องทางธรณีวิทยา (lineament) ผลจากการแปลความหมายข้อมูลนั้นพบว่าสามารถแยกแนว lineament ออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆ ได้ดังนี้ กลุ่มแรกวางตัวในทิศทางเหนือ-ใต้ จะเห็นได้ค่อนข้างชัดมากกว่าในทิศทางอื่นโดยที่จะกระจายอยู่อย่างหนาแน่นทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของแอ่งหาดใหญ่โดยมีความยาวตั้งแต่ 2.5 ถึง 5.0 กิโลเมตร กลุ่มที่สองวางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้มีความยาวตั้งแต่ 1.5 ถึง 3.5 กิโลเมตร จะเห็นได้ชัดในหินอัคนีสีเทายุคไตรแอสสิก (triassic grey igneous rock) บริเวณเขาแก้วทางด้านทิศตะวันตกของแอ่งหาดใหญ่ กลุ่มที่สามวางตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้มีความยาวตั้งแต่ 1.0 ถึง 5.0 กิโลเมตรพบมากบริเวณทางด้านทิศตะวันออกของแอ่งหาดใหญ่ได้แก่บริเวณอำเภอนาหม่อมตรงบริเวณรอยต่อของหินอัคนีและหินทรายยุคไทรแอสสิก, หินดินดาน และหินทรายแป้ง จากแผนภาพดอกกุหลาบ (rose diagram) พบว่าแนวการวางตัว (strike) ในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียงส่วนใหญ่จะอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ หลังจากนั้นได้กำหนดตำแหน่งเพื่อทำการสำรวจภาคสนามและวางแนวสำรวจธรณีฟิสิกส์ โดยได้เลือกพื้นที่สำรวจ 3 พื้นที่ คือ1) ตำบลเขามีเกียติ อำเภอสะเดา 2) ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม 3) ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม

วิธีธรณีฟิสิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่วิธีการวัดคลื่นไหวสะเทือนและวิธีการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ซึ่งวิธีทางธรณีฟิสิกส์ที่เลือกใช้ในแต่ละพื้นที่เพื่อพิสูจน์การมีอยู่จริงของรอยเลื่อนจะแตกต่างกันไปตามสมมติฐานรูปแบบของรอยเลื่อนในแต่ละพื้นที่และข้อจำกัดในการสำรวจของแต่ละแนวสำรวจ การสำรวจด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ของทั้ง 3 พื้นที่ ได้ผลดังนี้

พื้นที่สำรวจที่ 1 ตำบลเขามีเกียติ อำเภอสะเดา พบรอยเลื่อนปรากฏบนหน้าผาอยู่ในหินดินดานและหินทรายแป้งในยุคไทรแอสซิก โดยพบการสลับชั้นของหินดินดานและหินทรายแป้งอย่างชัดเจน วัดมุมเทได้เท่ากับ 60° และแนวระดับได้ N54°W อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถยืนยันได้ว่ารอยเลื่อนนี้เป็นรอยเลื่อนชนิดใด ผลการสำรวจด้วยวิธี 2D resistivity บนแนววัด A และ B พบรอยเลื่อนสองแนวที่เกิดขึ้นในลักษณะรูปแบบเดียวกันที่บริเวณตำแหน่ง 100-109 เมตรและที่ตำแหน่งประมาณ 145 เมตร บนแนวสำรวจ A โดยที่ตำแหน่งแรกมีมุม dip และมุม strike คือ 55°-65° และ N70°W ตามลำดับ และรอยเลื่อนที่ตำแหน่งที่สองซึ่งจะเห็นได้ชัดใน seismic section ของแนวสำรวจ C วัดค่ามุม dip และมุม strike ได้ประมาณ 55°-65° และ N52°-54° W ตามลำดับ โดยที่มุม dip และ strike direction ของรอยเลื่อนที่สองมีความสัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนที่เห็นบนหน้าผา และผลจากการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนในแนวสำรวจ C ช่วยยืนยันได้ว่ารอยเลื่อนที่ปรากฏที่หน้าผาเป็นรอยเลื่อนย้อน (reverse fault)

พื้นที่สำรวจที่ 2 ตำบลนาหม่อม จากการแปลความหมายข้อมูลจากการสำรวจข้อมูลระยะไกลพบว่าแนว lineament ซ้อนทับกับแนวของลำคลองท่าโต้ราด ดังนั้นแนวของรอยเลื่อนในพื้นที่นี้น่าจะเป็นแนวเดียวกันกับแนวของลำคลอง โดยวางตัวในทิศทาง N65°E การสำรวจโดยวิธีธรณีฟิสิกส์ (VES และ Seismic refraction and reflection) ในพื้นที่นี้ตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่ารอยเลื่อนตามแนวลำคลองเป็นรอยเลื่อนแบบเลื่อนตามแนวมุมเท (normal or reverse faults) ดังนั้นความลึกของชั้นดินและชั้นหินฐานของแนวสำรวจที่อยู่คนละด้านของฝั่งคลองต้องไม่เท่ากัน ผลจากการแปลความหมายข้อมูลจากการสำรวจด้วยวิธีวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า พบว่าความลึกจากผิวดินถึงชั้นหินฐานทางด้านทิศเหนือของคลองอยู่ลึกกว่าทางทิศใต้ของคลอง ซึ่งมีความสอดคล้องกับข้อมูลหลุมเจาะในพื้นที่ที่มีความต่างของความลึกถึงชั้นหินฐานที่อยู่คนละด้านของลำคลอง จึงมีความเป็นไปได้ที่แนวลำคลองจะเป็นระนอบของรอยเลื่อนตามแนวมุมเท ซึ่งจำเป็นต้องมีข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อสรุปว่าเป็นรอยเลื่อนแบบปกติหรือรอยเลื่อนย้อนหรืออาจจะเป็นไปได้ว่าความแตกต่างของความลึกถึงชั้นหินฐานที่อยู่คนละด้านของลำคลองที่ตรวจพบ อาจจะเนื่องมาจากความแตกต่างของระดับความลึกของชั้นหินฐาน (topography variation of basement rock)

พื้นที่ที่ 3 ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม ผลที่ได้จากการแปลความหมายข้อมูลจากวิธีการสำรวจข้อมูลระยะไกลพบแนว lineament ที่ปรากฏในพื้นที่หลายแนวและเมื่อทำการสำรวจในพื้นที่จริงพบว่า พื้นที่นี้ค่อนข้างมีความซับซ้อนทางธรณีวิทยา จากการพิจารณาของหลักฐานทางธรณีสัณฐานที่แสดงถึงการมีอยู่ของรอยเลื่อนพบลักษณะทางน้ำหักงอ เป็นแนวยาวประมาณ 200 เมตรจากแนวเดิม และมีลักษณะการตัดเป็นท่อน ๆ ของแนวหิน (truncation of beds) รวมทั้งพบชั้นหินบางแห่งถูกตัดแทรกด้วยสายแร่ควอตซ์ (quartz vein) จากหลักฐานที่พบสรุปว่ามี

รอยเลื่อนชนิดเลื่อนในแนวระดับ (strike-slip fault) วางตัวในทิศทาง N40°E โดยที่รอยเลื่อนทำให้เกิดทางน้ำหักงอ การสำรวจด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่นี้เพื่อต้องการพิสูจน์ว่าลักษณะของชั้นดินหรือความลึกถึงชั้นหินฐานของแนวสำรวจที่อยู่ฝั่งเดียวกันของลำคลองก่อนที่จะเกิดรอยเลื่อนในแนวระดับต้องมีความเหมือนกันหรือคล้ายคลึงกัน คือแนวสำรวจ A1 คล้ายคลึงหรือเหมือนกับแนวสำรวจ A2 และแนวสำรวจ B1 คล้ายคลึงหรือเหมือนกับแนวสำรวจ B2

