บทที่ 2

การสร้างคลื่นความเร่งจำลองของแผ่นดินไหวในบริเวณกรุงเทพมหานคร

2.1 บทนำ

ในการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของโครงสร้างที่รับแรงแผ่นดินไหวนั้น จำต้องรู้คลื่นความเร่งของแผ่นดินไหว (Accelerogram) แต่เนื่องจากไม่มีข้อมูลในบริเวณกรุงเทพฯ จึงจำเป็นต้องสร้างคลื่นความเร่งจำลองของแผ่นดินไหวโดยอาศัยหลักการทางสถิติและการสั่นสะเทือนสุ่ม (random vibration) ข้อมูลที่ใช้ในการนี้เป็นข้อมูลแผ่นดินไหวที่ผ่านมาซึ่งเกิดขึ้นระหว่างปี พ.ศ. 2455-2526 ภายในรัศมี 450 กิโลเมตร จากกรุงเทพฯ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ระหว่างเส้นรุ้ง 9.6°น ถึง 17.9°น และเส้นแวง 96.3°อ ถึง 104.7°อ โดยประมาณ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.1

2.2 การสร้างคลื่นความเร่งจำลองของแผ่นดินไหว

2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับขนาดของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น

การหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับขนาดของแผ่นดินไหวได้ ใช้วิธีการของ Gutenburg และ Richter (13) โดยหาได้จากสมการ

$$\text{Log } N = a - bM \qquad \text{.....(2.1)}$$

โดยที่ N เป็นจำนวนครั้งสะสม

a,b เป็นพารามิเตอร์ตามเขต

M เป็นขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวมีหน่วยเป็นริคเตอร์

จากวิธี Least Square หาค่าพารามิเตอร์ได้

$$a = \bar{y} + b\bar{x} \qquad \text{.....(2.2)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$b = -\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n\bar{x}^2} \qquad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อให้ $x_i = M_i$

$y_i = \text{Log } N_i$

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} M_i$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \text{Log } N_i$$

n เป็นจำนวนขั้นที่ใช้แบ่งขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว

จากข้อมูลที่แสดงขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวและจำนวนครั้งที่เกิด ซึ่งรวบรวมมาได้ระหว่างปี พ.ศ. 2455-2526 เป็นระยะเวลา 72 ปี ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 (11, 14) และสมการที่ 2.1, 2.2, 2.3 จะได้ผลดังนี้

n	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\sum_{i=1}^{n} x_i^2$	$\sum_{i=1}^{n} x_i y_i$	b	a
17	4.859	0.979	406.88	76.59	0.776	4.75

ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับขนาดของแผ่นดินไหวสำหรับพื้นที่ในรัศมี 450 กิโลเมตร จากกรุงเทพฯ สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.2 โดยมีรูปแบบสมการเป็น

$$\text{Log } N = 4.75 - 0.776\ M \qquad \text{.....(2.4)}$$

2.2.2 ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวและคาบครบรอบ

สมมติการเกิดแผ่นดินไหวช่วงระยะเวลา T^* ของข้อมูล ในตารางที่ 2.1 มีการกระจายแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) จำนวนเฉลี่ยของการเกิดแผ่นดินไหวต่อปีก็จะเป็น N/T^* ครั้ง ดังนั้น ในช่วงเวลา t ปี จะเกิดแผ่นดินไหวเท่ากับ Nt/T^* ครั้ง พิจารณา

ความรุนแรงของแผ่นดินไหวขนาด M ซึ่งเกิด 1 ครั้ง ทุก ๆ T ปี จะได้

$$1 = NT/T^{*}$$

ดังนั้น

$$N = \frac{T^{*}}{T} \quad \text{.....(2.5)}$$

แทนค่า N จากสมการ (2.5) ในสมการ (2.1) จะได้

$$T = T^{*}10^{(bM-a)} \quad \text{.....(2.6)}$$

หรือ

$$M(T) = (a + \text{Log}\ (T/T^{*}))/b \quad \text{.....(2.7)}$$

สำหรับพื้นที่ที่พิจารณา แทนค่า a, b และ T^{*} จะได้

$$M(T) = (4.75 + \text{Log}\ (T/72))/0.776 \quad \text{.....(2.8)}$$

สมมติว่าอายุการใช้งานของโครงสร้างอาคารทั่วไปมีระยะเวลานาน 50 ปี แทนค่า T = 50 ในสมการที่ (2.8) จะได้ M = 5.9 ริคเตอร์ ซึ่งเป็นขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่มีคาบครบรอบ 50 ปี

