

บทที่ 3

การวิเคราะห์ผลตอบสนองแผ่นดินไหวของดิน

3.1 หลักการวิเคราะห์ผลตอบสนองทางพลศาสตร์ของดิน

เมื่อเกิดการสั่นไหวที่ชั้นหิน จะเกิดการแพร่กระจาย (propagation) ของคลื่นแผ่นดินไหวขึ้นไปตามชั้นดินที่อยู่ด้านบน การวิเคราะห์ผลตอบสนองทางพลศาสตร์ของดินจะช่วยให้สามารถทำนายการสั่นสะเทือนที่ผิวดินได้ซึ่งจะใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างต่อไป โดยทั่วไปนิยมใช้การวิเคราะห์แบบเชิงเส้นเทียบเท่าในหนึ่งมิติ (one dimensional equivalent linear analysis) ซึ่งมีสมมติฐาน 3 ข้อ คือ

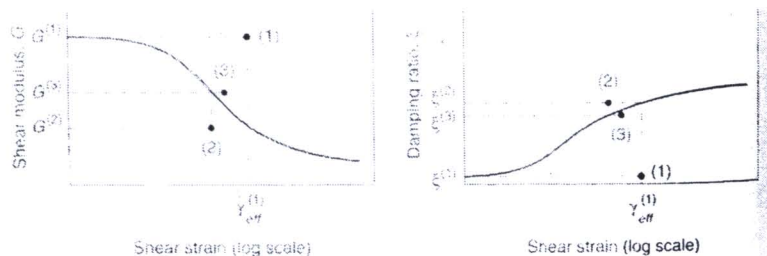
- 1) คลื่นเฉือนแพร่กระจายในแนวดิ่ง
- 2) ระดับผิวดิน และชั้นดินวางตัวในแนวราบ
- 3) วัสดุของแต่ละชั้นดินเป็นวัสดุที่เนื้อเดียวกัน และเป็นแบบหนืดยืดหยุ่น (viscoelastic)

การวิเคราะห์ผลตอบสนองของดินต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญคือ ความเร็วคลื่นเฉือน (V_s) เพื่อนำไปคำนวณ โมดูลัสเฉือน (shear modulus) ตลอดจนความลึกที่สนใจ และรูปแบบคลื่น (wave form) ของความเร่งของชั้นหินด้านล่าง (bedrock) โดยการวิเคราะห์มีขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1) สมมติค่าโมดูลัสเฉือน $G^{(1)}$ กับอัตราส่วนความหน่วง $\xi^{(1)}$ ตลอดจนความลึกของชั้นดิน (รูปที่ 3.1) จากค่าที่สมมตินี้เมื่อทำการวิเคราะห์การแพร่กระจาย (wave propagation) ด้วยสมการคลื่นจะได้ระดับความเครียด $\gamma_{eff}^{(1)}$

2) เมื่อเขียนเส้นในแนวดิ่งตัดเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสเฉือนกับความเครียดเฉือน และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความหน่วงกับความเครียดเฉือนก็จะได้ $G^{(2)}$ กับ $\xi^{(2)}$

3) ทำการคำนวณวนซ้ำ (iterative computation) ก็จะได้ค่าที่เข้าสู่ค่าตอบที่แท้จริง จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบความเครียดเฉือนในแต่ละชั้นดิน ซึ่งนำไปคำนวณหาระยะเคลื่อนที่และความเร่งของแต่ละชั้นดิน



รูปที่ 3.1 การคำนวณแบบวนซ้ำในการวิเคราะห์ผลตอบสนองทางพลศาสตร์ของดิน (Kramer, 1996)

