



การประยุกต์ใช้วิธีคลื่นไหวสะเทือนเพื่อศึกษารอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ในเขตพื้นที่
อำเภอคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี

**Application of Seismic Methods for Investigation of Khlong Marui Fault Zone
in Khiriratnikhom District, Surat Thani Province**

ปรียา ศรีสุวรรณ

Preeya Sreesuwan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาธรณีฟิสิกส์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for

the Degree of Master of Science in Geophysics

Prince of Songkla University

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การประยุกต์ใช้วิธีคลื่นไหวสะเทือนเพื่อศึกษารอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ในเขตพื้นที่
อำเภอคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี

**Application of Seismic methods for Investigation of Khlong Marui Fault Zone
in Khiriratnikhom District, Surat Thani Province**

ปรียา ศรีสุวรรณ

Preeya Sreesuwan

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

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้วิธีคลื่นไหวสะเทือนเพื่อศึกษารอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ใน
 เขตพื้นที่อำเภอคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ผู้เขียน นางสาวปรีชา ศรีสุวรรณ

สาขาวิชา ธรณีฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สวัสดิ์ ยอดขยัน)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัฒน์ชัย เทพนวล)
กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำแพง วัฒนเสน)
กรรมการ
	(รองศาสตราจารย์ ดร. สวัสดิ์ ยอดขยัน)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
 ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาธรณีฟิสิกส์

.....
 (ศาสตราจารย์ ดร. ดำรงค์ดี ฟ้ารุ่งแสง)
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มี
ส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. สวัสดิ์ ยอดขยัน)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวปรีชา ศรีสุวรรณ)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวปรีชา ศรีสุวรรณ)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้วิธีคลื่นไหวสะเทือนเพื่อศึกษารอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ใน เขตพื้นที่อำเภอคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี
ผู้เขียน	นางสาวปรีชา ศรีสุวรรณ
สาขาวิชา	ธรณีฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

แถบรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย เป็นรอยเลื่อนตามแนวระดับขนาดใหญ่ทางตอนใต้ของประเทศไทย พาดผ่านพื้นที่ตั้งแต่จังหวัดภูเก็ตไปยังจังหวัดสุราษฎร์ธานี แม้ว่าจะมีการศึกษาแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยมาก่อนหน้านี้ แต่บางพื้นที่ยังไม่ปรากฏหลักฐานแนวรอยเลื่อนที่ชัดเจน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคำแหน่งแนวรอยเลื่อนและลักษณะทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินบริเวณพื้นที่อำเภอคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยใช้วิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน ซึ่งมีแนวสำรวจ 6 แนวสำรวจ รวมระยะทาง 13 กิโลเมตร สำหรับขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลประกอบด้วย จัดรูปแบบจัดเรียงข้อมูล กำหนดเรขาคณิตของแนวสำรวจ การแก้ไขและตัดสัญญาณ การปรับแก้สถิติ การปรับแก้แอมพลิจูด การกรองความถี่ การจัดเรียงสัญญาณรูปแบบจุดกลางร่วม และการรวมสัญญาณ และแปลความข้อมูลร่วมกับแผนภาพความเร็วคลื่นเฉือนโดยวิธีวิเคราะห์คลื่นพื้นผิวหลายช่องสัญญาณ (MASW)

ผลการศึกษาแสดงลักษณะโครงสร้างใต้ผิวดินในระดับความลึกประมาณ 200 เมตร ปกคลุมด้วยด้วยชั้นตะกอนกรวดทรายยุคควอเทอร์นารีมีความหนาประมาณ 20 เมตร ลึกลงไปเป็นชั้นตะกอนอัดแน่นหรือชั้นหินปูนที่สุกกร่อน หินฐานเป็นชั้นหินปูนในพื้นที่ตอนกลาง และพื้นที่ตอนเหนือเป็นชั้นหิน โคลน หินดินดาน หรือหินแกรนิตแทรกตัวขึ้นมา และพบการเปลี่ยนแปลงความเร็วในแนวดิ่ง และแนวราบ อาจมีแนวรอยเลื่อนพาดผ่านสอดคล้องกับแนวรอยเลื่อนหลักที่ได้จากข้อมูลทางธรณีฟิสิกส์ก่อนหน้านี้ สำหรับพื้นที่ทางตอนเหนือที่ทำการศึกษายังไม่พบความผิดปกติในภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย แต่พบรอยเลื่อนย่อยที่สัมพันธ์กับการคั่นตัวขึ้นของหินแกรนิตในระดับตื้น

Thesis Title	Application of Seismic methods for Investigation of Khlong Marui Fault Zone in Khiriratnikhom District, Surat Thani Province
Author	Miss. Preeya Sreesuwan
Major Program	Geophysics
Academic year	2017

Abstract

The Khlong Marui Fault Zone (KMFZ) is a major active strike-slip fault in Southern Thailand. It extend in a Southwest-Northeast direction from Phuket Province toward Surat Thani Province. The related seismic hazard and risk are the main concern in the area, especially, where the surface evidences of fault are not obvious. The aims of this study were investigate and characterize subsurface geological structures of the fault zone in Khiriratnikhom District, Surat Thani Province, using seismic reflection methods. Six surveys lines located nearby of the Khlong Marui fault zone with total distance of 13 kilometers were acquired. For the seismic reflection processing routine consist of datum conversion, geometry setting, first arrival picking, muting of dead traces, static correction, Amplitude correction, frequency filtering, CMP sorting and time depth conversion were applied to enhance of the stacked section. Seismic reflection and shear wave velocity were obtained from Multichannel Analysis of Surface wave (MASW) are jointly interpreted.

The results show a sequence boundary of subsurface upper 200 meters depth. The thickness of Quaternary sediment is appeared to be 20 m and underlain by sequence of consolidated sediments or weathered limestone in the middle part of area. There are the vertical and lateral velocity variations, corresponding to the fault signature at near surface. The results also show evidence of the fault strike that correlate with a previous geophysical data. However, no clear evidence of the fault in seismic reflection profiles in the northern part of this area. Apart from fault zone, granitic rock may extrude to the near surface in this region.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลงได้เนื่องจากได้รับความกรุณาจากคณาจารย์และบุคลากรหลายฝ่าย จึงกราบขอขอบพระคุณ ดังรายชื่อต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ โครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย) และบัณฑิตวิทยาลัยสำหรับเงินอุดหนุนงานวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสในการศึกษาระดับปริญญาโทและสนับสนุนทุนวิจัยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบพระคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และสถานวิจัยธรณีฟิสิกส์ที่อนุญาตให้ดำเนินการสำรวจและสนับสนุนด้านเครื่องมือและเครื่องมือช่างในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สวัสดิ์ ยอดขยัน ที่กรุณาได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและเสียสละเวลาที่มีค่าในการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับแนวคิดในการทำวิทยานิพนธ์ ตรวจสอบแก้ไขความเรียบร้อย ตลอดจนคำแนะนำทางวิชาการที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัฒน์ชัย เทพนวล ที่กรุณาได้รับเป็นประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำแหง วัฒนเสน ที่กรุณาได้รับเป็นกรรมการวิทยานิพนธ์ และให้ข้อคิดตลอดจนแนะนำรูปแบบการเขียน แนวความคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ พี่น้องนักศึกษาทั้งระดับปริญญาตรีฟิสิกส์ ปริญญาโท และปริญญาเอกธรณีฟิสิกส์ ที่ช่วยงานเก็บข้อมูลภาคสนาม คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่สนับสนุนด้านการเรียนและคอยให้กำลังใจตลอดเวลาจนการเรียนผ่านพ้นไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทั้งปวงให้แก่ผู้วิจัยจนกระทั่งมีวันนี้ได้

ปรีชา ศรีสุวรรณ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทต้นนำเรื่อง	1
1.2 ขอบเขต ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา	2
1.3 ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง	6
1.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรอยเลื่อนมีพลังในภาคใต้	11
1.5 ทฤษฎี	15
1.5.1 คลื่นไหวสะเทือน	15
1.5.2 การเกิดการกระจายความเร็วเฟสของคลื่นผิวดิน	19
1.5.3 การสำรวจวิธีคลื่นไหวสะเทือน	20
1.5.4 วิธีการสำรวจและวิธีการเก็บข้อมูล	22
1.5.5 วิธี MASW	25
1.6 การตรวจเอกสาร	29
1.7 วัตถุประสงค์งานวิจัย	33
2. วิธีการวิจัย	34
2.1 วัสดุและอุปกรณ์ (material and equipment)	34
2.2 วิธีดำเนินการวิจัย	37
2.2.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม	37
2.2.2 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	40
3. ผลและการวิเคราะห์ผล	51
3.1 ผลและการวิเคราะห์ผลภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือน	51

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.1.1 ภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน บริเวณแนวการสำรวจที่ 1-3	51
3.1.2 ภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน บริเวณแนวการสำรวจที่ 4-6	53
3.2 ภาพตัดขวางความเร็วคลื่นเฉือน	55
3.3 การแปลความร่วมกันระหว่างภาพตัดขวางคลื่นไหว สะเทือนกับแผนภาพความเร็วคลื่นเฉือน	59
4. สรุปและข้อเสนอแนะ	61
4.1 สรุปผล	61
4.2 ข้อเสนอแนะ	62
บรรณานุกรม	63
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์	66
ประวัติผู้เขียน	86

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ข้อมูลแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย จ.สุราษฎร์ธานี	15
1.2 ความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนของคลื่นอัดและคลื่นเฉือน	18
1.3 การแบ่งกลุ่มชั้นดินของ Vs30 ตามเกณฑ์ของ NEHRP	29
2.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาคสนาม	40
2.2 ขั้นตอนการประมวลผลด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน	41
3.1 ตัวอย่างการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วคลื่นเฉือนในระยะ 30 เมตร ที่ระยะทาง 162.5 เมตร ของแนวการสำรวจที่ 2	55

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 แผนที่ภูมิประเทศแสดงอาณาเขตอำเภอคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี	4
1.2 แผนที่แสดงค่ากัมมันตภาพรังสีชนิดสีผสม Ternary map ของ K-Th-U (RGB) และขอบเขตอำเภอต่างๆ ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี (ไทรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) เส้นสีน้ำเงินแสดงกลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) เส้นประสีดำแสดงแนวเส้นที่เห็นบนแผนที่ Ternary สัญลักษณ์กลมแสดงบ่อน้ำพุร้อน	5
1.3 แผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กผิดปกติซ้อนทับขอบเขตอำเภอในจังหวัดสุราษฎร์ธานี (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) เส้นทึบสีดำแสดงรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) และเส้นประสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (ไทรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) มาตราส่วนแผนที่ 1:1000000	6
1.4 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดสุราษฎร์ธานี	10
1.5 แผนที่แสดงกลุ่มรอยเลื่อนของมะรุ่ยที่พาดผ่านจังหวัด (เส้นสีแดง)	12
1.6 กลุ่มรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย	13
1.7 สัญลักษณ์วงกลมสีน้ำเงินเข้ม น้ำเงินอ่อน และสีฟ้า แสดงตำแหน่ง Epicenter แผ่นดินไหวท้องถิ่นขนาดต่างๆ ตรวจวัดระหว่างปี 2008-2015 และเส้นทึบสีแดงแสดงกลุ่มรอยเลื่อน	14
1.8 การเคลื่อนที่ของอนุภาคและทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น a) P wave b) S wave c) Rayleigh wave และ d) Love wave	19
1.9 การเกิดลักษณะการกระจายความเร็วของคลื่นผิวดิน และความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ ความลึก กับความเร็วของคลื่นผิวดิน	20
1.10 เรขาคณิตของการสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน (a) แบบหักเห (b) ในแบบจำลองชั้นดินอย่างง่ายและกราฟเวลา-ระยะทางการเดินทางของคลื่น	22
1.11 รูปแบบตัวกำเนิดคลื่นอยู่ตรงกลาง	22
1.12 การกำเนิดคลื่นอยู่ตรงปลาย	23

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
1.13 แบบตัวกำเนิดและตัวรับคลื่นมีระยะคงที่	24
1.14 การเก็บข้อมูล roll along	24
1.15 การเก็บข้อมูลแบบจุดความถี่ร่วม	25
1.16 การเก็บข้อมูลด้วยวิธี MASW	26
1.17 ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี MASW	28
1.18 a) แผนที่กัมมันตรังสีทางอากาศยูเรเนียมสมมูล (eU) b) แผนที่กัมมันตรังสีทางอากาศทอเรียม (eTH) ซ้อนทับขอบเขตทางธรณีวิทยา วงกลมสีแดง แสดงตำแหน่งน้ำพุร้อน เส้นทึบสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) และเส้นประสีดำแสดง Uranium-lineament และ Thorium-lineament (ไทรภพ ฟ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) มาตรฐานแผนที่ 1:1000000	31
2.1 เครื่องมือที่ใช้สำรวจวิธีคลื่นไหวสะเทือน a) เครื่อง Geometric SmartSeis b) ค้อนและแผ่นเหล็ก และ c) จีไอโฟน	36
2.2 แผนที่ธรณีวิทยาพร้อมทั้งแสดงแนวการสำรวจด้วยเส้นทึบสีแดง และเส้นทึบสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนที่กำหนดโดยกรมทรัพยากรธรณีและแปลความด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ ตามลำดับ	38
2.3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม a) การบันทึกสัญญาณ b) การให้กำเนิดสัญญาณคลื่น และ c) ตัวรับสัญญาณ	39
2.4 a) คำสั่งต่างๆในโปรแกรม Globe Claritas และ b) raw data	43
2.5 การกำจัดสัญญาณที่เสียออกไป	44
2.6 การเลือกตำแหน่ง first break	45
2.7 แบบจำลองที่ใช้ในการปรับแก้ static correction	45
2.8 a) ข้อมูลดิบที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม b) ข้อมูลที่ผ่านการกรองความถี่	46
2.9 CMP sorting	47
2.10 ตัวอย่าง stacked section	47

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
2.11 ตัวอย่างข้อมูลดิบที่ตำแหน่ง shot ต่างๆ a) shot ที่ 300 ของแนวการสำรวจที่ 3 b) shot ที่ 2 ของแนวการสำรวจที่ 3	49
2.12 dispersion curve	49
2.13 แบบจำลองความเร็วคลื่นเฉือนใน 1 มิติ ที่ได้จากการผกผันข้อมูล	50
3.1 แผนภาพคลื่นไหวสะเทือน แนวการสำรวจที่ 1 (รูป a กับ b), แนวการสำรวจที่ 2 (รูป c กับ d) และแนวการสำรวจที่ 3 (รูป e กับ f)	52
3.2 แผนภาพคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนของแนวการสำรวจที่ 4 (รูป a กับ b) แนวการสำรวจที่ 5 (รูป c กับ d) และแนวการสำรวจที่ 6 (รูป e กับ f)	54
3.3 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนและการกระจายความเร็วคลื่นเฉือนในแนวสำรวจที่ 1-3 เส้นประสีดำแสดงรอยต่อระหว่างชั้นดิน a) แนวสำรวจที่ 1 b) แนวสำรวจที่ 2 และ c) แนวสำรวจที่ 3	57
3.4 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนและการกระจายความเร็วคลื่นเฉือนในแนวสำรวจที่ 1-3 เส้นประสีดำแสดงรอยต่อระหว่างชั้นดิน a) แนวสำรวจที่ 4 b) แนวสำรวจที่ 5 และ c) แนวสำรวจที่ 6	58
3.5 แผนภาพความเร็วคลื่นเฉือนวางซ้อนทับภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือน a) แนวสำรวจที่ 1 b) แนวสำรวจที่ 2 และ c) แนวการสำรวจที่ 3	59
3.6 ข้อมูลหลุมเจาะ V153 บริเวณเริ่มต้นการสำรวจของแนวการสำรวจที่ 1	60
4.1 แนวรอยเลื่อนที่ได้จากการสำรวจในครั้งนี้ (บริเวณเส้นประสีเหลืองและภายในกรอบสี่เหลี่ยม)	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำเรื่อง

แผ่นดินไหว เป็นปรากฏการณ์สั้นสะท้อนของพื้นผิวโลกเพื่อให้อยู่ในสภาวะที่สมดุล ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน โดยเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหว ได้แก่ แผ่นดินถล่ม เขื่อนแตกทำให้เกิดอุทกภัย คลื่นสึนามิ และเพลิงไหม้ ซึ่งสาเหตุการเกิดแผ่นดินไหวอาจเกิดจากกระทำของมนุษย์ เช่น การทำเหมือง การระเบิดบนพื้นดิน เป็นต้น แต่สาเหตุที่สำคัญคือการเกิดแผ่นดินไหวโดยธรรมชาติ อันเกิดจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน กล่าวคือ เมื่อรอยเลื่อนเกิดการเคลื่อนตัวถึงจุดหนึ่งวัตถุจะขาดออกจากกันและเสียดสีอย่างรุนแรง พร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานมหาศาลออกมาในรูปของคลื่นแผ่นดินไหว และหลังจากนั้นวัตถุจะคืนกลับสู่สภาพเดิม จะเห็นได้ว่าการทราบตำแหน่งของรอยเลื่อนเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยลดความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นจากธรณีพิบัติภัย และสำหรับแผ่นดินไหวในประเทศไทยจะเกิดในบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยที่อยู่ใกล้กับรอยเลื่อนมีพลังทั้งในภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันตก และภาคใต้ สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการศึกษารอยเลื่อนมีพลังในภาคใต้ของประเทศไทย

แถบรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (Khlung Marui Fault Zone: KMFZ) เป็นรอยเลื่อนประเภท ตามแนวระดับ (strike-slip fault) ขนาดใหญ่ของคาบสมุทรไทยพาดผ่านพื้นที่ตั้งแต่จังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ พังงา และภูเก็ต ที่มีการเคลื่อนที่ตามแนวระนาบแบบซ้ายเข้า (Left Lateral Strike Slip Fault) ความรู้เกี่ยวกับแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยได้มาจากการศึกษาธรณีแปรสัณฐานของคาบสมุทรไทยมากกว่า 30 ปี (Garson and Mitchell, 1970; Bunopas, 1981; Polachan and Sattayarak, 1989) รวมทั้งการศึกษาทางด้านการแปลความหมายข้อมูลโทรสัมผัส (remote-sensing) การขุดร่องสำรวจ (Chansawad et al., 2008; Kaewmuangmoon et al., 2008) อย่างไรก็ตามในบางพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางธรณีแปรสัณฐานอย่างช้าๆ การศึกษาแนวรอยเลื่อนอาจทำได้ยากเนื่องจากความซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกันระหว่างธรณีแปรสัณฐาน การตกตะกอนและกระบวนการกัดกร่อน หรือกิจกรรมบนผิวโลก ในบางกรณีรอยเลื่อนอาจถูกปิดทับด้วยชั้นตะกอนที่หนามากจึงไม่อาจตรวจพบจากการขุดร่องสำรวจ ดังนั้นการสำรวจด้วยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์จึงเข้ามามีบทบาทในการศึกษา

แนวรอยเลื่อนในระดับลึกใต้ผิวดิน และจากกรมทรัพยากรธรณีรายงานการศึกษาว่ารอยเลื่อนคลองมะรุ่ยพาดผ่านลงทะเลอ่าวไทยในเขตอำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานีและเป็นรอยเลื่อนมีพลัง แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาข้างต้นยังไม่มีการใช้วิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ชนิด 2-3 มิติ จึงเป็นที่สงสัยว่ารอยเลื่อนคลองมะรุ่ยพาดผ่านลงทะเลอ่าวไทยที่อำเภอไชยาและเป็นรอยเลื่อนมีพลังจริงหรือไม่ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ (2556) ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลกัมมันตรังสีตรวจวัดทางอากาศ (รูปที่ 1.2) และข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศ (รูปที่ 1.3) ในพื้นที่อำเภอไชยา ท่าชนะ ท่าฉาง และวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ผลการศึกษาพบว่า แนวเส้นโทแทสเชียม ทอเรียม และยูเรเนียม มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดในลักษณะเป็นแนวขนานกับแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย และใช้วิธีการทางธรณีฟิสิกส์ชนิด 2-3 มิติ พบว่าวิธีคลื่นไหวสะเทือนให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด สามารถตรวจสอบโครงสร้างที่อยู่ลึกระดับ 50-150 เมตร จึงสรุปได้ว่ารอยเลื่อนคลองมะรุ่ยตัดผ่านเข้ามาในเขต จ.สุราษฎร์ธานี ลงทะเลอ่าวไทยในเขตอำเภอท่าฉางมีตำแหน่งอยู่ทางตะวันตกของอำเภอท่าฉางประมาณ 1-2 กิโลเมตร งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้วิธีคลื่นไหวสะเทือนศึกษาแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย และลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในอำเภอคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ต่อเนื่องจากการกำหนดตำแหน่งของรอยเลื่อนในอำเภอท่าชนะ ท่าฉาง ไชยา และวิภาวดี

1.2 ขอบเขต ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา

อำเภอคีรีรัฐนิคม เป็นหนึ่งใน 19 อำเภอของจังหวัดสุราษฎร์ธานี ตั้งอยู่ทางตอนกลางก่อนไปทางทิศตะวันตกของจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีเนื้อที่ 812.3 ตารางกิโลเมตร และมีอาณาเขตติดต่อกับเขตการปกครองข้างเคียง (รูปที่ 1.1) ดังต่อไปนี้ (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

ทิศเหนือ ติดต่อกับ อำเภอวิภาวดี

ทิศตะวันออก ติดต่อกับ อำเภอพุนพิน

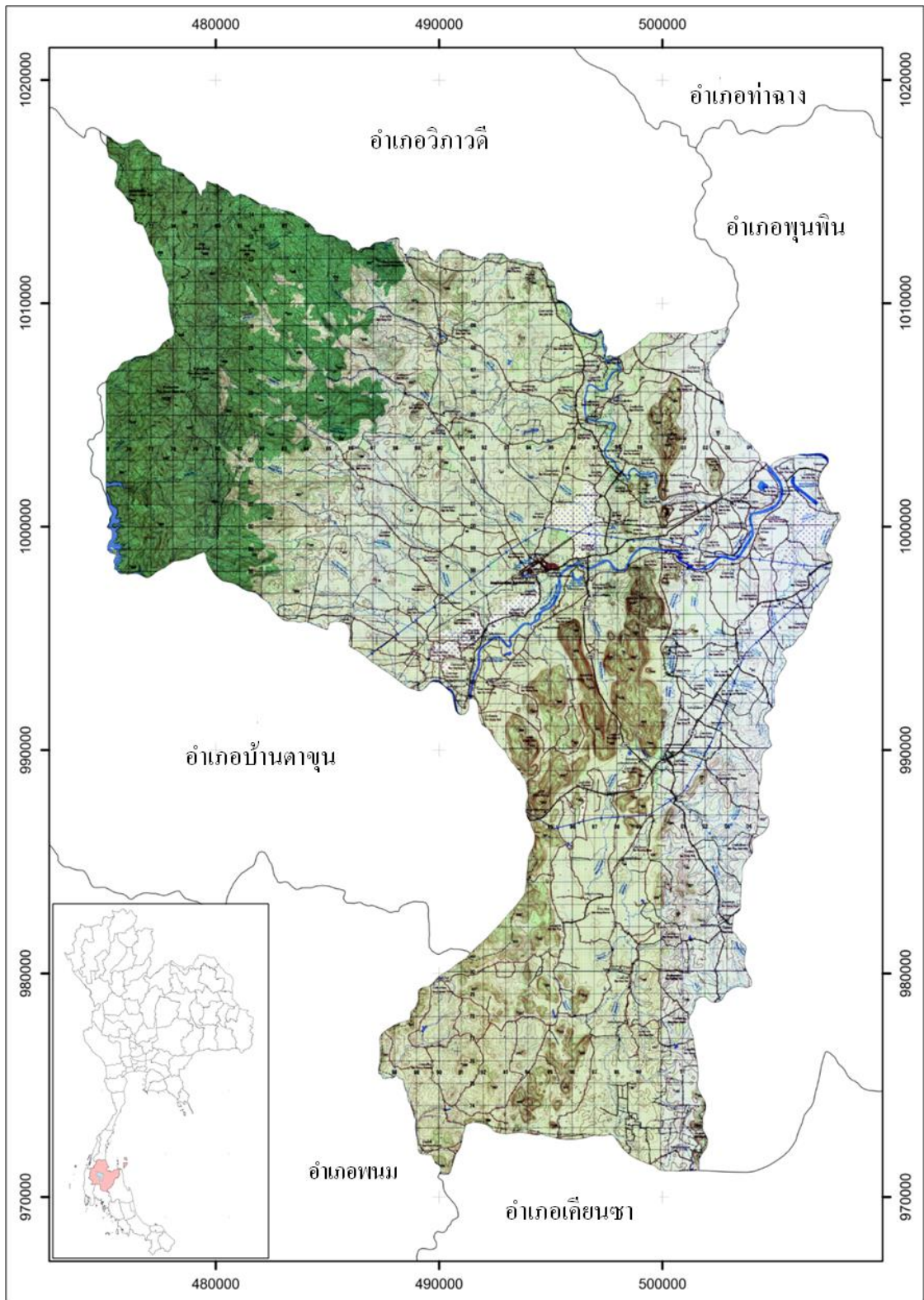
ทิศใต้ ติดต่อกับ อำเภอเคียนซาและอำเภอพนม

ทิศตะวันตก ติดต่อกับ อำเภอบ้านตาขุนและอำเภอพนม

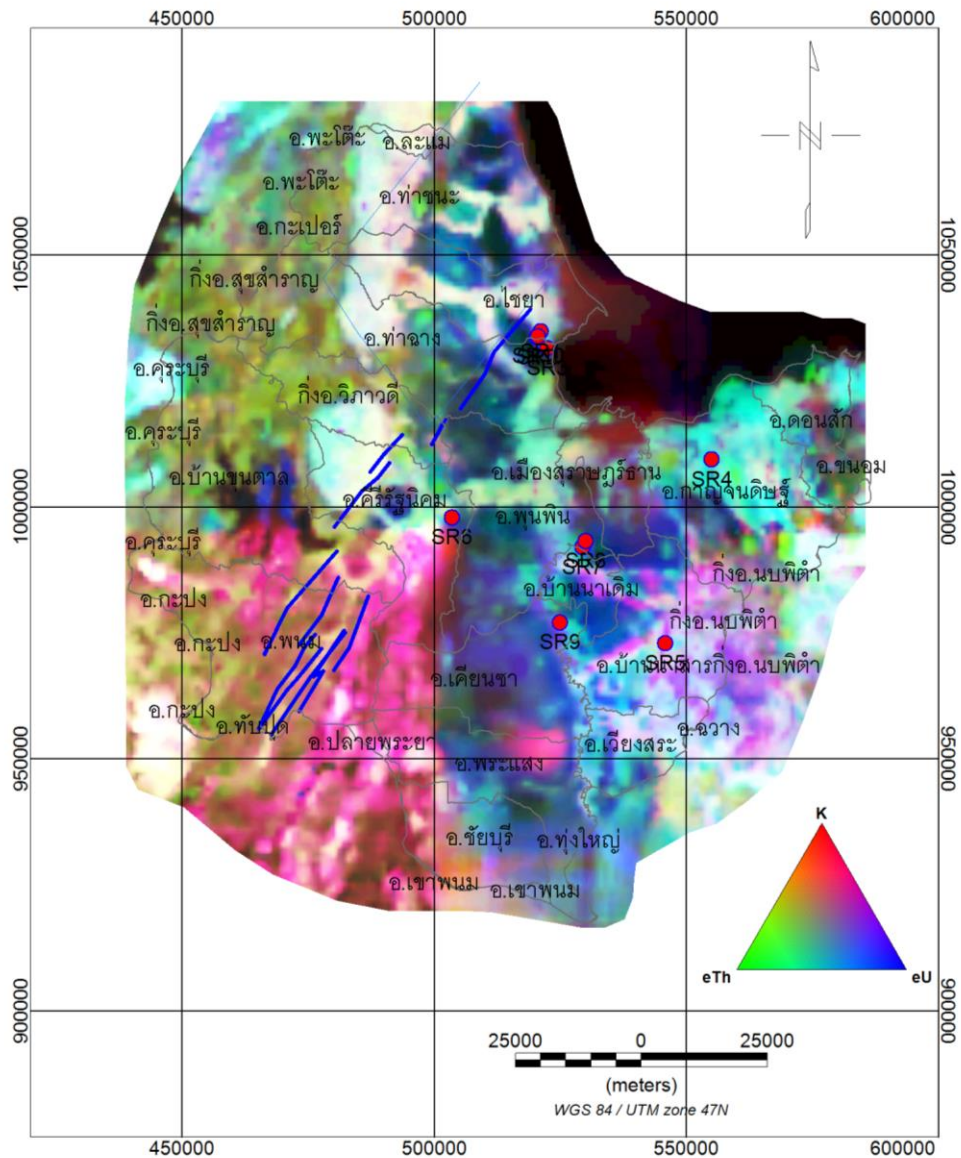
ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีลักษณะผสมผสานกันหลายแบบ ส่วนใหญ่เป็นภูเขาประมาณ 49% ของพื้นที่จังหวัด โดยอำเภอคีรีรัฐนิคมซึ่งตั้งอยู่ทางด้านตะวันตกของจังหวัด จะมีลักษณะภูมิประเทศเป็นแบบเทือกเขาสูงสลับซับซ้อนทอดยาวตามแนวเหนือใต้ เป็นแหล่งต้นน้ำลำธารสำคัญ ได้แก่ แม่น้ำน้ำตาปี แม่น้ำพุมดวง ไหลลงสู่อ่าวไทย ในส่วนทางตอนกลางและด้านตะวันออกของจังหวัดจะเป็นที่ราบชายฝั่งทะเลอ่าวไทย ที่ราบและที่

ราบระหว่างหุบเขา และเกาะขนาดใหญ่ในอ่าวไทย ได้แก่ เกาะสมุย เกาะพะงัน และหมู่เกาะอ่างทอง โดยจะมีพื้นที่ราบสูงทางทิศตะวันตก คือส่วนที่เป็นสันเขาตะนาวศรีซึ่งเป็นเส้นแบ่งเขตแดนระหว่างจังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดระนองและจังหวัดพังงา และจะค่อยๆลาดเอียงไปทางทิศตะวันออกตลอดเขตจังหวัด