ผลการแปลความหมายข้อมูลจากวิธีการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและวิธีการวัดคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห พบว่าระดับความลึกถึงชั้นหินฐานในแนวสำรวจ A2 และ B2 (ประมาณ 10 เมตร) อยู่ตื้นกว่าแนวสำรวจ A1 และ B1 (> 30 เมตร) ซึ่งอยู่ทางด้านทิศใต้ของแนว offset stream จากข้อมูลที่ได้คาดว่ามีการดันตัวขึ้นมาของหินแกรนิตที่อยู่ทางด้านทิศเหนือของลำคลองส่วนที่เป็น offset stream ส่งผลให้เกิดรอยเลื่อนตามแนวมุมเท

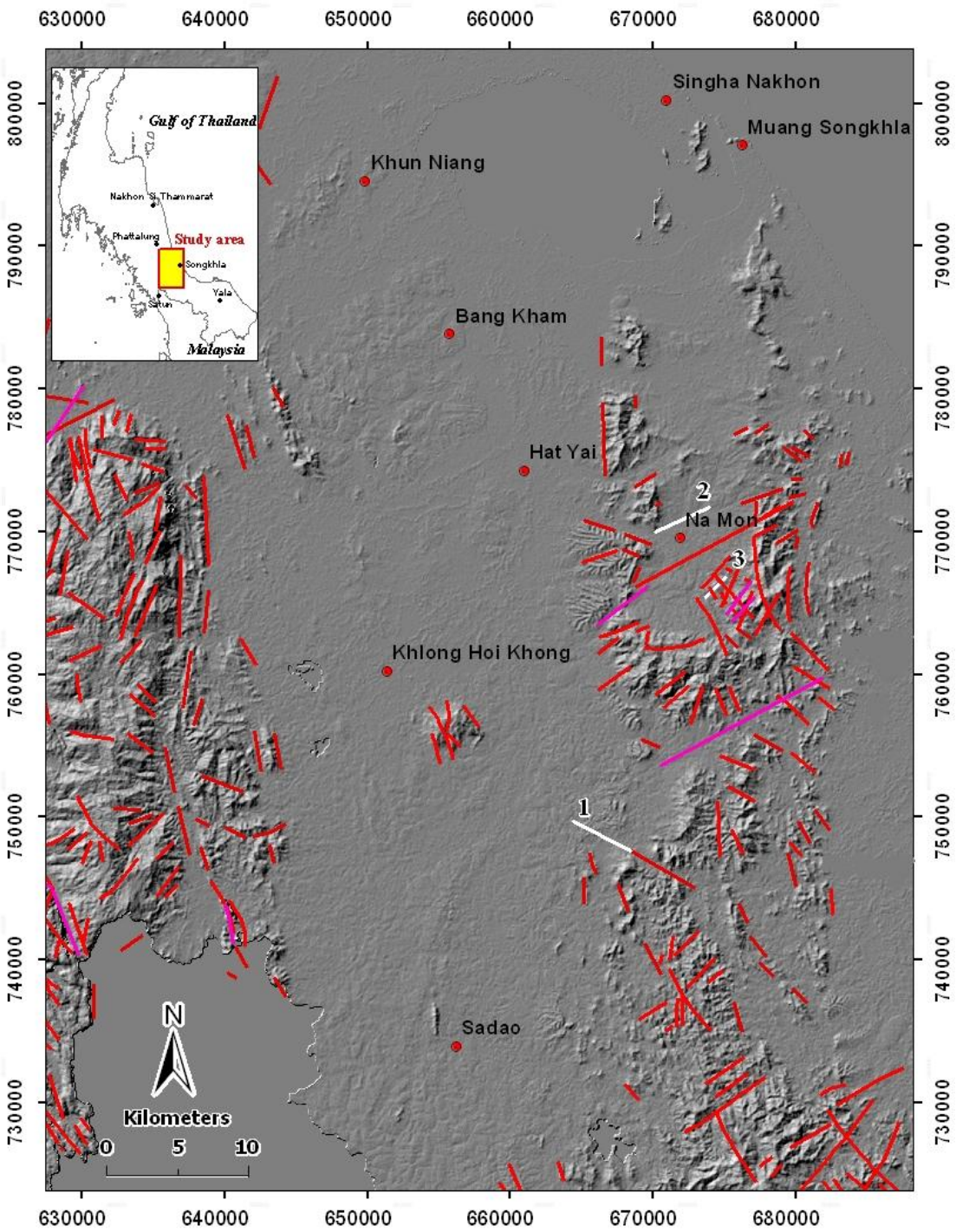
จากข้อมูลธรณีสัณฐานและข้อมูลจากการสำรวจธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่จึงเป็นไปได้ว่าในพื้นที่นี้มีรอยเลื่อนชนิดเลื่อนในแนวระดับ (strike-slip fault) เกิดขึ้นก่อนโดยมีระยะการเลื่อน (offset) เท่ากับ 200 เมตร หลังจากนั้นเกิดเหตุการณ์การดันตัวขึ้นมาของหินแกรนิตในท้องที่ทำให้เกิดเป็นรอยเลื่อนในแนวมุมเท ส่งผลให้ชั้นหินทางด้านทิศเหนือของรอยเลื่อนเลื่อนขึ้นชั้นหินทางด้านใต้แนวรอยเลื่อนเลื่อนลงโดยมีลำคลองส่วนที่เป็น offset stream เป็นระนาบของรอยเลื่อน ทำให้รอยเลื่อนในพื้นที่นี้น่าจะเป็นรอยเลื่อนชนิดเลื่อนตามแนวเฉียง (oblique-slip fault) ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวตามแนวมุมเทและแนวระดับพร้อมกัน

