บทที่ 2

วิธีการวิจัย

การทำวิจัยเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ของการเกิดแผ่นดินไหวในทะเลอันดามัน มีวิธีดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1. การบันทึกข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว
2. การปรับแก้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว
3. การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว

โดยมีอุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

2.1 อุปกรณ์

1. เครื่องตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว ชนิด short period (1 Hz) 3 ทิศทาง (Mark product L4-3D Seismometer) แสดงดังภาพประกอบ 2.1

ภาพประกอบ 2.1 Mark product L4-3D Seismometer

2. เครื่องบันทึกคลื่นแผ่นดินไหวแบบพกพา (Orion portable seismograph) แสดงดังภาพประกอบ 2.2

ภาพประกอบ 2.2 Orion portable seismograph (ที่มา: nanometrics)

3. ฮาร์ดดิส่ก์เก็บข้อมูล (Orion data cartridge) แสดงดังภาพประกอบ 2.3

ภาพประกอบ 2.3 ฮาร์ดดิส่ก์เก็บข้อมูล (Orion data cartridge)

4. เสาอากาศพิกัดภูมิศาสตร์ (GPS antenna) แสดงดังภาพประกอบ 2.4

ภาพประกอบ 2.4 เสาอากาศพิกัดภูมิศาสตร์ (GPS antenna)

5. เครื่องคอมพิวเตอร์พีซี (PC computer)
6. เครื่องคอมพิวเตอร์ซัน (Sun workstation)
7. เครื่องเขียนซีดี (CD writer) และแผ่นซีดีเปล่า (CD-R) สำหรับเก็บบันทึกข้อมูล

2.2 การเก็บบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลผู้ทำการวิจัยได้ดำเนินการติดตั้งชุดการบันทึกคลื่นแผ่นดินไหว ประกอบด้วย เครื่องตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว (Mark product L4-3D Seismometer) และเครื่องบันทึกคลื่นแผ่นดินไหว (Orion portable Seismograph) โดยเครื่องตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว ซึ่งทำการตรวจวัดใน 3 องค์ประกอบ ได้แก่ แนวทิศตะวันออก-ตะวันตก (E-W) แนวทิศเหนือ-ใต้ (N-S) และแนวดิ่ง (Z) และเครื่องบันทึกคลื่นแผ่นดินไหวจะทำการบันทึกแบบตลอดเวลา โดยมีอัตราการชักตัวอย่าง (sampling) เท่ากับ 100 ตัวอย่างต่อวินาที (100 sample/second) ด้วยค่าความละเอียด (resolution) เท่ากับ 24 บิต (24 bits) และในงานวิจัยนี้ได้เริ่มทำการบันทึกข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2545 ณ สถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว จำนวน 2 สถานี ได้แก่

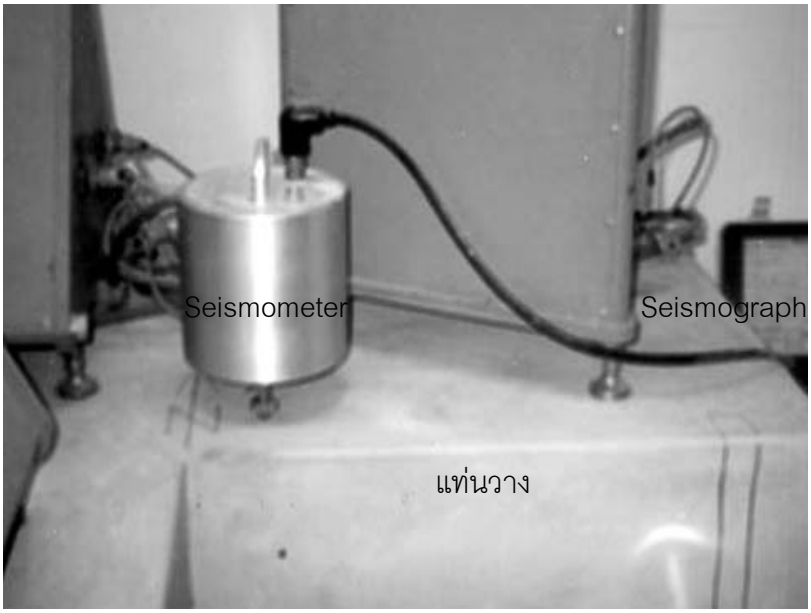
1. สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวสงขลา (SNG)

สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวสงขลาอยู่ที่พิกัดภูมิศาสตร์ที่ ละติจูด 7.18 เหนือ ลองจิจูด 100.62 ตะวันออก โดยทำการติดตั้งชุดการบันทึกคลื่นแผ่นดินไหวในอาคารสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวสงขลา อ.เมือง จ.สงขลา ในสังกัดของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก กรมอุตุนิยมวิทยา แสดงดังภาพประกอบ 2.5

2. สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวภูเก็ต (PKT)

สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวภูเก็ตอยู่ที่พิกัดภูมิศาสตร์ที่ ละติจูด 7.89 เหนือ ลองจิจูด 98.35 ตะวันออก โดยได้ทำการสร้างโรงเรือนไม้ชั่วคราวและแท่นคอนกรีตสำหรับวางเครื่องมือขึ้นเพื่อใช้ทำเป็นสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว ณ บริเวณแฟลตที่พักบุคลากรซึ่งอยู่ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต อ.กระทู้ จ.ภูเก็ต แสดงดังภาพประกอบ 2.6