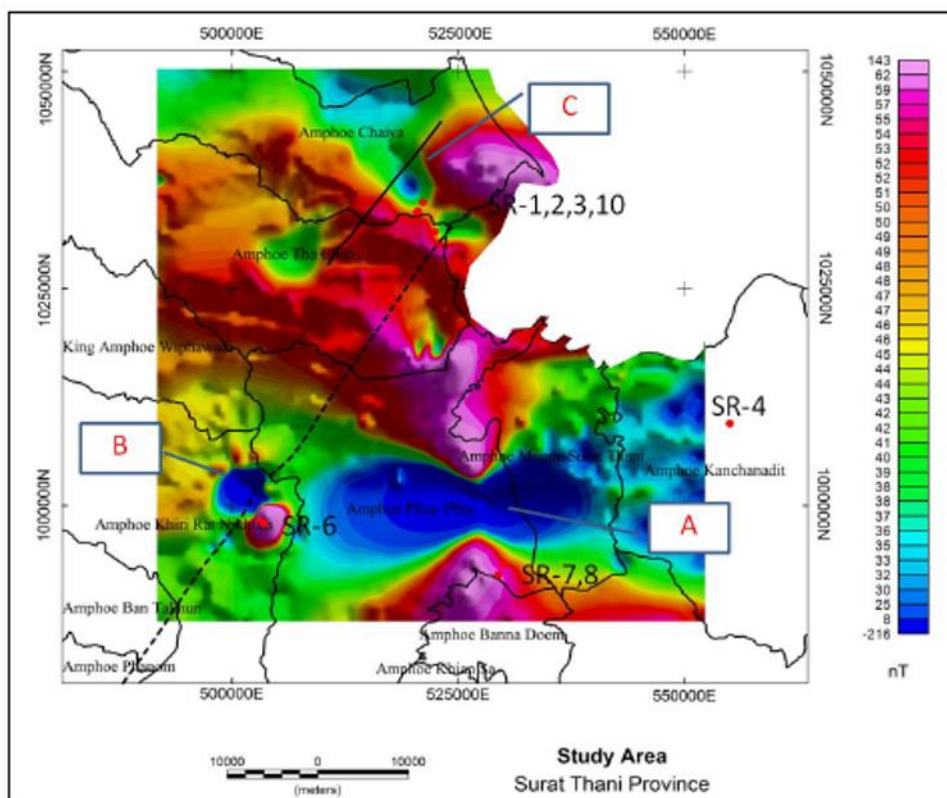
ลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีสภาพภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน สามารถแบ่งได้ 3 ฤดูกาลคือ ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ฤดูฝน ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคมที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งเป็นลมร้อนและชื้น พัดพามาจากมหาสมุทรอินเดีย และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านอ่าวไทยจึงทำให้ช่วงฤดูฝนยาวนานและมีฝนตกมากในช่วงฤดูหนาว ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม เป็นสาเหตุทำให้มีปริมาณน้ำฝนตลอดปีแปรผันค่อนข้างมากในพื้นที่ต่างๆ โดยเฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 1,280 ถึง 3,694 มิลลิเมตรต่อปี และมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 26.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ตลอดปี 83.0 และฤดูหนาว เริ่มต้นตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่เย็นและแห้งจากประเทศจีนพัดผ่านอ่าวไทยปกคลุมประเทศไทย ทำให้อุณหภูมิลดลงทั่วไปและมีอากาศหนาวเย็น (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)



รูปที่ 1.1 แผนที่ภูมิประเทศแสดงอาณาเขตอำเภอ คีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี



รูปที่ 1.2 แผนที่แสดงค่ากัมมันตภาพรังสีชนิดสีผสม Ternary map ของ K-Th-U (RGB) และขอบเขตอำเภอต่างๆ ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี (ไทรภพ ฟ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) เส้นสีน้ำเงินแสดงกลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี 2553) เส้นประสีดำแสดงแนวเส้นที่เห็นบนแผนที่ Ternary สัญลักษณ์กลมแดงแสดงบ่อน้ำพุร้อน



รูปที่ 1.3 แผนที่ความเข้มสนามแม่เหล็กผิดปกติซ้อนทับขอบเขตอำเภอในจังหวัดสุราษฎร์ธานี (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) เส้นทึบสีดำแสดงรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) และเส้นประสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) มาตรฐานแผนที่ที่ 1:1000000

1.3 ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง

ลักษณะทางธรณีวิทยาทั่วไปของจังหวัดสุราษฎร์ธานีร้อยละ 80 ของพื้นที่ถูกปกคลุมด้วยตะกอนร่วน และภูเขาเป็นลักษณะเขาโดด ทำให้ความสัมพันธ์ของหินแต่ละหน่วยแต่ละชุดไม่ชัดเจน ต้องอาศัยการเทียบเคียงลำดับชั้นหินสามารถแบ่งหินต่างๆเรียงลำดับจากหน่วยหินที่แก่สุดถึงอ่อนสุด (รูปที่ 1.4) ดังนี้

หินยุคออกโดวิเชียน (O) (ประมาณ 505-438 ล้านปี) หินที่พบในบริเวณนี้ประกอบด้วย หินปูนเนื้อดินและหินปูนสีเทาและสีชมพู หินปูนเนื้อ โดโลไมต์และหินอ่อน แทรกสลับด้วย หินดินดาน เนื้อปูนผสมหินดินดานปนทราย กระจายตัวอยู่บริเวณอำเภอคอนสัก อำเภอบ้านนาสาร

และอำเภอเวียงสระ อยู่ในหมวดหินเขาหิน (SDCtp) ประกอบด้วย หินแกรนิต หินทรายแป้ง หินชนวน และหินดินดานกึ่งหินชนวน

หินยุคไซลูเรียน - ดีโวเนียน (SD) (ประมาณ 438-360 ล้านปี) ประกอบด้วย หินดินดาน และหินดินดานกึ่งหินชนวน สีเทาเข้มถึงสีดำ พบกระจายตัวทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของเกาะสมุย

หินยุคไซลูเรียน - ดีโวเนียน - คาร์บอนิเฟอรัส (SDC) (ประมาณ 438-320 ล้านปี) ประกอบด้วย หินดินดาน หินทรายอาร์โคส หินดินดานกึ่งหินชนวนและหินชนวน แทรกสลับด้วย หินทรายเนื้อละเอียด พบกระจายตัวบริเวณอำเภอดอนสัก บ้านนาสาร และเวียงสระ

หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส (C) (ประมาณ 360-286) ในหมวดหินยะหา (Cy) ประกอบด้วย หินดินดาน หินทรายเนื้อควอตซ์ และหินทรายเนื้ออาร์โคส พบกระจายตัวบริเวณเกาะสมุย และเกาะทางด้านใต้ของเกาะสมุย หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส - เพอร์เมียน (CP) (ประมาณ 350-245 ล้านปี) กลุ่มหินที่พบในบริเวณนี้ประกอบด้วยกลุ่มหินแก่งกระเจาน พบกระจายตัวเป็นแนวเทือกเขาสูงทางด้านตะวันตกของจังหวัด และพบกระจายตัวทั่วไปทางด้านตะวันออก ประกอบด้วยหมวดหินต่างๆ ดังนี้ หมวดหินเกาะเฮ (CPkh) ประกอบด้วย หินทราย และหินโคลนเนื้อปนกรวด หมวดหินเขาพระ (CPkp) ประกอบด้วยหินโคลน หินทรายแป้ง หินโคลนปนกรวด หินทรายปนกรวด หินทรายแกรนิต และหินทรายอาร์โคส หมวดหินเขาเจ้า (CPkc) ประกอบด้วย หินทรายเนื้ออาร์โคส นอกจากนี้ยังพบหมวดหินเกาะยาวน้อย (CPky) ประกอบด้วย หินโคลนปนกรวด หินโคลน และหินทรายเนื้อควอตซ์ แทรกสลับด้วยหินทรายแป้ง พบกระจายตัวทางด้านตะวันออกของอำเภอพนมและด้านตะวันตกของอำเภอชัยบุรี

หินยุคเพอร์เมียน (P) (ประมาณ 286-245 ล้านปี) ที่พบในบริเวณนี้ประกอบด้วย หินปูน หินปูนเนื้อโดโลไมต์ มีลักษณะหินปูนสีเทาอ่อนถึงสีเทาแก่ หรือสีดำเนื้อแน่น โดยบางพื้นที่พบหินเชิร์ตสีดำแทรกตัวอยู่ หินปูนชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มหินปูนชุกราชบุรี (Ratburi Group) มีลักษณะเป็นภูเขาสูงต่ำสลับกันผสมผสานกับภูมิประเทศแบบคาสต์และบางแห่งมีหน้าผาสูงชันพบในพื้นที่อำเภอคีรีรัฐนิคม คือ เขาชันกะ เขาไกร เขาหลุง เขาหิน เขาสิงขร และเขาน้อย และปรากฏลักษณะเป็นภูเขาโดดที่มีความสูงและชันมาก ในอำเภอกาญจนดิษฐ์ เช่น เขากุมแป เขานาพลับ เขาพุด และเขาพนมไพร นอกจากนี้บางพื้นที่มีลักษณะเป็นทิวเขาเวงตัวแนวยาวต่อเนื่องจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้ เช่น บริเวณเขาชันกะ อำเภอคีรีรัฐนิคม คาดว่ากลุ่มหินปูนดังกล่าวอาจจะเป็นภูเขาหินปูนที่เกิดจากการถูกรอยเลื่อนตัดผ่าน

หินยุคไทรแอสซิก (TR) (ประมาณ 245-210 ล้านปี) ประกอบด้วย หินทราย หิน

ทรายแป้ง หินปูน และหินกรวดมน บางแห่งพบหน่วยหินไสบอน (Sai Bon Formation, Trsb) หน่วยหินนี้ประกอบด้วยหินทรายอาร์โกส หินทรายเนื้อทัฟฟ์ และหินดินดาน บางแห่งจะมีหินปูนเนื้อโคลโลไมต์เป็นเลนส์แทรกอยู่ตรงกลาง พบกระจายตัวทางด้านใต้ของอำเภอพนมและด้านตะวันออกของอำเภอตาขุณ และพบเป็นเขาโคคบริเวณอำเภอพุนพิน

หินยุคจูแรสซิก (J) (ประมาณ 210-140 ล้านปี) พบหมวดหินของกลุ่มหินตรัง จำนวน 3 หมวดหิน คือ หมวดหินคลองมื่น หมวดหินลำทับ และหมวดหินพุนพิน โดยหมวดหินคลองมื่น (Jk) ประกอบด้วย ตอนล่างเป็นหินปูนเนื้อดิน แทรกสลับกับหินดินดาน หินปูนเนื้อดินมีสีเทาอ่อน ตอนบนเป็นหินทรายเนื้อปูนถึงหินโคลนเนื้อปูนสลับชั้น พบกระจายตัวทางด้านตะวันตกของอำเภอเคียนซา

หินยุคจูแรสซิก - ครีเทเชียส (JK) (ประมาณ 200-65 ล้านปี) ประกอบด้วยหมวดหินลำทับ (Lum Thap Formation) ที่พบประกอบด้วยหินทรายอาร์โกส แทรกสลับด้วยหินทรายแป้ง หินโคลน หินทรายเนื้อควอตซ์ และหินกรวดมน พบกระจายทั่วไปบริเวณอำเภอเคียนซา ชัยบุรี และท่าชนะ

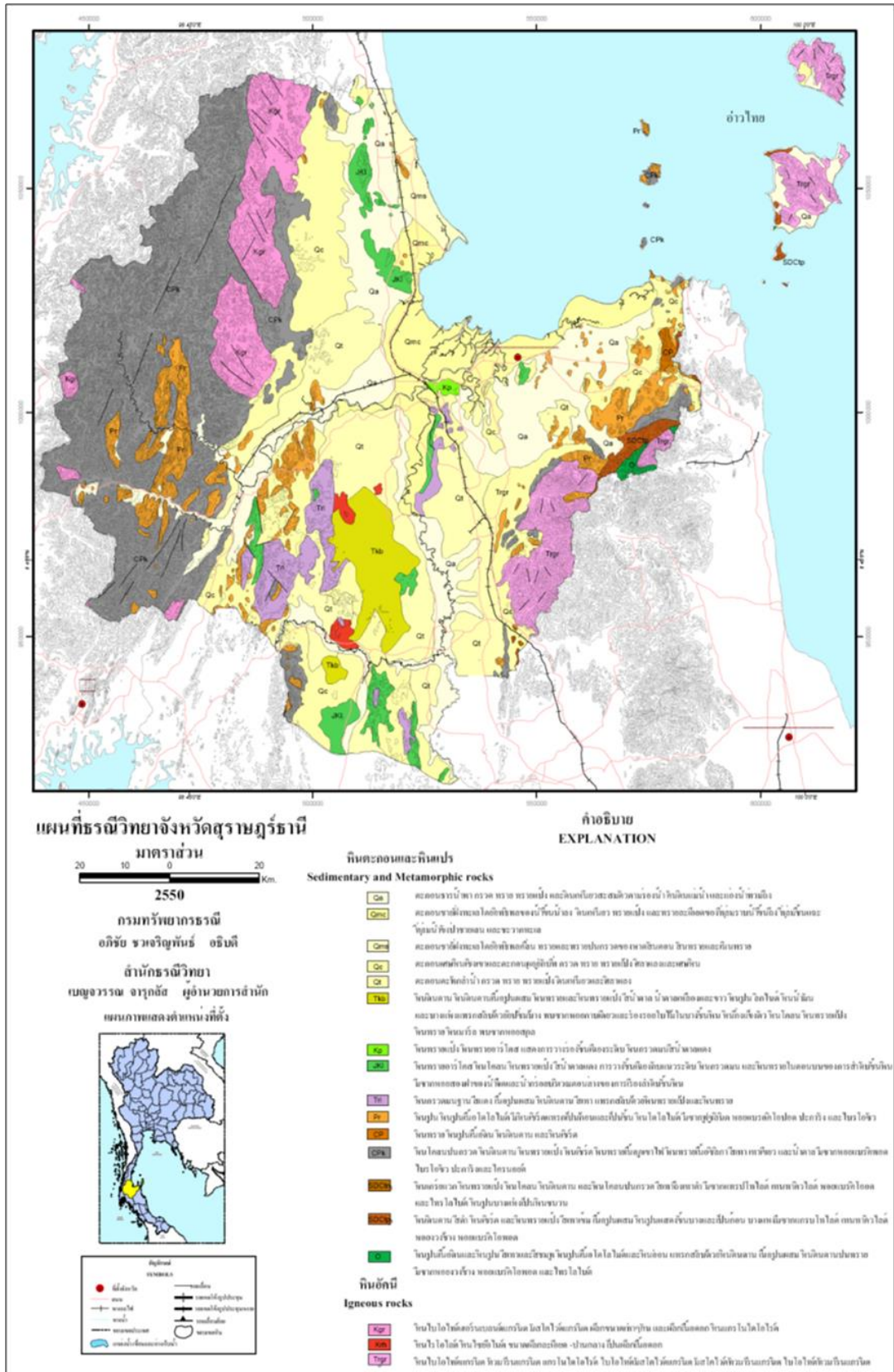
หินยุคครีเทเชียส (KGr) (ประมาณ 140-65 ล้านปี) ประกอบด้วยหมวดหินพุนพิน (Phun Phin Formation) ที่พบประกอบด้วย หินทรายอาร์โกส และหินทรายเนื้อไมกา แทรกสลับด้วยหินทรายแป้งและหินโคลน พบกระจายตัวบริเวณอำเภอเคียนซา พระแสง ชัยบุรี พุนพิน และท่าชนะ

หินยุคเทอร์เชียรี (T) (ประมาณ 65-1.8 ล้านปี) ที่พบในบริเวณนี้ คือ กลุ่มหินกระบี่ (Krabi group) ประกอบด้วย หินดินดาน หินทรายเนื้อปูนผสม หินทรายและหินทรายแป้งสีน้ำตาล สีน้ำตาลเหลืองและขาว หินปูน ลิกไนต์ หินน้ำมัน และบางแห่งแทรกสลับด้วยยิปซัมบ้าง พบในบริเวณแอ่งเคียนซา

ตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Q) (1.8 ล้านปี ถึง 11,700 ปี) ประกอบด้วยหน่วยตะกอนทรายและกรวดน้ำพา (Qa) เป็นตะกอนน้ำพาพวกกรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวสะสมตัวตามร่องน้ำ คันดินแม่น้ำ และแอ่งน้ำท่วมถึง ตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง (Qmc) เป็นตะกอนพวกดินเหนียว ทรายแป้ง และทรายละเอียดของที่ราบลุ่มน้ำขึ้นถึง ที่ลุ่มชื้นแฉะ ที่ลุ่มน้ำขังป่าชายเลน และชะวากทะเล ตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลคลื่น (Qms) เป็นตะกอนพวกทรายและทรายปนกรวดของหาดสันดอน สันทรายและเนินทราย ตะกอนหน่วยนี้สะสมตัวเป็นแนวแคบๆยาวต่อเนื่องกัน ตะกอนนี้ประกอบด้วยทรายร่วนสีเทาอ่อนและสีน้ำตาลอ่อน ตะกอนเศษหินเชิงเขาและตะกอนผุอยู่กับที่ (Qc) เป็นตะกอนพวกกรวด ทราย ทรายแป้ง สีลาแลงและเศษหิน พบตะกอนหน่วยนี้ตามเชิงเขาทั่วไป ตะกอนนี้ประกอบด้วยชั้นทรายละเอียดปนทรายแป้ง สีส้มแดง

บางแห่งพบเศษหินผุหรือเม็ดเหล็กปนอยู่ในชั้นดินเหนียวค้ำย และคาดว่าจะเป็นตะกอนที่เกิดจากการผุพังของหินเดิมมากกว่าถูกพัดพามา และตะกอนทรายและชั้นกรวดตะพักน้ำ (Qt) เป็นตะกอนพวกกรวด ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียวและศิลาแลง สีขาวขุ่น และเม็ดเล็ก

หินอัคนีที่พบในจังหวัดสุราษฎร์ธานีประกอบด้วย หินแกรนิตอายุครีเทเชียส (KGr) คือ หินไบโอไทต์ฮอร์นเบลนด์แกรนิต หินมัสโคไวต์แกรนิต มีผลึกขนาดเท่ากัน และผลึกเนื้อดอก พบบริเวณกิ่งอำเภอวิภาวดี อำเภอท่าชนะ และอำเภอไชยา โดยวางตัวในแนวทิศเหนือสู่ทิศใต้ และหินแกรนิตอายุไทรแอสซิก (TR) พบบริเวณทางด้านทิศตะวันตกบริเวณอำเภอบ้านนาเดิม และอำเภอเกาะสมุย เป็นหินแกรนิต จำพวกหินไบโอไทต์แกรนิต ทัวมารินแกรนิต แกรโนไดโอไรต์ ไบโอไทต์ มัสโคไวต์แกรนิต มัสโคไวต์ทัวมารินแกรนิต ไบโอไทต์ทัวมารินแกรนิต และหินไดโอไรต์ (Diorite) ในบริเวณเขาหัวควาย และเขาผีเสื้อในอำเภอบุณพิน (สุวัฒน์ ดิยะไพรัช และคณะ, 2532)



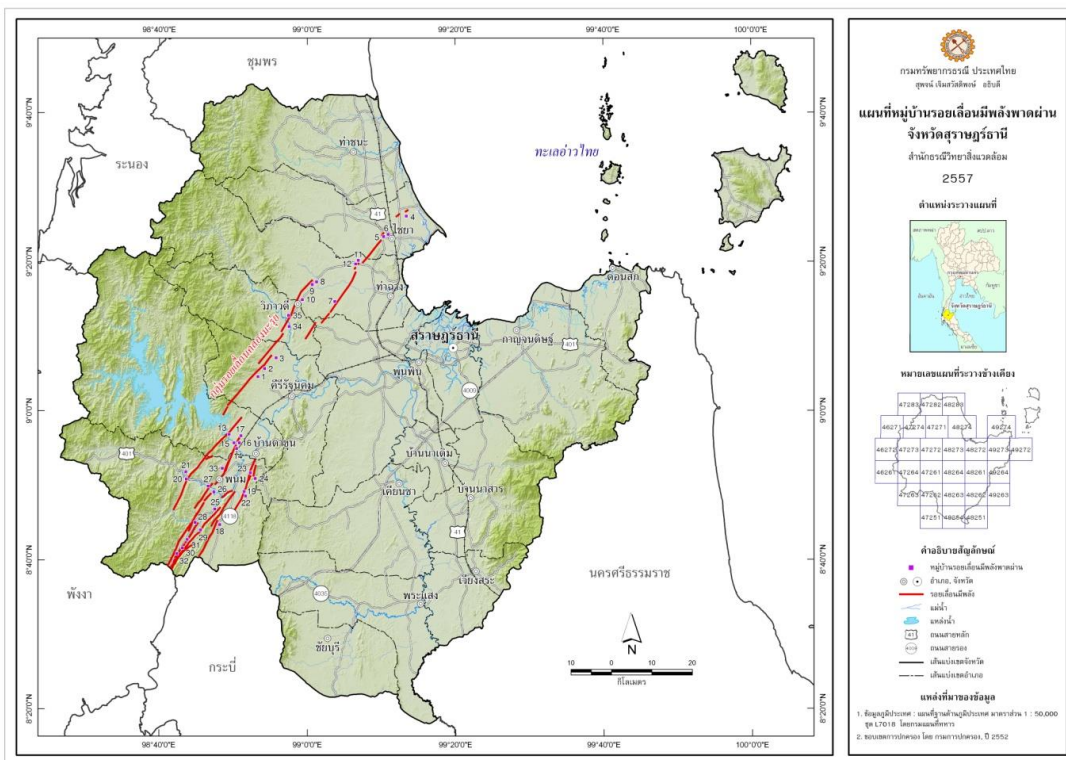
รูปที่ 1.4 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดสุราษฎร์ธานี (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

1.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรอยเลื่อนมีพลังในภาคใต้ของประเทศไทย

รอยเลื่อน (Fault) คือรอยแตกหรือแนวรอยแตกของหิน 2 ฟากซึ่งเคลื่อนที่สัมพันธ์กันและขนานไปกับรอยแตกนั้น

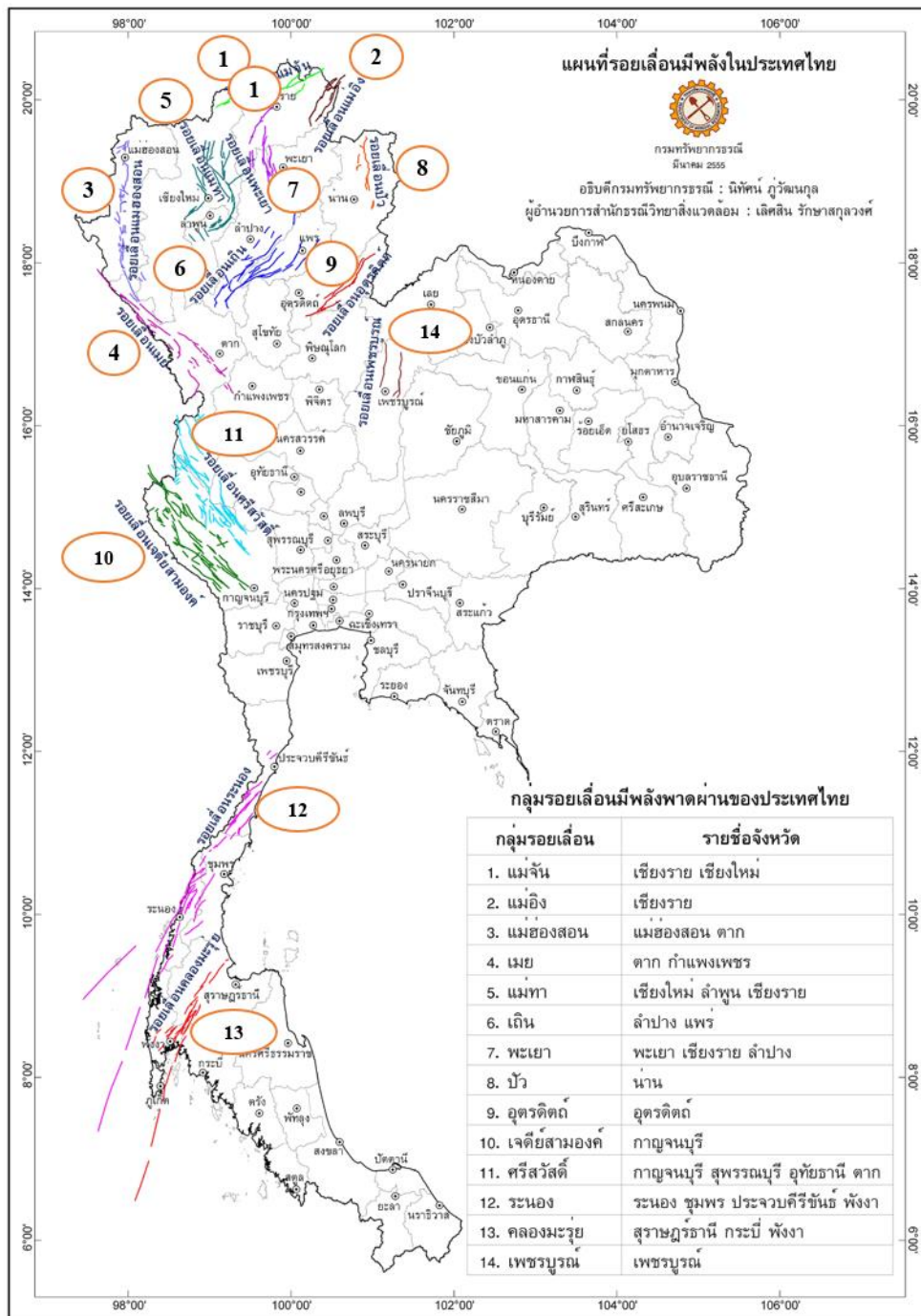
รอยเลื่อนมีพลัง (Active fault) บริเวณภาคใต้ของประเทศไทยประกอบด้วยรอยเลื่อนที่มีพลัง 2 รอยเลื่อน คือ กลุ่มรอยเลื่อนระนอง (Ranong Fault Zone) วางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยเริ่มตั้งแต่ทะเลอันดามันขึ้นแผ่นดินที่อำเภอตะกั่วป่า อำเภอกุระบุรี จังหวัดพังงา ต่อเนื่องมายังอำเภอสูขสักราญ อำเภอกะเปอร์ อำเภอเมืองระนอง อำเภอละอุ่น และอำเภอกะบุรี จังหวัดระนอง พาดผ่านพื้นที่ อำเภอพะโต๊ะ อำเภอสวี อำเภอเมืองชุมพร และอำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร ต่อเนื่องสู่อำเภอบางสะพานน้อย อำเภอบางสะพาน อำเภอทับสะแก อำเภอสามร้อยยอด อำเภอเมืองประจวบคีรีขันธ์ และลงสู่อ่าวไทยบริเวณ ทิศตะวันออกของอำเภอสามร้อยยอด มีความยาวเฉพาะส่วนที่ปรากฏบนแผ่นดินประมาณ 300 กิโลเมตร ลักษณะหินต่างๆ ที่ผ่านรอยเลื่อนคือ หินโคลนปนกรวด หินทราย หินดินดาน หินปูนและหินแกรนิต (สุวัฒน์ ดิยะไพรัช, 2532)

รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (Khlong Marui Fault Zone) (รูปที่ 1.5) เป็นรอยเลื่อนตามแนวระดับที่วางตัวขนานกับรอยเลื่อนระนองและเลื่อนตัวแบบแนวตั้งและรอยเลื่อนย้อน วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ แนวรอยเลื่อนปรากฏในทะเลอันดามันตามทิศตะวันออกของเกาะภูเก็ตและเกาะยาว ในบริเวณอ่าวพังงา รอยเลื่อนยาวผ่านลำคลองมะรุ่ย ในอำเภอทับปุด อำเภอตะกั่วทุ่ง และอำเภอท้ายเหมือง จังหวัดพังงา พาดผ่านมายังอำเภอพนม อำเภอกีรีรัฐนิคม อำเภอบ้านตาขุน อำเภอท่าฉาง และอำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี การเคลื่อนตัวของกลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยมีการเคลื่อนตัวไปทางขวา (dextral movement) และน่าจะมีผลจากการมุดตัว (subduction) ของแผ่นเปลือกโลกอินเดียหรืออินเดีย-ออสเตรเลีย ลงใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ใกล้ร่องลึกก้นสมุทรมันในทะเลอันดามัน ในช่วงยุคจูแรสซิกตอนปลายถึงยุคครีเทเชียสตอนต้น โดยมีการเคลื่อนตัวประมาณ 150 กิโลเมตร เฉพาะส่วนแผ่นดิน (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)



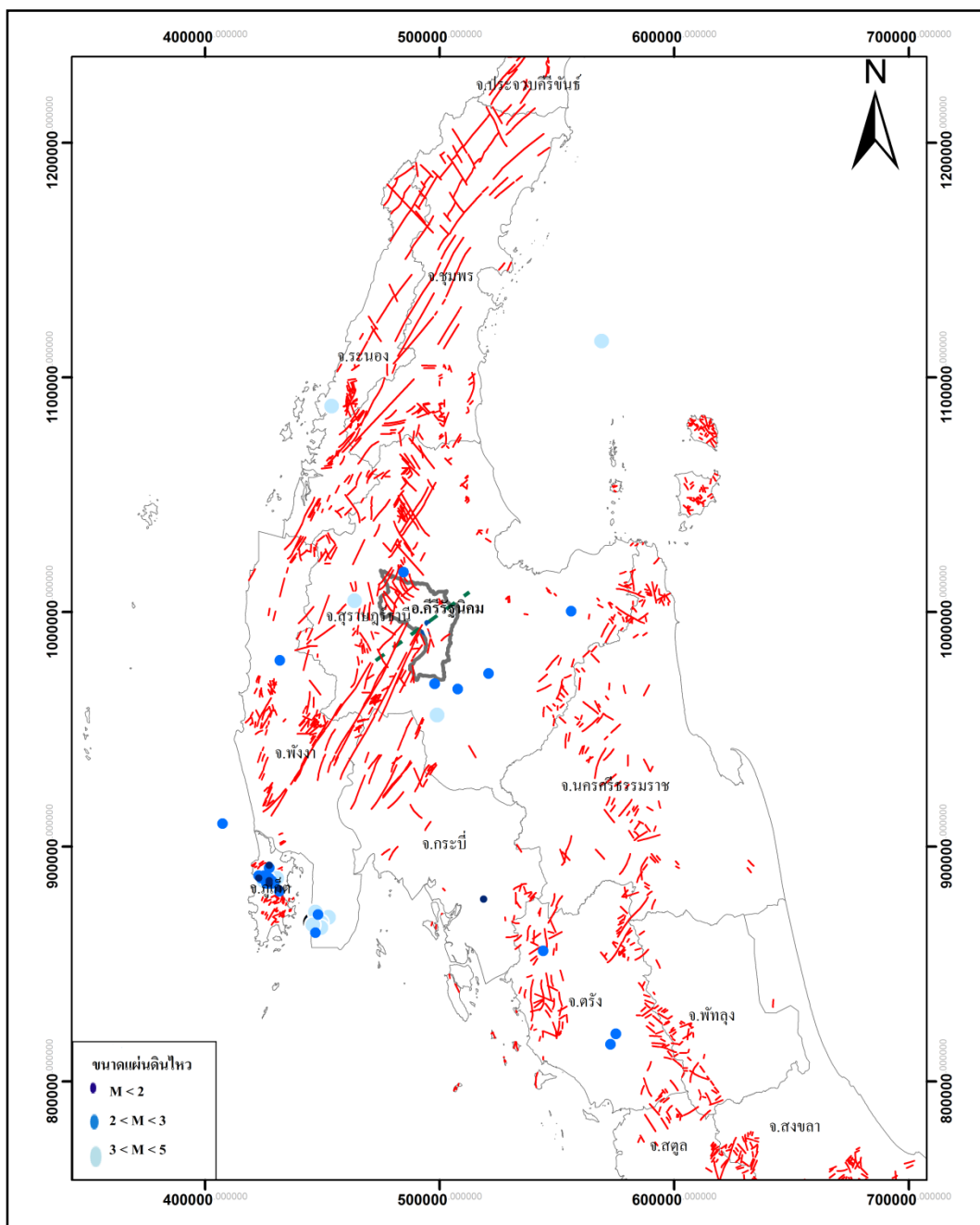
รูปที่ 1.5 แผนที่แสดงกลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยที่พาดผ่านจังหวัด (เส้นสีแดง) (กรมทรัพยากรธรณี, 2557)

ประเทศไทยมีกลุ่มรอยเลื่อนที่สำคัญปรากฏหลายแนว และที่สำคัญเกือบทั้งหมดเป็นกลุ่มรอยเลื่อนตามแนวระดับ ประกอบด้วย 13 กลุ่มรอยเลื่อน (รูปที่ 1.6) ดังนี้ กลุ่มรอยเลื่อนเชียงแสน กลุ่มรอยเลื่อนแม่สะเรียง กลุ่มรอยเลื่อนแม่ทา กลุ่มรอยเลื่อนแพร์ กลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิง กลุ่มรอยเลื่อนน้ำปาด กลุ่มรอยเลื่อนเพชรบูรณ์ กลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ กลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ กลุ่มรอยเลื่อนแกลง กลุ่มรอยเลื่อนระนอง กลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย และกลุ่มรอยเลื่อนปัตตานี พบว่ามีเหตุการณ์แผ่นดินไหวเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ล่าสุดเกิดแผ่นดินไหวครั้งสำคัญเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 บริเวณอำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย ที่ตำแหน่งรอยเลื่อนแม่จัน ด้วยขนาด 6.3 ตามมาตราริกเตอร์ เช่นเดียวกับภาคใต้ เกิดแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 บริเวณทางทิศใต้ของเกาะยาวใหญ่ อำเภอเกาะยาว จังหวัดพังงา ขนาด 4 ตามมาตราริกเตอร์ (กรมอุตุฯ, 2558)



รูปที่ 1.6 กลุ่มรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

เหตุการณ์การเกิดแผ่นดินไหวในภาคใต้จากในอดีตจนถึงปัจจุบัน ที่กระจายตัวอยู่บริเวณรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2008-2015 มีขนาด $1 \leq M \leq 5$ ดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 สัญลักษณ์วงกลมสีน้ำเงินเข้ม น้ำเงินอ่อน และสีฟ้า แสดงตำแหน่ง epicenter แผ่นดินไหวท้องถิ่นขนาดต่างๆตรวจวัดระหว่าง ปี 2008-2015 และเส้นทึบสีแดงแสดงกลุ่มรอยเลื่อน (กรมทรัพยากรธรณี, 2552)

และข้อมูลแสดงการเกิดแผ่นดินไหว บริเวณรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย จังหวัดสุราษฎร์ธานี (ระหว่างปี ค.ศ. 2008-2014) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2558)

REF.ID	DATE:TIME	LATITUDE	LONGITUDE	MAGNITUDE	REGION	DETAIL
TM0077	2008-05-24 10:14:54	8.8273	98.8942	1	จ.สุราษฎร์ธานี	จุดศูนย์กลางห่างจาก อ.พนม ทางด้านตะวันออก 10 กิโลเมตร
TM009	2008-09-04 02:56:23	9.256	98.619	3.1	จ.สุราษฎร์ธานี	
TM0110	2008-12-23 06:38:41	8.649	98.99	4.1	อ.พระแสง จ.สุราษฎร์ธานี	รู้สึกหวั่นไหวในบริเวณ อ.พระ แสง
TM0967	2011-07-25 10:37:17	8.77	98.98	2.86	ค.บ้านสมเด็จ อ.เคียนซา จ.สุราษฎร์ ธานี	
TM1890	2013-09-09 05:18:38	9.2	98.86	2.9	ค.ตะกุกใต้ อ.วิภาวดี จ.สุราษฎร์ธานี	ห่างจาก อ.เคียนซาไปทางทิศ ตะวันตกเฉียงใต้ ประมาณ 25 กิโลเมตร
TM1972	2014-01-16 05:18:30	9.09	98.67	4	ค.เขาพัง อ.บ้านตาขุน จ. สุราษฎร์ธานี	ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของ อ.เมือง จ.พังงา ประมาณ 74 กม.