4.2 ข้อเสนอแนะ

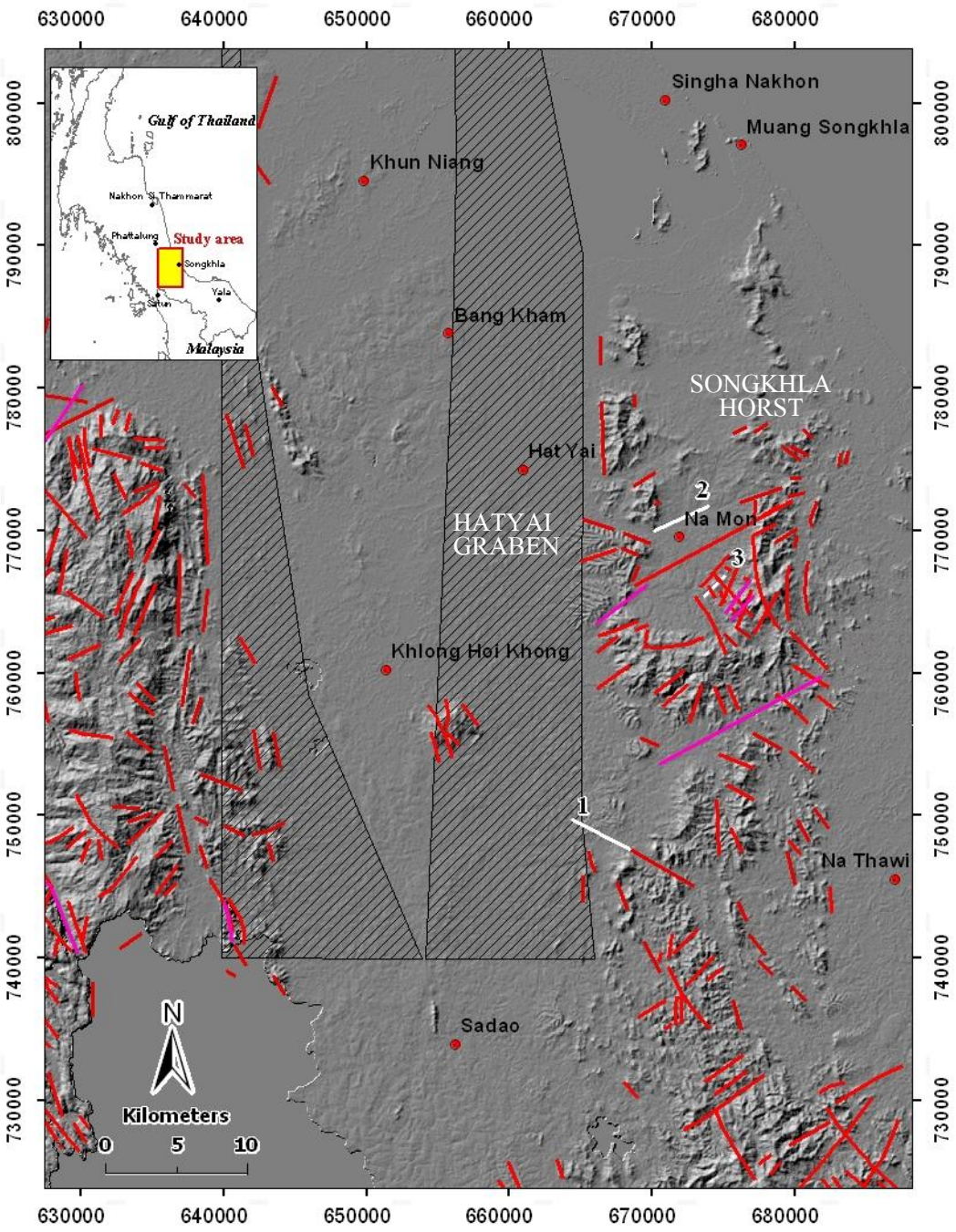
การศึกษาวิจัยครั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงข้อดีของการสำรวจรอยเลื่อนโดยการประยุกต์ใช้การสำรวจข้อมูลระยะไกลซึ่งช่วยให้สะดวกและรวดเร็วในการกำหนดพื้นที่ในบริเวณกว้าง รวมถึงภาพรวมของลักษณะการวางตัวของรอยเลื่อนก่อนที่จะทำการสำรวจในพื้นที่จริง โดยร่วมกับการสำรวจด้วยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ เพื่อยืนยันผลการแปลความหมาย ได้ทำการสำรวจใน 3 พื้นที่ดังที่กล่าวมา โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. พบรอยเลื่อนที่ปรากฏที่หน้าผาอีกตำแหน่งในพื้นที่ใกล้กับบริเวณสำรวจที่ 1 ตำบลเขามีเกียติ ห่างไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ประมาณ 450 เมตร โดยอยู่ฝั่งด้านตรงข้ามถนนกับรอยเลื่อนที่ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ที่ 1 ดังรูป 4.3 และรูปที่ 4.4 ซึ่งจากการวัดทิศทางได้แนวมุมเทเท่ากับ 60° และแนวระดับ (strike direction) เท่ากับ N270°W ควรมีการตรวจสอบแนวทิศทางและชนิดของรอยเลื่อนด้วยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ ต่อไปในอนาคต

2. พื้นที่สำรวจที่ 3 ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อมนั้นพบลักษณะการวางตัวของหินแกรนิตที่โผล่ที่ตำแหน่งคลองดังรูปที่ 4.5 ที่เป็นระยะ offset ของลำคลอง ซึ่งถ้าสรุปได้ว่าหินโผล่ดังกล่าวเป็นระนาบของรอยเลื่อน (ทั้งนี้อาจจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม) ก็จะสามารถสรุปได้ว่าพื้นที่นี้เป็นรอยเลื่อนชนิดรอยเลื่อนย้อนพร้อมกับรอยเลื่อนตามแนวระดับ (oblique reverse fault) โดยหินฝั่งอยู่ทางทิศเหนือรอยเลื่อนเลื่อนขึ้นส่วนหินที่อยู่ทางฝั่งทิศใต้รอยเลื่อนเลื่อนลง พร้อมกับเกิดการเลื่อนตามแนวระดับ

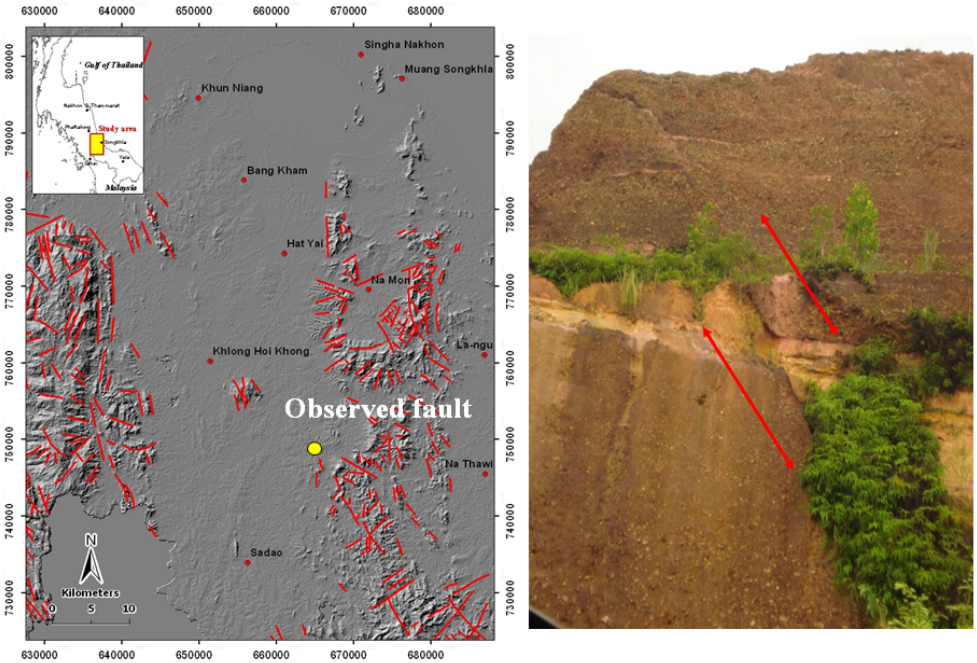


รูปที่ 4.1 แสดงรอยเลื่อนในพื้นที่จังหวัดสงขลาและพื้นที่ใกล้เคียง เส้นสีแดงคือรอยเลื่อนและแนวที่คาดว่าจะเป็นรอยเลื่อน เส้นตรงสีชมพูแทนรอยเลื่อนที่เคยศึกษามาแล้วในพื้นที่ดังกล่าวดังแสดงในบทที่ 1 หัวข้อ 1.6.1 และเส้นตรงสีขาวแทนรอยเลื่อนที่พบในงานวิจัยครั้งนี้



รูปที่ 4.2 แสดงรอยเลื่อนในพื้นที่จังหวัดสงขลาและพื้นที่ใกล้เคียง และลักษณะของโครงสร้างกราเบนและฮอร์ส (ดัดแปลงจาก; วรวุฒิ โลหะวิจารณ์, 2548)

รูปที่ 4.3 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่พบบริเวณหน้าผาในพื้นที่ใกล้กับสำรวจที่ 1 ตำบลเขามีเกียติ อำเภอสะเดา



รูปที่ 4.4 รอยเลื่อนที่พบบริเวณหน้าผาในพื้นที่ใกล้แนวสำรวจที่ 1 ตำบลเขามีเกียติ อำเภอ-สะเดา

รูปที่ 4.5 แนวหินแกรนิตดันตัวที่คาดว่าเป็นระนาบรอยเลื่อนในพื้นที่สำรวจที่ 3 ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม

บรรณานุกรม

กรมทรัพยากรธรณี. 2555. แผนที่รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย. กรมทรัพยากรธรณี. กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย.

กรมทรัพยากรธรณี. 2550. รอยเลื่อนในภาคใต้ของประเทศไทย. กรมทรัพยากรธรณี กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย.

กิตติ ขาววิเศษ. 2550. ธรณีแปรสัณฐานยุคใหม่ตามแนวรอยเลื่อนปัว จังหวัดน่าน ภาคเหนือของประเทศไทย โดยอาศัยหลักฐานจากข้อมูลโทรสัมผัส และการหาอายุตะกอนด้วยวิธีเปล่งแสงด้วยความร้อน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาธรณีวิทยา, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 245 หน้า.