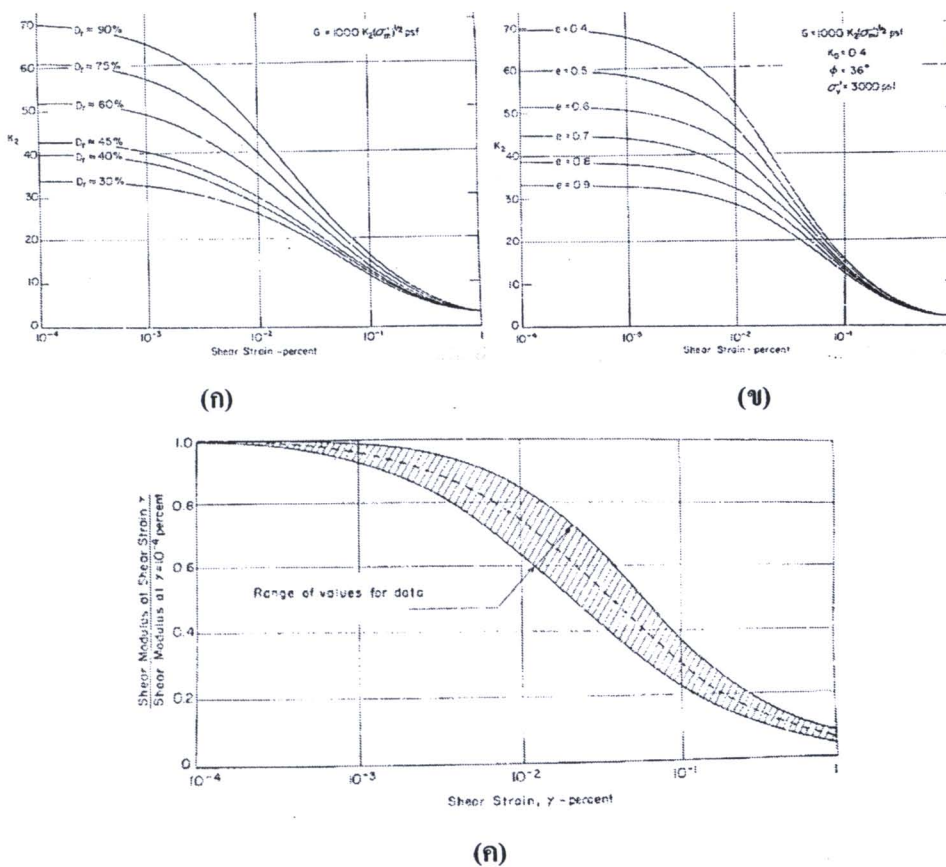
Seed และ Idriss (1970) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนโมดูลัส (modulus ratio) และอัตราส่วนความหน่วง (damping ratio) กับค่าความเครียดเฉือน โดยทำการหาค่าโมดูลัสเฉือนและอัตราส่วนความหน่วงด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่

1) ทดสอบในห้องปฏิบัติการเช่น ทดสอบแบบอัดสามแกน (triaxial compression test) ทดสอบการเฉือน (simple shear test) และทดสอบการบิด (torsional shear test) ภายใต้แรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร

2) ทดสอบการสั่นแบบอิสระ (free vibration test) กับตัวอย่างดิน

3) ทำการวัดค่าความเร็วคลื่นเฉือน (V_s) ในสนาม

โดยได้ผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนโมดูลัส (modulus ratio) และอัตราส่วนความหน่วง (damping ratio) กับค่าความเครียดเฉือนสำหรับดินทราย ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3

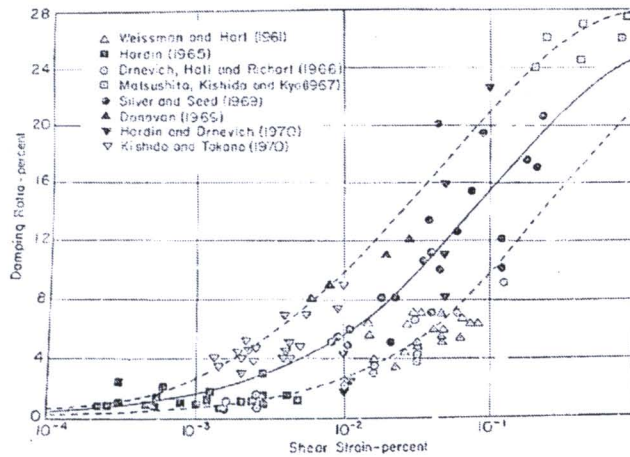


รูปที่ 3.2 อัตราส่วนโมดูลัสของดินทราย (Seed และ Idriss, 1970)