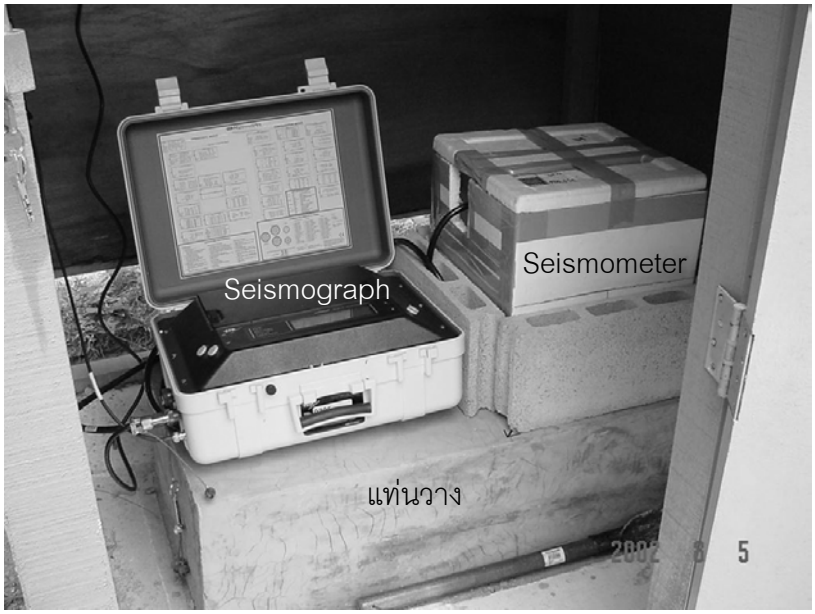
(ก) อาคารสถานีสงขลา



(ข) การติดตั้งเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว

ภาพประกอบ 2.5 สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวสงขลา

(ก) โรงเรือนสถานีภูเก็ต



(ข) การติดตั้งเครื่องบันทึกและตรวจวัดแผ่นดินไหว

ภาพประกอบ 2.6 สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวภูเก็ต*

* รายละเอียดของสถานีภูเก็ต ดูได้ในภาคผนวก ฌ

การบันทึกข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว ด้วยเครื่อง Orion portable seismograph ข้อมูลต่างๆ จะได้ทำการเก็บบันทึกลงใน Orion Data Cartridge ซึ่งมีความจุประมาณ 2 จิกกะไบท์ (2 G-bytes) โดยแยกตามองค์ประกอบ (N, E และ Z) มีความจุองค์ประกอบประมาณ 650 เมกกะไบท์ และในการบันทึกแต่ละครั้งจะสามารถบันทึกข้อมูลได้นานประมาณ 35 วัน ดังนั้นจึงจะต้องทำการเปลี่ยนถ่าย Orion Data Cartridge เป็นประจำทุกเดือน และนำข้อมูลที่บันทึกได้ของแต่ละองค์ประกอบมาบันทึกลงในแผ่นซีดี (CD-R) และนำ Orion Data Cartridge กลับไปใช้งานได้ใหม่

การถ่ายข้อมูลจาก Orion Data Cartridge ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำได้โดยอาศัย SCSI card และสาย SCSI ดังภาพประกอบ 2.7 และเนื่องจากข้อมูลของคลื่นแผ่นดินไหวที่จัดเก็บบันทึกอยู่ใน Orion Data Cartridge เป็นรูปแบบเฉพาะ (X-files) ของเครื่อง Orion ซึ่งไม่ใช่รูปแบบสากลที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงข้อมูลให้มาอยู่ในรูปแบบ seed file โดยการอาศัยโปรแกรม Playback[ข] ที่ได้มาพร้อมกับ Orion portable Seismograph แล้วทำการแปลงต่อให้อยู่ในรูปแบบ SAC files และ ASCII files ต่อไปด้วยโปรแกรม RDSEED[ค] โดยได้มาจากการดาวน์โหลดทางอินเตอร์เนต (http://www.iris.washington.edu) เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAC2000[ง] และ MathLab[จ] ต่อไป

ภาพประกอบ 2.7 การเชื่อมต่อ Data Cartridge กับเครื่องคอมพิวเตอร์ (ที่มา: nanometrics)

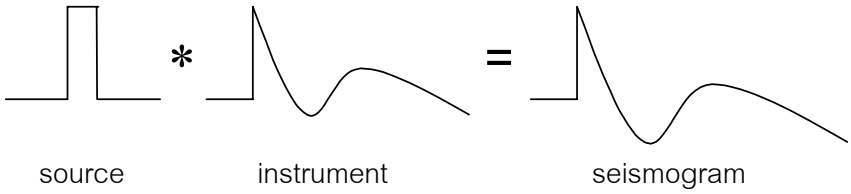
[ข, ค, ง, จ] ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข, ค, ง, และ จ

2.3 การปรับแก้ข้อมูล

ในการบันทึกข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว สัญญาณที่ได้จะเป็นการคอนโวลูชันของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดกับฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องมือ นอกจากนั้นคลื่นแผ่นดินไหวที่เดินทางมาด้วยระยะทางไกลจะมีการลดทอนของสัญญาณเกิดขึ้น ดังนั้นจึงต้องทำการปรับแก้ข้อมูลเพื่อให้ได้สัญญาณของแหล่งกำเนิดเพียงอย่างเดียว โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 การคอนโวลูชันของกราฟคลื่นแผ่นดินไหว (convolution of seismogram)

พิจารณาจากกราฟคลื่นแผ่นดินไหว โดยเป็นการคอนโวลูชัน (convolution) ของสัญญาณแหล่งกำเนิดกับสัญญาณฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องมือ ดังภาพประกอบ 2.8



ภาพประกอบ 2.8 การคอนโวลูชันของกราฟคลื่นแผ่นดินไหว
(ดัดแปลงจาก Stein and Wysession, 2003)