1.5 ทฤษฎี

1.5.1 คลื่นไหวสะเทือน

คลื่นไหวสะเทือนจัดเป็นคลื่นที่อาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่และสามารถแบ่งคลื่นไหวสะเทือนออกเป็น 2 ชนิด โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคของตัวกลางกับทิศทางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านได้ คือ

1) คลื่นในตัวกลาง (Body Waves) คือคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในตัวกลางสามารถแบ่งย่อยเป็น 2 ชนิด ดังนี้

1.1 คลื่นพีหรือมีชื่อเรียกว่าคลื่นปฐมภูมิ (primary wave) หรือคลื่นตามยาว

(longitudinal wave) หรือมีอีกชื่อที่ใช้บ่อย คือ คลื่นอัด (compressional wave) เป็นคลื่นที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางมีการสั่นแบบอัดและขยาย ในทิศทางเดียวกันกับคลื่นที่เคลื่อนผ่าน (รูปที่ 1.8a) โดยความเร็วของคลื่นเป็นไปตามสมการที่ 1.1

$$v_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง

k คือ ค่ามอดูลัสเชิงปริมาตรของตัวกลาง

μ คือ ค่ามอดูลัสเฉือนของตัวกลาง

1.2 คลื่นเอสหรือมีชื่อเรียกว่าคลื่นทุติยภูมิ (secondary wave) หรือคลื่นตามขวาง (transverse wave) หรือมีอีกชื่อ คือ คลื่นเฉือน (shear wave) เป็นคลื่นที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางมีการเคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น (รูปที่ 1.8b) อีกทั้งคลื่นเฉือน ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 องค์ประกอบตามทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค คือ คลื่นเฉือนแนวตั้ง (SV-component) และคลื่นเฉือนแนวนอน (SH-component) โดยมีค่าความเร็วของคลื่นเป็นไปตามสมการที่ 1.2

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (1.2)$$

เมื่อ μ คือ ค่ามอดูลัสเฉือนของตัวกลาง

ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง

จากสมการ (1.2) จะเห็นได้ว่า คลื่นเฉือนจะไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวและก๊าซได้ เนื่องจากค่ามอดูลัสเฉือนของน้ำและอากาศมีค่าเป็นศูนย์

จากสมการความเร็วคลื่นในตัวกลางใดๆ แสดงให้เห็นว่าในตัวกลางเดียวกันคลื่นอัดเดินทางได้เร็วกว่าคลื่นเฉือนเสมอ โดยอัตราส่วนระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนกับความเร็วของความเร็วของคลื่นอัดมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนปัวส์ซอง (Poisson's ratio, σ) (Telford et al, 1990) ดังสมการที่ 1.3

$$\frac{v_s}{v_p} = \sqrt{\frac{0.5 - \sigma}{1 - \sigma}} \quad (1.3)$$

โดยทั่วไปค่าอัตราส่วนปัวส์ซอง (Poisson's ratio, σ) มีค่าจาก 0 ถึง 0.5 ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนต่อคลื่นอัดมีค่ามากที่สุดเท่ากับ $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ซึ่งทำให้ค่าความเร็วของคลื่นเฉือนมีค่าตั้งแต่ 0 ถึงประมาณ 70% ของความเร็วคลื่นอัด ดังแสดงในตารางที่ 1.2

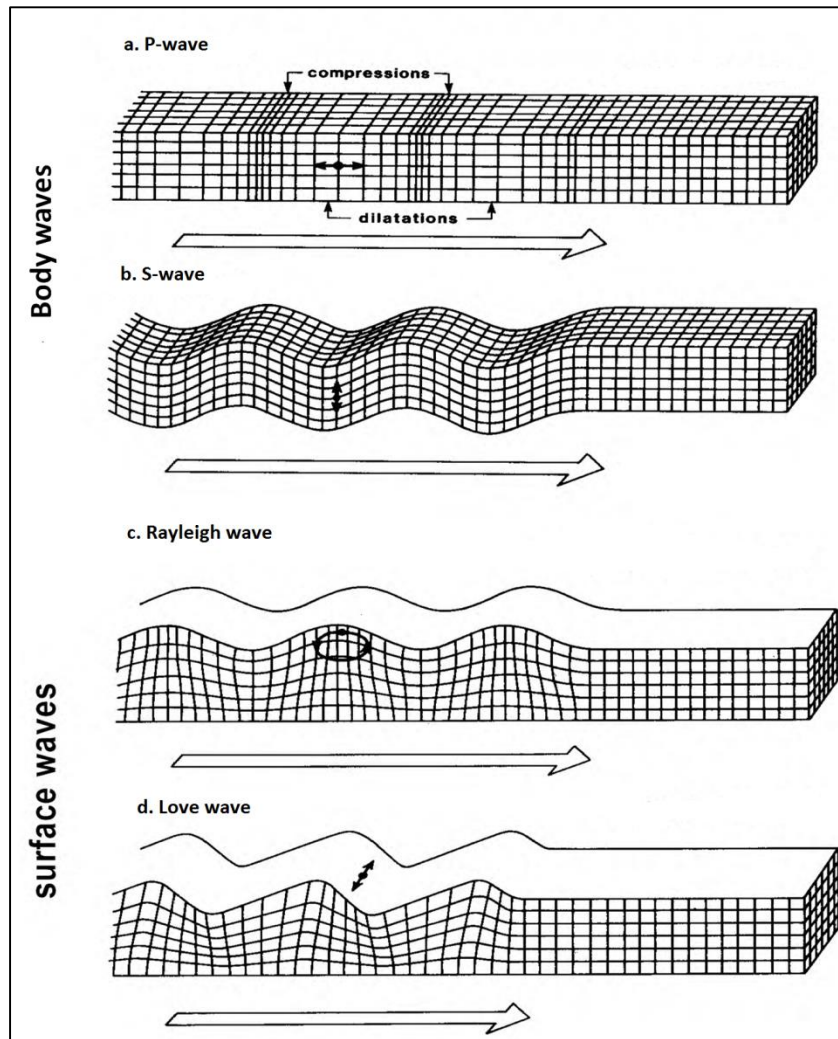
2) คลื่นพื้นผิว (Surface Wave) คือคลื่นไหวสะเทือนที่เคลื่อนที่ระหว่างผิวรอยต่อระหว่างตัวกลางสองชนิดที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

2.1 คลื่นเรย์ลี (Rayleigh Wave) เป็นคลื่นที่มีการเคลื่อนที่ขนานไปกับผิวดิน (รูปที่ 1.8c) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านจะทำให้อนุภาคของตัวกลางหมุนวนเป็นวงรี อีกทั้งสามารถแยกองค์ประกอบของคลื่นได้ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน

2.2 คลื่นเลิฟ (Love Wave) เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่คล้ายกับคลื่นทุติยภูมิแต่ลักษณะการเคลื่อนที่จะขนานไปกับผิวดิน ซึ่งจะต่างจากคลื่นทุติยภูมิที่เคลื่อนที่ในตัวกลาง เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านอนุภาคของตัวกลางจะมีการสั่นอยู่บนระนาบในแนวราบ และทิศทางการสั่นของอนุภาคจะมีทิศตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น (รูปที่ 1.8d)

ตารางที่ 1.2 แสดงค่าความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนของคลื่นอัดและคลื่นเฉือน (ดัดแปลงจาก เพียงตา สาทรัักษ์, 2544)

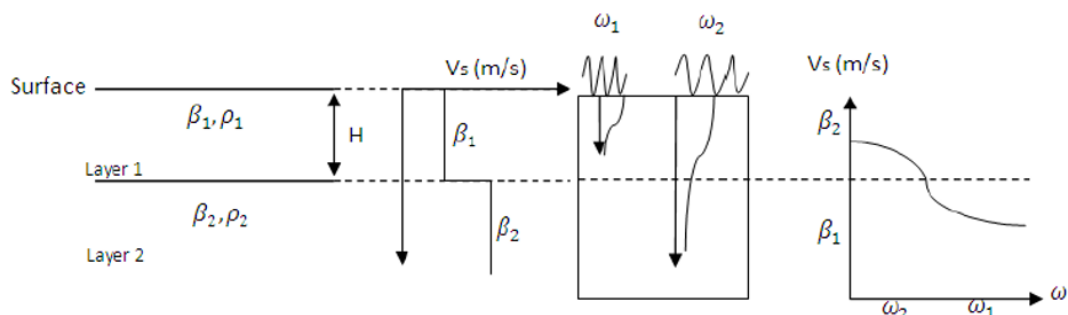
วัตถุ	ความเร็วคลื่นอัด (เมตรต่อวินาที)	ความเร็วคลื่นเฉือน (เมตรต่อวินาที)
ทรายแห้ง	200-1,800	100-800
ทรายเปียก	800-2,200	300-750
ทรายปนกรวดแห้ง	400-1,500	160-600
ทรายปนกรวดเปียก	500-1,800	200-700
ดินปนทราย	250-600	120-300
ดินเหนียวแห้ง	700-1,200	300-600
ดินเหนียวเปียก	1,200-1,800	400-600
อากาศ	330-350	-
น้ำ	1,400-1,600	-
หินทราย	1,400-4,200	700-2,200
หินปูน	3,000-4,800	1,800-2,800
หินดินดาน	1,800-2,800	800-1,600
หินเกลือ	4,200-5,000	2,100-2,800
หินแกรนิต	4,500-5,500	2,500-3,300



รูปที่ 1.8 การเคลื่อนที่ของอนุภาคและทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น (a) P wave (b) S wave (c) Rayleigh wave และ (d) Love wave (Veeke, 2013)

1.5.2 การเกิดการกระจายความเร็วเฟสของคลื่นผิวดิน

การกระจายความเร็วเฟส (Dispersion) ของคลื่นผิวดินนั้น สามารถอธิบายได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 1.9 ซึ่งแสดงแบบจำลองชั้นดิน 2 ชั้น ที่มีความเร็วคลื่นเฉือนเป็น β_1 และ β_2 โดยที่ $\beta_2 > \beta_1$ เมื่อคลื่นผิวดินที่มีความถี่ต่างกัน ω_1 และ ω_2 โดยที่ $\omega_1 > \omega_2$ เดินทางผ่านคลื่นที่มีความถี่ต่ำ ความยาวคลื่นมาก จะเดินทางลงไปได้ลึกกว่า ทำให้มีความเร็วคลื่นมากกว่า



รูปที่ 1.9 แสดงการเกิดลักษณะการกระจายความเร็วของคลื่นผิวดิน และความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ ความลึก กับความเร็วของคลื่นผิวดิน (Stein and Wyse, 2013)

1.5.3 การสำรวจวิธีคลื่นไหวสะเทือน

การสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยวิธีคลื่นไหวสะเทือน อาศัยหลักการทำให้เกิดพลังงานของคลื่นยืดหยุ่นที่ผิวดินหรือใกล้ๆผิวดิน แล้ววัดผลการตอบสนองของคลื่นที่เดินทางไปใต้ผิวดินและกลับขึ้นสู่ผิวดิน เพื่อแปลความหมายถึงสภาพทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินอันเกิดจากคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นที่แตกต่างกันของชั้นดินชั้นหิน เช่น ค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่น (elastic moduli) และความหนาแน่นของหิน

การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของคลื่นที่เดินทางในตัวกลางดังนี้

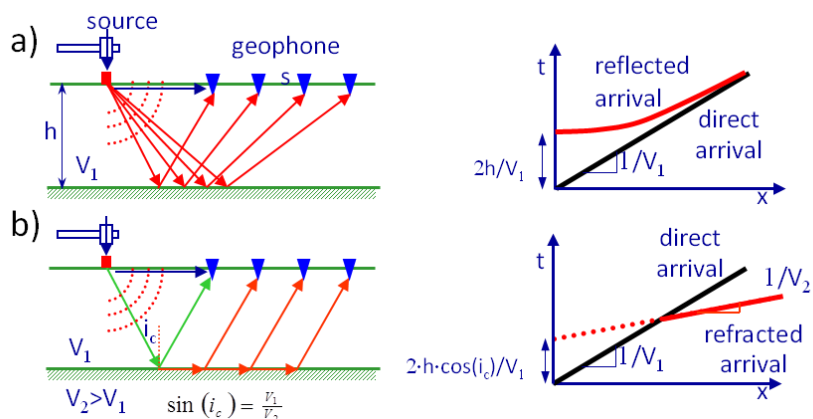
1) การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห อาศัยเวลาที่คลื่นยืดหยุ่นหักเหผ่านชั้นหินต่างชนิดกลับสู่ผิวดิน เพื่อคำนวณหาความเร็วคลื่นยืดหยุ่นและความหนาของชั้นหินเหล่านั้น ในการสำรวจวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหเราสมมุติว่าชั้นดิน/หินมีความเร็วคลื่นเพิ่มขึ้นตามความลึก วิธีนี้จะผลิตคลื่นไหวสะเทือนขึ้นที่ผิวดินด้วยตัวกำเนิดคลื่น เช่น โดยการใช้ก้อนทุบลงบนแผ่นโลหะ หรือจุดระเบิดที่ฝังอยู่ใกล้ผิวดิน แล้วทำการวัดเวลาที่คลื่นไหวสะเทือนเดินทางจากจุดกำเนิดไปยังตัวรับคลื่น หรือจีโอโฟน (geophone) ที่วางไว้ ณ ตำแหน่งต่างๆ บนผิวดิน ข้อมูลเวลาเดินทางของคลื่นไหวสะเทือนที่บันทึกได้สามารถแปลความหมายถึงลักษณะ โครงสร้างชั้นดินในพื้นที่สำรวจ เช่น จำนวนชั้นดิน ความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในชั้นดินแต่ละชั้น ความหนาของชั้นดินแต่ละชั้น และประเภทของชั้นดินสามารถกำหนดได้จากค่าความเร็วคลื่นไหวสะเทือนในดินชั้นนั้นๆ

2) การสำรวจวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน จะวัดเวลาเดินทางของคลื่นไหวสะเทือนที่กำเนิดที่ผิวดินและสะท้อนที่ผิวยอดต่อระหว่างชั้นตัวกลางที่มีความแตกต่างทางธรณีวิทยากลับไปยังผิวดิน แอมพลิจูดและเฟสของสัญญาณคลื่นสะท้อนขึ้นอยู่กับความแตกต่างของ acoustic impedance (ผลคูณระหว่างความหนาแน่นกับความเร็วคลื่น) ระหว่างตัวกลาง ที่ผิวยอดนี้พลังงานคลื่นจะแบ่งแยกออกเป็นคลื่นสะท้อนและคลื่นส่งผ่านไปยังตัวกลาง ในกรณีคลื่นที่ตกกระทบด้วยมุมปกติสัมประสิทธิ์การสะท้อน (R) คือการสำรวจแบบสะท้อนอาศัยเวลาที่คลื่นยืดหยุ่นสะท้อนยังรอยต่อระหว่างชั้นหินกลับสู่ผิวดินเพื่อหาความลึกถึงรอยต่อและโครงสร้างทางธรณีวิทยาของชั้นดินการสำรวจดังกล่าวอาจจำแนกได้เป็นการสำรวจระดับลึกและการสำรวจระดับตื้น

$$R = \frac{A_1}{A_2} = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} \quad (1.4)$$

เมื่อ A_1 คือแอมพลิจูดของคลื่นสะท้อนและ A_0 คือแอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบ ρ_1 คือความหนาแน่นของตัวกลางที่หนึ่ง V_1 คือความเร็วคลื่นในตัวกลางที่หนึ่ง และ ρ_2 คือความหนาแน่นของตัวกลางที่สอง และ V_2 คือความเร็วคลื่นในตัวกลางที่สอง

โดยทั่วไปการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนจะให้กำเนิดคลื่นหลายๆ จุดที่ตำแหน่งต่างกันในแนวสำรวจเพื่อให้ได้สัญญาณสะท้อนจากผิวยอดต่อที่จุดเดียวกันหลายๆ ครั้ง (fold) ทำให้สัญญาณที่ได้มีความเข้มสูงและลดสัญญาณรบกวน จุดสะท้อนร่วมนี้เรียกว่า common midpoint (CMP) เส้นสัญญาณที่มี CMP เดียวกันจะนำมารวมกัน stacked เพื่อเพิ่มความเข้มของสัญญาณและลดสัญญาณรบกวน ก่อนที่จะมาจัดเรียงกับเส้นสัญญาณที่มี CMP อื่นๆ เพื่อสร้างเป็นภาพตัดขวางของสัญญาณสะท้อน stacked section ในการสร้างภาพตัดขวางนี้จะต้องผ่านกระบวนการประมวลผลข้อมูล (data processing) หลายๆ ขั้นตอน เพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนและแปลความหมายให้ใกล้เคียงกับลักษณะทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินที่เป็นจริงมากที่สุด



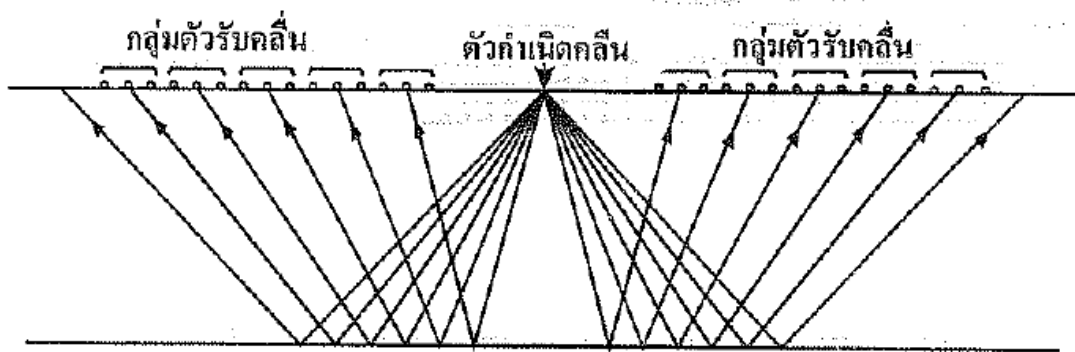
รูปที่ 1.10 เรขาคณิตของการสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนแบบสะท้อน (a) แบบหักเห (b) ในแบบจำลองชั้นดินอย่างง่ายและกราฟเวลา-ระยะทางการเดินทางของคลื่น

1.5.4 วิธีการสำรวจและวิธีการเก็บข้อมูล

1.รูปแบบการวางตำแหน่งของตัวรับคลื่นและตัวกำเนิดคลื่น

(1) รูปแบบตัวกำเนิดคลื่นอยู่ตรงกลาง (Split Spread)

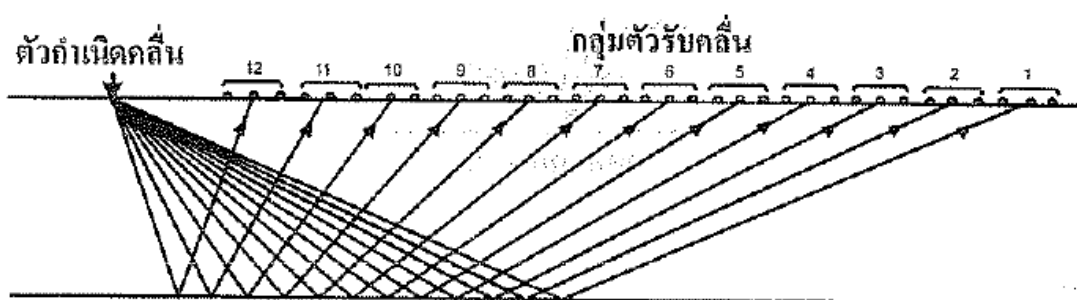
รูปแบบตัวกำเนิดคลื่นอยู่ระหว่างกลาง จะทำให้ได้ข้อมูลแบบหักเห โดยปกติการสำรวจระดับต้นจะใช้ตัวรับคลื่น 24 หรือ 48 ตัว ซึ่งจะมีการเลื่อนตำแหน่งของจุดสำรวจ โดยให้มีความลึกกว้าง ทำการสำรวจเพื่อให้ได้ภาพตัดขวางของคลื่นสะท้อน โดยการเคลื่อนตำแหน่งของตัวกำเนิดคลื่นและตัวรับคลื่นไปพร้อมๆกันเป็นแนวยาว



รูปที่ 1.11 รูปแบบตัวกำเนิดคลื่นอยู่ตรงกลาง (เพียงตาม, 2544)

(2) รูปแบบตัวกำเนิดคลื่นแบบตรงปลาย (Off-end spread)

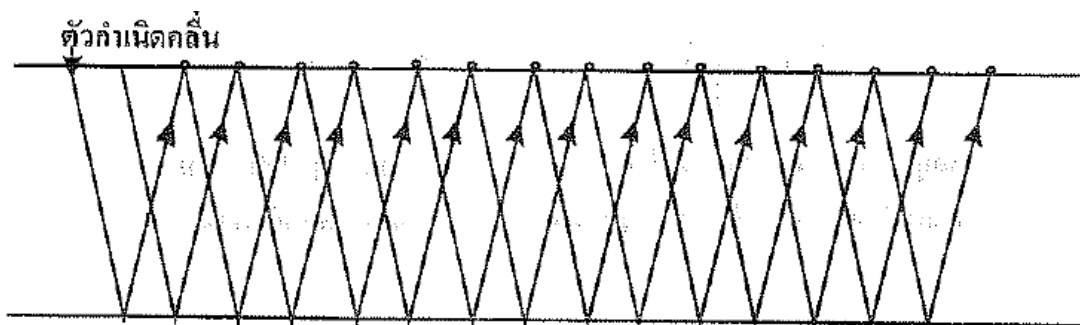
รูปแบบตัวกำเนิดคลื่นอยู่ถัดจากแนวตัวรับสัญญาณด้านใดด้านหนึ่ง เป็นการสำรวจที่ต้องการเห็นคลื่นสะท้อนเด่นชัดขึ้น หากมีจำนวนตัวรับสัญญาณเพียง 12 หรือ 24 ตัว การวางแนวสำรวจรูปแบบนี้จะเหมาะสมกว่าการวางในรูปแบบตัวกำเนิดอยู่ตรงกลาง เพราะทำให้ได้ข้อมูลที่ปลายโค้งของไฮเปอร์โบลามาวิเคราะห์หาความเร็วได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 1.12 การกำเนิดคลื่นอยู่ตรงปลาย (เพียงตา, 2544)

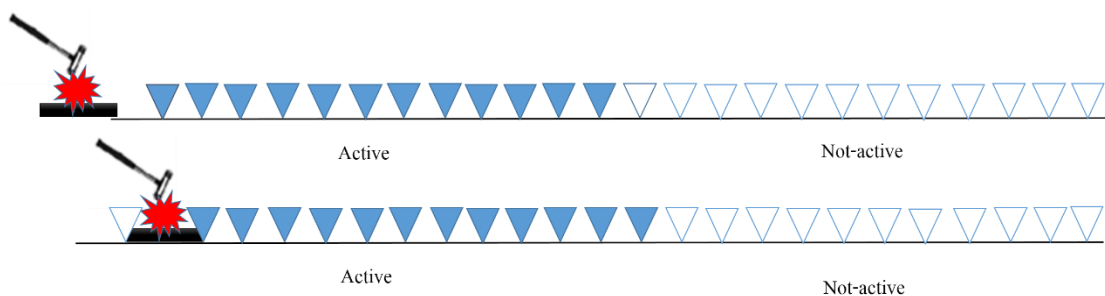
(3) รูปแบบตัวกำเนิดคลื่นและตัวรับคลื่นมีระยะคงที่ (Common-Offset Spread or Optimum-Offset Spread)

รูปแบบตัวกำเนิดคลื่นและตัวรับสัญญาณคลื่นมีระยะคงที่ เป็นการสำรวจที่ไม่นิยมทำกัน โดยมีหลักการของการวางรูปแบบนี้คือ จะทำการเก็บข้อมูลจากการกำหนดระยะห่างของตัวรับคลื่นและตัวกำเนิดคลื่นมีค่าคงที่ค่าใดค่าหนึ่ง ส่วนมากกำหนดระยะห่าง 3-5 เมตร แล้วทำการเลื่อนจุดสำรวจไปเรื่อยๆ เป็นแนวยาว ตามแนวที่ต้องการสำรวจ จากนั้นนำข้อมูลแต่ละจุดมาเรียงต่อกันเป็นภาพตัดขวางของคลื่นสะท้อนของแนวการสำรวจนั้นๆ โดยไม่ต้องนำมาวิเคราะห์หาความเร็ว ซึ่งข้อมูลที่ได้จะแสดงการวางตัวของชั้นหิน



รูปที่ 1.13 แบบตัวกำเนิดคลื่นและตัวรับคลื่นมีระยะคงที่ (เพ็ญดา, 2544)

โดยในการเก็บข้อมูลในครั้งนี้มีแนวการสำรวจที่ยาวมาก จึงจำเป็นต้องใช้การเก็บข้อมูลแบบ roll along คือทำการปักตัวรับสัญญาณให้มีจำนวนที่มากกว่าจำนวนช่องรับสัญญาณที่บันทึก โดยแต่ละครั้งที่ให้กำเนิดสัญญาณ จะใช้เพียง 24 ช่องสัญญาณ เมื่อให้กำเนิดคลื่นครั้งที่ 1 ตัวรับสัญญาณ คือ จีไอโฟนตัวที่ 1-24 เมื่อเลื่อนจุดกำเนิดคลื่นครั้งที่ 2 ตัวรับสัญญาณ คือจีไอโฟนตัวที่ 2-25 ทำเช่นนี้ไปตลอดแนวการสำรวจ



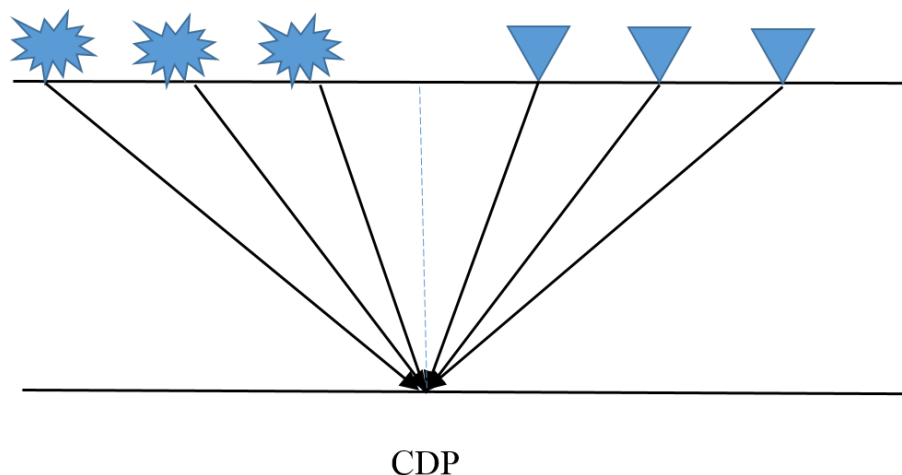
รูปที่ 1.14 การเก็บข้อมูล roll along

2. รูปแบบการเก็บข้อมูล

(1) การเก็บข้อมูลแบบความลึกกร่วม

การเก็บข้อมูลแบบจุดความลึกกร่วม (Common Depth (Mid) Point, CDP or CMP) เป็นการสำรวจเพื่อต้องการหาจุดสะท้อนร่วม หรือเป็นการเก็บข้อมูลซ้ำๆ กันหลายครั้ง เพื่อลดคลื่นรบกวน และเพื่อให้ได้เห็นคลื่นสะท้อนชัดเจนขึ้น นำจุดที่ซ้ำกันมาจัดเรียงให้อยู่ของชุดข้อมูลจุดความลึกกร่วม (CDP gather or CMP gather) ในการสำรวจระดับต้นจะกำหนดจุดความลึกกร่วมประมาณ 6, 12, 24 หรือ 48 ครั้ง สามารถคำนวณจำนวนจุดความลึกกร่วมได้ดังสมการ

$$\text{จำนวนจุดความลึกกร่วม} = \frac{\text{จำนวนช่องสัญญาณ}}{2 \times \text{จำนวนจุดที่เคลื่อนตัวกำเนิดคลื่น}} \quad (1.5)$$