จเร วุฒิศาสน์. 2548. “ความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบริโภค (น้ำบ่อตื้น) ในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ดาราศรี ดาวเรือง. 2533. รีโมทเซนซิ่งพื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธงชัย พึ่งรัศมี. 2527. ธรณีวิทยาแหล่งแร่ดีบุก บริเวณเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น กิ่งอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา. สงขลา : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธงชัย พึ่งรัศมี. 2532. ข้อมูลเบื้องต้นของสภาพธรณีวิทยาและทรัพยากรแร่ตามแนวคลองหมายเลข 5A สงขลา : ภาควิชาเหมืองแร่ฯ คณะวิศวะกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธงชัย พึ่งรัศมี. 2535. ธรณีวิทยาแหล่งแร่ดีบุกบริเวณหินแกรนิตลิวง อำเภอจะนะ-นาทวี-เทพา จังหวัดสงขลา. สงขลา : ภาควิชาเหมื่อนงแร่และวัสดุ คณะวิศวะกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นิรันดร์ ชัยมณี และคณะ. 2527. รายงานธรณีวิทยาควอเทอร์นารีรายละเอียดระวาง อ.สทิงพระและระวาง อ.เขาชัยสน : กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี 50 หน้า.

ปัญญา จารุศิริ, สุวิทย์ โคสุวรรณ, วิโรจน์ ดาวฤกษ์, กฤษณ์ วันอินทร์, มนตรี ชูวงษ์, นภดล ม่วงน้อย-เจริญ, อภิชาติ ลำจวน, ปรีชา สายทอง, ปิยธิดา โทนรัตน์. 2547. โครงการ “การสำรวจรอยเลื่อนมีพลังในเขตพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและลำปาง-แพร่”. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

ปัญญา จารุศิริ, สุวิทย์ โคสุวรรณ, วิโรจน์ ดาวฤกษ์, บุรินทร์ เวชบันเทิง, สุทธิพันธ์ ขุทรานนท์. 2543. แผ่นดินไหวในประเทศไทย และพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้.

ปัญญา จารุศิริ, เธียรพันธุ์ อำไพวรรณ, Ken-ichiro Hisada, กิตติ ขาววิเศษ, สุวิทย์ โคสุวรรณ และวิโรจน์ ดาวฤกษ์. 2545. วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย: การประมวลและการวิเคราะห์แนวใหม่, วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (Section T), ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 ปี 2545 หน้า 69-108.

ประเสริฐ วิทยารัฐ. มปป. การใช้ข้อมูลดาวเทียมด้านภูมิศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร. กรุงเทพมหานคร.

พวงทิพย์ ร่างเล็ก. 2538. การศึกษาพลูตอนลิวง จังหวัดสงขลา ด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาธรณีฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 152 หน้า.

วิรัตน์. 2546. การส่งผ่านข้อมูลจากระยะไกล. นิตยสารนาวิกศาสตร์ ปีที่ ๘๖ เล่มที่ ๓ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๔๖. กองสารสนเทศ กรมอิเล็กทรอนิกส์ทหารเรือ. กองทัพเรือ. http://www.navy.mi.th/newwww/document/navic/8603.html.

สุรศักดิ์ แก้วอ่อน. 1996. การศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงภูมิภาคในจังหวัดสตูลและจังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาธรณีฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 188 หน้า.

สมพร สง่าวงศ์. 2543. รีโมทเซนซิงเบื้องต้น และกรณีศึกษารีโมทเซนซิง. นพบุรีการพิมพ์ เชียงใหม่. 243 หน้า.

สุกิจ อติพันธ์. 2550. “ การกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่มีรังสีภูมิหลังสูง ในเขตอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ด้วยวิธีวัดรังสีแกมมา”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อรุณ ลูกจันทร์, ธนิต เฉลิมยานนท์และ สุรพล อารีย์กุล. 2552. แบบจำลอง 3 มิติ การรุกล้ำของน้ำเค็มในแอ่งหาดใหญ่. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14 : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี . 13-15 พฤษภาคม. หน้า 1,253-1,259.

Ganas, A., Papadopoulos, G., Pavlides, S.B. 2001. The 7th September 1999 Athens 5.9 Ms earthquake: remote sensing and digital elevation model inputs towards identifying the seismic fault. INT. J. Remote Sensing, vol. 22, no. 1: 191-196.

Gupta, R.P. 2003. Remote Sensing Geology. 2nd. Springer. 456 p.

Garson, M.S. and Mitchell, A.H.G., 1970. Transform faulting in Thai peninsula, Nature, Vol.288, No. 5266, pp.45-47.

Hooper, D.M., Bursik, M.I., Webb, F.H, 2003. Application of high-resolution, interferometric DEMs to geomorphic studies of fault scarps, Fish Lake Valley, Nevada–California, USA. Remote Sensing of Environment 84: 255–267.

Jeng, Y., Chen, C.S., Yu, H.M., Jeng, A.S., Tang, C.Y., Lin, M.J., 2007. Ultrashallow seismic experiment on a trenched section of the Chelunpu fault zone, Taiwan. Tectonophysics 443: 255–270.

Kearey, P., and Brooks, M., 1991, An Introduction to Geophysical Exploration. Blackwell Scientific Publication, p.22-25: 32-35.

Keller, A.E., and Pinter, N., 2002. Active Tectonics: Earthquakes, uplift, and landscape, 2nd. Prentice Hall. 362 p.

Loke, M. H., 1999, Electrical imaging survey environment and engineering studies: a practical guide to 2-D and 3D surveys: Geometrics, San Jose.

Lintz, Joseph, and Simonett, D.S., 1976. Remote sensing of environment. Reading, MA: Addison-Wesley. 694 p.

Loke, M.H., 2004. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. URL:http:// www.geoelectrical.com. Cited 28 Mar 2007.

Overmeeren, R.A., Van Ritsema, I.L., 1988. Continuous vertical electrical sounding. First break 6 (10), 313-324.

O'Leary, D. W. Friedman, J. D., Pohn, H. A., 1976. "Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms", Geological Society America Bulletin, Vol.87, 1463-1469.

Palmer D. 1981. An introduction to generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation. Geophysics 46: 1508–1518.

Rabus, B., M. Eineder, A. Roth, R. Bamler, 2003, The shuttle radar topography mission- a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar, Photogramm. Rem. Sens., v. 57, p. 241-262.

Ramsay, J.G., Hubber, M.I., and Lisle, R. 1987. The Techniques of Modem Structural Geology: Folds and Fractures. 3th : Academic Press. 391p.

Reid H.F. 1910. The mechanism of earthquake. In: The California Earthquake of April 18, 1960, Report of the State Earthquake Investigation Commission 2, Washington, DC: Carnegie Institution.192 p.

Robinson, E.S. and Coruh, C., 1988. Basic Exploration Geophysics, Wiley, New York, 562pp. Loke M.H. (1996-2001) "2-D and 3-D electrical imaging surveys"

Salvi, S., Cinti, F.R., Colini, L., D'Addezio, G., Doumaz, F., Pettinelli, E. 2003. Investigation of the active Celano-L'Aquila fault system, Abruzzi (central Apennines, Italy) with combined ground-penetrating radar and palaeoseismic trenching. Remote Sensing of Environment 84: 255–267.

Sawata, H., Wongsomsak, S., Tanchotikul, A., Dansawasdi, 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: 109-120.

Steeples, D.W., Miller, R.D. 1990 . Seismic Reflection Methods Applied to Engineering, Environmental, and Groundwater Problems.

Stein, S. and Wysession, M. 2003. Earthquake. In: An introduction to Seismology. Blackwell Publishing Ltd.

Tapponnier, P., Peltzer, G. and Armijo, R., 1986: On the Mechanics of the Collision between India and Asia, Collision Tectonics, Geol. Soc. Special Publication, No.19, pp.115-157.