หรือเขียนในรูปของการคอนโวลูชัน จะได้เป็น

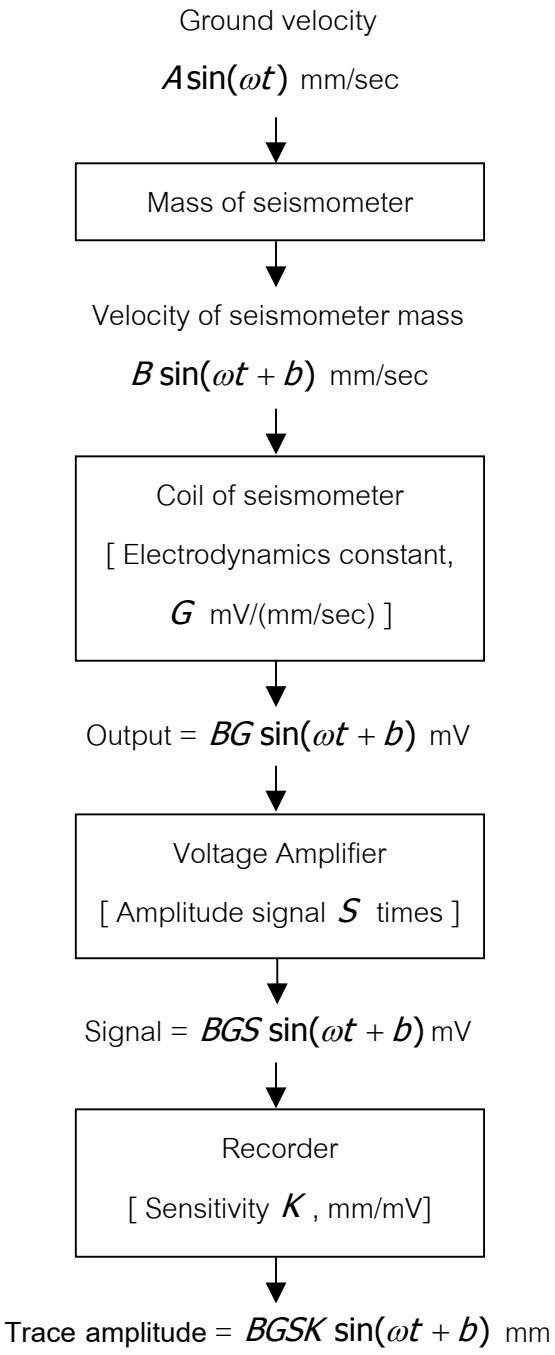
$$X(t) * I(t) = Y(t) \qquad (1)$$

เมื่อ $X(t)$ คือสัญญาณจากแหล่งกำเนิด $I(t)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ของเครื่องมือ และ $Y(t)$ คือกราฟคลื่นแผ่นดินไหว

ดังนั้น ในการหาค่าของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว เราจำเป็นจะต้องทราบค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องมือ ดังนี้

$$X(t) = \frac{Y(t)}{I(t)} \qquad (2)$$

2.3.2 ฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องตรวจวัดและเครื่องบันทึกคลื่นแผ่นดินไหว (Transfer function of seismometer and seismogram)



ภาพประกอบ 2.9 ลำดับขั้นตอนในการบันทึกสัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวแบบอนาล็อก (ที่มา: Bhattacharya, 2000)

ภาพประกอบ 2.9 อธิบายขั้นตอนของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ในการบันทึกคลื่นแผ่นดินไหวแบบอนาล๊อก ซึ่งอัตราส่วนระหว่างขนาดของสัญญาณบันทึก (Trace amplitude) กับความเร็วพื้น (Ground velocity) เขียนสมการได้เป็น

$$[BGSK\sin(\omega t + b)]/[A\sin(\omega t)] = IGSK[\sin(\omega t + b)/\sin(\omega t)] \quad (3)$$

เมื่อ $I = B/A$ โดยที่ S และ K เป็นอัตราการขยายสัญญาณและความไหวของเครื่องบันทึกตามลำดับ และค่าการขยายความเร็ว (Velocity magnification) ได้เป็น

$$\text{Velocity magnification} = IGSK \quad (4)$$

เมื่อ I และ S เป็นฟังก์ชันของความถี่เชิงมุม ω โดย $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ เมื่อ f แทนความถี่ ในหน่วยเป็นเฮิร์ต และ T แทนคาบ ในหน่วยเป็นวินาที และค่า $S(\omega)$ มีค่าคงที่ ในย่านความถี่ต่ำๆประมาณ 50 Hz โดยเหตุที่ G และ K เป็นค่าคงที่ ดังนั้นจะได้ว่า $GSK = C$ ซึ่งเป็นค่าคงที่ และค่าการขยายความเร็วจะได้เป็น

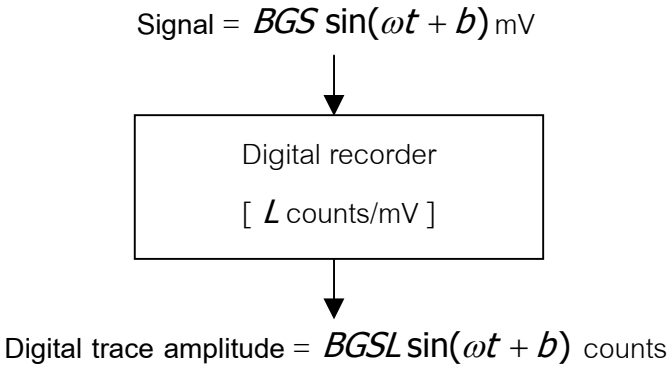
$$\text{Velocity magnification} = CI(\omega) = CI(T) \quad (5)$$

การตอบสนอง (response) ของเครื่องบันทึกคลื่นแผ่นดินไหว สามารถพิจารณาได้จากช่วงไดนามิค (dynamic range) โดยแสดงเป็นดังนี้

$$\text{Dynamic range (db)} = 20\log_{10}(\text{maximum amplitude/resolution}) \quad (6)$$