(ก) อัตราส่วนโมดูลัสที่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของดินทราย

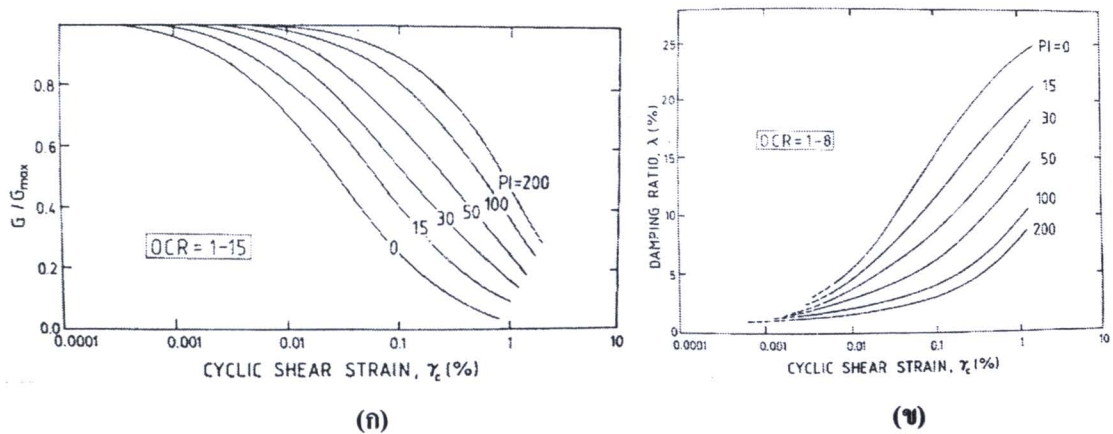
(ข) อัตราส่วนโมดูลัสที่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนช่องว่างของดินทราย

(ค) อัตราส่วนโมดูลัสที่รวมผลของ (ก) และ (ข)



รูปที่ 3.3 อัตราส่วนความหน่วงของดินทราย (Seed และ Idriss, 1970)

Vucetic และ Dobry (1991) ได้ทำการวิเคราะห์จากข้อมูลสาธารณะ 16 ข้อมูล โดยมีช่วง OCR ของดินเหนียวเท่ากับ 1 – 15 พบว่า ถ้าค่าดัชนีพลาสติก (PI) เพิ่มขึ้น ค่าอัตราส่วนโมดูลัสจะเพิ่มขึ้น แต่ค่าอัตราการหน่วงจะลดลง โดยได้แสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนโมดูลัส (modulus ratio) และอัตราส่วนความหน่วง (damping ratio) กับค่าความเครียดเฉือนสำหรับดินเหนียว ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 อัตราส่วนโมดูลัสและอัตราส่วนความหน่วงของดินเหนียว (Vucetic และ Dobry, 1991)