Telford, W. M., Geldart, L. P. and Sheriff, R. E., 1990. Applied Geophysics 2^{nd} ed. Cambridge University.

T.C. Ekneligoda and H. Henkel. 2010. "Interactive spatial analysis of lineaments", Computers & Geosciences, pp.1081-1090.

Thongchai Pungrassami. 1986. “Cassiterite and wolframite deposits in and around the Hat Yai basin, Songkhla Province, Thailand”,Proceedings on Economic Geology, Tectonics, Sedimentary Processes and Environment of The Quaternary in Southeast Asia_Hat Yai,Thailand.

Twiss, R.J., Moores, E.M., 1992. Structural Geology. 1st . New York : W. H. Freeman and company.

Walker, R.T. 2006. A remote sensing study of active folding and faulting in southern Kerman province, S.E. Iran. Journal of Structural Geology 28: 654–668.

Warawutti lohawijarn. 2005. Potential ground water resources of Hat Yai Basin in Peninsular Thailand by gravity study. Songklanakarin J. Sci. Technol., 27(3). 633-647.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลหลุมเจาะที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาที่ 2 ตำบลนาหม่อม และตำบลพิจิตร จังหวัดสงขลา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2543)

1.1 หลุมเจาะ H0724SKL327 พิกัด : Zone 47N 671443E 770978N

BAN BAN THAYAI PUBLIC AREA MU THI 05 TAMBON PHI CHIT AMPHOE NA MOM CHANGWAT SONGKHLA

Depth 12 m

Aquifer type granite

Depth to bed rock 4.5 m

Perforation interval 6-12 m

Type of cutting	**Depth (m)**
Sand:	0-3
Find grained	
Boulder:	3-5
Granite:	5-12

1.2 หลุมเจาะ H0970SKL433 พิกัด : Zone 47N 671169E 770759N

BAN BAN THUNG NA WAN MU THI 5 TAMBON PHI CHIT AMPHOE K.NA MON CHANGWAT SONGKHLA

Depth 18 m

Aquifer type gravel, sand

Depth to bed rock 0.0 m

Perforation interval 9-18 m

Type of cutting	**Depth (m)**
Sand :	0-5
brown and light brown, clayey, slightly compacted, medium sand to very coarse sand, subangular to subrounded, poorly sorted, composed of quartz , feldspars , chert.	

Type of cutting	**Depth (m)**
Sand :	5-15
yellow, slightly compacted, fine sand to medium sand, subangular to subrounded, well sorted, composed of quartz , feldspars with muscovite	
Gravel:	15-18
white, sandy, very fine gravel to fine gravel, subangular, well sorted, composed of quartz , chert	

1.3 หลุมเจาะ H0722SKL325 พิกัด : Zone 47N 671267E 769896N

BAN BAN NA MOM PUBLIC AREA MU THI 09 TAMBON NA MOM AMPHOE NA MOM CHANGWAT SONGKHLA

Depth	15 m
Aquifer type	sand
Depth to bed rock	unconsolidated
Perforation interval	9-15 m

Type of cutting	**Depth (m)**
Clay :	0-8
sandy	
Sand :	8-12
clayey	
Clay:	12-14
sandy	
Sand & Granite:	14-15
Coarse sand	

1.4 หลุมเจาะ H0723SKL326 พิกัด : Zone 47N 671253E 770235N

BAN BAN NA MOM PUBLIC AREA MU THI 10 TAMBON NA MOM AMPHOE NA MOM CHANGWAT SONGKHLA

Depth	12 m
Aquifer type	gravel
Depth to bed rock	unconsolidated
Perforation interval	6-12 m

Type of cutting	**Depth (m)**
Gravel & Clay:	0-9
Gravel:	9-12

ภาคผนวก ข

2. ข้อมูลการสำรวจ Vertical electrical sounding (VES) ทั้ง 6 แนวสำรวจในพื้นที่ที่ 2 ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม

VES1 Coordinate : 670768E 770549N

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลการบันทึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดสำรวจที่ 1

No.	MN/2	AB/2	K	R(ohm)	Apparent resistivity (ohm.m)
1	0.5	1.5	6.2	252.8	1588.5
2	0.5	2	11.7	145.0	1708.4
3	0.5	3	27.4	60.3	1658.0
4	0.5	4	49.4	30.0	1488.7
5	1	4	23.5	61.0	1438.3
6	1	6	54.9	23.3	1284.5
7	1	8	98.9	10.9	1085.3
8	1	10	155.5	5.7	891.3
9	2	10	75.3	11.5	872.3
10	2	15	173.5	2.9	512.3
11	2	20	311.0	1.6	417.8
12	5	20	117.8	3.8	449.9

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลการบันทึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดสำรวจที่ 1 (ต่อ)

13	5	25	188.5	1.9	361.3
14	5	30	274.9	1.0	284.6
15	5	40	494.8	0.4	215.5
16	5	50	777.5	0.2	181.8
17	10	50	377.0	0.5	188.8
18	10	60	549.8	0.4	195.3
19	10	80	989.6	0.2	207.3
20	10	100	1555.1	0.1	215.6
21	20	100	754.0	0.3	221.5
22	20	120	1099.6	0.2	242.4
23	20	140	1508.0	0.2	229.9
24	20	160	1979.2	0.1	244.0

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลการบันทึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดสำรวจที่ 2

SCHLUMBERGER ARRAY					
Coordinate : 671129E 771335N					
station 2					
No.	MN/2	AB/2	K	R(ohm)	Apparent resistivity (ohm.m)
1	0.5	1.5	6.3	418.5	2629.6
2	0.5	2	11.8	227.0	2673.8
3	0.5	3	27.5	85.2	2343.1
4	0.5	4	49.5	41.2	2041.0
5	1	4	23.6	86.4	2036.3
6	1	6	55.0	33.1	1821.4
7	1	8	99.0	13.4	1326.7
8	1	10	155.5	7.3	1133.0
9	2	10	75.4	16.4	1233.4

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลการบันทึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดสำรวจที่ 2 (ต่อ)

10	2	15	173.6	3.3	578.7
11	2	20	311.0	1.5	456.4
12	5	20	117.8	3.6	429.0
13	5	25	188.5	2.1	396.1
14	5	30	274.9	1.4	377.8
15	5	40	494.8	0.8	371.2
16	5	50	777.5	0.4	329.8
17	10	50	377.0	0.9	357.5
18	10	60	549.8	0.6	337.8
19	10	80	989.6	0.4	370.0
20	10	100	1555.1	0.3	404.2
21	20	100	754.0	0.6	483.4
22	20	120	1099.6	0.4	456.6
23	20	140	1508.0	0.3	483.3
24	20	160	1979.2	0.2	434.0
25	20	180	2513.3	0.1	363.2
26	20	200	3110.2	0.3	830.8
27	40	200	1508.0	0.5	722.3
28	40	250	2391.5	0.2	480.3
29	40	300	3471.5	0.2	552.7
30	40	350	4747.7	0.1	606.8
31	40	390	5910.1	0.1	823.3

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลการบันทึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดสำรวจที่ 3

SCHLUMBERGER ARRAY					
Coordinate : 672630E 771676N					
station 3					
No.	MN/2	AB/2	K	R(ohm)	Apparent resistivity (ohm.m)
1	0.5	1.5	6.3	47.0	295.6
2	0.5	2	11.8	30.6	360.4
3	0.5	3	27.5	15.9	436.8
4	0.5	4	49.5	9.3	459.4
5	1	4	23.6	19.3	454.0
6	1	6	55.0	8.6	470.2
7	1	8	99.0	5.0	495.3
8	1	10	155.5	3.1	475.9
9	2	10	75.4	6.3	471.9
10	2	15	173.6	2.6	443.3
11	2	20	311.0	1.4	441.0
12	5	20	117.8	4.0	465.8
13	5	25	188.5	2.6	485.6
14	5	30	274.9	1.9	519.7
15	5	40	494.8	1.2	590.8
16	5	50	777.5	0.9	680.0
17	10	50	377.0	1.8	674.1
18	10	60	549.8	1.3	740.6
19	10	80	989.6	0.8	796.1
20	10	100	1555.1	0.5	740.7
21	20	100	754.0	1.0	722.2