ตัวอย่าง MEQ800 มีความละเอียด (resolution) ในการวัด เท่ากับ 0.2 มม. และมีค่าแอมพลิจูดสูงสุด (maximum amplitude) เท่ากับ 25 มม. ดังนั้นจะได้ค่า dynamic range เท่ากับ 42 db เป็นต้น

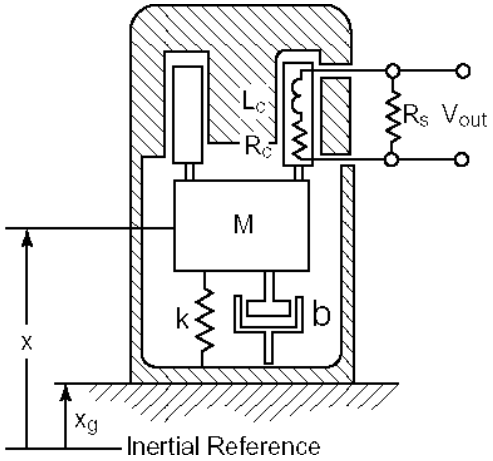
สำหรับการบันทึกในระบบดิจิตอลการส่งผ่านข้อมูลจากภาคขยาย (amplifier) ไปยังเครื่องบันทึกจะเป็นในรูปแบบของสัญญาณการนับดิจิตอล (counts) จากภาพประกอบ 2.9 จากความเร็วพื้นของ $A\sin(\omega t)$ จะให้ค่าออกมาเป็น $BGS\sin(\omega t + b)$ มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ (mV) และถูกส่งไปยังเครื่องบันทึกดิจิตอล ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณจากแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณการนับดิจิตอล L มีหน่วยเป็น จำนวนนับต่อมิลลิโวลต์ (counts/mV) และทำการบันทึกเป็น $BGSL\sin(\omega t + b)$ มีหน่วยเป็น จำนวนนับ (counts) แสดงดังภาพประกอบ 2.10 และได้ส่วนขยายความเร็ว $IGSL = CI(T)$ มีหน่วยเป็น จำนวนนับต่อมิลลิเมตรต่อวินาที (counts/(mm/sec)) พบว่า ค่าสูงสุดของ I จะเท่ากับ 1 ดังนั้นค่าการขยายของความเร็วสูงสุดจะเป็น $GSL = 1$



ภาพประกอบ 2.10 ขั้นตอนในการบันทึกสัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิตอล

ในการแปลงจากสัญญาณอนาล็อกมาเป็นดิจิตอล (ADC) หรือ ที่เรียกว่า การดิจิไตซ์ (digitization) โดยการแบ่งตัวอย่างของสัญญาณออกเป็นช่วงๆ เช่น N ตัวอย่างต่อวินาที (SPS) และที่ฮาร์มอนิกใดๆ จะต้องมีจำนวนตัวอย่างอย่างน้อย 3 ตัวอย่างต่อหนึ่งความยาวคลื่น โดยกำหนดให้ที่ความถี่ $f_N=0.5N$ เป็นฮาร์โมนิกที่ความถี่ต่ำ เรียกว่าความถี่ไนควิสท์ (Nyquist frequency) ในการบันทึกข้อมูลแบบ 16-bit ADC จะมีค่า count ตั้งแต่ -32768 (-2^{15}) ถึง 32768 (2^{15}) หรือ 0 ถึง 65536 count มีค่า dynamic range เท่ากับ 90 db สำหรับ 24-bit ADC จะมีค่า count ตั้งแต่ -8388608 (-2^{23}) ถึง 8388608 (2^{23}) หรือ 0 ถึง 16777216 count และมีค่า dynamic range เท่ากับ 138 db

ฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว
(Transfer function of seismometer)



ภาพประกอบ 2.11 โครงสร้างกลไกของ L4C Seismometer
(ที่มา: Bhattacharya, 2000)

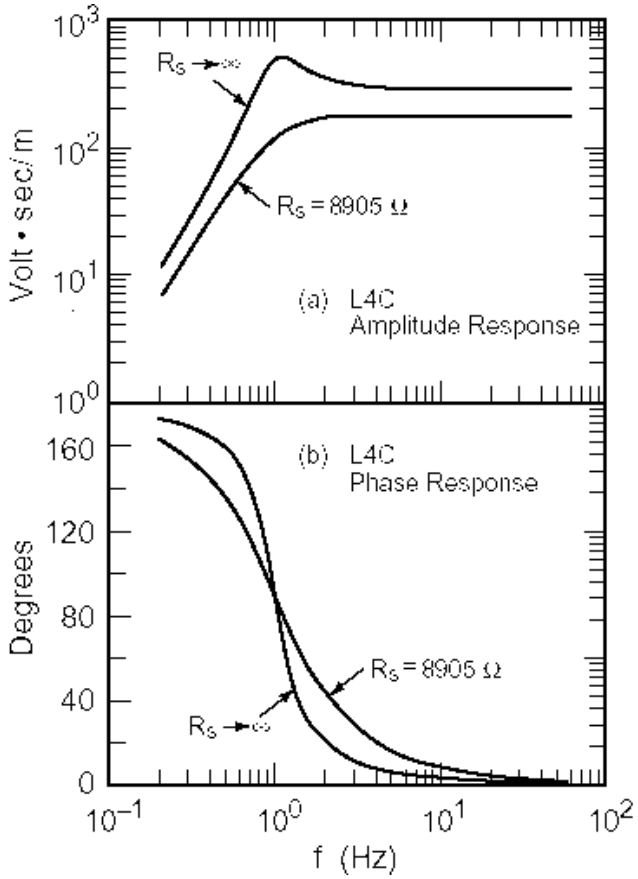
จากภาพประกอบ 2.11 สามารถหาค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของแรงดันไฟฟ้า (V_{out}) กับการสั่นไหว (X_g) ได้ดังนี้ (The NLC design Group, 1996)

$$\frac{V_{out}(s)}{X_g(s)} = \frac{R_s}{R_c + R_s} G\left(\frac{s^2}{s^2 + 2\omega_0\zeta s + \omega_0^2}\right) \qquad (7)$$