(ก) อัตราส่วนโมดูลัส

(ข) อัตราการหน่วง

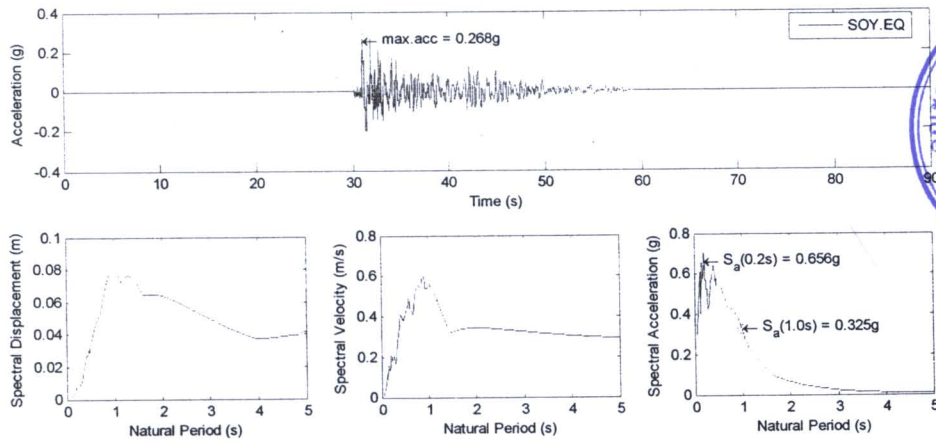
3.2 คลื่นแผ่นดินไหวที่พิจารณา

ในการศึกษานี้ได้ใช้คลื่นแผ่นดินไหวจำนวน 10 คลื่นที่ตรวจวัดได้ในสถานที่ตั้งบนชั้นหิน โดยเลือกคลื่นแผ่นดินไหวที่มีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางในช่วงประมาณ 20 – 230 กม. ซึ่งครอบคลุมระยะทางจากศูนย์กลางแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนมีพลังไปยังโครงสร้างใดๆ ตารางที่ 3.1 แสดงคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์ ในการวิเคราะห์ได้ปรับค่าของความเร่งสูงสุดในแนวราบที่ชั้นหินบนผิว (outcrop motion) ให้เท่ากับ 0.05g ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว แต่จะทำให้ได้ค่าอัตราการขยายตัวของคลื่นแผ่นดินไหวที่เป็นค่าขอบบน (upper bound) เพราะโดยปกติอัตราการขยายตัวของคลื่นแผ่นดินไหวจะมีค่าลดลงเมื่อความเร่งสูงสุดในแนวราบที่ชั้นหินบนผิว (outcrop motion) มีค่าสูงขึ้น

รูปแบบคลื่น (wave form) ของความเร่งจากแผ่นดินไหวในอดีต และสเปกตรัมตอบสนองของความเร่ง (acceleration response spectrum) แสดงได้ดังรูปที่ 3.5 – 3.14 ซึ่งทำให้เห็นคาบเด่นชัดที่ต่างกันไปของแต่ละคลื่นแผ่นดินไหวที่จะทำการวิเคราะห์

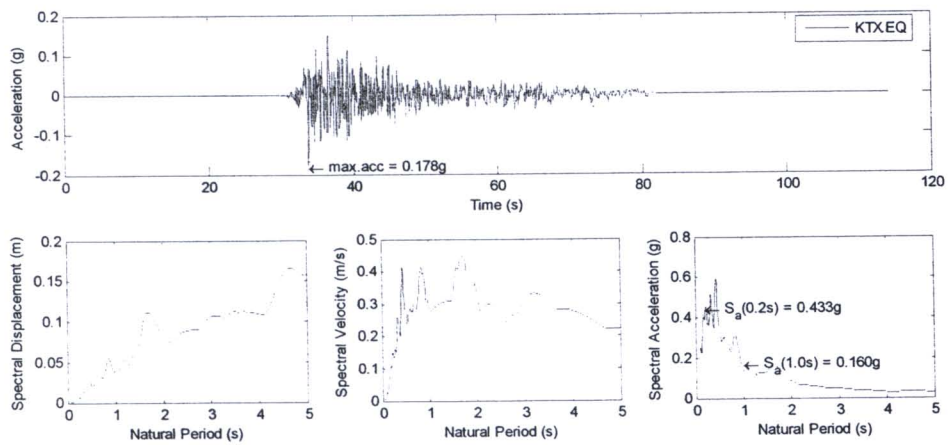
ตารางที่ 3.1 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์

ชื่อ	ขนาด, Mw	สถานีวัด	ระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง (km)	ชื่อย่อ
San Fernando	6.6	Castaic Old Ridge Route	25	SOY
Kern County	7.4	Taft Lincoln School	41	KTX
Loma Preita	7.1	Diamond Heights	77	LDX
Kern County	7.4	Santa Barbara	88	KSX
Borah Peak	6.9	INEEL 99999 ANL	108	BIX
Hector Mine	7.1	Anza - Tripp Flats Training	120	HAX
San Fernando	6.6	Isabella Dam (Aux Abut)	134	SIX
Landers	7.3	San Gabriel E Grand Av	153	LGX
Hector Mine	7.1	Pacoima Kagel Canyon	197	HPX
San Fernando	6.6	Cholame-Shandon Array #2	223	SCX