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลการบันทึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดสำรวจที่ 3 (ต่อ)

22	20	120	1099.6	0.6	650.4
23	20	140	1508.0	0.4	572.9
24	20	160	1979.2	0.3	556.4
25	20	180	2513.3	0.2	535.7
26	40	180	1209.5	0.5	555.7
27	40	200	1508.0	0.4	626.4
28	40	250	2391.5	0.3	656.7

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลการบันทึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดสำรวจที่ 4

SCHLUMBERGER ARRAY					
Coordinate : Zone 47N 670968E 770222N					
station 4					
No.	MN/2	AB/2	K	R(ohm)	Apparent resistivity (ohm.m)
1	0.5	1.5	6.3	84.3	529.5
2	0.5	2	11.8	53.4	629.6
3	0.5	3	27.5	29.0	798.3
4	0.5	4	49.5	18.5	915.2
5	1	4	23.6	35.7	841.5
6	1	6	55.0	16.9	930.0
7	1	8	99.0	7.9	785.4
8	1	10	155.5	4.4	684.0
9	2	10	75.4	8.3	626.1
10	2	15	173.6	2.4	421.8
11	2	20	311.0	1.0	305.9
12	5	20	117.8	2.9	337.5
13	5	25	188.5	1.3	252.8

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลการบันทึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดสำรวจที่ 4 (ต่อ)

14	5	30	274.9	0.7	187.6
15	5	40	494.8	0.3	158.7
16	5	50	777.5	0.2	156.4
17	10	50	377.0	0.4	156.3
18	10	60	549.8	0.3	161.1
19	10	80	989.6	0.2	176.1
20	10	100	1555.1	0.1	178.5
21	20	100	754.0	0.2	161.9
22	20	120	1099.6	0.2	167.2
23	20	140	1508.0	0.1	181.9
24	20	160	1979.2	0.1	193.6
25	20	180	2513.3	0.1	199.7
26	20	190	2803.9	0.1	209.7
27	40	190	1354.8	0.7	883.0

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลการบันทึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดสำรวจที่ 5

SCHLUMBERGER ARRAY					
Coordinate : Zone 47N 671571E 770237N					
station 5					
No.	MN/2	AB/2	K	R(ohm)	Apparent resistivity (ohm.m)
1	0.5	1.5	6.3	36.6	230.2
2	0.5	2	11.8	22.5	265.3
3	0.5	3	27.5	10.7	295.3
4	0.5	4	49.5	6.4	318.6
5	1	4	23.6	13.8	325.9
6	1	6	55.0	5.0	275.8

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลการบันทึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดสำรวจที่ 5 (ต่อ)

7	1	8	99.0	2.5	246.7
8	1	10	155.5	1.2	186.0
9	2	10	75.4	2.7	202.2
10	2	15	173.6	1.0	168.5
11	2	20	311.0	0.5	149.0
12	5	20	117.8	1.3	153.9
13	5	24	173.1	0.8	140.9
14	5	30	274.9	0.6	151.7
15	5	40	494.8	0.4	193.0
16	5	50	777.5	0.3	251.3
17	10	50	377.0	0.7	258.0
18	10	60	549.8	0.6	328.1
19	10	80	989.6	0.3	309.3
20	10	100	1555.1	0.2	293.6
21	20	100	754.0	0.6	421.3
22	20	120	1099.6	0.1	161.2
23	20	140	1508.0	0.2	342.4
24	20	160	1979.2	0.2	354.3
25	20	175	2373.9	0.1	339.4
26	20	200	3110.2	0.1	367.2
27	40	200	1508.0	0.2	311.5

ตารางที่ 5.6 ข้อมูลการบันทึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดสำรวจที่ 6

SCHLUMBERGER ARRAY					
Coordinate : Zone47N 672127E 770578N					
station 6					
No.	MN/2	AB/2	K	R(ohm)	Apparent resistivity (ohm.m)
1	0.5	1.5	6.3	48.5	304.5
2	0.5	2	11.8	25.7	303.2
3	0.5	3	27.5	9.2	253.9
4	0.5	4	49.5	4.8	239.2
5	1	4	23.6	11.3	265.7
6	1	6	55.0	4.0	218.7
7	1	8	99.0	1.9	190.0
8	1	10	155.5	1.1	169.6
9	2	10	75.4	2.3	171.0
10	2	15	173.6	0.8	136.7
11	2	20	311.0	0.4	121.4
12	5	20	117.8	1.0	123.5
13	5	25	188.5	0.6	112.7
14	5	30	274.9	0.4	109.2
15	5	40	494.8	0.2	116.1
16	5	50	777.5	0.2	121.9
17	10	50	377.0	0.3	125.3
18	10	60	549.8	0.2	124.3
19	10	80	989.6	0.2	156.1
20	10	100	1555.1	0.1	158.5
21	20	100	754.0	0.2	163.2

ตารางที่ 5.6 ข้อมูลการบันทึกค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของจุดสำรวจที่ 6 (ต่อ)

22	20	120	1099.6	0.1	159.1
23	20	140	1508.0	0.1	163.5
24	20	160	1979.2	0.1	179.5
25	20	180	2513.3	0.1	191.4
26	20	190	2803.9	0.1	199.9
27	40	190	1354.8	0.2	226.5

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ ในพื้นที่สำรวจที่ 3 ตำบลคลองหรัง อำเภอนา-หม่อม

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ A1

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
0	5	10	15	5	1	5.7
0	5	15	20	5	2	0.7
0	5	20	25	5	3	0.2
0	5	25	30	5	4	0.1
0	5	30	35	5	5	0.1
0	5	35	40	5	6	0.0
0	15	30	45	15	1	0.5
0	15	45	60	15	2	0.1
0	15	60	75	15	3	0.1
0	15	75	90	15	4	0.0
0	15	90	105	15	5	0.0
0	20	80	100	20	3	0.0
0	20	100	120	20	4	0.0
0	20	120	140	20	5	0.0
0	20	140	160	20	6	0.0

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ A1 (ต่อ)

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
0	20	160	180	20	7	0.0
20	40	180	200	20	7	0.0
20	40	160	180	20	6	0.0
20	40	140	160	20	5	0.0
20	40	120	140	20	4	0.0
20	40	100	120	20	3	0.1
20	35	110	125	15	5	0.0
20	35	95	110	15	4	0.0
20	35	80	95	15	3	0.1
20	35	65	80	15	2	0.1
20	35	50	65	15	1	0.3
20	25	55	60	5	6	0.0
20	25	50	55	5	5	0.0
20	25	45	50	5	4	0.1
20	25	40	45	5	3	0.1
20	25	35	40	5	2	0.4
20	25	30	35	5	1	8.5
40	45	50	55	5	1	10.6
40	45	55	60	5	2	0.7
40	45	60	65	5	3	0.2
40	45	65	70	5	4	0.1
40	45	70	75	5	5	0.0
40	45	75	80	5	6	0.0
40	55	70	85	15	1	0.5
40	55	85	100	15	2	0.2
40	55	100	115	15	3	0.1
40	55	115	130	15	4	0.0
40	55	130	145	15	5	0.0
40	60	120	140	20	3	0.1
40	60	140	160	20	4	0.0
40	60	160	180	20	5	0.0
40	60	180	200	20	6	0.0

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ A1 (ต่อ)