เมื่อ $2\omega_0\zeta = \left(b + \frac{G^2}{R_c + R_s}\right) / M$ และ $b = 2M\zeta_{critical}\omega_0$

โดยกราฟของฟังก์ชันถ่ายโอนของแอมปริจูดและเฟสแบบฟังก์ชันเชิงซ้อน $V_{out}(i\omega) / X_g(i\omega)$ แสดงดังภาพประกอบ 2.12 โดยที่ $s >> i\omega_0$ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตาราง 2.1 และเมื่อแทนค่าต่างๆ (เทอมในวงเล็บเท่ากับ 1) จะได้เป็น

$$\frac{V_{out}(s)}{X_g(s)} = \frac{8905\ \Omega}{5500 + 8905\ \Omega}(276.4\ Vs/m) = 170.9\ Vs/m \qquad (8)$$



ภาพประกอบ 2.12 ฟังก์ชันถ่ายโอนของ L4C seismimeter; (a) แอมพลิจูด และ (b) เฟส (ที่มา: Bhattacharya, 2000)

ตาราง 2.1 ค่าพารามิเตอร์ของ L4C seismimeter (ที่มา: Bhattacharya, 2000)

Mass	M	1	kg
Transduction	G	276.4	$V_s \ / \ m$
Natural Frequency	ω_0	2π	$rad \ / \ s$
Coil Resistance	R_c	5500	Ω
Shunt Resistance	R_s	8905	Ω
Damping	ζ	0.707	
	$\zeta_{critical}$	0.280	

ฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องบันทึกคลื่นแผ่นดินไหว
(Transfer function of seismograph)

เครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นแผ่นดินไหว Orion portable seismograph แบบ 24-bit มีค่า ADC ในช่วง 0 ถึง 16777216 counts (2^{24}) และ Input level เท่ากับ 28 Vpp ค่า dynamic range เท่ากับ 132 db และค่า Sensitivity เท่ากับ 1.67 x 10^{-6} Volts/bits ดังนั้น ฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องบันทึกคลื่นแผ่นดินไหว Orion จะมีค่าเท่ากับ gain: SL = 1 counts / 1.67 x 10^{-6} Volts/bits = 0.6 x 10^{3} counts/mV.

ฟังก์ชันถ่ายโอนรวมของเครื่องตรวจวัดและบันทึกคลื่นแผ่นดินไหว
(Total transfer function of seismometer and seismograph)

เครื่องตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว Mark Product L4-3D seismometer แบบ short period ความถี่ 1 Hz พบว่า มีค่าฟังก์ชันถ่ายโอน (electrodynamic constant) เท่ากับ G = 171 mV/(mm/s) และสำหรับเครื่องบันทึกคลื่นแผ่นดินไหว Orion portable seismograph มีค่าฟังก์ชันถ่ายโอน (gain) เท่ากับ SL = 0.6 x 10^{3} counts/mV ดังนั้น จะได้ค่าการขยายของความเร็วสูงสุด (Transfer function) ของระบบเท่ากับ $GSL\left(I(t)\right)$ = 102.6 x 10^{3} counts/(mm/s) หรือ ประมาณ 1 x 10^{8} counts/(m/s)

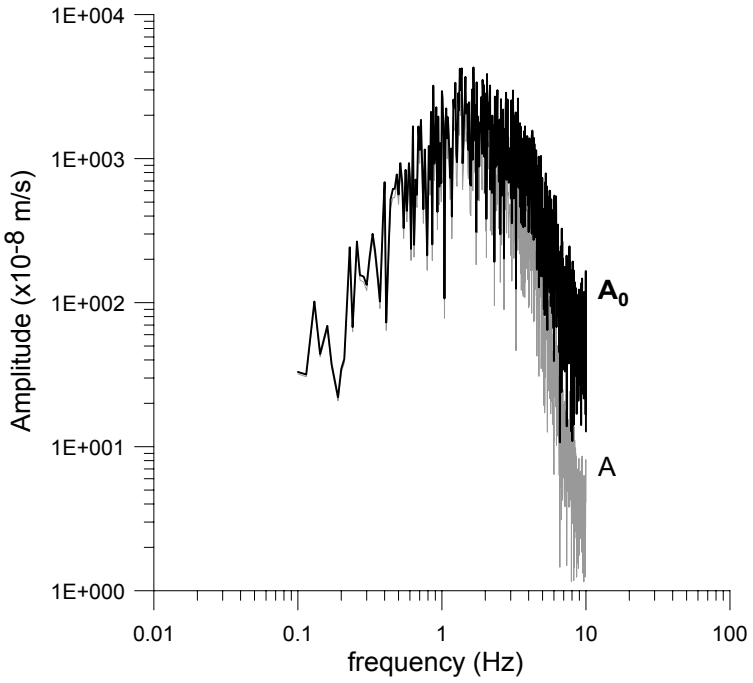
ตัวอย่าง ค่าแอมปลิจูดสูงสุดของกราฟคลื่นแผ่นดินไหวหรือ $Y(t)$ เท่ากับ 5,000 counts และ ค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องมือหรือ $I(t)$ เท่ากับ 1 x 10^{8} counts / (m/s) จะได้ว่าค่าแอมปลิจูดสูงสุดของแหล่งกำเนิด $X(t)$ จะเท่ากับ 5 x 10^{3} counts / 1 x 10^{8} counts /(m/s) = 5 x 10^{-5} m/s เป็นต้น