2.2.3 สเป็คตรัมของแผ่นดินไหวที่ผิวดิน

รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการส่งผ่านคลื่นแผ่นดินไหวจากจุดกำเนิดที่อยู่ไกลมายังบริเวณกรุงเทพฯ ในการวิจัยนี้สมมุติว่าคลื่นส่งผ่านจากจุดกำเนิดมาตามชั้นหินถึงใต้บริเวณที่พิจารณา จากนั้นคลื่นจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นดินอ่อนในบริเวณกรุงเทพฯ สู่ผิวดิน ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายแก่การคำนวณสำหรับชั้นดินนั้น ได้พิจารณาแบ่งเป็นชั้นผิวและชั้นฐาน โดยเหตุที่ลักษณะชั้นดินในบริเวณกรุงเทพฯ มีลักษณะคล้ายกับของนครเม็กซิโก จึงเลือกพิจารณาความลึกของชั้นผิวหนา 43 เมตร ใกล้เคียงกับที่ Okamoto พิจารณา (15,16)ทั้งนี้ชั้นฐานคิดที่ชั้นทรายชั้นที่สองโดยประมาณ ชั้นดินนี้พิจารณาเป็น 4 ชั้น เป็นชั้นดินเหนียวอ่อน ชั้นดินเหนียวปานกลาง ชั้นทราย และชั้นดินเหนียวแข็ง โดยมีความหนาของแต่ละชั้นโดยประมาณเท่ากับ 17, 5, 15 และ 6 เมตร ตามลำดับ (7, 17) รูปที่ 2.4 แสดงชั้นดินต่าง ๆ รวมทั้งคุณสมบัติของดินแต่ละชั้น

ในการหาสเป็คตรัมของแผ่นดินไหวที่ผิวดินจะใช้สมการที่เสนอโดย Kanai (12) ซึ่งได้ใช้ทฤษฎีการแผ่กระจายของคลื่นแผ่นดินไหวผ่านชั้นดินดังนี้

$$d = G(T) \times T \times 10^{[0.61M-(1.66+3.6/R)\text{Log } R-(1.43+1.83/R)]} \quad ..(2.9)$$

$$v = G(T) \times 10^{[0.61M-(1.66+3.6/R)\text{Log } R-(0.631+1.83/R)]} \quad ..(2.10)$$

$$a = G(T) \times T^{-1} \times 10^{[0.61M-(1.66+3.6/R)\text{Log } R+(0.167-1.83/R)]} \quad ..(2.11)$$

โดยที่ d เป็นสเป็คตรัมของการเคลื่อนที่มีหน่วย ซม.

v เป็นสเป็คตรัมของความเร็ว มีหน่วย ซม./วินาที

a เป็นสเป็คตรัมของความเร่ง มีหน่วย ซม./วินาที^{2}

G(T) เป็นอัตราส่วนขยาย (Amplification)

T เป็นคาบ (period) ของแผ่นดินไหว มีหน่วยวินาที

M เป็นขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวมีหน่วยริคเตอร์

R เป็นระยะห่างจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

จากข้อมูลแผ่นดินไหวที่ผ่านมาจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่เกิดใกล้กรุงเทพฯ ที่สุดมีระยะห่างไปประมาณ 200 กิโลเมตร ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่กรุงเทพฯ และบริเวณใกล้เคียงภายในรัศมี 50 กิโลเมตร จะได้ค่า R เท่ากับ 150 กิโลเมตร

สำหรับช่วงของ T Kanai เสนอให้เป็นดังนี้

(0.05 ถึง 0.2 วินาที) < T < Tm

โดยที่ Tm เป็นคาบเวลาสูงสุดของสเป็คตรัมการเคลื่อนที่ซึ่งหาได้จาก

$$\text{Log } Tm = 0.39M-1.70 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.12)$$