รูปที่ 1.15 การเก็บข้อมูลแบบจุดความลึกร่วม

(2) การเก็บข้อมูลแบบไม่มีจุดความลึกร่วม

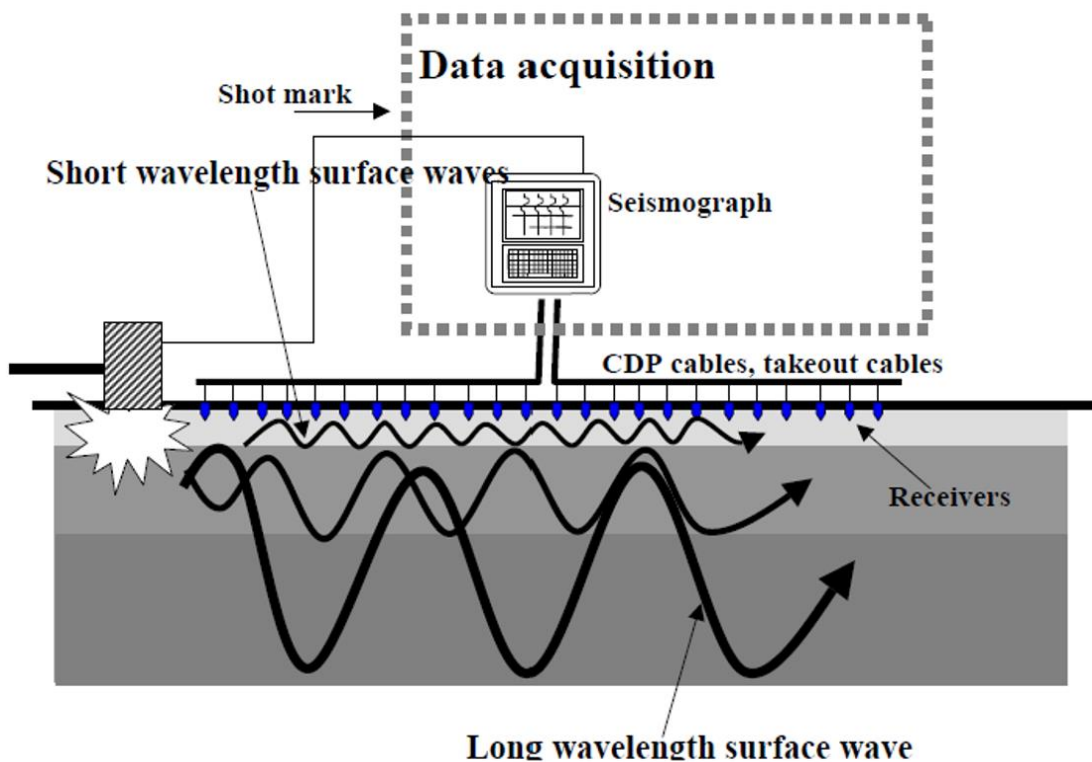
การเก็บข้อมูลแบบไม่มีจุดความลึกร่วมจะเป็นการสำรวจแบบไม่มีจุดสะท้อน
ซ้ำ

กัน การเก็บข้อมูลน้อยทำได้เร็ว ใช้เวลาในการประมวลน้อย ประหยัดค่าใช้จ่าย แต่หากมีค่า
ความเร็วของชั้นดินไม่เด่นชัดมาก จะทำให้คลื่นสะท้อนไม่ชัดเจน

1.5.4 วิธี MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave)

หลักการพื้นฐานในการสำรวจ คือ จะให้กำเนิดคลื่นจากจุดกำเนิดคลื่นไปยังตัวรับ
สัญญาณหลายตัว วางอยู่ตลอดแนวการสำรวจ ทำให้มีระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณหลายค่า โดย
จะบันทึกข้อมูลในรูปของแอมพลิจูด และเวลาที่คลื่นเดินทางมาถึงตัวรับสัญญาณด้วยเครื่องบันทึก
สัญญาณ ดังรูปที่ 1.16

MASW เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลในทางการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือนวิธีหนึ่ง
โดยวิธีการวิเคราะห์อื่นๆจะให้คลื่นพื้นผิวเป็นคลื่นรบกวนซึ่งจะกำจัดออกในขั้นการวิเคราะห์ ซึ่ง
จะต่างจากวิธี MASW จะพิจารณาให้คลื่นชนิดอื่นเป็นสัญญาณรบกวน และจะพิจารณาค้นพื้นผิว
เป็นสัญญาณหลักแทน



รูปที่ 1.16 แสดงการเก็บข้อมูลด้วยวิธี MASW

การสำรวจด้วยวิธี MASW แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะแหล่งกำเนิดคลื่น

1) Active method

เป็นวิธีการสำรวจทั่วไป ที่อาศัยแหล่งกำเนิดแบบ Active seismic source เช่น ค้อนขนาดใหญ่ (sledge hammer) ตูมน้ำหนัก (weight drop) ฯลฯ และวางแนวสำรวจด้วยตัวรับสัญญาณที่มีการเก็บข้อมูลแบบ roll along โดยจะได้ข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนอยู่ในช่วง 1-20 เมตร

2) Passive method

เป็นการสำรวจที่มีแหล่งกำเนิดคลื่นจากสิ่งแวดล้อม หรือกิจกรรมต่างๆที่ไม่เกี่ยวกับแนวสำรวจ เช่น การจราจร เสียงฟ้าร้อง การเคลื่อนที่ของน้ำขึ้น-น้ำลง การเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศ ฯลฯ สามารถให้ข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนอยู่ในช่วง 20-100 เมตร

ซึ่งในงานวิจัยในครั้งนี้จะเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจากวิธีการแบบ Active method

เมื่อทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม ข้อมูลจะถูกบันทึกไว้ในรูปแบบดิจิทัลและทำการถ่ายข้อมูลสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อทำการประมวลผลข้อมูล โดยมีขั้นตอนในการสำรวจด้วยวิธี MASW ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การเก็บข้อมูล จะทำการเก็บข้อมูลโดยการวางแนวสำรวจเป็นแนวยาว ใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณ เช่น ค้อนทุบขนาดใหญ่ (Sledgehammer) ส่งสัญญาณคลื่นไปยังตัวรับสัญญาณ (geophone) และบันทึกสัญญาณในรูปของแอมพลิจูด และเวลา ด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณ จากนั้นทำการเลื่อนตำแหน่งจุดกำเนิดสัญญาณและตัวรับสัญญาณ เช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนครอบคลุมพื้นที่ทำการสำรวจ

2. การประมวลผลข้อมูล (data processing) ประกอบด้วยสองขั้นตอนหลักๆ คือ

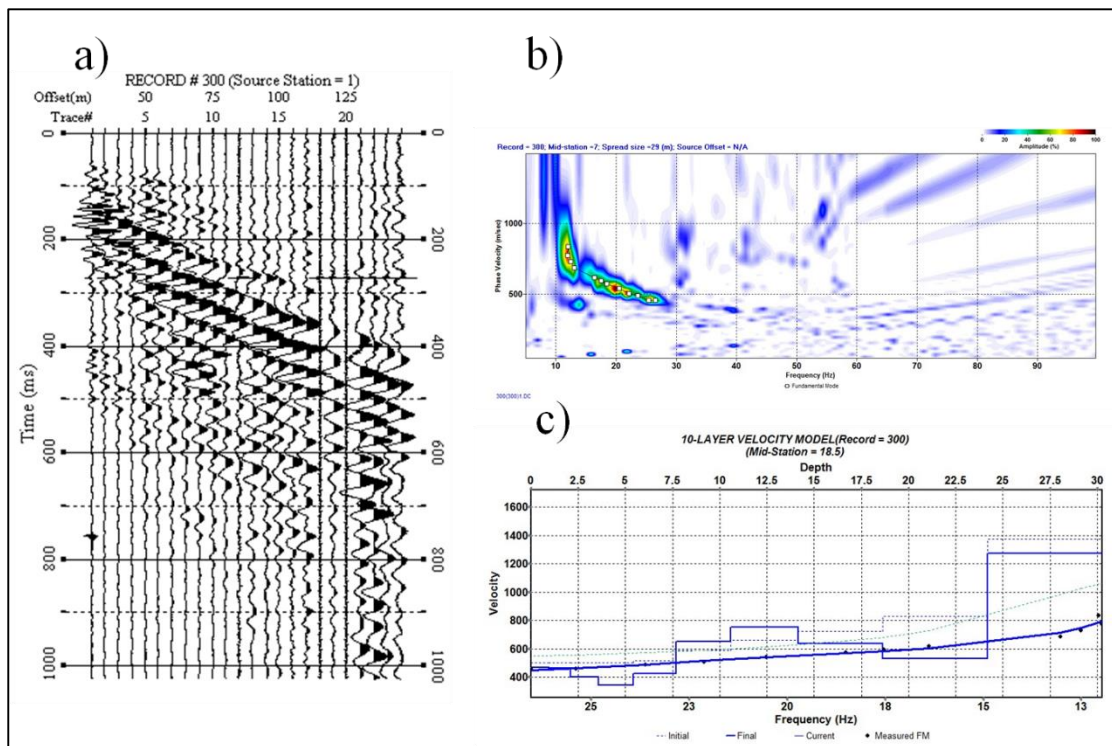
- นำข้อมูลที่ได้ในรูปแบบของโดเมนเวลา มาแปลงให้อยู่ในรูปแบบของโดเมนความถี่ จากนั้นทำการกำหนด (pick) ตำแหน่งความเร็วใน phase-velocity spectrum ซึ่งจะใช้เป็นตัวแทนความเร็วในแต่ละความถี่ เพื่อหากราฟการกระจายความเร็ว (dispersion curve)

- ทำการผกผันกราฟการกระจายความเร็ว (inversion) โดยเริ่มจากการสมมติแบบจำลองความเร็วคลื่นเฉือน (initial model) ขึ้นมาก่อน แล้วแปลงกลับไปเป็นกราฟการกระจายความเร็วเปรียบเทียบความแตกต่างกับกราฟการกระจายความเร็วในตอนต้น เมื่อค่าที่ได้มีความแตกต่างกันและเกิดความไม่สอดคล้องกัน ระบบจะทำการสร้างแบบจำลองความเร็วขึ้นมาใหม่ที่สอดคล้องกับข้อมูลมากขึ้น และเกิดความคลาดเคลื่อนจากกราฟการกระจายความเร็วในตอนต้นน้อยลง ทำซ้ำจนค่า RMSE อยู่ในช่วงที่ต้องการ ซึ่งหมายถึงกราฟการกระจายความเร็วที่ได้จากการสำรวจและกราฟจากการคำนวณด้วยความเร็วคลื่นเฉือนมีความใกล้เคียงกันมากพอ กระบวนการผกผันก็จะเสร็จสิ้นและแสดงผลในรูปของแบบจำลองความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดิน 1 มิติ จากนั้นนำแบบจำลองในแต่ละตำแหน่งมาพล็อตต่อเนื่องกันจะได้ภาคตัดขวางของชั้นดิน 2 มิติ (2D cross section)

Richart et al. (1970) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนและคลื่นเรย์ลี ซึ่งเดินทางในตัวกลางยืดหยุ่น ดังสมการที่ 1.6

$$\left(\frac{V_R}{V_S}\right)^6 - 8\left(\frac{V_R}{V_S}\right)^4 + \left(24 - 16\frac{1-2\sigma}{2-2\sigma}\right)\left(\frac{V_R}{V_S}\right)^2 + 16\left(\frac{1-2\sigma}{2-2\sigma} - 1\right) = 0 \quad (1.6)$$

เมื่อ V_R คือความเร็วคลื่นเรย์ลี และ σ คืออัตราส่วนปัวส์ซอง โดยทั่วไปอัตราส่วนปัวส์ซองมีค่าอยู่ระหว่าง 0 สำหรับตัวกลางที่เป็นของแข็ง ถึง 0.5 สำหรับตัวกลางที่เป็นของเหลว ดังนั้นค่าความเร็วของคลื่นเรย์ลีมีค่าประมาณ 0.87-0.96 เท่าของความเร็วคลื่นเฉือน (V_S)



รูปที่ 1.17 ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี MASW

การนำไปใช้ของวิธี MASW

การจำแนกชั้นดินตามเกณฑ์พื้นที่ตอบสนองต่อแผ่นดินไหวโดยใช้ V_{s30}

ความเร็วคลื่นเฉือนในช่วง 30 เมตรจากผิวดิน (V_{s30}) เป็นตัวแปรสำหรับการทำนายศักยภาพในการขยายสัญญาณของคลื่นไหวสะเทือน อีกทั้งยังใช้เป็นข้อกำหนดสำหรับการก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน (BSSC, 1997; Dobry et al., 2000) สามารถคำนวณความเร็วคลื่นเฉือนใต้ผิวดินเหนือระดับความลึก 30 เมตร ได้จากสมการที่ 1.7

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{d_i}{v_i}\right)} \quad (1.7)$$

เมื่อ d_i และ v_i คือความหนา (เมตร) และความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินที่ i จากจำนวนทั้งหมด N ชั้นที่อยู่เหนือความลึก 30 เมตร

การจำแนกชั้นดินถูกพัฒนาขึ้น โดยองค์กร BSSC (Building Seismic Safety Council) โดยได้แบ่งกลุ่มของชั้นดินออกเป็น 5 กลุ่ม ตามค่าเฉลี่ยของความเร็วคลื่นเฉือนในระดับ

ความลึก 30 เมตร โดยเรียกว่าเกณฑ์หรือข้อกำหนดของ National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP)

ตารางที่ 1.3 การแบ่งกลุ่มชั้นดินของ Vs30 ตามเกณฑ์ของ NEHRP

Site class	Description	Rang of Vs30 (m/s)	Amplification
A	Hard rock	Vs30 > 1500 m/s	-
B	Firm to hard rock	760 m/s < Vs30 < 1500 m/s	None
C	Dense soil and soft rock	360 m/s < Vs30 < 760 m/s	Low
D	Stiff soil	180 m/s < Vs30 < 360 m/s	Intermediate
E	Soft soil	Vs30 < 180 m/s	High

1.6 การตรวจเอกสาร

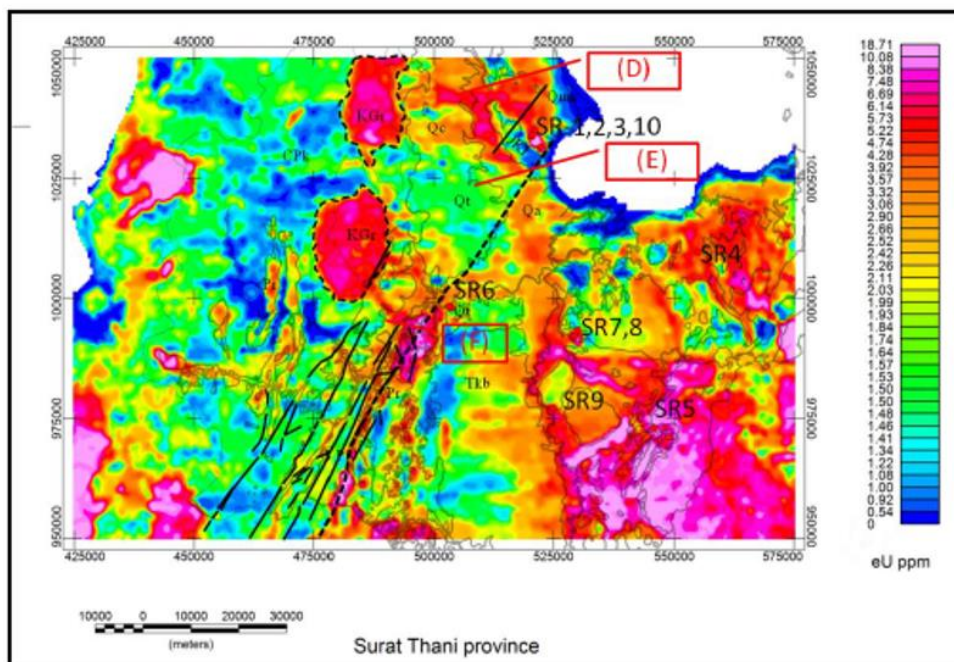
ไทรภพ ผ่องสุวรรณและคณะ (2556) ได้ทำการสำรวจด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ ได้แก่ การสำรวจสนามแม่เหล็กโลกทางอากาศและกัมมันตรังสีทางอากาศ ร่วมกับการหาอายุตะกอนในห้องสำรวจ การวิเคราะห์ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ การตรวจวัดแก๊สกัมมันตรังสีเรดอน -220/222 ในดินและในน้ำ การตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำ การตรวจวิเคราะห์สารกัมมันตรังสีธรรมชาติในดินและหินตัวอย่าง พบว่าแนวเส้นโพแทสเซียม ทอเรียม และยูเรเนียม มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดในลักษณะเป็นแนวขนานกับแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ส่วนข้อมูลแก๊สกัมมันตรังสีในดินสามารถใช้กำหนดแนวรอยเลื่อนได้เช่นกันนอกจากนี้ผลการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนสามารถตรวจสอบโครงสร้างแบบรอยเลื่อนได้อย่างชัดเจนที่ระดับความลึก 50-150 เมตร อีกทั้งการสำรวจธรณีวิทยาหิน โผล่และบ่อดินยังตรวจพบหิน Silicified rocks และพบรอยเลื่อนไกล Slickensides ที่เป็นหลักฐานรอยเลื่อนจำนวนมากในจุดหินโผล่ ซึ่งอยู่ไม่ไกลจากแนวที่สำรวจคลื่นไหวสะเทือน ผลการศึกษาสรุปว่าแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยตัดผ่านเข้ามาในเขต จ.สุราษฎร์ธานี ผ่าน อ.พนม อ.บ้านตาขุน อ.คีรีรัฐนิคม อ.พุนพิน และลงทะเลอ่าวไทยในเขตอำเภอท่าฉางมีตำแหน่งอยู่ทางตะวันตกของอำเภอท่าฉางประมาณ 1-2 กิโลเมตร

เอกลักษณ์ มอบพิจิต (2557) ได้ใช้การแปลความข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศและกัมมันตภาพรังสีแกมมาทางอากาศ ในการระบุตำแหน่งรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยบริเวณจังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่าการวิเคราะห์ข้อมูลแม่เหล็กทางอากาศมีตำแหน่งบริเวณที่เกิดค่าผิดปกติทางแม่เหล็ก ซึ่งแสดงถึงตำแหน่งรอยต่อทางแม่เหล็กในบริเวณอำเภอไชยา อำเภอพุนพิน ไปสู่อำเภอกีร์รัฐนิคม โดยบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณใกล้เคียงกับแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) การแปลความข้อมูลกัมมันตรังสีทางอากาศ โดยศึกษาจากการสร้างแผนที่กัมมันตรังสีทางอากาศโพแทสเซียม (K) พบว่ามีค่ากัมมันตภาพรังสีโพแทสเซียมสูงบริเวณแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย เนื่องมาจากการสลายตัวของภูเขาหินแกรนิต โดยการสลายตัวของแร่ประกอบหินแกรนิตชนิดโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspar) ไปเป็นแร่เคลย์ (Clay) ที่มีขนาดเล็กทำให้เคลื่อนที่ไปได้ไกลจากภูเขาหินแกรนิต ส่งผลให้บริเวณตะกอนต่างๆ เช่น ตะกอนผุพังเชิงเขา (Qc), ตะกอนชายฝั่ง (Qmc), และตะกอนทรายกรวดน้ำพา (Qa) มีค่ากัมมันตภาพรังสีโพแทสเซียมสูง แสดงถึงแนวรอยเลื่อนพาดผ่านอำเภอไชยาไปสู่อำเภอกีร์รัฐนิคม

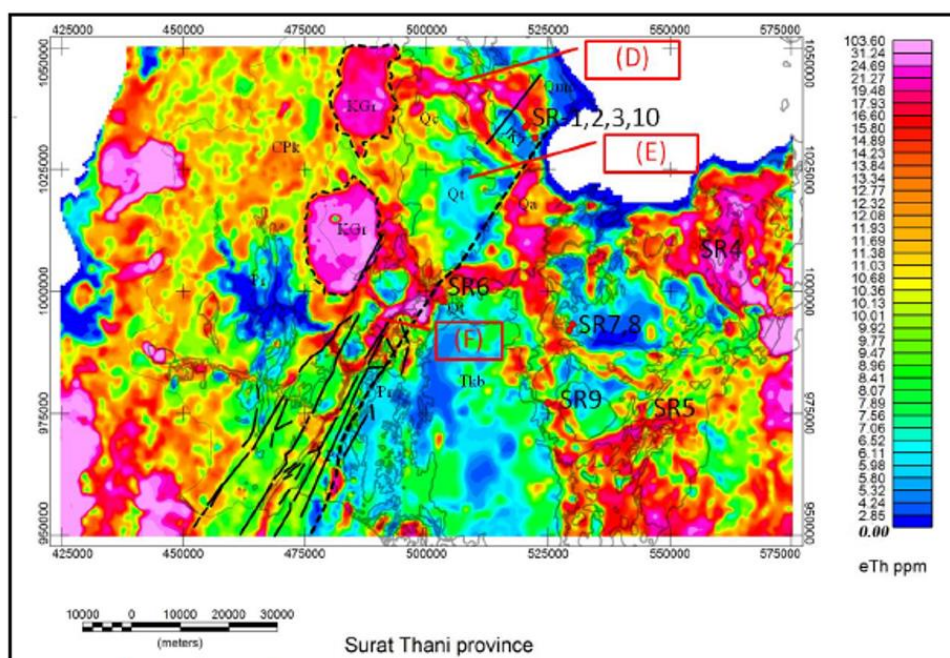
แผนที่กัมมันตภาพรังสียูเรเนียมรวม (eU) (รูปที่ 1.18a) พบว่ามีค่ากัมมันตภาพรังสียูเรเนียมรวมมีค่าสูงในบริเวณอำเภอกีร์รัฐนิคม เป็นหน่วยหินปูนชุกราชบุรี (Pr) เนื่องมาจากการสลายตัวของภูเขาหินแกรนิตได้เคลื่อนที่ปกคลุมตะกอนเศษหินเชิงเขาผุพังอยู่กับที่ (Qc) และเคลื่อนที่กระจายไปทั่วบริเวณตะกอนน้ำพา (Qa) ต่อเนื่องไปยังตะกอนชายฝั่ง (Qmc) และตะกอนน้ำพาตามแนวแม่น้ำ (Qt) มาจากการสลายตัวของยูเรเนียม-238 เป็นเรเดียม -226 ซึ่งสลายได้ดีในน้ำจึงสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลจากภูเขาหินแกรนิต แสดงถึงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยใหม่ ลากผ่านบริเวณแนวหินปูนบริเวณอำเภอไชยาไปสู่อำเภอกีร์รัฐนิคม

แผนที่กัมมันตภาพรังสี 3 มิติ แสดงถึงระดับปริมาณทอเรียมรวม (eTh) (รูปที่ 1.18b) พบว่ามีค่ากัมมันตภาพรังสีสูงบริเวณภูเขาหินแกรนิต (KGr) ที่เกิดจากการผุพังและเคลื่อนที่มายังบริเวณตะกอนเชิงเขา (Qc), ตะกอนชายฝั่ง (Qmc) และตะกอนน้ำพาต่อเนื่องบนหินปูนราชบุรี (Pr) บริเวณอำเภอไชยาไปสู่อำเภอกีร์รัฐนิคม

a)



b)



รูปที่ 1.18 a) แผนที่กัมมันตรังสีทางอากาศยูเรเนียมรวม (eU) b) แผนที่กัมมันตรังสีทางอากาศทอเรียม (eTh) ซ้อนทับขอบเขตทางธรณีวิทยา วงกลมสีแดงแสดงตำแหน่งน้ำพุร้อน เส้นทึบสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) และเส้นประสีดำแสดง Uranium-lineament และ Thorium-lineament (ไตรภพ ฟ่องสุวรรณ และคณะ, 2556) มาตรฐานแผนที่ 1:1000000

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษารอยเลื่อนโดยใช้วิธีสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่อื่นๆ ได้แก่

Carvalho et al. (2006) ได้ประยุกต์การสำรวจด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนเพื่อศึกษาและยืนยันตำแหน่งของรอยเลื่อน พร้อมทั้งตรวจสอบว่ารอยเลื่อนนั้นเป็นรอยเลื่อนที่มีพลังหรือไม่จากการสำรวจทางธรณีวิทยาในบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษา ได้ตรวจพบแนวรอยเลื่อนจากหินโพล์และการเปลี่ยนแปลงของตะกอนยุค Pleistocene ที่ปิดทับ การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการตรวจสอบว่าแนวรอยเลื่อนในชั้นหินยุค Tertiary และ Quaternary มีลักษณะเดียวกัน นอกจากนี้ยังแปลความหมายการสำรวจวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเหและการหยั่งลึกทางไฟฟ้าในพื้นที่สำรวจ โดยตรวจพบความผิดปกติในตะกอนยุค Quaternary ในบริเวณรอยเลื่อนซึ่งอาจเกิดจากลักษณะทางเทคโนโลยีในพื้นที่

Keawmuangmoon (2010) ได้แปลความข้อมูลโทรสัมผัส (remote-sensing) และประเมินดัชนีธรณีสารสนเทศในพื้นที่เขาพนม พบว่าลักษณะการแปรสัณฐานทางตอนกลางของรอยเลื่อนมีหลายรูปแบบ และจากข้อมูลการขุดร่องสำรวจพบว่าตามแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ 4 ครั้ง โดยมีขนาดใหญ่สุด 7.2ริกเตอร์ และปัจจุบันรอยเลื่อนนี้ยังคงมีการเลื่อนตัวอยู่ด้วยอัตรา 0.4-0.5 มิลลิเมตรต่อปี

Pratt et al. (1998) ได้ศึกษาและประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดภัยพิบัติเนื่องจากแนวรอยเลื่อนโดยใช้วิธีการสำรวจวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนที่มีระดับสเกลแตกต่างกัน โดยสเกลใหญ่ใช้ศึกษาโครงสร้างในระดับภูมิภาคและสเกลเล็กเพื่อศึกษาโครงสร้างในระดับท้องถิ่น ผลการศึกษาจากสเกลใหญ่ยืนยันตำแหน่งของรอยเลื่อนที่สอดคล้องกับตำแหน่งของรอยเลื่อนในระดับต้นที่สังเกตได้จากการขุดร่องสำรวจ โดยความกว้างของแนวรอยเลื่อนค่อนข้างแคบและมีแนวโน้มวางตัวต่อเนื่องสู่ผิวดิน สำหรับผลการศึกษาในสเกลเล็กที่ใช้ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณน้อยกว่าและอยู่ใกล้กับแนวขุดค้นให้ภาพของรอยต่อระหว่างชั้นดินที่ระดับความลึก 15-60 เมตร

Sloan et al (2013) ได้ประยุกต์ใช้วิธีคลื่นไหวสะเทือนสะท้อนแบบหักเหและวิธี Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW) เพื่อตรวจวัดและระบุตำแหน่งของอุโมงค์ระดับต้นในชั้นตะกอนร่วน ผลการศึกษาพบว่าวิธีการสำรวจทั้งสองวิธีสามารถยืนยันตำแหน่งอุโมงค์

ขนาดความกว้าง 1.25 เมตร ความยาว 1.25 เมตร ที่ระดับความลึก 3 เมตร พบบริเวณชั้นความเร็วต่ำ ตรงตำแหน่งอุโมงค์

เกษมศักดิ์ แซ่ตั้ง (2555) ได้ประยุกต์ใช้วิธีคลื่นไหวสะเทือนและวิธีการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ เพื่อศึกษากลุ่มรอยเลื่อนย่อยเคียงมปะ และกลุ่มรอยเลื่อนย่อยวิภาวดี ของแถบรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยในบริเวณพื้นที่อำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ผลการศึกษาพบว่าวิธีการสำรวจทางด้านธรณีฟิสิกส์สามารถระบุตำแหน่งรอยเลื่อนและการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงในแนวดิ่งของลักษณะทางธรณีวิทยาบริเวณรอยเลื่อนในชั้นตะกอนควอเทอร์นารี และชั้นตะกอนเทอร์เชียรีในระดับความลึก 150 เมตร

ภูวนารถ จงจิตร (2556) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลความหมายข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมชนิดแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข และยืนยันผลการแปลความข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล โดยใช้วิธีคลื่นไหวสะเทือนและวิธีการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเพื่อศึกษาธรณีแปรสัณฐานที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของรอยเลื่อนในพื้นที่แอ่งหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ผลการศึกษาพบว่ารอยเลื่อนในพื้นที่นี้น่าจะเป็นรอยเลื่อนชนิดตามแนวเฉียง (oblique-slip fault) ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวตามแนวมุมเทและแนวระดับพร้อมกัน

1.7 วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อประยุกต์ใช้วิธีคลื่นไหวสะเทือนเพื่อศึกษาคำแหน่งรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยและลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในเขตพื้นที่อำเภอคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ได้แบ่งขั้นตอนในการทำวิจัยออกเป็นสองส่วน ประกอบด้วย การเก็บข้อมูลภาคสนาม และการประมวลผลข้อมูลในห้องปฏิบัติการ โดยใช้วิธีทางธรณีฟิสิกส์ คือ การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน (Seismic reflection survey) โดยมีวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ ดังต่อไปนี้

2.1 วัสดุและอุปกรณ์ (material and equipment)

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูลในภาคสนาม และสำหรับวิเคราะห์แปลผลข้อมูล มีดังนี้

1. เครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไหวสะเทือน ชนิด 24 ช่องสัญญาณ รุ่น SmartSies™ S-24 Seismograph (รูปที่ 2.1a) ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนขณะทำการเก็บข้อมูล
2. Extension cable ใช้สำหรับเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างเครื่องบันทึกสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ
3. ตัวกำเนิดสัญญาณคลื่นไหวสะเทือน (seismic source) ใช้ค้อนทุบ (sledgehammer) ขนาด 5 กิโลกรัม (รูปที่ 2.1b) โดยทุบลงบนแผ่นเหล็ก (plate) ในแนวตั้ง
4. Hammer switch เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณเพื่อบอกเวลาในการเริ่มบันทึกข้อมูล
5. ตัวรับสัญญาณ (geophone) จำนวน 24 ตัว เป็นตัวรับสัญญาณแบบแนวตั้ง (vertical geophone) (รูปที่ 2.1c) มีความถี่ธรรมชาติ 14 Hz ใช้สำหรับรับสัญญาณคลื่นไหวสะเทือน
6. เครื่องมืออ่านพิกัดภูมิศาสตร์ (GPS) สำหรับอ่านพิกัดของตำแหน่งสำรวจทางธรณีฟิสิกส์และการวางแผนการสำรวจ
7. เทปวัดระยะ ความยาว 50 เมตร ใช้สำหรับวัดระยะทางและวางแผนในการสำรวจ
8. แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์
9. โปรแกรม Globe Claritas สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน

10. โปรแกรม Surfseis V.4 ใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลวิธี MASW
11. โปรแกรม Surfer ใช้สำหรับทำแผนที่คอนทัวร์
12. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

a)



b)



c)



รูปที่ 2.1 เครื่องมือที่ใช้สำรวจวิธีคลื่นไหวสะเทือน a) เครื่อง Geometric SmartSeis b) ค้อนและแผ่นเหล็ก และ c) จีโอโฟน

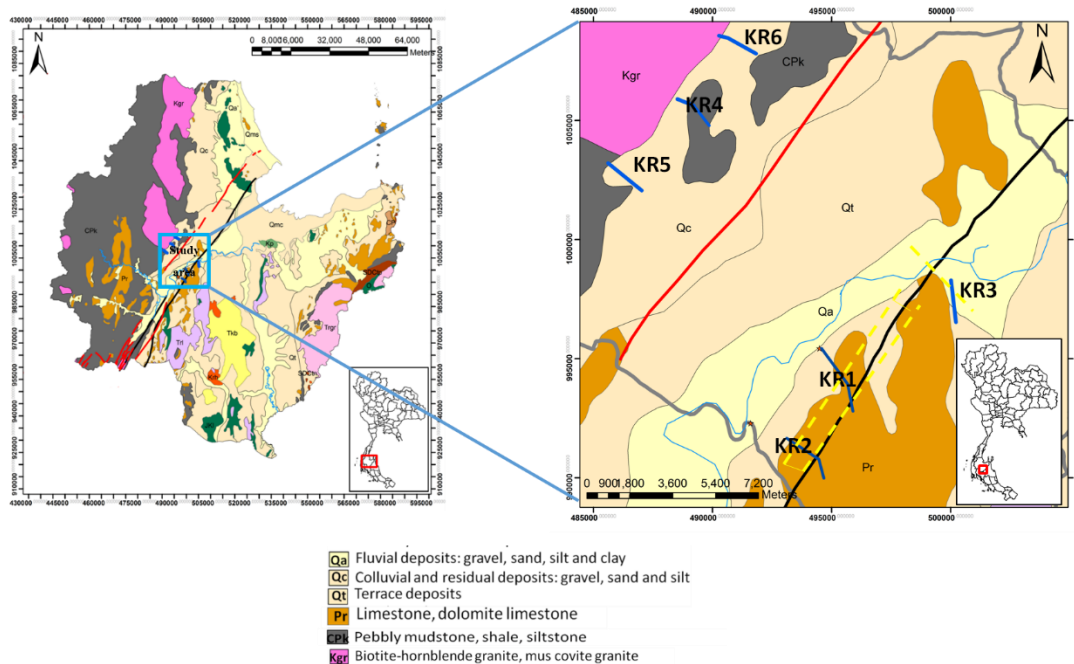
2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย การเก็บข้อมูลภาคสนาม และการวิเคราะห์ผลข้อมูลแปลความข้อมูลในห้องปฏิบัติการ

2.2.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

สำหรับการเก็บข้อมูลภาคสนามในการทำวิจัย แบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

1. สํารวจเอกสารที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษา ข้อมูลทางธรณีวิทยา ข้อมูลหลุมเจาะ ตลอดจนการศึกษาทางธรณีฟิสิกส์ที่ใช้ในการสำรวจ คือ วิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน
2. ศึกษาข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ ร่วมกับศึกษาลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา สามารถกำหนดจุดแนวการสำรวจเพื่อทำการเก็บข้อมูลด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนในพื้นที่ศึกษา ซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 6 แนวการสำรวจ ได้แก่ แนววัด KR1, แนววัดKR2 และ แนววัด KR3 มีความยาวประมาณ 3,060 เมตร, 2,500 เมตร และ 1,900 เมตร ตามลำดับ วางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ อยู่ทางตอนกลางของอำเภอคีรีรัฐนิคม แนววัด KR4, KR5 และ KR6 อยู่ทางตอนเหนือของอำเภอคีรีรัฐนิคม มีความยาวประมาณ 1,850 เมตร, 1,950 เมตร และ 1,950 เมตร ตามลำดับ (รูปที่ 2.2)
3. ทำการสำรวจโดยใช้วิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน เป็นจำนวน 6 แนวการสำรวจ โดยมีรูปแบบการจัดวางแนวการสำรวจดังรูปรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมือและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล แสดงดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.2 แผนที่ธรณีวิทยา พร้อมทั้งแสดงแนวการสำรวจด้วยเส้นทึบสีแดง และเส้นทึบสีดำแสดงแนวรอยเลื่อนที่กำหนดโดยกรมทรัพยากรธรณีและแปลความด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ทางอากาศตามลำดับ

โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึงขั้นตอนการเก็บข้อมูลด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน ซึ่งมีลำดับขั้นตอนในการเก็บข้อมูลดังนี้

1. วางแนวการสำรวจเป็นเส้นตรงโดยใช้เทปวัดระยะทางในการทำการสำรวจ
2. ทำการปักตัวรับสัญญาณ (geophones) เป็นจำนวน 24 ตัวลงบนพื้นดินตามแนวการสำรวจ โดยมีระยะห่างระหว่างจีโอโฟน 5 เมตร
3. วางสายเคเบิลส่งสัญญาณขนานไปตามแนวสำรวจ หนีบขั้วของตัวรับสัญญาณทุกตัวเข้ากับสายส่งสัญญาณ และสาย extension cable เพื่อส่งสัญญาณไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณ
4. ใช้เทปพันสายไฟติด สาย hammer switch เข้ากับปลายค้อนให้แน่น และเชื่อมต่อไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณ

5. เปิดเครื่องบันทึกสัญญาณ ตั้งค่ารูปแบบที่ใช้ในการสำรวจ เวลาที่ใช้ในการชักตัวอย่าง และความยาวของการบันทึกข้อมูล เป็นต้น ดังแสดงตามตารางที่ 2.1
6. ใช้ก้อนทูปขนาด 5 กิโลกรัม เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นสัญญาณ ทูปลงบนแผ่นเหล็กในแนวตั้งจำนวน 10 ครั้ง บันทึกข้อมูล จากนั้นทำการเลื่อนตำแหน่งทูปไปเรื่อยๆจนครอบคลุมแนวสำรวจ

a)



b)



รูปที่ 2.3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม a) การบันทึกสัญญาณ b) การให้กำเนิดสัญญาณคลื่น และ c) ตัวรับสัญญาณ

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

	Reflection survey
แหล่งกำเนิดคลื่น	5 kg Sledgehammer
ระยะห่างระหว่างจุดกำเนิดคลื่น	5 m
ระยะห่างระหว่างจีไอโฟน	5 m
ความถี่ธรรมชาติของจีไอโฟน	14 Hz
ระยะออฟเซต (Offset)	30 m
รูปแบบการเก็บข้อมูล (Field geometry)	Roll along, end on
เครื่องมือบันทึกสัญญาณ (Recording system)	Geometric SmartSeis
จำนวนช่องสัญญาณ	24 channels
ความยาวของการบันทึกข้อมูล	1024 ms
ระยะห่างของการซัดตัวอย่าง (sampling interval)	0.5 ms

2.2.2 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ในส่วนนี้เมื่อทำการเก็บข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนครบทั้ง 6 แนวการสำรวจ จะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผล ด้วยวิธีดังต่อไปนี้

1. วิธีวิเคราะห์คลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน

การประมวลผลข้อมูลด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนโดยใช้โปรแกรมGlobe Claritas โดยมีลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการประมวลผลด้วยวิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน

Process	รายละเอียดและพารามิเตอร์
Data import	แปลงข้อมูลรูปแบบไฟล์ SEG2 เป็น SEG-Y
Field Geometry	กำหนดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดคลื่นและตัวรับสัญญาณ
Trace Editing	กำจัดเส้นสัญญาณที่เสีย
Refraction statics	สร้างแบบจำลองชั้นดินระดับต้นและปรับแก้อิทธิพลของภูมิประเทศ
Band pass filter	กรองเส้นสัญญาณที่มีความถี่ต่ำและความถี่สูงกว่าปกติ
AGC	ปรับแอมพลิจูดของคลื่นเพื่อให้เห็นผลชัดเจนยิ่งขึ้น
CDP Sorting	จัดเรียงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ CDP
Velocity Analysis	วิเคราะห์ความเร็วและเลือกฟังก์ชันความเร็วที่เหมาะสมในการรวมสัญญาณ
NMO Correction	ปรับแก้ NMO
Stack	รวมเส้นสัญญาณที่มีตำแหน่ง CDP เดียวกัน
Time to Depth Conversion	แปลงภาพตัดขวางในโดเมนเวลา เป็นภาพตัดขวางเชิงความลึก

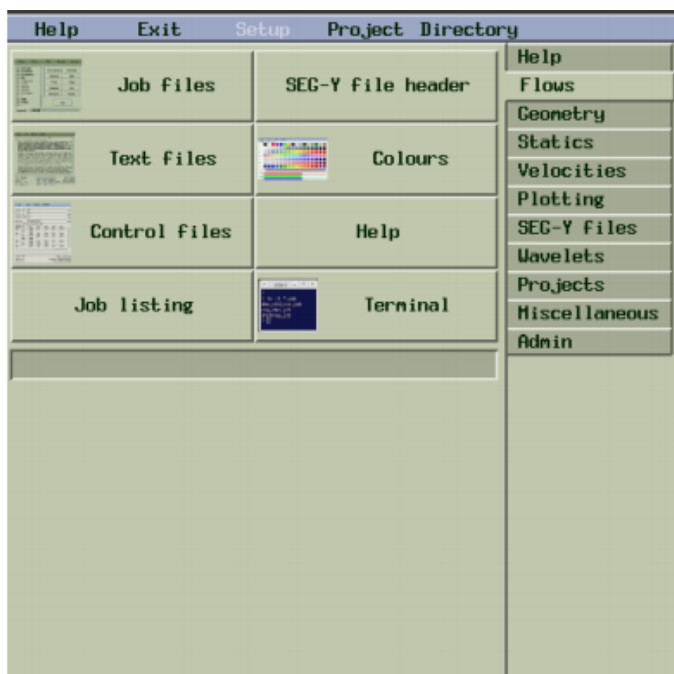
ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลภาคตัดขวางของสัญญาณสะท้อนมีดังต่อไปนี้

1. แปลงรูปแบบข้อมูลดิจิทัลที่บันทึกได้จากเครื่องบันทึกสัญญาณในรูปแบบ SEG-2 ไปเป็นรูปแบบที่ใช้สำหรับโปรแกรมประมวลผล SEG-Y

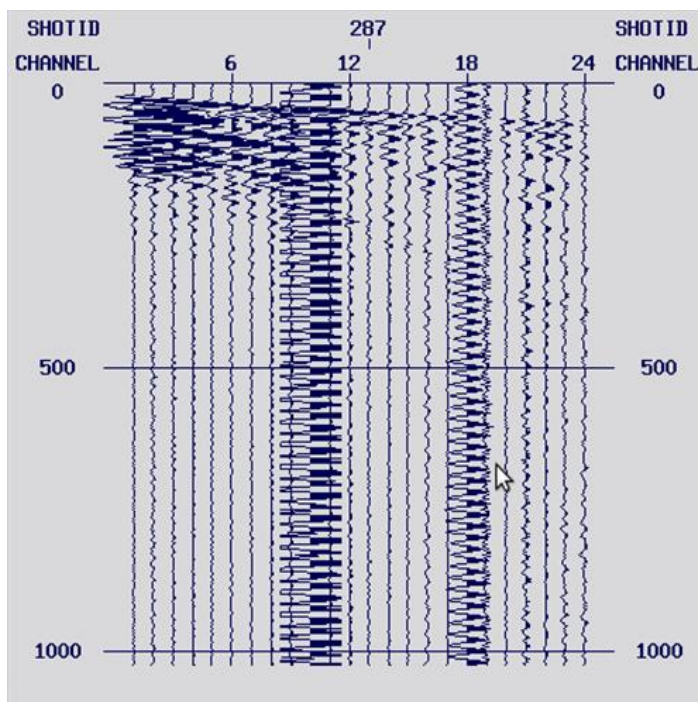
2. สร้าง Geometry กำหนดตำแหน่งจุดกำเนิดคลื่น และตำแหน่งของจีโอโฟน ที่ทำการสำรวจให้ถูกต้อง
3. กำจัดเส้นสัญญาณที่เสียและสัญญาณรบกวนซึ่งไม่ใช่เส้นสัญญาณของคลื่นสะท้อนออกไป
4. ทำการเลือกตำแหน่ง first break สำหรับสร้างแบบจำลองชั้นดินในระดับต้น
5. คำนวณ refraction statics เพื่อใช้ในการปรับแก้การเลื่อนของเส้นสัญญาณเนื่องจากชั้นความเร็วคลื่นต่ำที่อยู่ใต้แนวการสำรวจ และปรับแก้ลักษณะภูมิประเทศ
6. ทำการกรองเส้นสัญญาณที่มีความถี่ต่ำและสูงกว่าปกติ โดยใช้วิธี band pass filter จะกรองความถี่ที่อยู่นอกช่วง 30-200 Hz ออกไป
7. ขยายสัญญาณ (Automatic gain control (AGC)) เพื่อเพิ่มสัญญาณที่มีแอมพลิจูดต่ำให้มีแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้น
8. จัดเรียงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ common depth point (CDP) เนื่องจากเส้นสัญญาณที่ได้จากจุดสะท้อนเดียวกันมีระยะห่างระหว่างจุดกำเนิดคลื่นและตัวรับสัญญาณแตกต่างกัน จึงทำการรวมสัญญาณเข้าด้วยกัน
9. ทำการวิเคราะห์ความเร็วและเลือกฟังก์ชันความเร็วที่เหมาะสมสำหรับทำ Normal Move Out correction (NMO) จนได้ภาพของโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่อยู่ใต้ผิวดิน เรียกว่า ภาพตัดขวางการรวมสัญญาณคลื่น (stacked section) หรือภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือน (seismic section) ใช้สำหรับแปลความหมายข้อมูลต่อไป

โดยรายละเอียดในขั้นตอนหลักๆมีดังนี้

a)



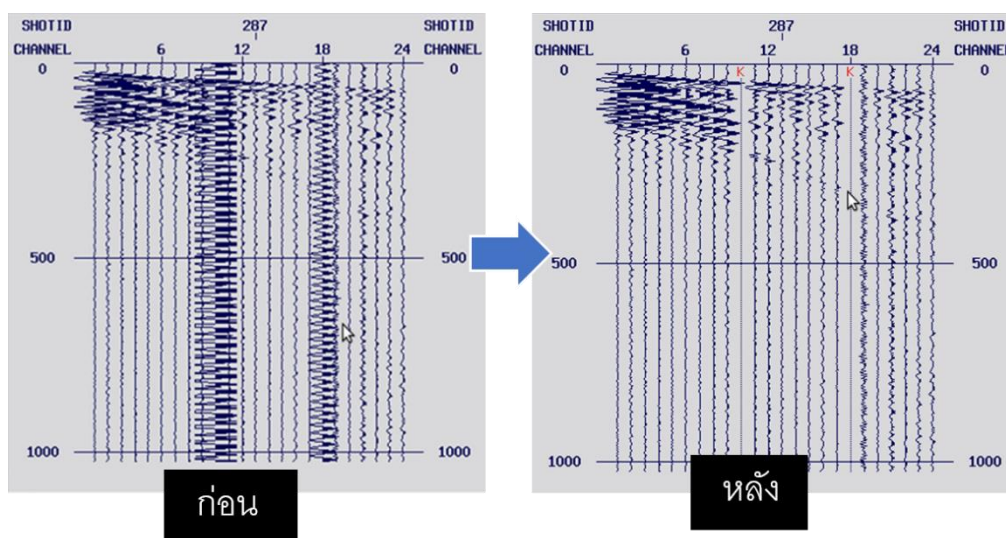
b)



รูปที่ 2.4 a) แสดงคำสั่งต่างๆใน โปรแกรม Globe Claritas และ b) raw data

การแก้ไขและกำจัดสัญญาณ (trace editing)

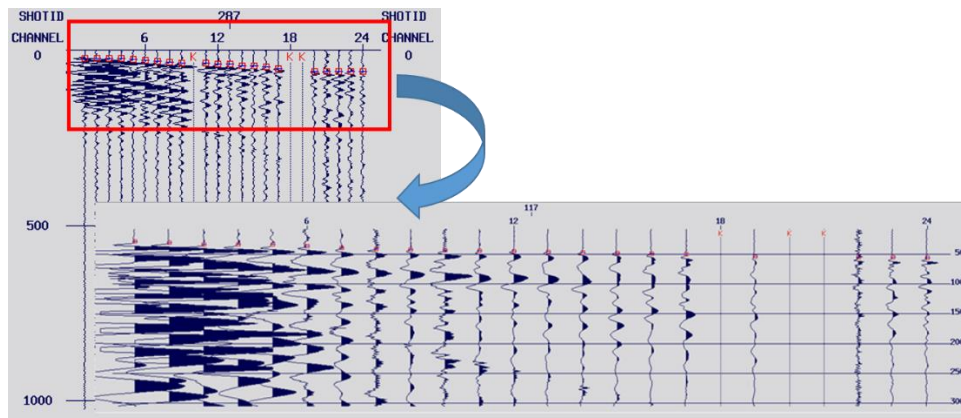
ในส่วนของขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนกำจัดเส้นสัญญาณที่ผิดปกติ (dead trace) และมีความถี่สูงออกไป ซึ่งมีสาเหตุมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลอาจเกิดจากเชื่อมต่อสายเคเบิลที่ไม่ดี ตัวรับสัญญาณเสียหรือปัดตัวรับสัญญาณไม่แน่นกับพื้นดิน ซึ่งจะส่งผลต่อการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป ดังรูปที่ 2.5



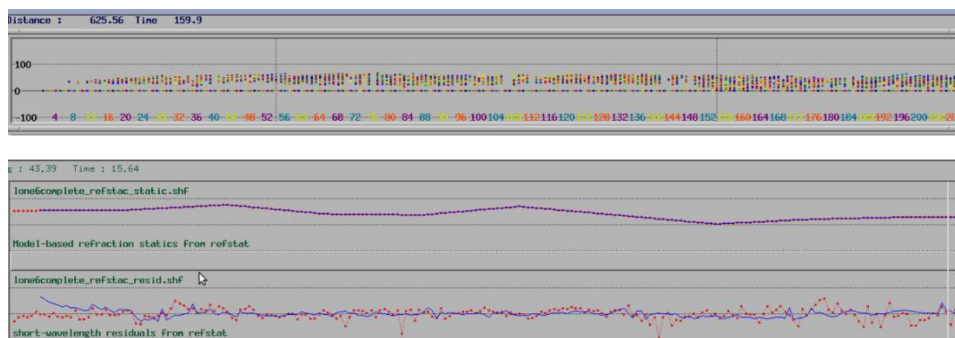
รูปที่ 2.5 แสดงการกำจัดเส้นสัญญาณที่เสียออกไป

การปรับแก้สถิตย (Static Correction)

เป็นการปรับแก้แกนของเวลาขึ้นหรือลงแบบคงที่เนื่องจากความสูงต่ำของภูมิประเทศ (elevation or topography) และ ชั้นหินผุหรือชั้นความเร็วต่ำ (weathering layer) เพราะหากทำการสำรวจบริเวณภูมิประเทศที่ไม่ราบเรียบ จะต้องทำการปรับแก้ความสูง-ต่ำ ของภูมิประเทศปรับเพื่อให้ตำแหน่งตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ในระนาบเดียวกัน และการปรับแก้ชั้นดินความเร็วต่ำใกล้ผิวดินโดยการสร้างแบบจำลองชั้นดิน โดยสร้างจากวิเคราะห์คลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห จากการคำนวณเวลาสัญญาณแรกของคลื่น (first break time) (รูปที่ 2.6)



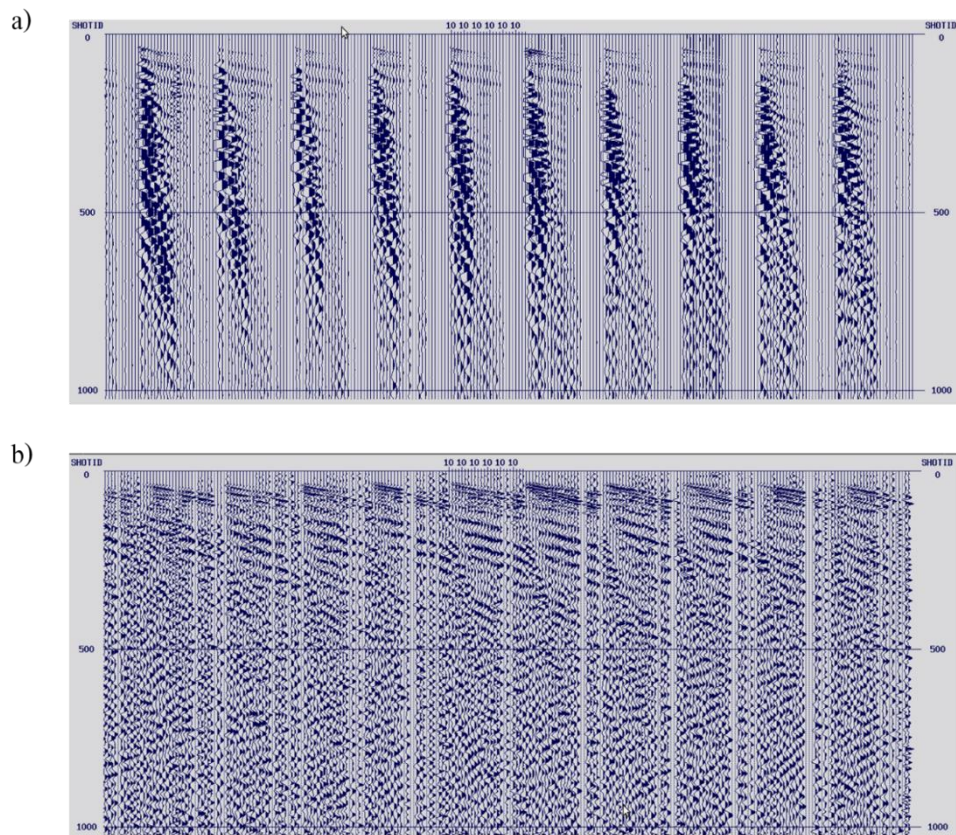
รูปที่ 2.6 การเลือกตำแหน่ง first break



รูปที่ 2.7 แบบจำลองที่ใช้ในการปรับแก้ static correction

การกรองความถี่ (Frequency filter)

การกรองความถี่ เป็นกระบวนการกรองสัญญาณรบกวน ที่มีช่วงความถี่แตกต่างกัน ซึ่งในการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนมีชนิดของการกรองได้แก่ low pass, high pass, band pass และ notch filter ซึ่งจากการวิเคราะห์สเปกตรัมความถี่ (frequency spectrum) พบว่ามีความถี่โดดเด่นอยู่ในช่วง 20-200 Hz เป็นเส้นสัญญาณของ ground roll ที่มีความถี่ต่ำ และมีช่วงความถี่สูงกว่าปกติ จึงเลือกใช้การกรองสัญญาณแบบ band pass filter กรองความถี่ที่อยู่นอกช่วง 20-200 Hz ออกไป



รูปที่ 2.8 a) ข้อมูลดิบที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม b) ข้อมูลที่ผ่านการกรองความถี่

การจัดเรียงกลุ่มสัญญาณแบบจุดกลางร่วม(CMP sorting)

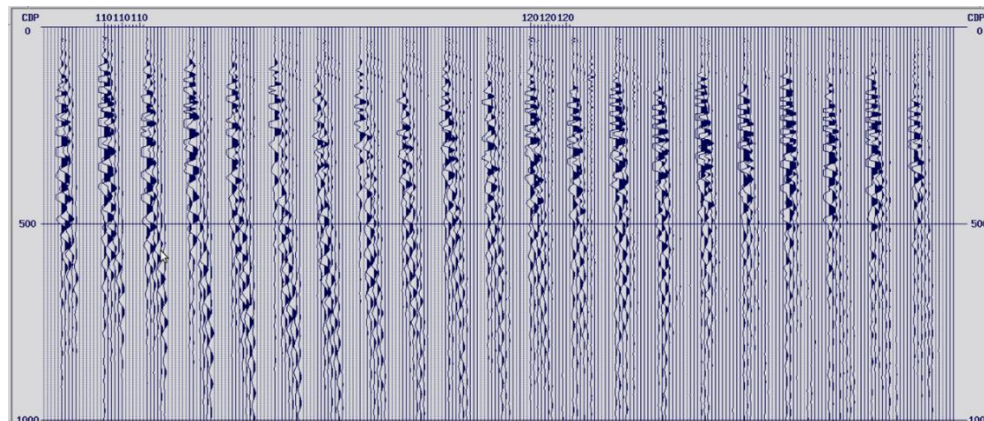
การเก็บข้อมูลแบบจุดกลางร่วม เป็นการเก็บข้อมูลที่ได้จากการสะท้อนจุดเดียวกัน แต่มีระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดคลื่นมายังตัวรับสัญญาณที่แตกต่างกัน เวลาที่ใช้ในการเดินทางของคลื่นจากแหล่งกำเนิดคลื่นกลับมายังตัวรับสัญญาณย่อมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำการจัดกลุ่ม (sorting) ของเส้นสัญญาณที่ได้จากการสะท้อนที่จุดเดียวกัน ทำให้เกิด CMP gather โดยสามารถคำนวณเส้นสัญญาณสูงสุดในแต่ละชุดของการรวบรวมจุดกลางร่วม ได้จากสมการที่ 2.1

$$\text{จำนวนเส้นสัญญาณสูงสุดในแต่ละชุด} = \frac{N \Delta X}{2 \Delta S} \quad (2.1)$$

เมื่อ N คือ จำนวนตัวรับสัญญาณ

ΔX คือ ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณ

ΔS คือ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดคลื่น



รูปที่ 2.9 แสดง CMP sorting

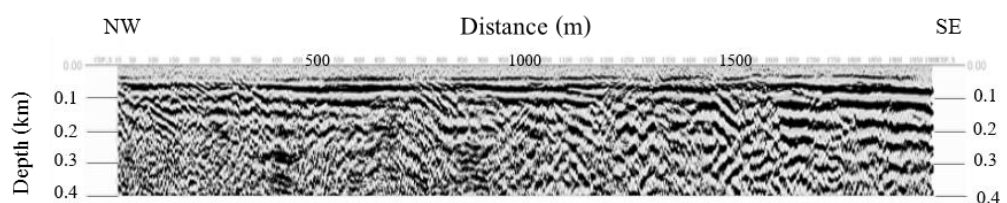
การปรับนอร์มอลมูฟเอาท์ (Normal Move out Correction)

เป็นขั้นตอนของการปรับค่าของเวลาที่เกิดจากตัวรับสัญญาณและตัวกำเนิดคลื่นที่มีระยะห่างไม่เท่ากับศูนย์ ให้มาอยู่ที่ระยะเท่ากับศูนย์ (Zero offset) เพื่อให้เส้นสัญญาณแสดงเวลาที่คลื่นเดินทางในแนวตั้งและสะท้อนกลับในแนวตั้งเหมือนกันทุกเส้น เขียนการปรับค่าเวลาได้จากสมการที่ 2.2

$$\Delta t_{nmo} = t_x - t_0 \approx \frac{x^2}{2V_{nmo}^2 t_0} \quad (2.2)$$

การรวมข้อมูล (Stacking)

ในการรวมข้อมูลจะต้องจัดเรียงข้อมูลให้อยู่ในรูปของจุดกลางร่วม (CDP gather) เลือกเฉพาะจุดสะท้อนของแต่ละเส้นที่มีทางเดินคลื่นอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน จากนั้นทำการปรับแก้ NMO และเส้นสัญญาณที่มี CDP เดียวกันนำมารวมกันเป็นหนึ่งเส้นสัญญาณ (stack) เกิดเป็นภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือน (stacked section) ดังแสดงในรูปที่ 2.10

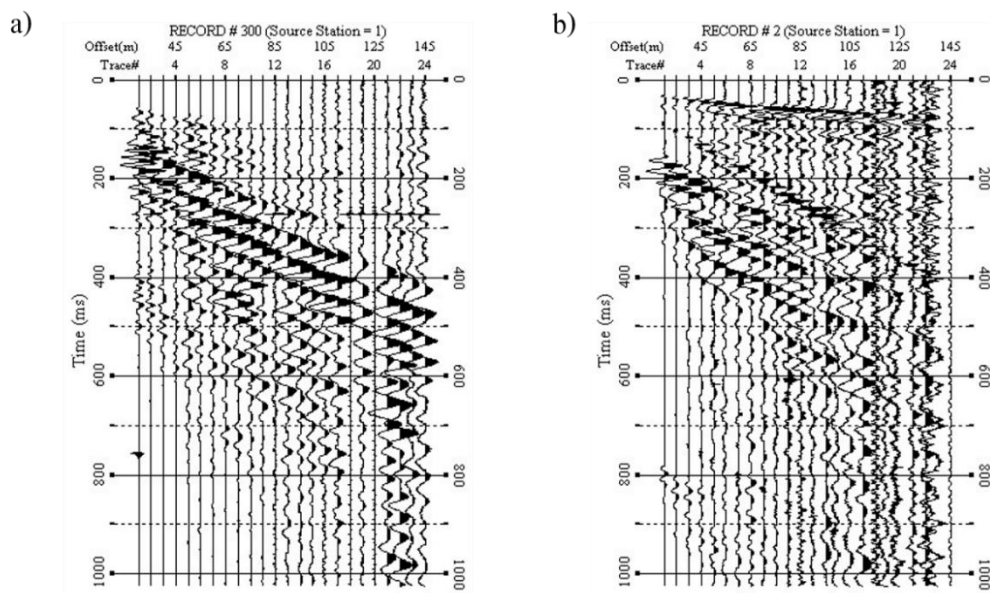


รูปที่ 2.10 ตัวอย่าง stacked section

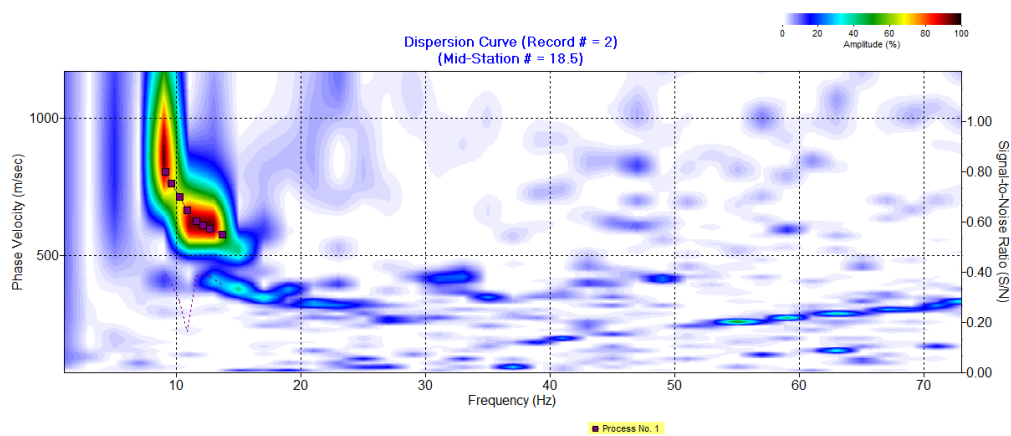
2. วิธีวิเคราะห์ MASW

นำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจแบบคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน มาทำการวิเคราะห์แบบวิธี Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW) โดยใช้โปรแกรม Surfseis Version 4.0 โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