2.3.3 **การลดทอน** (Attenuation)

คลื่นแผ่นดินไหวเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางจะเกิดการสูญเสียพลังงานขึ้น เกิดการลดทอน (Attenuation) มีผลทำให้แอมปลิจูดมีค่าลดลง โดยปริมาณของพลังงานคลื่นแผ่นดินไหวที่ถูกดูดกลืนหรือหายไปเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางใดๆ แสดงได้ด้วยเฟคเตอร์คุณภาพ Q (quality facter) และมีความสัมพันธ์กับแอมปลิจูดดังนี้

$$A(\omega) = A_0(\omega)e^{-\omega R/\ 2\alpha Q_\alpha} \qquad (9)$$

เมื่อ $A(\omega)$ และ $A_0(\omega)$ คือ แอมปลิจูดของกราฟคลื่นแผ่นดินไหว และแอมปลิจูดของแหล่งกำเนิด มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s) และเป็นฟังก์ชันกับความถี่เชิงมุม $(\omega = 2\pi f)$ โดยที่ f คือ ความถี่มีหน่วยเป็นเฮิร์ต (Hz) R คือ ระยะจุดกำเนิดแผ่นดินไหว มีหน่วยเป็นกิโลเมตร (km) α คือ ความเร็วของคลื่นพี มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) และ Q_α คือ ตัวประกอบคุณภาพคลื่นพี (P-wave quality factor) โดยที่ $Q_\alpha \approx (9/4)Q_\beta$ และ $Q_\beta = 500$ สำหรับความลึก 50 -100 กิโลเมตร (Udias, 1999)



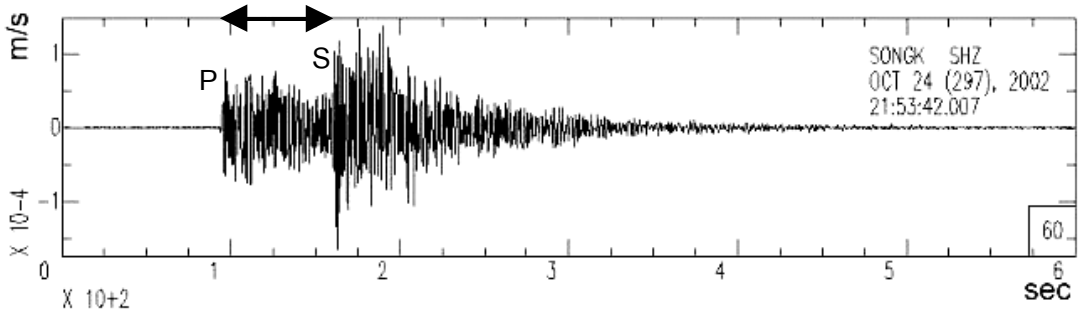
ภาพประกอบ 2.13 ตัวอย่างสเปกตรัมที่ได้ปรับแก้การลดทอน (A_o)

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจะประกอบด้วย การเลือก (window) ช่วงเวลาของข้อมูล(คลื่นพี) และการหาค่าพารามิเตอร์ของการเกิดแผ่นดินไหว โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 การเลือกช่วงเวลาของข้อมูล

ตัวอย่างกราฟคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ แสดงดังภาพประกอบ 2.14 ซึ่งเป็นกราฟแสดงแอมปลิจูดของคลื่นแผ่นดินไหวที่เดินทางมาถึงสถานีวัดที่เวลาต่างๆกัน คลื่นพี (P) จะเป็นคลื่นแรกที่เดินทางมาถึงสถานีแต่มีแอมปลิจูดเล็กกว่าคลื่นเอส (S) และช่วงเวลาระหว่างคลื่นพีแรกและคลื่นเอสแรกที่เดินทางมาถึงสถานี เรียกว่า ช่วงเวลาของข้อมูล (window time) มีหน่วยเป็นวินาที (second) นอกจากนั้น ยังสามารถตรวจสอบเวลาการเดินทางมาถึงของคลื่นพีและคลื่นเอส ได้จากตารางเวลาเดินทางของคลื่นแผ่นดินไหว (Seismological Table)[ฉ] ของ Jefereys and Bullen (1967)



◄► คือ ช่วงเวลาของข้อมูล (คลื่นพี)

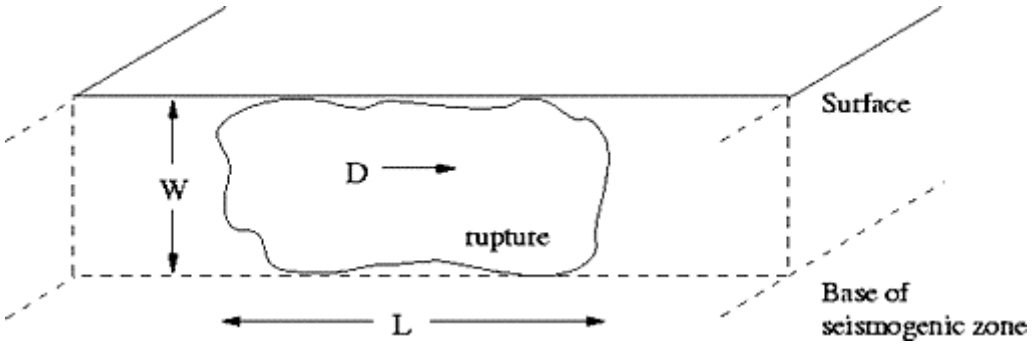
ภาพประกอบ 2.14 ตัวอย่างการเลือกช่วงเวลาของข้อมูลจากกราฟคลื่นแผ่นดินไหว