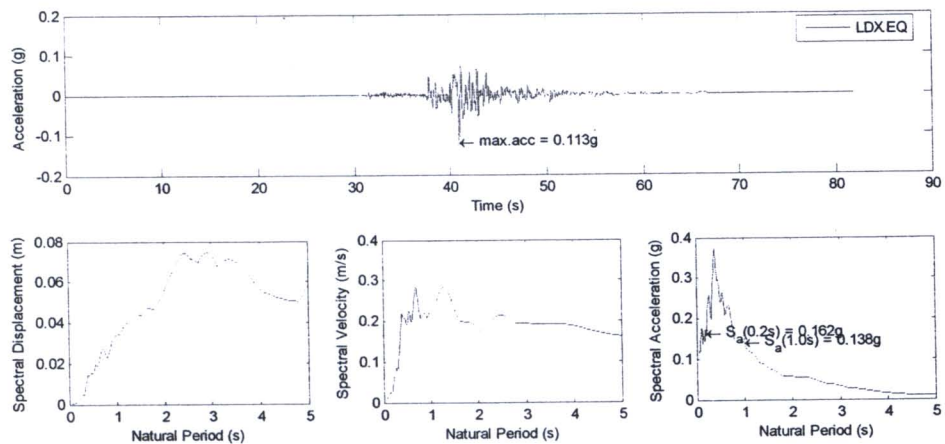


รูปที่ 3.5 ประวัติเวลาและสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหว San Fernando จากสถานีวัด Castaic Old Ridge

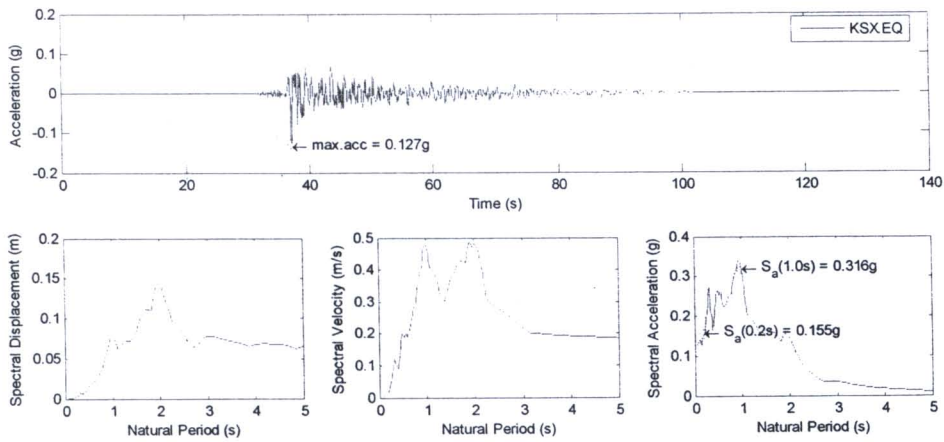
Route



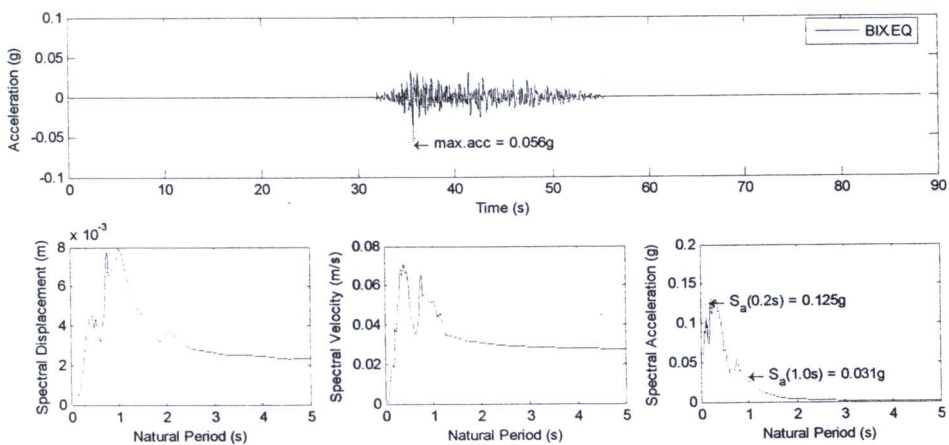
รูปที่ 3.6 ประวัติเวลาและสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหว Kern County จากสถานีวัด Taft Lincoln School