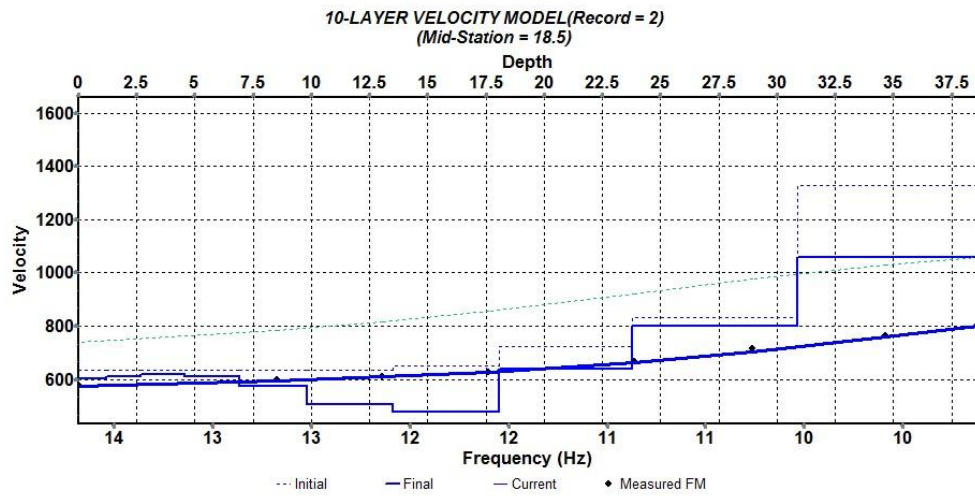
- นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน ซึ่งอยู่ในโดเมนของระยะทางและเวลา ทำการแปลงให้อยู่ในโดเมนของความถี่เฟสและความถี่ โดยใช้การแปลงแบบฟูเรียร์ หลังจากนั้นทำการเลือกตำแหน่งความเร็วที่สอดคล้องกันในแต่ละความถี่ เกิดเป็นกราฟกระจายความเร็ว หรือเรียกว่า dispersion curve
- ทำการแปลงกลับข้อมูล (inversion) dispersion curve เพื่อให้ได้แบบจำลองความเร็วคลื่นเฉือนใน 1 มิติ โดยเริ่มจากสมมติแบบจำลองความเร็วคลื่นเฉือนขึ้นมา ทำการคำนวณ dispersion curve ของแบบจำลอง จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับค่า dispersion curve ของข้อมูล หากค่าที่ได้มีความต่างกัน และมีค่าไม่สอดคล้องกัน จะทำการสร้างแบบจำลองขึ้นมาใหม่ ทำซ้ำจนข้อมูลมีความสอดคล้องกันมากขึ้น มีค่าความคลาดเคลื่อนของกราฟกระจายความเร็วน้อยลง กระบวนการแปลงกลับข้อมูลก็จะสิ้นสุดลง ได้แบบจำลอง 1 มิติของความเร็วคลื่นเฉือนตามระดับความลึก
- สร้างภาพตัดขวาง 2 มิติของความเร็วคลื่นเฉือน โดยสร้างจากแบบจำลอง 1 มิติของความเร็วคลื่นเฉือนในแต่ละตำแหน่ง (ตำแหน่งที่นำมาพล็อตคือตำแหน่งกึ่งกลางของแนวตัวรับสัญญาณ) มาพล็อตต่อเนื่องกันเกิดเป็นภาพตัดขวาง 2 มิติ



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างข้อมูลดิบที่ตำแหน่ง shot ต่างๆ a) shot ที่ 300 ของแนวการสำรวจที่ 3 b) shot ที่ 2 ของแนวการสำรวจที่ 3



รูปที่ 2.12 dispersion curve



รูปที่ 2.13 แบบจำลองความเร็วคลื่นเฉือนใน 1 มิติ ที่ได้จากการผกผันข้อมูล

บทที่ 3

ผลและการวิเคราะห์ผล

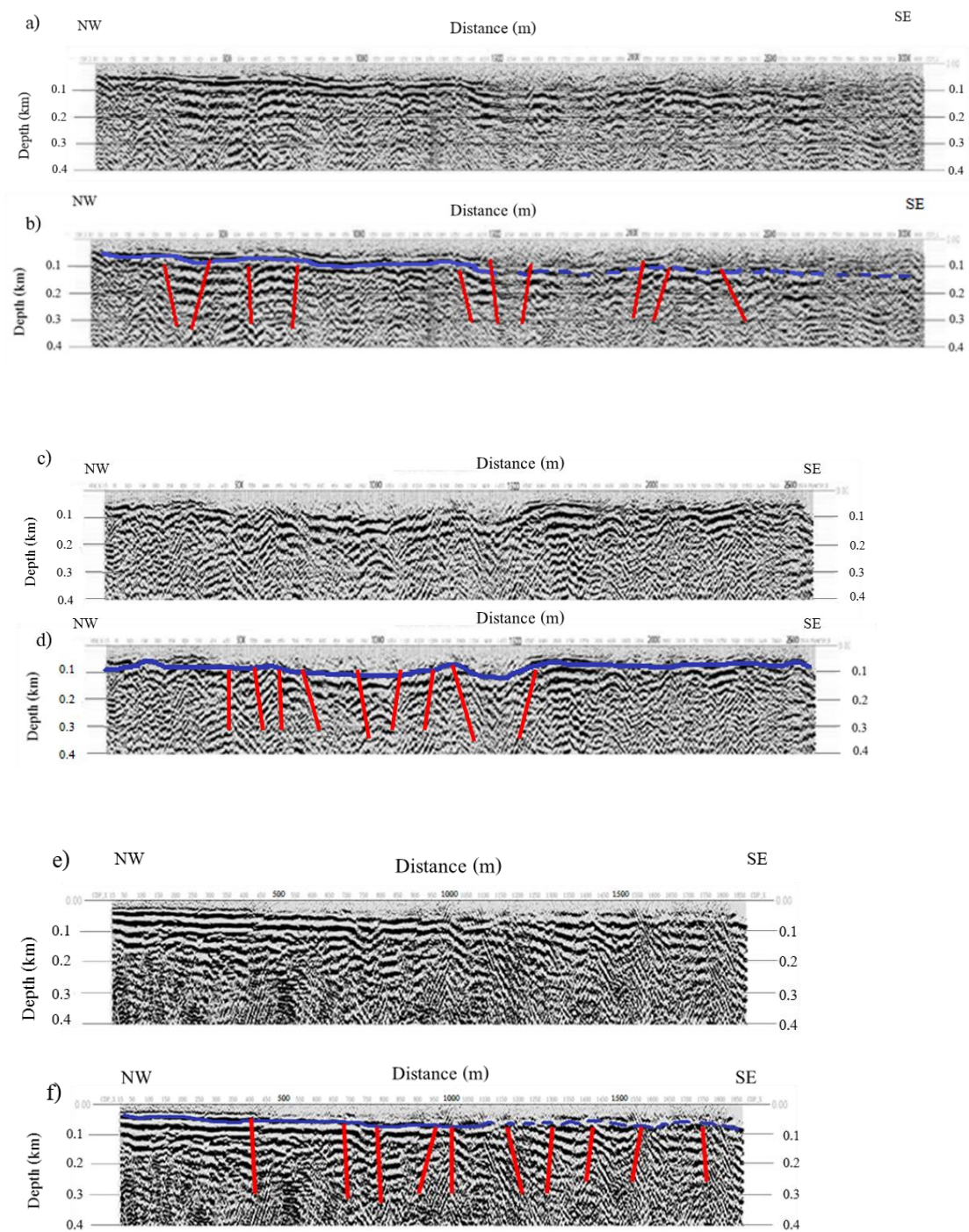
3.1 ผลและการวิเคราะห์ผลภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน

จากการเก็บข้อมูลภาคสนามโดยใช้วิธีคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนแบ่งบริเวณพื้นที่แนวการสำรวจออกเป็น 2 พื้นที่ พื้นที่ที่ 1 บริเวณตอนกลางของอำเภอคีรีรัฐนิคมจะประกอบด้วยแนวสำรวจที่ 1-3 พื้นที่ที่ 2 บริเวณตอนบนของอำเภอคีรีรัฐนิคมประกอบด้วยแนวสำรวจที่ 4-6 จึงได้แสดงผลและวิเคราะห์ผลออกเป็น 2 พื้นที่ ดังนี้

3.1.1 ภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน บริเวณแนวการสำรวจที่ 1-3

จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม Globe Claritas จะได้แผนภาพคลื่นไหวสะเทือน (Seismic Section) ในเชิงความลึก โดยแกนนอนจะเป็นแกนของระยะทางจากจุดที่เริ่มสำรวจ (มีหน่วยเป็นเมตร) ส่วนแกนตั้งเป็นแกนของความลึก (มีหน่วยเป็นกิโลเมตร) จากรูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพคลื่นไหวสะเทือนในพิภพระยะทางกับความลึกของแนวการสำรวจที่ 1-3 พบว่าพื้นที่ที่ทำการสำรวจมีแนวสัญญาณที่ชัดเจนที่ระยะความลึก 40 เมตร และจากการวิเคราะห์ความเร็วมีค่าประมาณ 2,000 เมตรต่อวินาที คาดว่าเป็นแนวของชั้นหินหลักของพื้นที่ จะเห็นได้ว่า ข้อมูลในระดับตื้นมีข้อมูลที่ขาดหายไปเนื่องจากได้ตัดสัญญาณส่วนที่เป็นสัญญาณหักเหออกไป และข้อมูลที่ระดับความลึกกว่า 200 เมตร มีความเข้มของสัญญาณลดลงเนื่องจากมีสัญญาณรบกวนสูง ทำให้การแปลความในระดับความลึกกว่า 200 เมตร ให้ผลไม่ชัดเจน เกิดความกำกวมของข้อมูลได้

จากผลของข้อมูลแผนภาพคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนแนวสำรวจที่ 1-3 สามารถแปลความได้ว่า โครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่ที่ทำการสำรวจอยู่ในช่วงความลึก 40-200 เมตร มีแนวสัญญาณสะท้อนที่เด่นชัด (เส้นที่บสีน้ำเงินในรูปที่ 3.1) ซึ่งคาดว่าเป็นชั้นหินในยุคควอเทอร์นารี และพบว่าพื้นที่นี้มีความไม่ต่อเนื่องทั้งในแนวระดับ และในแนวตั้ง จะเห็นได้จากรูป 3.1 ได้ทำการระบุเส้นที่บสีแดง ซึ่งคาดว่าเป็นแนวรอยเลื่อนที่พาดผ่านพื้นที่ที่ทำการสำรวจ

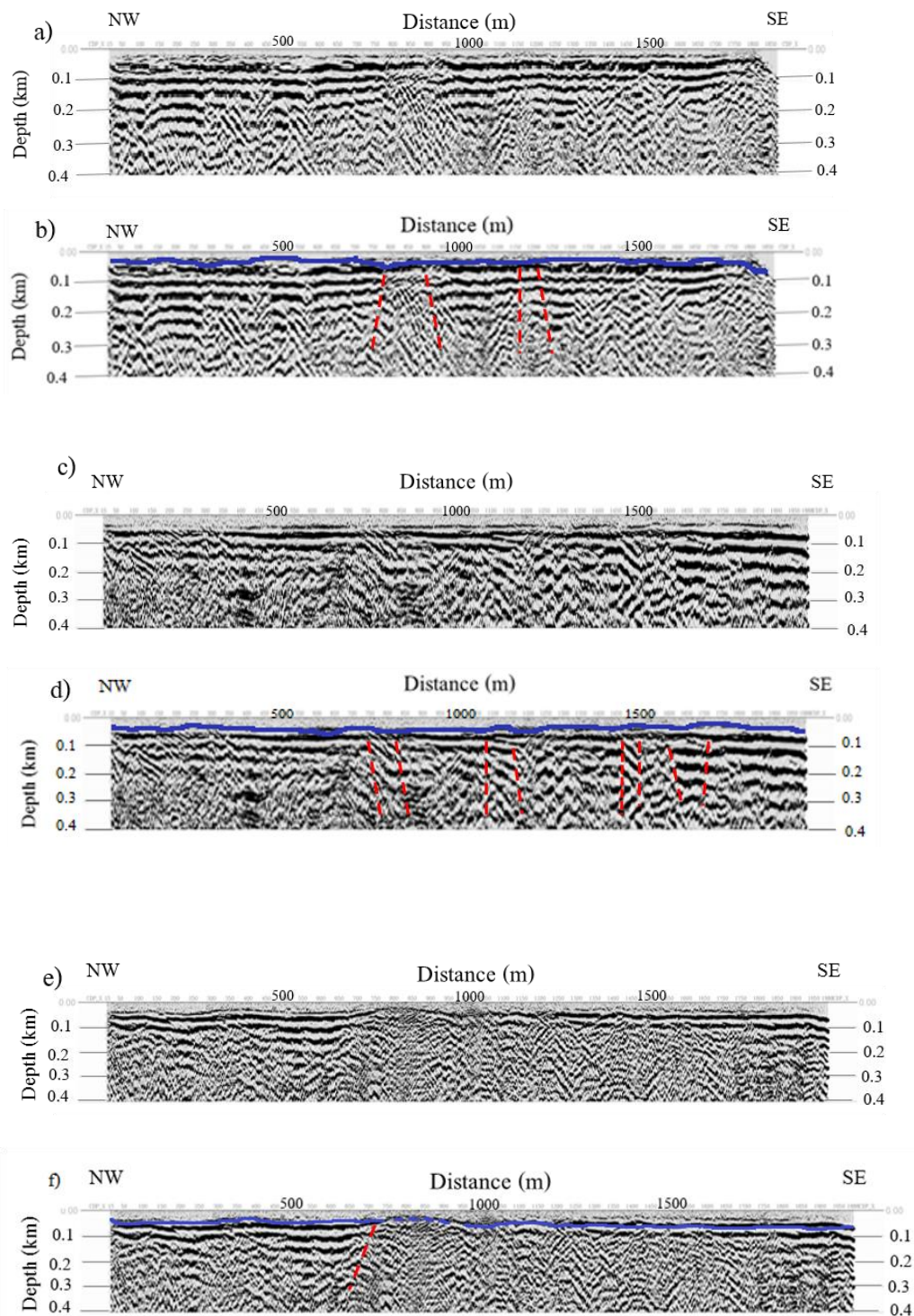


รูปที่ 3.1 แผนภาพคลื่นไหวสะเทือน แนวการสำรวจที่ 1 (รูป a กับ b), แนวการสำรวจที่ 2 (รูป c กับ d) และ แนวการสำรวจที่ 3 (รูป e กับ f)

3.1.2 ภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน บริเวณแนวการสำรวจที่ 4-6

จากรูปที่ 3.2 แผนภาพคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนในพิกัดของระยะทางกับความลึกของแนวการสำรวจที่ 4-6 พบว่า ข้อมูลในระดับตื้นมีข้อมูลที่ขาดหายไปเนื่องจากได้ตัดสัญญาณส่วนที่เป็นสัญญาณหักเหออกไป และข้อมูลที่ระดับความลึกกว่า 200 เมตร มีความเข้มของสัญญาณลดลงเนื่องจากมีสัญญาณรบกวนสูง ทำให้การแปลความในระดับความลึกกว่า 200 เมตร ให้ผลไม่ชัดเจนเกิดความกำกวมของข้อมูลได้

สำหรับการแปลความจากผลของแผนภาพคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนของแนวการสำรวจที่ 4-6 ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของอำเภอคีรีรัฐนิคม สามารถแปลความได้ว่า ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินอยู่ในช่วงความลึก 20-200 เมตร ซึ่งจากรูปที่ 3.2 แสดงเส้นทึบสีน้ำเงิน มีลักษณะเป็นแนวเส้นสัญญาณสะท้อนที่มีความต่อเนื่องได้ชัดเจนที่ระดับความลึก 20 เมตร อาจเกิดจากการสะสมตัวของตะกอน และแนวการสำรวจที่ 6 พบว่า มีความไม่ต่อเนื่องของชั้นดิน มีการโค้งงอของผิวสะท้อนบริเวณระยะ 500 อาจเกิดจากการคั่นตัวของหินแกรนิต ซึ่งสอดคล้องกับธรณีวิทยา ของพื้นที่นั้น



รูปที่ 3.2 แผนภาพคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนของแนวการสำรวจที่ 4 (รูป a กับ b), แนวการสำรวจที่ 5 (รูป c กับ d) และ แนวการสำรวจที่ 6 (รูป e กับ f) เส้นทึบสีแดงแสดงตำแหน่งของรอยเลื่อน

3.2 ภาพตัดขวางความเร็วคลื่นเฉือน

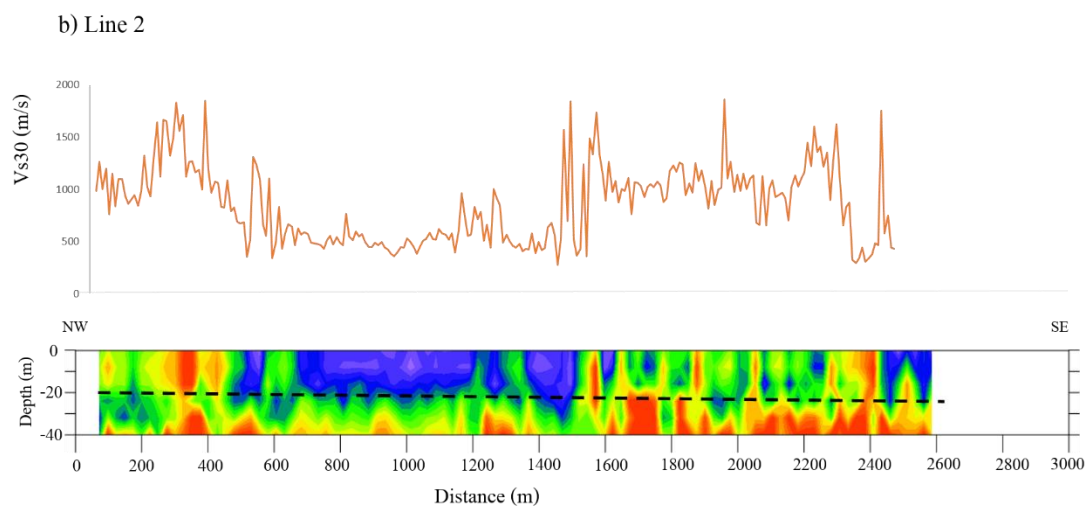
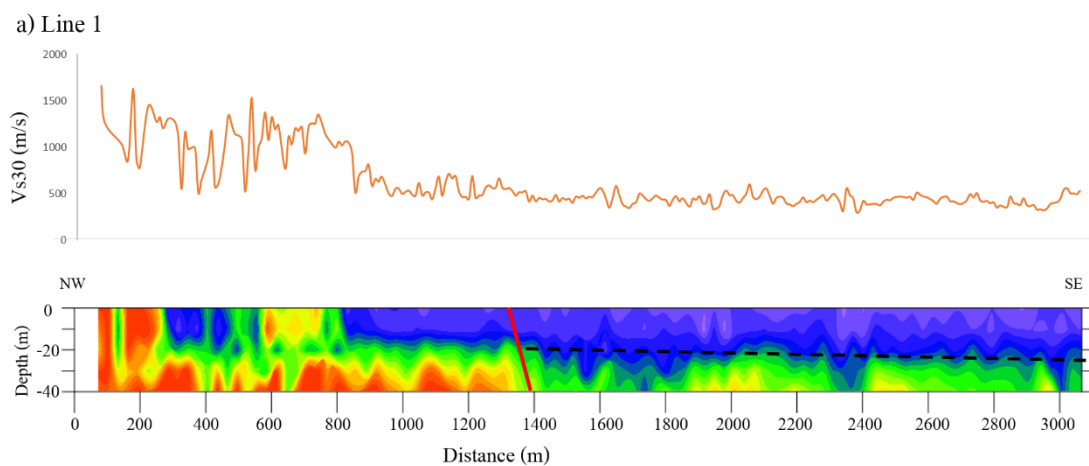
จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Surfseis จะได้แบบจำลองความเร็วคลื่นเฉือนซึ่งสามารถนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วคลื่นเฉือนในระยะความลึก 30 เมตรจากพื้นดิน ได้ ดังตารางที่ 3.1

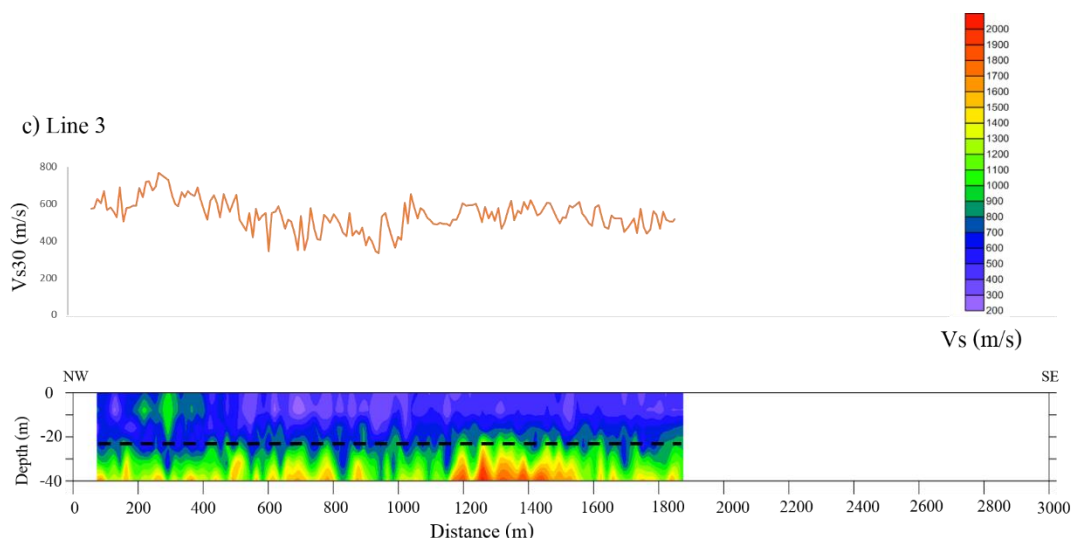
ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วคลื่นเฉือนในระยะความลึก 30 เมตร ที่ระยะทาง 162.5 เมตร ของแนวสำรวจที่ 2

ระยะทาง (เมตร)	ความลึก (เมตร)	d_i (m)	V_{si} (m/s)	$\frac{d_i}{V_{si}}$	$\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}$	V_{s30} (m/s)
162.5	1.20	1.20	1132.32	0.00106	0.032937	938.13
	2.69	1.49	1124.24	0.001325		
	4.57	1.88	1140.14	0.001649		
	6.90	2.33	1189.55	0.001959		
	9.82	2.93	1250.02	0.002344		
	13.48	3.65	1256.06	0.002906		
	18.05	4.57	1134.212	0.004029		
	23.76	5.71	906.97	0.006296		
	30.90	7.14	628.01	0.011369		

จากการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วคลื่นเฉือนในระยะความลึก 30 เมตร ในจุดใดๆ ของแต่ละแนวการสำรวจ นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเร็วคลื่นเฉือนในระยะ 30 เมตร (V_{s30}) กับระยะทาง ร่วมกับแผนภาพความเร็วคลื่นเฉือนของแนวการสำรวจที่ 1-3 บริเวณตอนกลางของอำเภอคีรีรัฐนิคม ดังรูป 3.3 สามารถจำแนกชั้นดินตามการกระจายตัวของความเร็วคลื่นเฉือนเหนือระดับความลึก 40 เมตรได้เป็น 2 ชั้น ชั้นที่ 1 เป็นชั้นที่มีความเร็วคลื่นเฉือนอยู่ในช่วง 200-600 เมตรต่อวินาที อยู่ในระดับความลึก 20 เมตรจากผิวดิน แปลความได้เป็นชั้นของตะกอนน้ำพาประเภท กรวด ทราย และชั้นดินชั้นที่สองเป็นชั้นที่มีความเร็วคลื่นเฉือนมากกว่า 700 เมตรต่อวินาที ในระดับความลึกที่มากกว่า 30 เมตร ซึ่งจัดเป็นชั้นตะกอนที่อัดตัวกัน

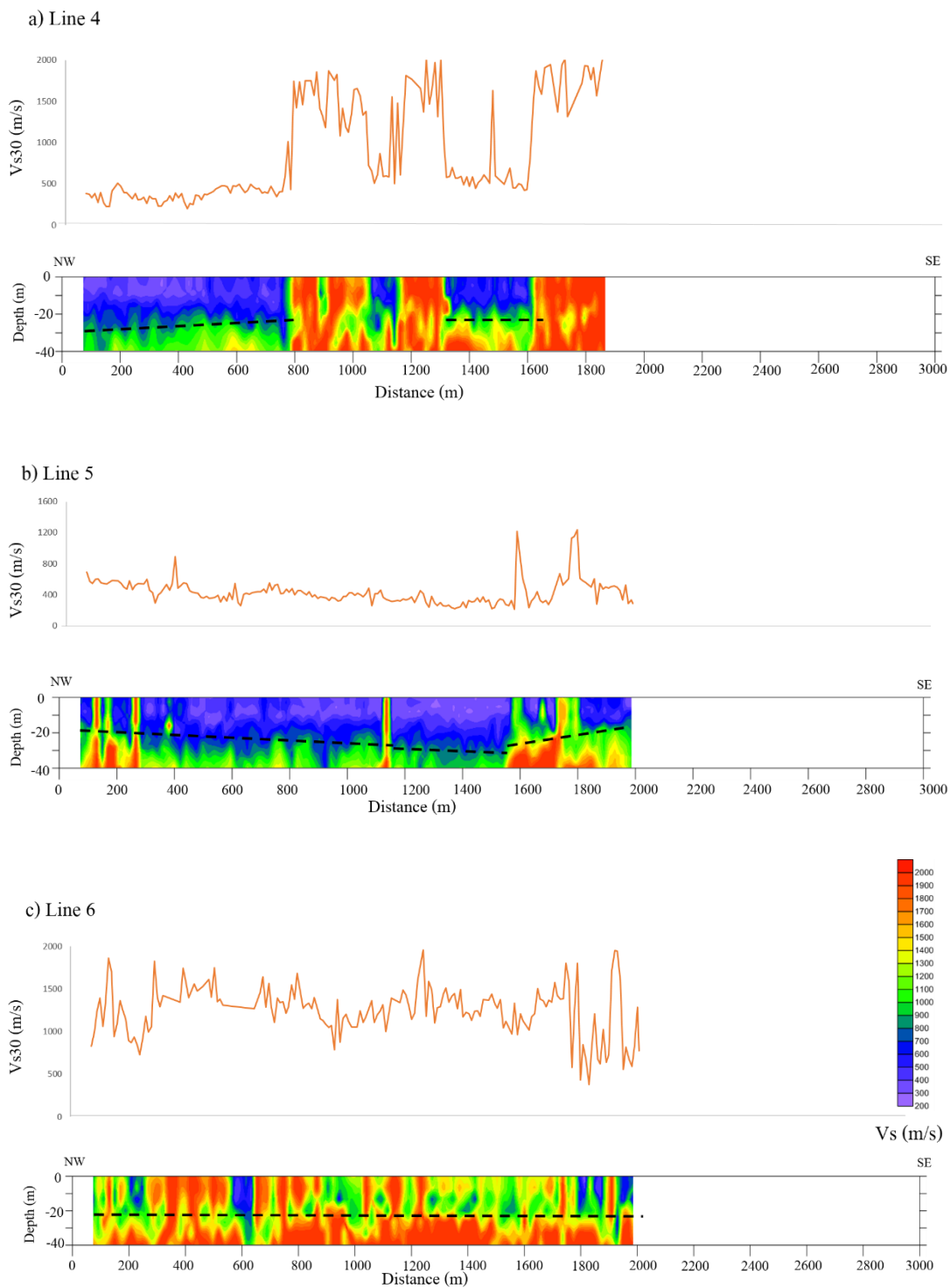
แน่น และเมื่อพิจารณาการกระจายตัวของค่าความเร็วคลื่นเฉือนในแนวราบพบว่าในแนวการสำรวจที่ 1 และแนวการสำรวจที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการบ่งชี้ได้ว่ามีตำแหน่งรอยเลื่อนในระดับตื้นได้





รูปที่ 3.3 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนและการกระจายความเร็วคลื่นเฉือนในแนวสำรวจที่ 1-3 เส้นประสีดำแสดงรอยต่อระหว่างชั้นดิน a) แนวสำรวจที่ 1 b) แนวสำรวจที่ 2 และ c) แนวสำรวจที่ 3