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
60	80	180	200	20	5	0.0
60	80	160	180	20	4	0.1
60	80	140	160	20	3	0.2
60	75	150	165	15	5	0.0
60	75	135	150	15	4	0.1
60	75	120	135	15	3	0.4
60	75	105	120	15	2	1.0
60	75	90	105	15	1	3.9
60	65	95	100	5	6	0.2
60	65	90	95	5	5	0.3
60	65	85	90	5	4	0.3
60	65	80	85	5	3	0.4
60	65	75	80	5	2	0.7
60	65	70	75	5	1	7.7
80	85	90	95	5	1	5.3
80	85	95	100	5	2	1.4
80	85	100	105	5	3	0.7
80	85	105	110	5	4	0.6
80	85	110	115	5	5	0.2
80	85	115	120	5	6	0.1
80	95	110	125	15	1	3.2
80	95	125	140	15	2	1.1
80	95	140	155	15	3	0.2
80	95	155	170	15	4	0.1
80	95	170	185	15	5	0.0
80	100	160	180	20	3	0.1
80	100	180	200	20	4	0.1
100	120	180	200	20	3	0.1
100	115	175	190	15	4	0.1
100	115	160	175	15	3	0.2
100	115	145	160	15	2	0.5
100	115	130	145	15	1	5.6

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ A1 (ต่อ)

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
100	105	135	140	5	6	0.2
100	105	130	135	5	5	0.5
100	105	125	130	5	4	0.9
100	105	120	125	5	3	1.3
100	105	115	120	5	2	1.9
100	105	110	115	5	1	7.7
120	125	130	135	5	1	29.2
120	125	135	140	5	2	5.3
120	125	140	145	5	3	1.5
120	125	145	150	5	4	0.5
120	125	150	155	5	5	0.2
120	125	155	160	5	6	0.1
120	135	150	165	15	1	3.4
120	135	165	180	15	2	0.7
120	135	180	195	15	3	0.2
140	160	180	200	20	1	1.7
140	155	185	200	15	2	0.5
140	155	170	185	15	1	1.6
140	145	175	180	5	6	0.1
140	145	170	175	5	5	0.1
140	145	165	170	5	4	0.4
140	145	160	165	5	3	0.8
140	145	155	160	5	2	3.8
140	145	150	155	5	1	31.8
160	165	170	175	5	1	20.0
160	165	175	180	5	2	3.8
160	165	180	185	5	3	0.9
160	165	185	190	5	4	0.6
160	165	190	195	5	5	0.3
160	165	195	200	5	6	0.2

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ A2

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
0	5	10	15	5	1	10.2
0	5	15	20	5	2	2.2
0	5	20	25	5	3	1.1
0	5	25	30	5	4	0.2
0	5	30	35	5	5	0.3
0	5	35	40	5	6	0.6
0	15	30	45	15	1	2.7
0	15	45	60	15	2	0.5
0	15	60	75	15	3	0.2
0	15	75	90	15	4	0.2
0	15	90	105	15	5	0.2
0	20	80	100	20	3	0.4
0	20	100	120	20	4	0.5
0	20	120	140	20	5	0.3
0	20	140	160	20	6	0.7
0	20	160	180	20	7	0.2
20	40	180	200	20	7	0.1
20	40	160	180	20	6	0.0
20	40	140	160	20	5	0.1
20	40	120	140	20	4	0.2
20	40	100	120	20	3	0.5
20	35	110	125	15	5	0.2
20	35	95	110	15	4	0.3
20	35	80	95	15	3	0.3
20	35	65	80	15	2	0.7
20	35	50	65	15	1	3.4
20	25	55	60	5	6	0.1
20	25	50	55	5	5	0.1
20	25	45	50	5	4	0.2
20	25	40	45	5	3	1.0

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ A2 (ต่อ)

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
20	25	30	35	5	1	6.8
40	45	50	55	5	1	17.9
40	45	55	60	5	2	4.9
40	45	60	65	5	3	0.9
40	45	65	70	5	4	0.8
40	45	70	75	5	5	0.4
40	45	75	80	5	6	0.1
40	55	70	85	15	1	5.1
40	55	85	100	15	2	1.3
40	55	100	115	15	3	1.0
40	55	115	130	15	4	0.2
40	55	130	145	15	5	0.2
40	60	120	140	20	3	0.4
40	60	140	160	20	4	0.3
40	60	160	180	20	5	0.1
40	60	180	200	20	6	0.1
60	80	180	200	20	5	0.1
60	80	160	180	20	4	0.1
60	80	140	160	20	3	0.4
60	75	150	165	15	5	0.2
60	75	135	150	15	4	0.3
60	75	120	135	15	3	0.4
60	75	105	120	15	2	1.2
60	75	90	105	15	1	4.3
60	65	95	100	5	6	0.2
60	65	90	95	5	5	0.2
60	65	85	90	5	4	0.4
60	65	80	85	5	3	0.6
60	65	75	80	5	2	1.0
60	65	70	75	5	1	9.0
80	85	90	95	5	1	12.2

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ A2 (ต่อ)

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
80	85	95	100	5	2	3.5
80	85	100	105	5	3	2.1
80	85	105	110	5	4	0.9
80	85	110	115	5	5	0.5
80	85	115	120	5	6	0.1
80	95	110	125	15	1	2.9
80	95	125	140	15	2	0.8
80	95	140	155	15	3	0.6
80	95	155	170	15	4	0.1
80	95	170	185	15	5	0.1
80	100	160	180	20	3	0.2
80	100	180	200	20	4	0.2
100	120	180	200	20	3	0.1
100	115	175	190	15	4	0.7
100	115	160	175	15	3	0.4
100	115	145	160	15	2	0.9
100	115	130	145	15	1	5.0
100	105	135	140	5	6	0.4
100	105	130	135	5	5	0.6
100	105	125	130	5	4	0.9
100	105	120	125	5	3	1.3
100	105	115	120	5	2	3.5
100	105	110	115	5	1	29.0
120	125	130	135	5	1	11.9
120	125	135	140	5	2	2.4
120	125	140	145	5	3	1.2
120	125	145	150	5	4	0.4
120	125	150	155	5	5	0.3
120	125	155	160	5	6	0.1
120	135	150	165	15	1	1.2
120	135	165	180	15	2	0.4
120	135	180	195	15	3	0.5

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ A2 (ต่อ)

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
140	160	180	200	20	1	0.9
140	155	185	200	15	2	0.6
140	155	170	185	15	1	1.4
140	145	175	180	5	6	0.1
140	145	170	175	5	5	0.2
140	145	165	170	5	4	0.2
140	145	160	165	5	3	0.1
140	145	155	160	5	2	0.5
140	145	150	155	5	1	3.7
160	165	170	175	5	1	4.7
160	165	175	180	5	2	1.2
160	165	180	185	5	3	0.8
160	165	185	190	5	4	0.4
160	165	190	195	5	5	0.1
160	165	195	200	5	6	0.1

ตารางที่ 5.9 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ B1

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
0	5	10	15	5	1	0.5
0	5	15	20	5	2	0.1
0	5	20	25	5	3	0.1
0	5	25	30	5	4	0.3
0	5	30	35	5	5	0.1
0	5	35	40	5	6	0.1
0	15	30	45	15	1	0.3
0	15	45	60	15	2	0.1
0	15	60	75	15	3	0.1
0	15	75	90	15	4	0.0
0	15	90	105	15	5	0.0
0	20	80	100	20	3	150.4
0	20	100	120	20	4	0.1
0	20	120	140	20	5	91.8
0	20	140	160	20	6	93.1

ตารางที่ 5.9 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ B1 (ต่อ)

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
0	20	160	180	20	7	0.2
20	40	180	200	20	7	0.0
20	40	160	180	20	6	0.0
20	40	140	160	20	5	0.0
20	40	120	140	20	4	0.1
20	40	100	120	20	3	0.1
20	35	110	125	15	5	0.0
20	35	95	110	15	4	0.1
20	35	80	95	15	3	0.1
20	35	65	80	15	2	0.2
20	35	50	65	15	1	0.5
20	25	55	60	5	6	0.0
20	25	50	55	5	5	0.1
20	25	45	50	5	4	0.1
20	25	40	45	5	3	0.3
20	25	35	40	5	2	0.8
20	25	30	35	5	1	10.2
40	45	50	55	5	1	6.1
40	45	55	60	5	2	1.2
40	45	60	65	5	3	0.2
40	45	65	70	5	4	0.1
40	45	70	75	5	5	0.1
40	45	75	80	5	6	0.1
40	55	70	85	15	1	0.8
40	55	85	100	15	2	0.4
40	55	100	115	15	3	0.1
40	55	115	130	15	4	0.1
40	55	130	145	15	5	0.0
40	60	120	140	20	3	0.1
40	60	140	160	20	4	0.1
40	60	160	180	20	5	0.0