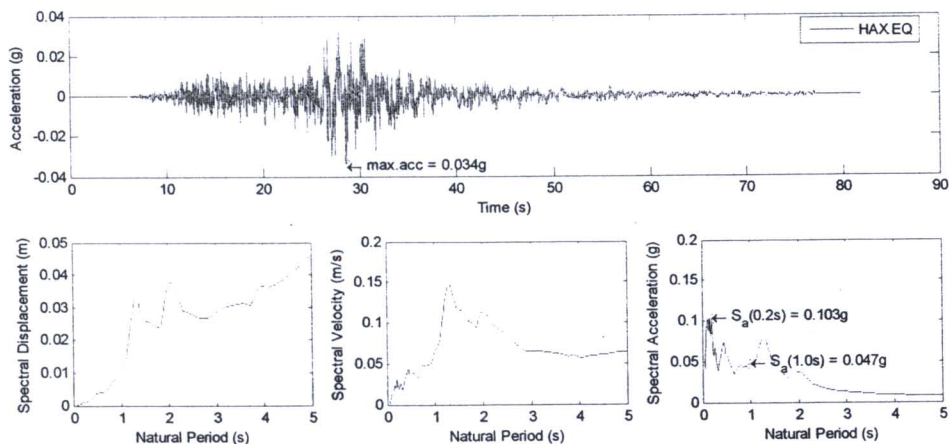
รูปที่ 3.7 ประวัติเวลาและสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหว Loma Preita จากสถานีวัด Diamond Heights



รูปที่ 3.8 ประวัติเวลาและสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหว Kern County จากสถานีวัด Santa Barbara

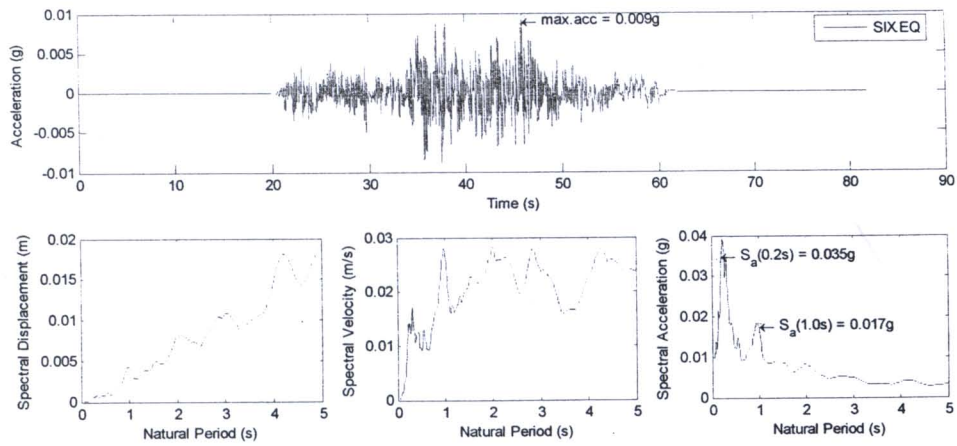


รูปที่ 3.9 ประวัติเวลาและสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหว Borah Peak จากสถานีวัด INEEL 99999 ANL