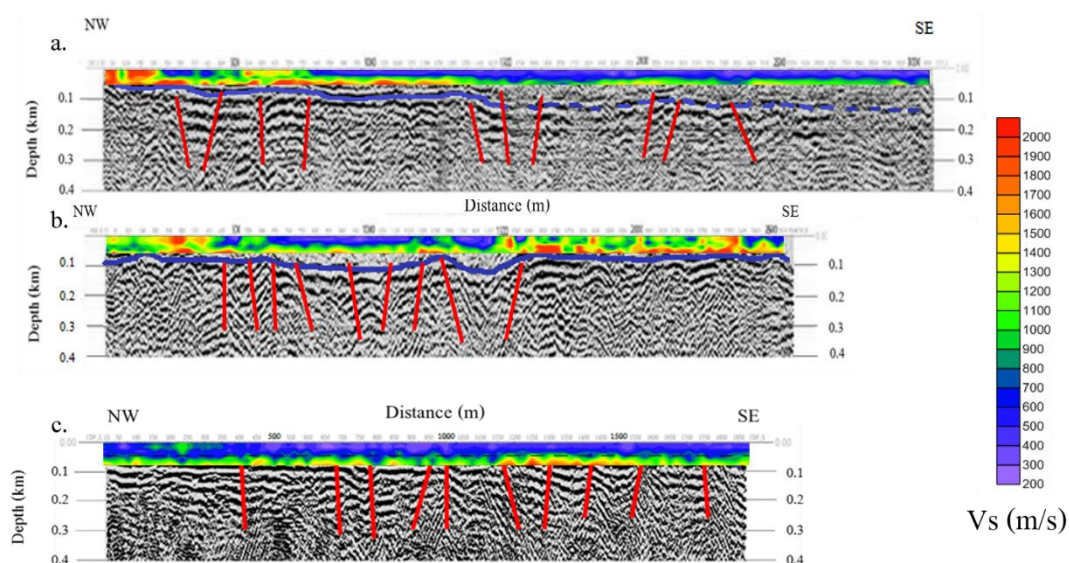
จากการคำนวณค่าเฉลี่ยความเร็วคลื่นเฉือนในระยะความลึก 30 เมตร ในจุดใดๆ ของแต่ละแนวการสำรวจ นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเร็วคลื่นเฉือนในระยะ 30 เมตร (V_{s30}) กับระยะทาง ร่วมกับแผนภาพความเร็วคลื่นเฉือนของแนวการสำรวจที่ 4-6 บริเวณตอนเหนือของอำเภอคีรีรัฐนิคม ดังรูป 3.4 สามารถจำแนกชั้นดินตามการกระจายตัวของความเร็วคลื่นเฉือนเหนือระดับความลึก 40 เมตร ออกเป็น 2 ชั้น โดยชั้นแรกมีความลึกในช่วง 20-30 เมตรจากพื้นดิน มีความเร็วคลื่นเฉือนอยู่ในช่วง 200-600 เมตรต่อวินาที แปลความได้เป็นชั้นหน้าดิน หรือตะกอนน้ำพาประเภทกรวดทราย ชั้นที่สองมีความลึกมากกว่า 30 เมตรจากพื้นดิน มีความเร็วคลื่นเฉือนประมาณ 700 เมตรต่อวินาที คาดว่าเป็นชั้นหินโคลน จากกราฟกระจายความเร็วคลื่นเฉือนพบว่า ค่าความเร็ว มีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 300-1400 เมตรต่อวินาที และจากค่าความเร็วคลื่นเฉือนของแนวการสำรวจที่ 4-6 จะเห็นได้ว่า ความเร็วคลื่นเฉือนมีค่าความเร็วที่สูง มีค่ามากกว่า 1400 เมตรต่อวินาทีในแนวการสำรวจที่ 6 ซึ่งเมื่อพิจารณาการจำแนกประเภทชั้นดินโดยใช้ค่า V_{s30} ของ NEHRP ดังตารางที่ 1.3 พบว่าชั้นดินที่ระดับความลึก 30 เมตร จากพื้นดิน สามารถจัดให้อยู่ในกลุ่ม B (hard rock) และ กลุ่ม C (Dense soil) ซึ่งสอดคล้องกับชั้นหินแกรนิตตามลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่ที่ต้นตัวขึ้นมาใกล้กับผิวดิน จากการจำแนกชั้นดินดังกล่าวไม่จัดเป็นชั้นดินที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวได้หากมีเหตุแผ่นดินไหวเกิดขึ้นใกล้เคียงกับแนวที่ทำการศึกษาได้



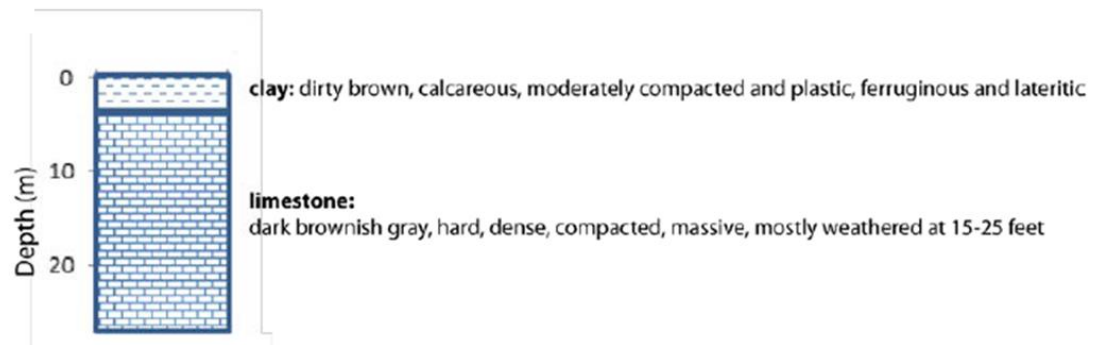
รูปที่ 3.4 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนและการกระจายความเร็วคลื่นเฉือนในแนวสำรวจที่ 4-6 เส้นประสีดำ แสดงรอยต่อระหว่างชั้นดิน

3.3 การแปลความร่วมกันระหว่างภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือนกับแผนภาพความเร็วคลื่นเฉือน

นำแผนภาพความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธี MASW ซึ่งได้ข้อมูลโครงสร้างชั้นดินในระดับตื้น วางซ้อนทับลงบนภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือนของแนวการสำรวจที่ 1-3 บริเวณตอนกลางของอำเภอคีรีรัฐนิคม (รูปที่ 3.5) ซึ่งให้ข้อมูลโครงสร้างชั้นดินในระดับลึก แปลความได้ว่า ที่ระยะความลึกประมาณ 20 เมตร เป็นชั้นหน้าดินหรือตะกอนล้าพักพวกกรวด ทราย และที่ระดับลึกลงไปเป็นชั้นตะกอนที่อัดตัวกันแน่นหรือเป็นชั้นหินปูนที่สุกอรอน สอดคล้องกับตำแหน่งหลุมเจาะที่ V153 ซึ่งอยู่บริเวณจุดเริ่มต้นของแนวการสำรวจที่ 1 และคาดว่าบริเวณนี้เป็นตำแหน่งรอยเลื่อนหลักที่พาดผ่านพื้นที่ศึกษา ซึ่งปรากฏให้เห็นชัดในแนวการสำรวจที่ 1 และแนวการสำรวจที่ 2 มีแนวการเอียงเทของรอยเลื่อนทั้งในทิศตะวันตกและทิศตะวันออก แสดงถึงการเคลื่อนที่แยกออกจากกันของแผ่นดิน ซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่งแนวรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความโดยวิธีธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ



รูปที่ 3.5 แผนภาพความเร็วคลื่นเฉือนวางซ้อนทับภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือน a) แนวการสำรวจที่ 1 b) แนวการสำรวจที่ 2 และ c) แนวการสำรวจที่ 3



รูปที่ 3.6 ข้อมูลหลุมเจาะ V153 บริเวณเริ่มต้นการสำรวจของแนวการสำรวจที่ 1

บทที่ 4

สรุปและข้อเสนอแนะ

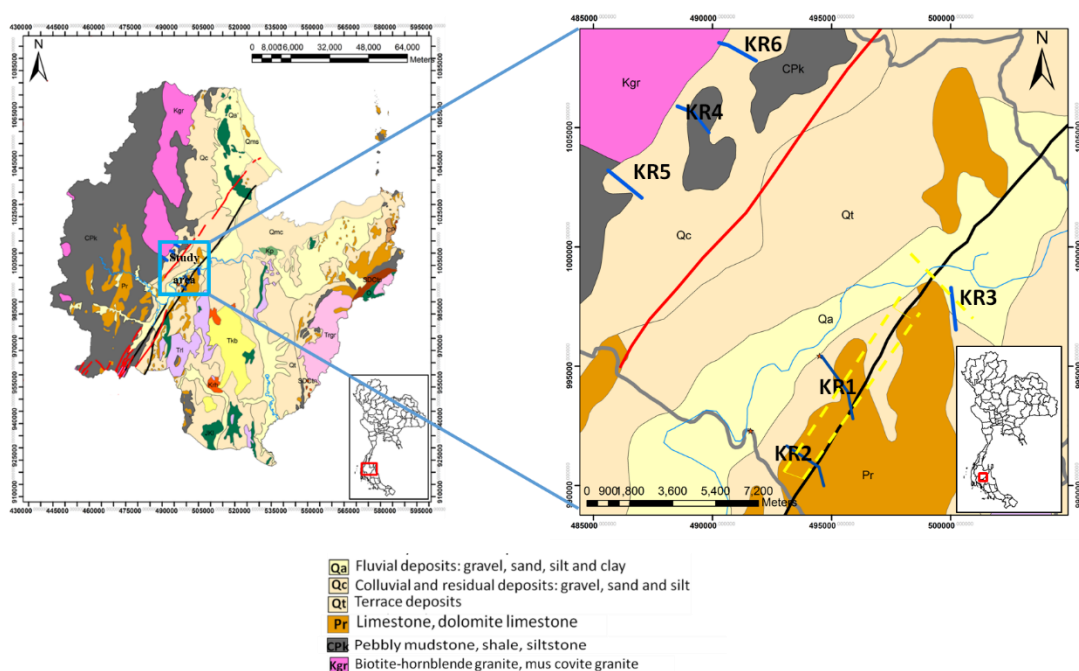
4.1 สรุปผล

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาตำแหน่งของรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย และลักษณะทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในบริเวณตอนกลางและตอนเหนือของอำเภอคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยประยุกต์ใช้วิธีการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน และวิธี Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW) มีแนวการสำรวจเป็นจำนวน 6 แนวการสำรวจ แนวการสำรวจวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ รวมระยะทางประมาณ 13 กิโลเมตร เพื่อสร้างภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือน ภาพตัดขวางความเร็วคลื่นเฉือน และได้คำนวณค่าความเร็วคลื่นเฉือนเหนือระดับความลึก 30 เมตรจากผิวดิน เพื่อจำแนกประเภทชั้นดินที่ตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนของพื้นดินเมื่อเกิดแผ่นดินไหวตามเกณฑ์ของ NEHRP

ผลจากการสำรวจลักษณะ โครงสร้างใต้ผิวดินทั้งสองวิธี ให้ภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือนชัดเจนเหนือระดับความลึก 20-200 เมตร และวิธี MASW ให้ภาพตัดขวางความเร็วคลื่นเฉือนระดับความลึก 40 เมตรจากผิวดิน เพื่อใช้ในการอธิบายโครงสร้างชั้นดินในระดับตื้น และสามารถจำแนกชั้นดิน จัดอยู่ในกลุ่ม B (หิน) และกลุ่ม C (ดินที่แข็งหรือหินที่อ่อน) จัดเป็นชั้นดินที่ไม่ก่อให้เกิดการขยายสัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวเมื่อเกิดเหตุแผ่นดินไหวในบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ทำการสำรวจ

สามารถแปลความลักษณะทางธรณีวิทยาได้จากภาพตัดขวางความเร็วคลื่นเฉือนไหวสะเทือน ที่ระยะความลึก 20 เมตร เป็นชั้นของหน้าดินหรือตะกอนน้ำพาประเภทกรวด ทราย และระดับความลึกลงไปเป็นหินฐานในยุคเพอร์เมียน และหินโคลนหรือหินแกรนิตที่ยกตัวขึ้นใกล้ผิวดิน ในบริเวณทางตอนกลาง และตอนเหนือของพื้นที่อำเภอคีรีรัฐนิคมตามลำดับ

จากข้อมูลที่ได้จากภาพตัดขวางคลื่นไหวสะเทือน ภาพตัดขวางความเร็วคลื่นเฉือน และกราฟการกระจายความเร็วคลื่นเฉือนระดับความลึก 30 เมตรจากผิวดิน พบความไม่ต่อเนื่องทั้งในแนวดิ่งและในแนวราบ ในบริเวณแนวการสำรวจที่ 1-3 ตอนกลางของอำเภอคีรีรัฐนิคม มีแนวรอยเลื่อนพาดผ่านแนวระนาบของเลื่อนมีความลาดชัน วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในก่อนหน้า (รูปที่ 4.1) ส่วนบริเวณแนวการสำรวจที่ 4-6 ตอนเหนือของอำเภอคีรีรัฐนิคม พบแนวรอยเลื่อนคาดเป็นรอยเลื่อนย่อยหรือหินแกรนิตดันตัวขึ้นใกล้ผิวดินบริเวณแนวการสำรวจที่ 6



รูปที่ 4.1 แสดงแนวรอยเลื่อนที่ได้จากการสำรวจในครั้งนี้ (บริเวณเส้นประสีเหลืองและภายในกรอบสีเหลือง)

4.2 ข้อเสนอแนะ

ในการสำรวจโดยใช้วิธีการทางธรณีฟิสิกส์ในครั้งนี้ ได้ประยุกต์ใช้วิธีคลื่นไหวสะเทือน ซึ่งมีข้อจำกัดในส่วนของพื้นที่ที่ต้องการทำการสำรวจ เข้าถึงพื้นที่ได้ยาก และข้อมูลหลุมเจาะไม่อยู่ในบริเวณที่ทำการสำรวจจึงทำให้ข้อมูลที่ได้อาจไม่แม่นยำมากนัก ควรมีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์วิธีอื่นร่วมด้วย

บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี, 2550. แผนที่ธรณีวิทยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
- กรมทรัพยากรธรณี, 2550. แผนที่รอยเลื่อนในประเทศไทย
- กรมทรัพยากรธรณี, 2553. แผนที่หมู่บ้านรอยเลื่อนมีพลังพาดผ่านจังหวัดสุราษฎร์ธานี กองธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม กรมทรัพยากรธรณี
- ไทรภพ ผ่องสุวรรณ, 2552. การเฝ้าติดตามขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงแก๊สเรดอนในดินเพื่อการพยากรณ์แผ่นดินไหวในบริเวณรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย รายงาน โครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์รับทุนกองทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ประเภททั่วไปประจำปีงบประมาณ 2549 ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่
- ไทรภพ ผ่องสุวรรณ, สวัสดิ์ ยอดขยัน, ไพบูลย์ นวลนิล, กำแหง วัฒนเสน, สมหมาย ช่างเขียน, ธิดารัตน์ วิชัยดิษฐ และ Helmut Durrast, 2556. การศึกษาธรณีฟิสิกส์แบบบูรณาการของรอยเลื่อนต่างๆ ในภาคใต้, รายงาน โครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ธงชัย พึ่งรัมย์, 2538. รายงานการสำรวจธรณีวิทยา บริเวณคีรีรัฐนิคม. 1-9
- ปัญญา จารุศิริ, จักรพันธ์ สุทธิรัตน์, มนตรี ชูวงษ์, ฐานภ ธิติมากร, จินดา สุทธิวานิช, สันติ ภัยหลบลี้ และธีรรัตน์ นาประคิษฐ์, 2550. การศึกษาคาบการอุบัติซ้ำในพื้นที่ที่แสดงการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี กระบี่ พังงาและภูเก็ต (รอยเลื่อนระนองและรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย). รายงาน โครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์กรมทรัพยากรธรณี, กรมทรัพยากรธรณี
- เพียงดา สাত্রักษ์, 2544. การสำรวจใต้ผิวดินด้วยคลื่นไหวสะเทือน. ขอนแก่น: ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ภูวนารถ จงจิตร, 2556. การประยุกต์ใช้วิธีการสำรวจข้อมูลระยะไกลและวิธีธรณีฟิสิกส์ เพื่อหารอยเลื่อนในเขตพื้นที่ส่วนในและส่วนนอก รอบแอ่งหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา, 20-24

สุวัฒน์ ตริยะไพรัช, สันติ ศรีวรกุล, และทินกร มหาภูมิ, 2532. ธรณีวิทยาและธรณีวิทยาควอเทอร์นารี
ระวางจังหวัดสุราษฎร์ธานี (4827II) และระวางอำเภอพุนพิน (4827III), กองธรณีวิทยา กรม
ทรัพยากรธรณี, กรุงเทพมหานคร, 44.

สวัสดิ์ ยอดขยัน, 2559. วิถีคลื่นไหวสะเทือน: ทฤษฎีพื้นฐานและการประยุกต์. สงขลา: ภาควิชา
ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา. 2 5 5 8 . สถิติข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อ
ประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร.

[http:// www.seismology.tmd.go.th/earthquakestat.html](http://www.seismology.tmd.go.th/earthquakestat.html).(accessed 30 March 2015)

เอกลักษณ์ มอบพิจิต, 2557. การตีความข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศบริเวณแนวรอยเลื่อนคลองมะ
รุ่ย ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี, 92-96

Building Seismic Safety Council (BSSC), 2001, NEHRP Recommend Provisions for Seismic
Regulations for New Buildings and Other Structures, Part 1: Provisions and Part 2:
Commentary, Federal Emergency Management Agency, FEMA-368 and FEMA-369,
Washington D.C., February

Carvalho, J., Torres, L., Rocha, R., Dias, R., and Mendes-Victor, L., 2006. A geophysical study of
the S. Marcos-Quarteira fault, Portugal, Journal of Applied Geophysics, 60, 153-164.

Chansawad, P., Dowrerk, V., Kosuwan, S., Charusiri, P., 2008. Application of ESR-dating results
and remote-sensing to constrain active tectonics along the southern part of Khlong Marui
Fault, Southern Thailand. In: Proceeding of the International Symposia on Geoscience
Resource and Environments of Asian Terranes (GREAT 2008), Bangkok, pp 122-125.

Garson, M.S., Mitchell, A.H., 1970. Transform faulting in the Thai Peninsula. Nature 22, 45-47

Kaewmuangmoon S.,Thipyopass S., Kosuwan S., Daorerk V., and Charusiri P., 2008.
Investigations on Tectonic Geomorphology along the Khlong Marui Fault, Kao Phanom
area, Southern Thailand: Application of ArcGIS Approach, , Proceedings of the
International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes

- (GREAT 2008), 4th IGCP 516, and 5th APSEG; November 24-26, 2008, Bangkok, Thailand.
- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., 1999, Multi-channel analysis of surface waves, *Geophysics*, 64 (3), 800-808.
- Pratt, T.L., Dolan, J.F., Odum, J.K., Stephenson, W.J., Williams, R.A., and Templeton, M.E., 1998, Multiscale seismic imaging of active fault zones for hazard assessment: A case study of the Santa Monica fault zones, Los Angeles, California, *Geophysics*, 63, 479-489.
- Ravens, J. 2007. *Globe Claritas, Seismic Processing Software Manual-Part 1*. 5th edition. 250 pp.
- Saetang, K., Yordkayhun, S., and Wattanasen, K., 2014. Detection of hidden faults beneath Khlong Marui Fault Zone using seismic reflection and 2-D electrical imaging: *ScienceAsia*, 40 436-443
- Sheriff, R.E. and Geldart, L.P., 1995. *Exploration Seismology*, (2nd ed.). Cambridge University Press, Cambridge, 592 pp.
- Stein, S., and Wysession, M. 2003, *An Introduction to Seismology Earthquakes and Earth Structure*. Blackwell Scientific Publications.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 770 pp.
- Watkinson, I., Elders, C. and Hall, R. 2008. The kinematic history of the Khlong Marui and Ranong Faults, southern Thailand. *Journal of Structural Geology*. 30, 1554–1571.
- Yilmaz, O., 2001. *Seismic data analysis, Volume I & II*. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists. 2027 pp.

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่วิทยานิพนธ์



University of Kebangsaan Malaysia (UKM) and Prince of Songkla University (PSU)



The first Joint Seminar in Science and Technology for ASEAN Community (STAC) 2016 : Better Together

Faculty of Science, PSU, Songkhla, Thailand
during the 1st-2nd of August, 2016



Scientific Session

- Track 1 : Mathematical, Computer and Information Technology
- Track 2 : Chemistry, Polymers, Materials and Physics
- Track 3 : Life Science and Biological Conservation
- Track 4 : Food, Applied Sciences and Technology
- Track 5 : Biomedical Sciences

Special Keynotes



Prof. Dr. Vatcharin Rukachaisirikul
Department of Chemistry, Faculty of Science, PSU
2015 NSTDA Chair Professor and
2015 National Outstanding Researcher Award
Title: Fungal secondary metabolites: chemistry and bioactivity



Asst. Prof. Dr. Ekksit Kumarnsit
Department of Physiology, Faculty of Science, PSU
Title: Application of algorithm for early detection of dementia biomarkers



Prof. Dr. Sheila Nathan
School of Biosciences and Biotechnology
Universiti Kebangsaan Malaysia
Title: Burkholderia pseudomallei and melioidosis: Where are we now?

Registration Dates : March 01, 2016 - April 30, 2016
Submission Dates
Abstract submission opens : March 14, 2016
Abstract submission deadline : April 30, 2016
Notification of abstract acceptance : May 15, 2016
Proceeding submission deadline : May 31, 2016
Notification of proceeding acceptance : June 15, 2016

Contact Us
Faculty of Science, Prince of Songkla University
15 Karnjanavanich Rd., Hat Yai, Songkhla 90110
Tel: +66 7428 8008 Fax: +66 7444 6657
sci-inter@group.ac.th

<http://stac2016.sci.psu.ac.th>

T2-O23

Shear wave velocity of the shallow subsurface at the Khlong Marui Fault Zone, southern Thailand

Preeya Sreesuwan^{1,2}, Sawasdee Yordkayhun^{1,2*}

¹Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112, Thailand

²Geophysics Research Center, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112, Thailand

*e-mail: sawasdee.y@psu.ac.th

Abstract:

One of the two major active strike-slip faults running across Thai Peninsula is Khlong Marui Fault Zone (KMFZ). The related seismic hazard and risk are the main concern in the area, especially where the surface evidences of faults are not obvious. Seismic reflection profiles acquired in Khiriratnikhom District, Surat Thani Province revealed a sedimentary sequence of subsurface at the upper 250 meters depth. However, data acquisition and processing have degraded the shallow subsurface information. To fill this information gap, shear wave velocity (V_s) profiles obtained from multichannel analysis of surface waves (MASW) techniques are combined in this study. The same dataset were used for extracting the dispersion characteristics and 2D V_s model construction. The results show lateral and vertical variations in shear wave velocities, corresponding to the fault signature at near surface. The results also show evidence of the fault strike that correlate with a previous geomagnetic interpretation.

1. Introduction

Khlong Marui Fault Zone (KMFZ) is an active strike-slip fault that cuts across Peninsula Thailand from Phuket Island in the southwest towards Surat Thani Province in the northeast [1]. Although there are indications of tectonic activity associated with the KMFZ, the challenge is that fault characterization based on geological information and surface evidence is somewhat difficult where the surface expressions are not obvious. Geophysical investigation is generally applied to assist the fault detection [2]. In this study, reflection seismic methods have been carried out along survey lines perpendicular to the trend of the fault strike. However, data acquisition and processing have degraded the shallow subsurface information. Therefore, additional seismic analysis based on shear wave velocity (V_s) is emphasized in this study.

Multichannel analysis of surface wave (MASW) method was applied to determine shear wave velocity of the shallow subsurface at the KMFZ passing through Khiriratnikhom district, Surat Thani Province. The main objective of this survey is to locate and

characterize the geological structure associated with the fault zone.

2. Experimental Section

2.1 Methodology

MASW is a non-invasive seismic method of evaluating the elastic condition (stiffness) of the ground for earthquake and geotechnical engineering purposes [3]. The concept is to analyze the dispersion characteristics of surface waves in order to establish a V_s model corresponding to the geological structures beneath the study area. For seismic wave propagation in an elastic medium V_s is given by equation 1:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (1)$$

Where μ is the shear modulus and ρ is the density of the medium.

2.2 Data acquisition

Three seismic reflection surveys KR1, KR2 and KR3 were carried out along survey lines running northwest to southeast for approximately 2-3 km in Khiriratnikhom district, Surat Thani province (Figure 1). The field configuration of MASW is presented in Figure 2. The data were recorded with a 24-channel Geometric SmartSeis seismic recorder using sampling interval and record length of 0.5 ms and 1024 ms, respectively. Twenty four vertical geophones of natural frequency 14 Hz were used to receive the wave fields generated by the active source: a 5 kg sledgehammer. The source was placed 30 m away from the first geophone and source spacing was set at 5 m intervals. Data acquisition parameters of the seismic profile are summarized in Table 1.

2.3 Data processing

The acquired data were processed using SurfSeis software version 4 developed by Kansas Geological Survey (KGS). The

processing steps of MASW data are shown in Figure 3. The processing started with the conversion of SEG2 format raw data to software input format. Then field geometry was assigned and high cut filtering was applied to remove high frequency reflection and ambient noise. Each shot record was transformed from the time-space (t-x) domain into the frequency-phase velocity (f-v) domain using the Fourier Transform technique in order to estimate a specific dispersion curve. 1D shear wave velocity profile was estimated from the dispersion curve of each shot record using an iterative inversion method. Finally, a 2D V_s profile was constructed through an appropriate interpolation scheme by placing each 1D V_s profile at a surface location corresponding to the middle of the receiver line. Processing steps of MASW are summarized in Table 2.

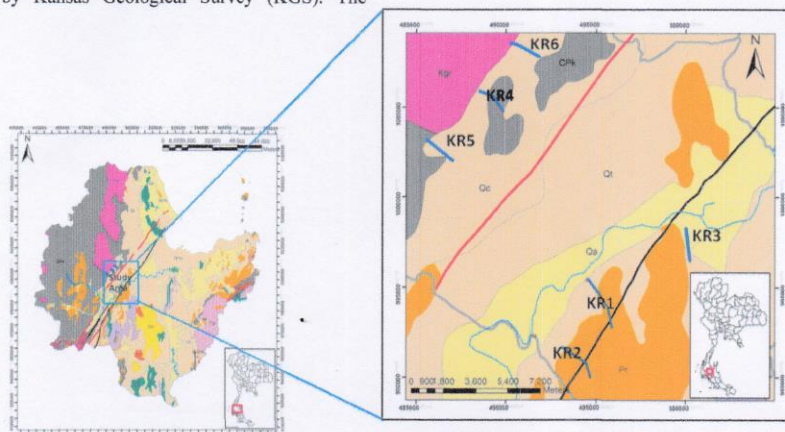


Figure 1. Geological map of the study area showing seismic survey lines. Red and black lines marked the proposed fault zones from previous work[4].

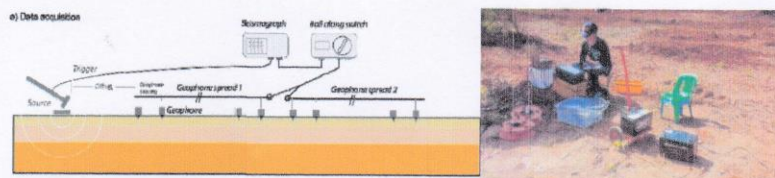


Figure 2. Data acquisition of seismic survey.

Table 1. Data acquisition parameter.

Parameters	Detail
Recording system	Geometrics SmartSeis
Source	5 kg sledgehammer
Receiver	14 Hz vertical
Number of channel	24
Shot spacing	5 m
Geophone spacing	5 m
Offset	30 m
Sampling interval	0.5 ms
Record length	1024 ms

Table 2. Processing steps of MASW.

Step	Detail
1	Data import
2	Assign geometry
3	Editing
4	High cut filtering
5	Dispersion analysis
6	Inversion

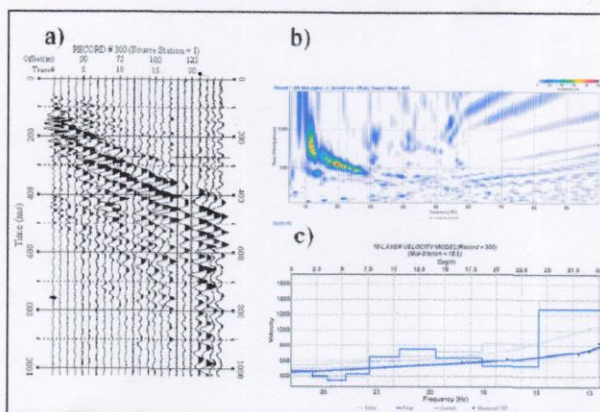


Figure 3. MASW data processing steps a) raw shot record in time domain b) dispersion curve, and c) creating 1D shear wave velocity profile by inversion method.

3. Results & Discussions

Vs distribution obtained from MASW analysis of KR1, KR2 and KR3 seismic profiles are illustrated in Figure 4. The geological structures at the upper 40 m depth can be classified as 2 layers. The first layer is characterized by low velocities of 200-600 m/s with a thickness of about 20 m. This layer is interpreted to be a Quaternary sediment cover of clay, sand and gravel. This layer appears to dip downwards from NW to SE. The deeper layer that is characterized by a velocity higher than 700 m/s may correspond to a consolidated sedimentary layer and/or a limestone layer. Evidence of shallow fractured limestone can be seen in the available borehole near the seismic profiles. It is interesting to note that there is a strong lateral velocity variation at 1400 m on KR1 cross section. This observation indicates the appearance of a near surface hidden fault in the area.

4. Conclusions

To characterize the subsurface structures associated with the KMFZ, MASW analysis of three seismic profiles were acquired in Khiriratnikhom district, Surat Thani province. Based on visualising the Vs distribution, the main finding is that the shallow subsurface can be classified as 2 sedimentary units of consolidated sediments or a limestone unit overlain by unconsolidated sediments. An abrupt change in Vs in the shallow subsurface is evidence of buried faults

beneath the seismic profiles. This supports the putative fault strike that has been proposed from airborne geophysical data. This study will allow better understanding and assessment of the seismic hazard in the area.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Graduate School at Prince of Songkla University for grant support. The Department of Physics, the Geophysics Research Center, and the Faculty of Science are thanked for the use of equipment. Many thanks are owed to the undergraduate and graduate students who helped during the field work.

References

1. Watkinson, I.; Elders, C.; Hall, R. *Journal of Structural Geology* **2008**, 30, 1554–1571.
2. Ergina, M.; Ozalaybey, S.; Aktara, M. Yalc, M.N. *Tectonophysics* **2004**, 391, 335–346.
3. Park, C.B.; Miller, R.D.; Xia, J. *Geophysics* **1999**, 64, 800–808.
4. Bhongsuwan, T.; Durrast, H.; Yordkayhun, S.; Nuannin, P.; Wattanasen, K.; Changkien, S.; Vichaidith T. report in *Thai* **2012**, 239p.

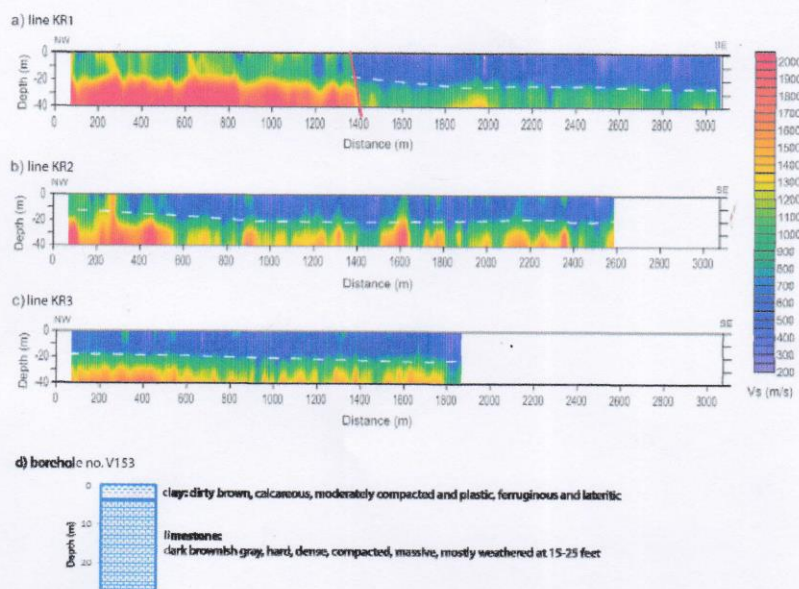


Figure 4. Vs cross section of seismic survey lines (a-c). Dash line marked the boundary between 2 sedimentary layers. An available borehole information (d).