ตารางที่ 5.9 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ B1 (ต่อ)

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
40	60	180	200	20	6	0.0
60	80	180	200	20	5	0.1
60	80	160	180	20	4	0.2
60	80	140	160	20	3	0.3
60	75	150	165	15	5	0.0
60	75	135	150	15	4	0.1
60	75	120	135	15	3	0.2
60	75	105	120	15	2	0.4
60	75	90	105	15	1	1.4
60	65	95	100	5	6	0.1
60	65	90	95	5	5	0.2
60	65	85	90	5	4	0.3
60	65	80	85	5	3	0.4
60	65	75	80	5	2	1.0
60	65	70	75	5	1	1.4
80	85	90	95	5	1	11.8
80	85	95	100	5	2	2.2
80	85	100	105	5	3	0.8
80	85	105	110	5	4	0.3
80	85	110	115	5	5	0.2
80	85	115	120	5	6	0.1
80	95	110	125	15	1	2.9
80	95	125	140	15	2	1.0
80	95	140	155	15	3	0.5
80	95	155	170	15	4	0.2
80	95	170	185	15	5	0.1
80	100	160	180	20	3	0.3
80	100	180	200	20	4	0.2
100	120	180	200	20	3	0.9
100	115	175	190	15	4	0.2
100	115	160	175	15	3	0.4
100	115	145	160	15	2	1.3

ตารางที่ 5.9 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ B1 (ต่อ)

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
100	115	130	145	15	1	4.3
100	105	135	140	5	6	0.3
100	105	130	135	5	5	0.4
100	105	125	130	5	4	0.9
100	105	120	125	5	3	1.2
100	105	115	120	5	2	4.7
100	105	110	115	5	1	28.2
120	125	130	135	5	1	15.7
120	125	135	140	5	2	4.0
120	125	140	145	5	3	1.5
120	125	145	150	5	4	0.7
120	125	150	155	5	5	0.2
120	125	155	160	5	6	0.0
120	135	150	165	15	1	6.0
120	135	165	180	15	2	0.8
120	135	180	195	15	3	0.0
140	160	180	200	20	1	2.3
140	155	185	200	15	2	0.8
140	155	170	185	15	1	3.3
140	145	175	180	5	6	0.2
140	145	170	175	5	5	0.3
140	145	165	170	5	4	0.6
140	145	160	165	5	3	1.3
140	145	155	160	5	2	5.1
140	145	150	155	5	1	30.8
160	165	170	175	5	1	17.5
160	165	175	180	5	2	2.9
160	165	180	185	5	3	1.2
160	165	185	190	5	4	0.3
160	165	190	195	5	5	0.2
160	165	195	200	5	6	0.1

ตารางที่ 5.10 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ B2

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
0	5	10	15	5	1	4.0
0	5	15	20	5	2	0.9
0	5	20	25	5	3	0.2
0	5	25	30	5	4	0.2
0	5	30	35	5	5	0.1
0	5	35	40	5	6	0.0
0	15	30	45	15	1	1.3
0	15	45	60	15	2	0.8
0	15	60	75	15	3	0.3
0	15	75	90	15	4	0.4
0	15	90	105	15	5	0.1
0	20	80	100	20	3	0.2
0	20	100	120	20	4	0.1
0	20	120	140	20	5	0.1
0	20	140	160	20	6	0.1
0	20	160	180	20	7	0.0
20	40	180	200	20	7	0.2
20	40	160	180	20	6	0.7
20	40	140	160	20	5	0.7
20	40	120	140	20	4	0.5
20	40	100	120	20	3	0.6
20	35	110	125	15	5	0.1
20	35	95	110	15	4	0.4
20	35	80	95	15	3	0.4
20	35	65	80	15	2	0.4
20	35	50	65	15	1	2.1
20	25	55	60	5	6	0.3
20	25	50	55	5	5	0.3
20	25	45	50	5	4	0.4
20	25	40	45	5	3	0.4
20	25	35	40	5	2	0.4

ตารางที่ 5.10 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ B2 (ต่อ)

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
20	25	30	35	5	1	3.7
40	45	50	55	5	1	28.1
40	45	55	60	5	2	3.1
40	45	60	65	5	3	0.5
40	45	65	70	5	4	0.4
40	45	70	75	5	5	0.5
40	45	75	80	5	6	0.6
40	55	70	85	15	1	4.0
40	55	85	100	15	2	3.7
40	55	100	115	15	3	3.7
40	55	115	130	15	4	3.6
40	55	130	145	15	5	3.6
40	60	120	140	20	3	7.0
40	60	140	160	20	4	6.9
40	60	160	180	20	5	6.3
40	60	180	200	20	6	7.1
60	80	180	200	20	5	0.6
60	80	160	180	20	4	1.0
60	80	140	160	20	3	1.7
60	75	150	165	15	5	1.2
60	75	135	150	15	4	1.0
60	75	120	135	15	3	1.3
60	75	105	120	15	2	1.1
60	75	90	105	15	1	6.5
60	65	95	100	5	6	0.2
60	65	90	95	5	5	0.3
60	65	85	90	5	4	1.1
60	65	80	85	5	3	2.7
60	65	75	80	5	2	8.9
60	65	70	75	5	1	42.1
80	85	90	95	5	1	53.7
80	85	95	100	5	2	6.7

ตารางที่ 5.10 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ B2 (ต่อ)

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
80	85	100	105	5	3	1.5
80	85	105	110	5	4	0.4
80	85	110	115	5	5	0.4
80	85	115	120	5	6	0.2
80	95	110	125	15	1	4.2
80	95	125	140	15	2	0.9
80	95	140	155	15	3	0.3
80	95	155	170	15	4	0.1
80	95	170	185	15	5	0.1
80	100	160	180	20	3	0.3
80	100	180	200	20	4	0.2
100	120	180	200	20	3	0.2
100	115	175	190	15	4	0.1
100	115	160	175	15	3	0.3
100	115	145	160	15	2	0.7
100	115	130	145	15	1	4.6
100	105	135	140	5	6	0.1
100	105	130	135	5	5	0.2
100	105	125	130	5	4	0.6
100	105	120	125	5	3	1.5
100	105	115	120	5	2	7.4
100	105	110	115	5	1	45.8
120	125	130	135	5	1	85.2
120	125	135	140	5	2	8.7
120	125	140	145	5	3	1.8
120	125	145	150	5	4	0.4
120	125	150	155	5	5	0.3
120	125	155	160	5	6	0.3
120	135	150	165	15	1	3.6
120	135	165	180	15	2	0.9
120	135	180	195	15	3	0.4

ตารางที่ 5.10 ข้อมูลการบันทึกการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติของแนวสำรวจ B2 (ต่อ)

C2	C1	P1	P2	a	n	Resistance (ohm)
140	160	180	200	20	1	6.0
140	155	185	200	15	2	1.5
140	155	170	185	15	1	4.2
140	145	175	180	5	6	0.0
140	145	170	175	5	5	0.2
140	145	165	170	5	4	0.6
140	145	160	165	5	3	1.5
140	145	155	160	5	2	4.2
140	145	150	155	5	1	25.4
160	165	170	175	5	1	32.3
160	165	175	180	5	2	6.4
160	165	180	185	5	3	3.4
160	165	185	190	5	4	1.1
160	165	190	195	5	5	0.7
160	165	195	200	5	6	0.9