[ฉ] ดูรายละเอียดในภาคผนวก ฉ

2.4.2 การหาค่าพารามิเตอร์ของการเกิดแผ่นดินไหว

สำหรับค่าพารามิเตอร์ของการเกิดแผ่นดินไหวนั้น สามารถหาได้จากแบบจำลองแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวของ Brune (1970) และทำการดัดแปลงโดย Hanks and Wyss (1972) โดยอาศัยฟูเรียร์สเปกตรัมของคลื่นพี (P-wave Fourier spectra) และมีขั้นตอนรายละเอียด ดังนี้

พิจารณาโมเมนต์แผ่นดินไหว (M_o) ซึ่งเป็นการวัดขนาดของแผ่นดินไหว โดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่การแตกของรอยเลื่อน (fault rupture) ระยะเลื่อน (slip) และแรง (force) ที่ทำให้รอยเลื่อนเกิดการแตกออก (มอดูลัสเฉือน) แสดงรายละเอียดดังภาพประกอบ 2.15



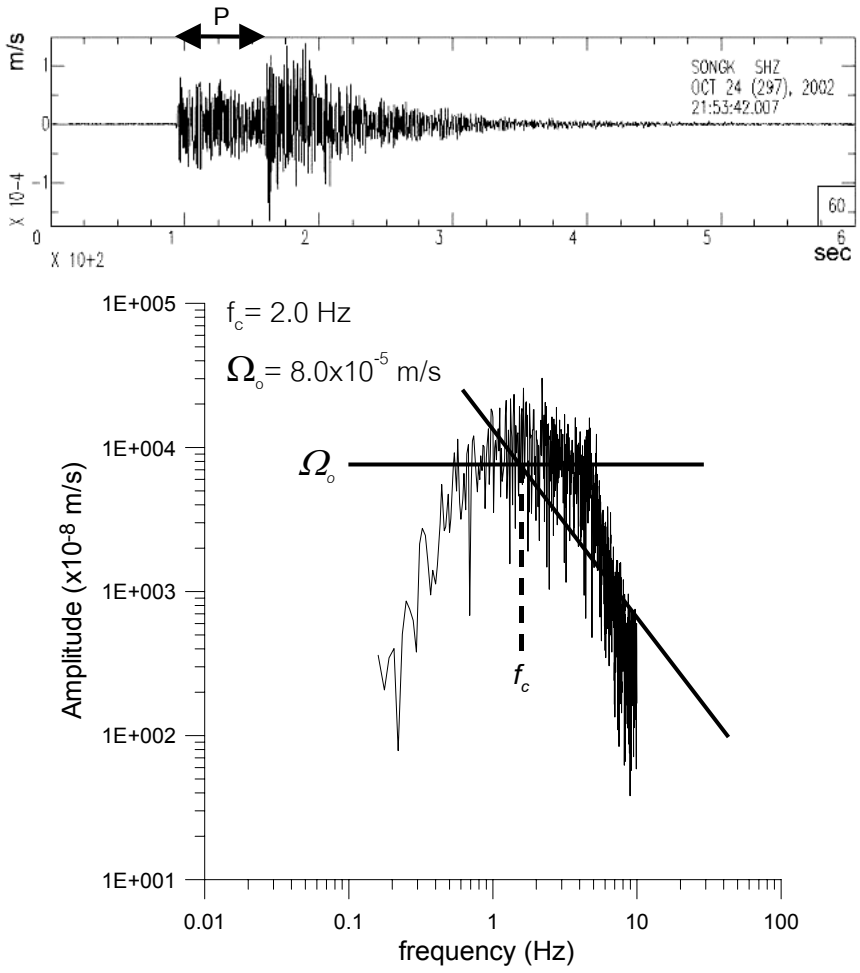
ภาพประกอบ 2.15 หน้าตัดรอยเลื่อน (ที่มา: USGS/NEIC, 2001)

$$M_o = \mu A D \tag{10}$$

เมื่อ μ คือ มอดูลัสเฉือน (ชั้นเปลือกโลก = 32 GPa และ ชั้นแมนเทิล = 75 Gpa) A คือ พื้นที่หน้าตัด (LW) และ D คือ ระยะการเลื่อน นอกจากนั้น โมเมนต์แผ่นดินไหวยังสามารถคำนวณได้จากแอมพลิจูด (amplitude) ของสเปกตรัมคลื่นแผ่นดินไหว (seismic spectra)

สเปกตรัมคลื่นแผ่นดินไหว (seismic spectra)

โดยการแปลงฟาสท์ฟูเรียร์ (FFT)[ก] ของกราฟคลื่นแผ่นดินไหวช่วงคลื่นพี จะได้เป็นสเปกตรัมคลื่นพี (seismic spectra) แสดงดังภาพประกอบ 2.16 (อาจใช้โปรแกรม SAC2000 หรือ mathlab ก็ได้) และจากสเปกตรัมดังกล่าวจะได้ ค่า Low-frequency level, Ω_0 คือ ค่าแอมปลิจูดสเปกตรัมที่มีระดับคงที่ในช่วงของค่าความถี่ต่ำ มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s) และ ค่า corner frequency, f_c คือ ค่าความถี่ที่สเปกตรัมเริ่มมีระดับลดลง มีหน่วยเป็นเฮิร์ต (Hz)



ภาพประกอบ 2.16 ตัวอย่างกราฟคลื่นแผ่นดินไหว (บน) และสเปกตรัมคลื่นพี (ล่าง)

[ก] ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก

โมเมนต์แผ่นดินไหว (seismic moment, M_o)