Chiang Mai J. Sci. 2016; 43(6) : 1279-1291
<http://epg.science.cmu.ac.th/ejournal/>
Contributed Paper

Characterization of Khlong Marui Fault Zone Using Seismic Reflection and Shear-wave Velocity Profiles: Case Study in Khiriratnikhom District, Surat Thani Province, Southern Thailand

Sawasdee Yordkayhun* [a, b], Preeya Sreesuwan [a, b], Kamhaeng Wattanasen [a, b]

[a] Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112, Thailand.

[b] Geophysics Research Center, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112, Thailand.

* Author for correspondence; e-mail: sawasdee.y@psu.ac.th

Received: 29 February 2016

Accepted: 8 July 2016

ABSTRACT

Detailed fault mapping and characterization are important for seismic hazard assessment. The Khlong Marui Fault Zone (KMFZ) is a major active strike-slip fault system in southern Thailand. It extends in a southwest-northeast direction from Phuket towards Surat Thani province. Although the general fault system can be identified from surface observations, investigation of the fault zone in Surat Thani province is challenging because the surface expression is not obvious and thick sediments cover the area. Therefore, shallow seismic reflection profiles were acquired in the Khiriratnikhom district, Surat Thani province. The aims of this study were to characterize the subsurface geological structures in the vicinity of the fault zone. For the seismic data analysis, conventional data processing such as data editing, static correction and frequency filtering are effective in enhancing signal to noise ratio of stacked section. However, detailed geological information at shallow levels in the subsurface are not well imaged due to the effects of data acquisition and processing. To address this limitation, seismic reflection and shear wave velocity (V_s) profiles were obtained from multichannel analysis of surface waves (MASW) and are jointly interpreted. The results show a sequence of subsurface boundaries extending from the surface to a depth of about 250 m. The variations in seismic velocities and vertical offset of the main horizon are the fault signature observed on seismic sections and in the shear wave velocity fields. The results coincide well with the fault strike obtained from a previous geophysical interpretation. This finding suggests the possibility of ongoing activity of the KMFZ.

Keywords: seismic reflection, shear wave velocity, MASW, Khlong Marui fault zone, Surat Thani

1. INTRODUCTION

During the past decade, increasing earthquakes has been recorded, especially in damage and loss of lives associated with and around urban areas and in vicinity of

weak zones within major fault systems [1, 2]. Even if the earthquake epicenter is far away from the area, the geological characteristics beneath the fault zone can play an important role in seismic wave amplification [3]. Therefore, availability of subsurface geologic information is critical for long-term seismic hazard assessments and for future development plans in the region. Generally, geophysical investigations using seismic reflection survey have been applied to image subsurface geological structures, especially to detect and characterize the hidden faults under the fault zone [4, 5, 6].

Tectonically, Thailand is considered to be a low seismicity region since it is far away from plate boundaries. However, historical and instrumental studies have recorded a number of moderate earthquake events since 1950 and most have occurred along known fault zones [7, 8, 9, 10]. About 14 fault zones in Thailand have been identified as active faults and two of these fault zones are situated in southern Thailand: the Ranong Fault Zone (RFZ) and the Khlong Marui Fault Zone (KMFZ) [11]. The KMFZ was the main target for the integrated geophysical study of this fault zone project, which was initiated in 2011. Evidence, previously gathered from geological and geophysical data at a pilot study performed in the Vibhavadee district, Surat Thani province [12], suggests that there are a number of buried faults existing along the proposed fault segments. However, no clear evidence of the major fault zone were observed in the pilot study. As a part of the project, the regional trend of fault strike identified from remote sensing, seismic reflection, airborne radiometric and geomagnetic data [13] revealed that the

KMFZ may pass through Surat Thani province from Phanom, Bantakun, Khiriratnikhom, Punpin and Thachang district to the Gulf of Thailand (Figure 1). Although there is evidence of tectonic activity associated with the KMFZ, the geological structure and characteristics of the fault zone are still unclear. Therefore, an extensive study of fault characterizations beneath the variable thickness Quaternary sediment is incorporated into the recent study. Six seismic reflection profiles, of about 2-3 km each, were surveyed roughly perpendicular to the fault strike in the Khiriratnikhom district, Surat Thani province. Among them, 3 lines were used to confirm the existence of a fault segment that has been outlined by the Department of Mineral Resources (DMR) and the other 3 lines were used to detect and characterize sections of the fault zone that have been identified by previous geophysical data [13]. Although seismic reflection methods provide an image of subsurface geological structures, their shallow information is often inadequate due to the effect of acquisition geometry and data processing. Thus, shear wave velocity (V_s) profiles derived from the MASW methods were partly combined for gaining near surface information. The advantages of the MASW methods are that they provide superior resolution to P-wave methods in soft soil and take into account any velocity inversion [14, 15]. In this study, after briefly describing the geology at the study sites, we explain how data were acquired and processed. Results and interpretation of the seismic sections and V_s profiles at all survey lines will be illustrated.

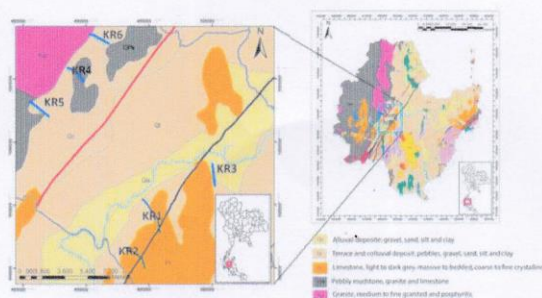


Figure 1. Geological map showing KMFZ distributions and the study area. Zooming panel shows 6 survey lines (KR1-KR6). Red line marked the KMFZ proposed by DMR and black line marked the KMFZ proposed by previous geophysical data.

2. GEOLOGICAL SETTING

Since the end of Mesozoic era, tectonic movements in conjunction with collisions of Indo-Australian, Eurasian and West Pacific plates formed the structurally complex areas, such as Gulf of Thailand and Andaman Sea [16, 17]. After the completion of clockwise rotations of crustal blocks, the KMFZ was developed [18]. The KMFZ is considered to be an active strike-slip fault that cuts across Peninsula Thailand from Phuket Island in the southwest towards Surat Thani Province in the northeast (Figure 1). The strike of the fault zone can be traced for a distance exceeding 150 km and 10 km width, and comprised of about 10 segments [19, 20].

Khيراتnikhom district lies in the central part of Surat Thani province where the Tapee River runs in a NE-SW direction and is surrounded by N-S trending mountainous ranges (Figure 1). The basement is represented by rocks of Carboniferous-Permian period found in western mountain areas, composed of limestone, mudstone, shale, sandstone and siltstone. Permian limestone occurs in the middle part and

contain Permian fossils. The siltstones are yellow-brown in color, thinly bedded and contain carbonaceous layers. Triassic-Jurassic sedimentary rocks and Triassic-Cretaceous sedimentary rocks are distributed in the southern region. Both sedimentary rock units are composed of sandstone, siltstone, limestone lenses, and conglomerate. In the northern part, Triassic-Jurassic granitic rocks are dominated by batholiths and plutons. A Quaternary sedimentary basin formed in the vicinity of the main river. This sedimentary fill is represented by fluvial (Qa) and terrace (Qt) deposit [21]. The terrace deposits (Qt) consists mainly of gravel, clay, and coarse grain and poorly sorted of sand layers. The fluvial deposit (Qa) are composed of an alternating sequence of silty clay and sand layers.

3. MATERIALS AND METHODS

3.1 Theoretical Background

Reflection seismology can determine possible changes in subsurface elastic properties by measuring the two-way travel time of seismic waves propagated from a surface seismic source into the subsurface

and reflected back to the surface. At the interface between layers with contrasting acoustic impedance, the reflection signal is governed by Zoeppritz equation [22] and at normal incident it is simply described by the reflection coefficient (R).

$$R = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} \quad (1)$$

Where ρ_1 and ρ_2 are the density of medium 1 and medium 2, while V_1 and V_2 are the wave velocity of medium 1 and medium 2, respectively.

Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) is a non-intrusive, fast and cost-effective geophysical method recently developed for V_s determination and increasingly used in earthquake and geotechnical engineering studies [23]. The MASW method utilizes dispersion characteristic of Rayleigh waves (ground roll) as the crucial property to estimate the shear wave velocities. Ground roll are often observed in the conventional seismic reflection/refraction data, especially when low natural-frequency geophones are used. Consequently, the same dataset can be analysed for seismic reflection and MASW methods. The propagation velocity of shear wave in an elastic medium is given by equation 2 [22]:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

Where μ is shear modulus and ρ is density of the medium. Dynamic elastic properties of soil including shear modulus derived from seismic velocities and density are importance for site investigation and construction purposes.

3.2 Data Acquisitions

Six seismic reflection survey lines namely KR1 to KR6 were acquired in a

northwest to southeast direction and roughly perpendicular to the two proposed fault segments associated with the KMFZ (Figure 1). The total lengths of the survey lines range from approximately 2-3 km. As mentioned earlier, survey lines KR1, KR2 and KR3 were used to detect the fault zone proposed by previous geophysical studies, whereas KR4, KR5 and KR6 were used to verify the fault location proposed by DMR. The field surveys were difficult because of limited access to some areas, such as in the vicinity of the Tapee River and the urban area. In particular, we were not able to acquire data across the proposed fault by DMR and the south-eastern part of the survey lines was skipped. Therefore, survey lines were selected along the agricultural roads and relatively flat topography to avoid the extremely noisy conditions from traffic and the urbanized region. Off-end source/receiver geometry was used in conjunction with 24 geophones at 5 m spacing (Figure 2a and 2c). The natural frequency of the vertical geophones used is 14 Hz. A walkaway noise test performed in the area reveals that a 30 m minimum offset appear to be optimum recording window. For the seismic source, 10-15 hits of 5 kg sledgehammer on steel plate provided sufficient signal-to-noise ratio of seismic energy. Source spacing was set at 5 m intervals, providing 12 folds coverage every 2.5 m CMP in the subsurface using roll along movement. The data were recorded by a 24-channel Geometric SmartSeis seismograph using a record length and sampling interval of 1024 ms and 0.5 ms, respectively. Recording such a long seismic trace allows us to extract the V_s profile by analysis of the surface waves (Figure 2b). Recording parameters of the seismic profile are shown in Table 1.

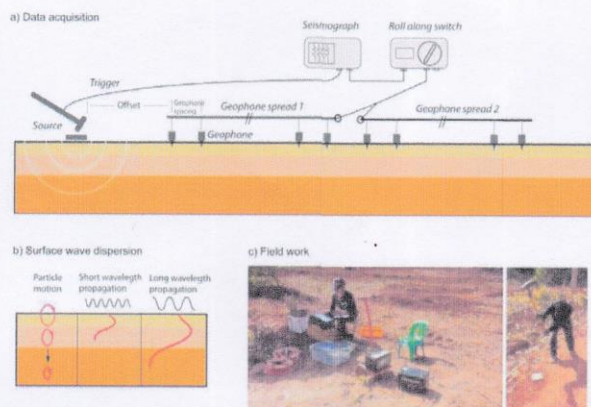


Figure 2. a) Details of data acquisition geometry and parameters. b) Surface wave characteristics and dispersion. c) Field surveys.

Table 1. Data recording information.

Recording parameters	Details
Recording system	Geometric SmartSeis
Source	5 kg Sledgehammer
Geophones	Vertical, 14 Hz
Short interval	5 m
Receiver interval	5 m
Offset	30 m
Channels	24, off-end
Sampling interval	0.5 ms
Record length	1.024 s

3.3 Data Processing

Seismic reflection data processing was performed using the Globe Claritas Version 5.5 software [24]. The processing flow applied to the seismic data is summarized in Table 2. Converting raw data from SEG2 to SEG Y format is done as pre-processing step. An example of raw shot gathers is shown in Figure 3. Clear reflector events can be seen in the upper part while a low

signal-to-noise ratio due to the contamination of ground roll is observed in the lower part. The field geometry files were edited and assigned into the raw data followed by routine editing of the dead and noisy traces. Refraction static corrections were applied to the data to compensate the effect of near-surface low velocity layer [25]. Automatic gain control (AGC) with 150 ms sliding time window was applied to balance the trace. By inspection of the power spectra (Figure 3), the low frequency band from 15 to 40 Hz represents the low frequency and strong amplitudes of ground roll, while background noise dominates at frequencies higher than 150 Hz. Therefore, band-pass filter of 30-150 Hz appears to enhance the useful signal frequencies as shown in Figure 2b. After CDP sorting, stacking velocities functions in the range from 1000-3000 m/s were picked based on an integrated analysis of constant velocity stack and semblance plots. The velocities were updated twice and used for normal moveout (NMO) correction.

The 70% NMO stretch mute was used to eliminate refraction energy and preserve shallow reflections. The stack sections were produced after stacking is performed for all CDP traces. Finally, the time sections were converted to depth sections using the interval velocity field.

Table 2. Processing steps for seismic reflection data.

Step	Descriptions and Parameters
1. Data import	SEG2 to SEG-Y conversion
2. Setup of filed geometry	Assign input shot locations and receiver locations into headers
3. Editing	Kill bad traces and fix polarity reversals
4. Elevation statics and Refraction statics (Field statics)	Calculate static corrections based on near surface models and elevations
5. Band-pass filtering	Minimum phase Butterworth filtering f = 15, 30, 150, 240 Hz, Design amplitude = 0,1,1,0
6. Automatic gain control (AGC)	Adjust amplitude using 150ms sliding window
7. CMP sorting	Sort data by common midpoint number
8. Velocity analysis	Integrate analysis of constant stacked velocity panels and semblance plots
9. Normal moveout (NMO)	Apply stacking velocity function including 70% stretch mute
10. Stack	
11. Time to depth conversion	Convert to depth section using interval velocity

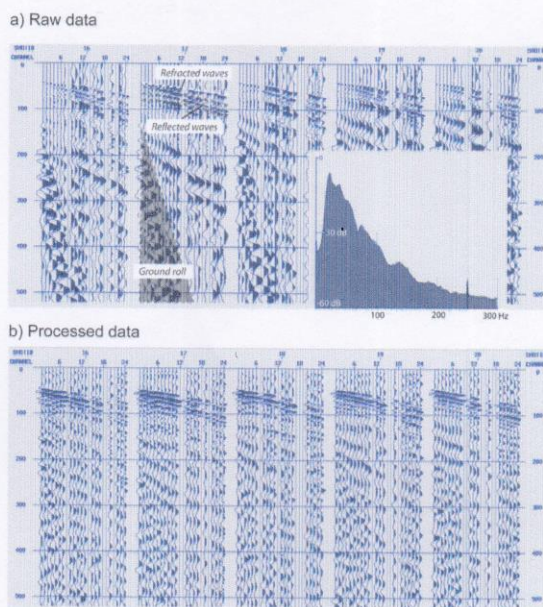


Figure 3. Example of shot gather showing (a) raw data and their power spectra, (b) the results after some processing steps were applied, including editing, static corrections, filtering and AGC.

For the MASW method, data were processed using the SurfSeis version 3 software developed by the Kansas Geological Survey, USA. The processing utilized an iterative inversion method to convert the picked dispersion curve into a 1D S-wave velocity model. First, the SEG2 format, raw data were converted to the software input format. Then, noisy traces were removed and high cut filtering was applied to remove high frequency reflection energy and ambient noise. A shot gather in time-space ($t-x$) domain was transformed into the phase velocity-frequency ($f-v$) domain using a 2D transformation (Figure 4). Dispersion curves

were extracted by picking the phase velocity at different frequency values. By setting up an initial model based on a dispersion curve and adjusting the model parameter (V_s) with the objective of minimizing the error between the calculated and picked dispersion curve, a 1D velocity model placed at the center of the geophone spread is archived (Figure 4). To account for the non-uniqueness of the solution found in the inversion process, the optimum models were selected based on tracking RMS error and considering geological information. Finally, 1D V_s profiles were interpolated along the survey line to generate a 2D V_s section.

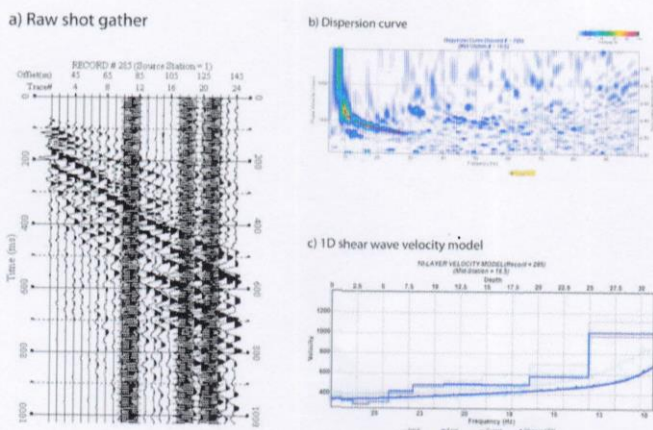


Figure 4. Example of raw shot gather (a), picked dispersion curve (b) and 1D V_s model from MASW analysis (c).

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

The results are interpreted based on integration of the seismic sections, 2D V_s sections, geology and lithology information from available shallow boreholes near the area. The lack of deep boreholes and the low resolution of previous geophysical studies have made structural interpretation difficult. In this study, the estimated vertical resolution for the seismic section is about 8 m based on the one-quarter wavelength criteria and using the 60 Hz dominant frequency and average velocity of 2000 m/s. Faulting is indicated based on the coherency loss of some strong continuous reflections, the abrupt change in dip angle of reflections, and presence of diffraction events [22].

Interpreted time sections and depth sections and 2D V_s sections for KR1-KR3 survey lines are illustrated in Figure 5 and 6. The first coherent horizon in the seismic sections is observed at approximately 30-100 m depth, and it appears to be

down-dipping from northwest toward southeast (marked as yellow solid line in Figure 5). This is probably the base of Quaternary sediments or transition zone between Quaternary and Permian unit. The structural setting of this horizon appears to be karst topography. Below this horizon a seismic pattern of discontinuous and variously dipping reflectors is visible to about 250 m depth, corresponding to the highly fractured rocks at the fault zone in the sequences of Permian limestone unit (Figure 5 and 6). Clear evidence of limestone can be seen in the borehole, mountain and outcrop near the survey lines (Figure 7). The fault plane appears on the seismic section as a normal fault in certain area that dips to the east and west with steep angle of about 70-90 degrees. Relatively small vertical offset observed in some part of the main horizon may characterize the strike-slip faults deform with small amounts of transtension, whereas 30-50 m vertical offset is interpreted to

represent the fault throw of major fault system. In addition, one of the main criteria used in identifying strike-slip faults in seismic sections are complex flower structures [26]. This feature is characterized by fan-like, rather steep faults converge at depth into a single and sub-vertical fault. Although the seismic energy was limited and the deeper faults were not imaged in the sections, evidences of partly flower structures in line KR1-KR3 (Figure 5) may indicate the strike-slip movement. This observation confirmed the fault strike derived

from previous geomagnetic interpretation [12] and indicates that tectonic activity along the fault zone may be complicated. The location of the fault plane is also coincident with the abrupt change in the shallow Vs field (Figure 6). This suggests that faults possibly affect the shallow subsurface in this area. By visual inspection of the Vs fields, the internal structures of Quaternary unit itself can be divided into 2 layers, where the cover layer is characterized by low velocity of about 200-500 m/s with 10-20 m thickness.

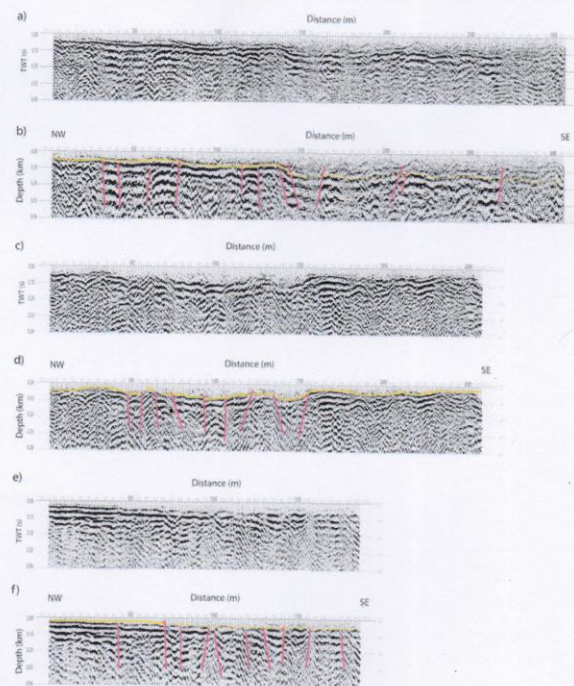


Figure 5. Time sections and depth sections with interpretation of survey line KR1 (a and b), KR2 (c and d), and KR3 (e and f), respectively. Main horizon is marked as yellow line, while possible fault is marked as red line.

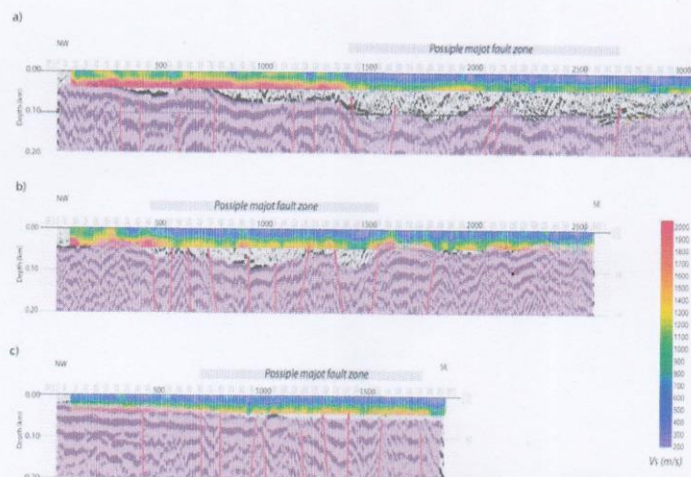


Figure 6. Zooming panel for the depth sections of survey line KR1 (a), KR2 (b) and KR3 (c), overlain by their Vs sections. Note that the depth sections are displayed with vertical exaggeration of 2.

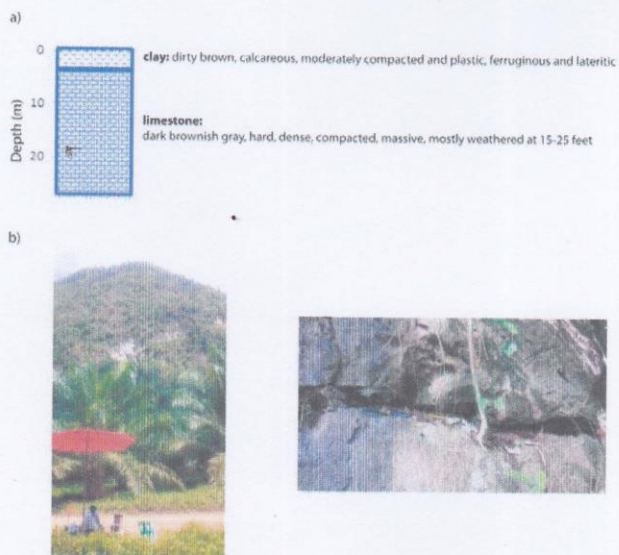


Figure 7. (a) An available borehole information near the survey lines. (b) Limestone mountain and fractured outcrop near the survey lines.

In the northern Khiriratnikhom district, there is a clear flat horizon that follows most of the KR4-KR6 survey lines at about 20-30 m depth which could be consistent with the top of Carboniferous-Permian units. One of the main uncertainties in the structural interpretation is that there is no clear evidence of buried fault associated

with major fault zone observed beneath these survey lines (Figure 8). However, it is interesting to note that a prominent undulation in the main horizon is clearly seen in the middle of KR6 survey line. Based on geology and available boreholes, this event could potentially be a granite intrusion in the area.

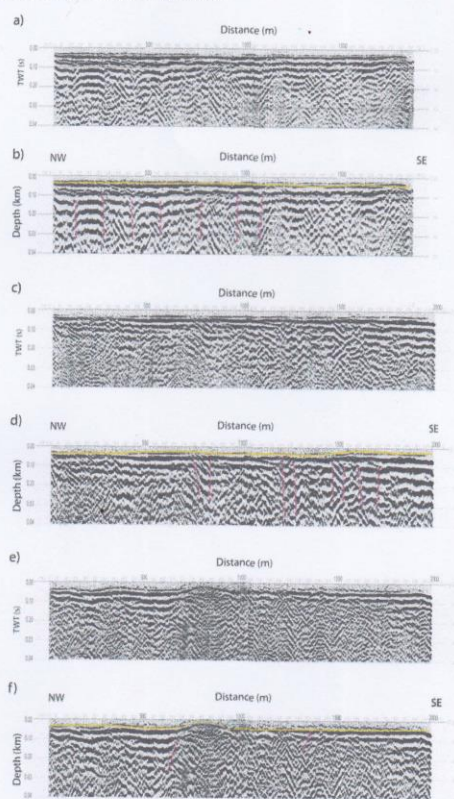


Figure 8. Time sections and depth sections with interpretation of survey line KR4 (a and b), KR5 (c and d), and KR6 (e and f), respectively. Main horizon is marked as yellow line, while possible fault is marked as red line.

5. CONCLUSIONS

A total of six seismic reflection profiles were acquired in Khiriratnikhom district, Surat Thani province with the aim of characterizing the subsurface associated with the KMFZ. The main finding can be drawn based on integrated analyses of the seismic reflection and Vs sections obtained from the MASW methods. A small discrete offset of the main horizon, weak and terminated reflection as well as abrupt changes in Vs in the shallow subsurface are evidence for the buried faults beneath the three seismic profiles. This agrees with the fault strike that has been proposed by previous geophysical data. However, no clear evidence of the fault is visible in the other three seismic reflection profiles located in the northern part of the study area. Apart from fault zone, granitic rock may extrude to the near surface in this region. This study together with the information from trenching, earthquake and tectonic information will allow better understanding the seismic hazard assessment of the area.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the government budget of Prince of Songkla University, contract no. SCI580324S. Also, acknowledge to the software and research facilities support from Geophysics Research Center, Prince of Songkla University (PSU). Seismic equipment was supported by the International Program in Physical Science (IPPS), Uppsala University, Sweden. Field work crews from Department of Physics, PSU are thanked for their working hard in data acquisition.

REFERENCES

- [1] Geist E.L., Titov V.V., Arcas D., Pollitz F.F. and Bilek S.L., *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 2007; **97**: S249-S270.
- [2] Incorporated Research Institutions for Seismology, IRIS Earthquake Browser. Available at: <http://www.iris.edu/dms/nodes/dmc/data/types/events/>
- [3] Ergina M., Ozalaybey S., Aktara M. and Yalc M.N., *Tectonophysics*, 2004; **391**: 335-346.
- [4] Shtivelman V., Frieslander U., Zilberman E. and Amit R., *Geophys.*, 1998; **15**: 1257-1264.
- [5] Odum K.J., Stephenson W.J., Williams R.A., Worley D.M., Guccione M.J. and Arsdale R.B.V., *Eng. Geol.*, 2001; **62**: 91-103.
- [6] Carvalho J., Rabeh T., Carrilho F., Cabral J. and Miranda M., *Geophys. J. Int.*, 2008; **174**: 567-584.
- [7] Dangmuan S., *Seismic Study of Southern Thailand after the 26 December 2007 Sumatra Andaman Earthquake*, MSc Thesis, Prince of Songkla University, 2008.
- [8] Pisapak P., Durrast H. and Bhongsuwan T., *Kasetsart J. (Natural Science)*, 2010; **44**: 1079-1093.
- [9] Sutiwanich C., Hanpattanapanich T., Pailoplee S. and Charusiri P., *Songklanakarinn J. Sci. Technol.*, 2012; **34**: 453-466.
- [10] Nuannin P., Kulhanek O. and Persson L., *J. Asian Earth Sci.*, 2012; **61**: 237-242.
- [11] Department of Mineral Resources, Active Fault Zones in Thailand. Available at: http://www.dmr.go.th/main.php?filename=fault_En
- [12] Saetang K., Yordkayhun S. and Wattanasen K., *ScienceAsia*, 2014; **40**: 436-443.
- [13] Bhongsuwan T., Durrast H., Yordkayhun S., Nuannin P., Wattanasen K., Changkien S. and Vichaidith T., *Integrated Geophysics*

- Study of the Fault Zone*, report, 2012; 239.
- [14] Xia J., Miller R.D. and Park C.B., *Geophys.*, 1999; **64**: 691-700.
- [15] Yordkayhun S., Sujitapan C. and Chalermyanont T., *J. Geophys. Eng.*, 2015; **12**: 57-69.
- [16] Bunopas S. and Vella P., *Proceeding of the Workshop on Stratigraphic Correlation of Thailand and Malaysia*, Hat Yai, Thailand, 1983; 307-323.
- [17] Charusiri P., Daorerk V., Archibald D., Hisada K. and Ampaiwan T., *J. Geol. Soc. Thailand*, 2002; **1**: 1-20.
- [18] Morley C.K., *J. Geol. Soc. London*, 2004; **161**: 799-812.
- [19] Watkinson I., Elders C. and Hall R., *J. Struct. Geol.*, 2008; **30**: 1554-1571.
- [20] Kanjanapayont P., Grasemann B. and Edwards M., *Proceedings of the International Symposium on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes (GREAT 2008)*, Bangkok, Thailand, 2008; 116-121.
- [21] Department of Mineral Resources, *Digital Geological Map of Thailand 1:250000*, Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand, 1985.
- [22] Sheriff R.E. and Geldart L.P., *Exploration Seismology*, 2nd Edn., Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- [23] Park C.B., Miller R.D. and Xia J., *Geophysics*, 1999; **64**: 800-808.
- [24] Ravens J., *5th Globe Claritys, Seismic Processing Software Manual-Part1*, GNS Science, New Zealand, 2007.
- [25] Yilmaz O., *Seismic Data Analysis*. Society of Exploration Geophysicists, 2000: 2027.
- [26] Harding T.P., *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 1985; **69**: 582-600.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล ปรีชา ศรีสุวรรณ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5610220048

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2555

ทุนการศึกษา

ทุนโครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย) ปีการศึกษา 2556

ทุนอุดหนุนเพื่อวิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย ปีการศึกษา 2557

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Sreesuwan, P., Yordkayhun, S., 2016. Shear wave velocity of the shallow subsurface at the Khlong Marui Fault Zone, southern Thailand, The first Joint Seminar in Science and Technology for ASEAN Community (STAC), pp. 95-99.

Yordkayhun, S., Sreesuwan, P., Wattanasen, K., 2016. Characterization of Khlong Marui Fault Zone Using Seismic Reflection and Shear-wave Velocity Profiles: Case Study in Khiriratnikhom District, Surat Thani Province, Southern Thailand, Chiang Mai Journal of Science, 43(6). 1279-1291.