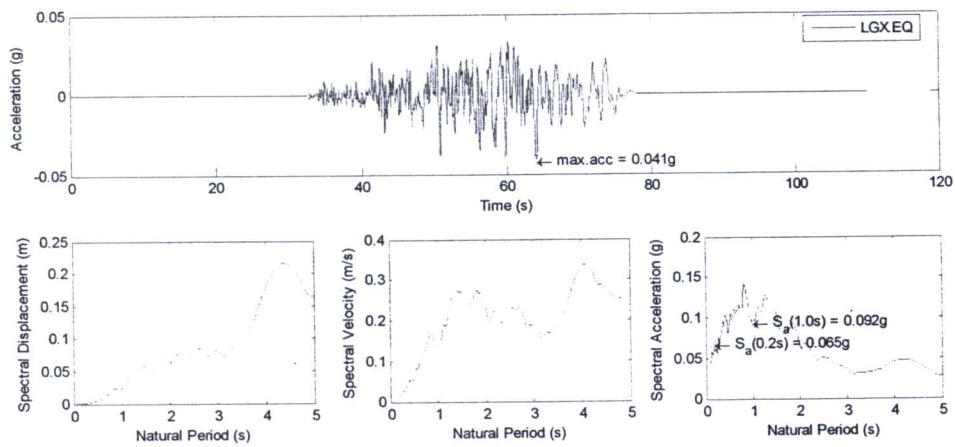


รูปที่ 3.10 ประวัติเวลาและสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหว Hector Mine จากสถานีวัด Anza - Tripp Flats

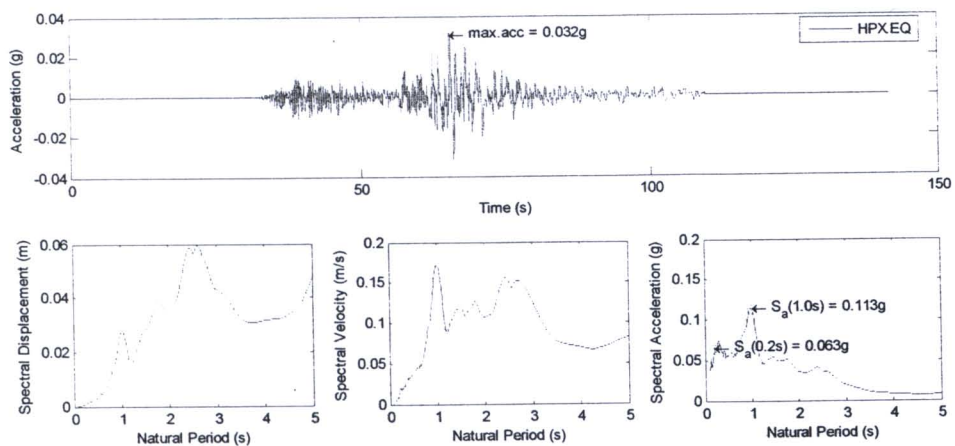
Training



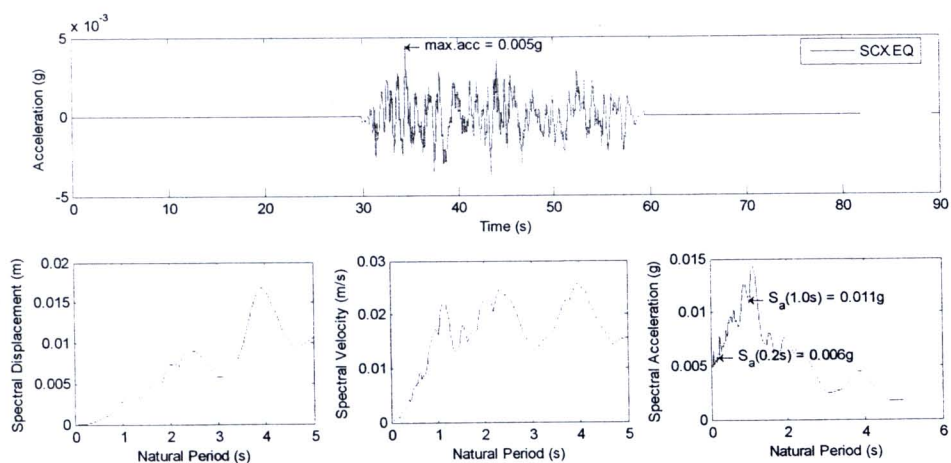
รูปที่ 3.11 ประวัติเวลาและสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหว San Fernando จากสถานีวัด Isabella Dam



รูปที่ 3.12 ประวัติเวลาและสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหว Landers จากสถานีวัด San Gabriel E Grand Av



รูปที่ 3.13 ประวัติเวลาและสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหว Hector Mine จากสถานีวัด Pacoima Kagel Canyon



รูปที่ 3.14 ประวัติเวลาและสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหว San Fernando จากสถานีวัด Cholame-Shandon Array #2