โมเมนต์แผ่นดินไหว คือ ค่าที่แสดงถึงขนาดของแผ่นดินไหว มีหน่วยเป็นไดน์-เซนติเมตร (dyne-cm; 1 N-m = 10^7 dyne-cm) โดยมีความสัมพันธ์กับค่า Low-frequency level, Ω_0 (Brune, 1970) ดังนี้

$$M_0 = \frac{4\pi\rho v^3 R\Omega_0}{\Re_{\theta,\phi}} \qquad (11)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (2.7 g/cm^3) v คือ ความเร็วของคลื่นพี มีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อวินาที (7.5 km /s) R คือ ระยะจุดกำเนิดแผ่นดินไหว มีหน่วยเป็นกิโลเมตร (km) Ω_0 คือ Low-frequency level ที่ได้จากสเปกตรัมคลื่นแผ่นดินไหว มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s) และ $\Re_{\theta\phi}$ คือ สัมประสิทธิ์การแผ่ของคลื่นแผ่นดินไหว (คลื่นพี = 0.52)

เนื่องจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวอาจวัดได้เพียงสถานีเดียว หรือทั้งสองสถานี ดังนั้น ในกรณีที่ตรวจวัดได้จากทั้งสองสถานี จะต้องทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ของการเกิดแผ่นดินไหว โดยค่าโมเมนต์แผ่นดินไหวเฉลี่ย $\langle M_0 \rangle$ สามารถคำนวณได้จาก (Archulata *et al*., 1982)

$$\log\langle M_0 \rangle = \log\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \log M_{o_i}\right) \qquad (12)$$

เมื่อ **N** คือ จำนวนของสถานี ในที่นี้ N = 2 (สถานีภูเก็ตและสงขลา) และ M_{o_i} คือ ค่าโมเมนต์แผ่นดินไหวของแต่ละสถานี

รัศมีแหล่งกำเนิด (source radius, *r*)

รัศมีแหล่งกำเนิด เป็นค่าที่แสดงถึงขนาดของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว มีหน่วยเป็นกิโลเมตร (km) และมีความสัมพันธ์กับค่า corner frequency, f_c (Brune, 1970) ดังนี้

$$r = \frac{2.34V}{2\pi f_c} \tag{13}$$

เมื่อ v คือ ความเร็วของคลื่นพี มีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อวินาที (km/s) และ f_c คือ ค่า corner frequency ที่ได้จากสเปกตรัมคลื่นแผ่นดินไหว มีหน่วยเป็นเฮิร์ต (Hz)

ค่ารัศมีแหล่งกำเนิดเฉลี่ย $\langle r \rangle$ คำนวณได้จาก (Archulata *et al*., 1982)

$$\langle \mathbf{r} \rangle = \frac{1}{\mathbf{N}} \sum_{\mathbf{i}=1}^{\mathbf{N}} \mathbf{r_i} \tag{14}$$

เมื่อ r_i คือ ค่ารัศมีแหล่งกำเนิดของแต่ละสถานี

ค่าลดลงความเค้น (stress drop, $\Delta\sigma$)

ค่าลดลงความเค้น คือ ค่าของความเค้นที่ลดลงจากก่อนเกิดและหลังเกิดแผ่นดินไหว มีหน่วยเป็นบาร์ (bar; 1 MPa = 10 bar) โดยมีความสัมพันธ์กับค่าโมเมนต์แผ่นดินไหวและรัศมีแหล่งกำเนิด (Brune, 1970) ดังนี้

$$\Delta\sigma = \frac{7M_0}{16r^3} \tag{15}$$

เมื่อ M_0 คือ ค่าโมเมนต์แผ่นดินไหว มีหน่วยเป็น ไดน์-เซนติเมตร (dyne-cm) และ r คือ ค่ารัศมีแหล่งกำเนิด มีหน่วยเป็นกิโลเมตร (km)

ค่าลดลงความเค้นเฉลี่ย $\langle \Delta\sigma \rangle$ มีค่าดังนี้ (Archulata *et al*., 1982)

$$\langle \Delta\sigma \rangle = \frac{7\langle M_o \rangle}{16\langle r \rangle^3} \tag{16}$$

เมื่อ $\langle M_0 \rangle$ คือ ค่าโมเมนต์แผ่นดินไหวเฉลี่ย และ $\langle r \rangle$ คือ ค่ารัศมีแหล่งกำเนิดเฉลี่ย

ขนาดโมเมนต์ (moment magnitude, M_w)

ขนาดโมเมนต์ เป็น ค่าที่แสดงถึงขนาดของแผ่นดินไหว เช่นเดียวกับ *ML* และ *Mb* โดยมีความสัมพันธ์กับค่าโมเมนต์แผ่นดินไหว M_0 (Kanamori, 1977) ดังนี้

$$M_w = \frac{2}{3}\log M_0 - 10.73 \qquad (17)$$

และ ขนาดโมเมนต์เฉลี่ย $\langle M_w \rangle$ สามารถคำนวณได้จาก (Archulata *et al*., 1982)

$$\langle \mathrm{M_w} \rangle = \frac{1}{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{N}} \mathrm{M_{w_i}} \qquad (18)$$

เมื่อ M_{w_i} คือ ค่าขนาดโมเมนต์ของแต่ละสถานี

<u>หมายเหตุ</u>

- *ML* (local magnitude) เป็นขนาดแผ่นดินไหวที่ประเมินได้จากแอมพลิจูดสูงสุดของกราฟคลื่นแผ่นดินไหว และระยะห่างระหว่างตำแหน่งของแผ่นดินไหวกับสถานีไม่เกิน 600 กิโลเมตร ($\Delta < 600$ km)
- *Mb* (body wave magnitude) เป็นขนาดแผ่นดินไหวที่ประเมินได้จากคลื่นพี (P-wave) ของกราฟคลื่นแผ่นดินไหว