แต่จากการพิจารณาเปรียบเทียบหาค่าสูงสุดของ a จากสูตรลดตามระยะทาง (attenuation relation) ซึ่งเสนอโดย Donovan และ Esteva (18) และจากสูตรของ Kanai สมการที่ (2.11) โดยให้ G(T) = 1 แล้ว พบว่าค่าขอบเขตล่างของ T ที่ให้ค่าสูงสุดของ a ออกมาใกล้เคียงกันนั้นมีค่าเท่ากับ 0.1 วินาที และจากสมการที่ (2.12) เมื่อแทนค่า M = 5.9 ริคเตอร์ แล้วจะได้ Tm = 4 วินาที ดังนั้นช่วงของ T จะใช้ดังนี้

0.1 < T < 4 วินาที

ในสูตรที่ (2.9-2.11)G(T) เป็นอัตราส่วนขยายที่ผิว (ground amplification) อันเนื่องมาจากคลื่นแผ่กระจายจากชั้นฐานผ่านชั้นดินอ่อนขึ้นมานั้น Kanai ได้เสนอไว้สำหรับดินชั้นผิวชั้นเดียวตั้งบนดินชั้นฐานดังนี้

$$G(T) = 1 + \frac{1}{\sqrt{[(1+k)/(1-k)]^2[1-(T/Tg)^2]^2+(1.5k/\sqrt{Tg})^2(T/Tg)^2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.13)$$

ในที่นี้ $$Tg = \frac{4H}{Vs} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.14)$$

เป็นคาบเวลาเด่นชัด (Predominant Period)

$$k = \frac{D_s V_s}{D_b V_b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.15)$$

เป็นอัตราส่วนอิมพีแดนส์การสั่นสะเทือนของดินต่อชั้นฐาน

H เป็นความหนาของดินชั้นผิว

V_s, V_b เป็นความเร็วคลื่น S (Secondary Wave) ในดินชั้นผิวและชั้นฐานตามลำดับ

D_s, D_b เป็นความหนาแน่นของดินในชั้นผิวและชั้นฐานตามลำดับ

สำหรับดินชั้นผิวที่ประกอบด้วยชั้นดินย่อย ๆ หลาย ๆ ชั้น สามารถหาค่า $\frac{H}{V_s}$ ได้อย่างประมาณจาก

$$\frac{H}{Vs} = \sum_{i=1}^{n} \frac{Hi}{Vi} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.16)$$

ในเมื่อ Hi, Vi เป็นความหนาและความเร็วคลื่น S ของดินแต่ละชั้นตามลำดับ

จากชั้นดินและคุณสมบัติดินของดินชั้นผิวในรูปที่ 2.4 หาค่าความหนาแน่นเฉลี่ย (Ds) ได้ 1.95 ตัน/ลบ.เมตร และจากสมการที่ (2.15) หาค่าความหนาของดินชั้นผิวต่อความเร็วเฉลี่ยในชั้นผิวได้

$$\frac{H}{Vs} = 0.367 \text{ วินาที}$$

ซึ่งจะได้ค่า V_s เท่ากับ 117.2 เมตร/วินาที เมื่อแทนค่า $\frac{H}{Vs}$ ในสมการ (2.14) และแทนค่า D_s, D_b, V_s และ V_b ในสมการ (2.15) แล้ว ได้ Tg = 1.47 วินาที และ k = 0.169 ตามลำดับ เมื่อแทนค่า Tg และ k ลงในสมการที่ (2.13) เพื่อหา G(T) และแทนค่าผลที่ได้

พร้อมทั้งค่า M = 5.9 ริคเตอร์ R = 150 กิโลเมตร ลงในสมการ (2.9), (2.10) และ (2.11) พร้อมทั้งแปรเปลี่ยนค่า T ภายในช่วง 0.1 ถึง 4 วินาที จะสามารถหาค่าสูงสุดของค่าต่าง ๆ ได้ ผลลัพธ์คือ

ค่าสูงสุดของการเคลื่อนที่ d_o = 0.27 ซม.

ค่าสูงสุดของความเร็ว v_o = 1.13 ซม./วินาที

ค่าสูงสุดของความเร่ง a_o = 20.6 ซม./วินาที^{2} หรือประมาณ 0.021 g

2.2.4 สเป็คตรัมออกแบบและคลื่นความเร่งของแผ่นดินไหวจำลอง

จากค่าสเป็คตรัมของการเคลื่อนที่ ความเร็วและความเร่งของผิวพื้นดิน d_o, v_o และ a_o ที่หาได้ในหัวข้อ 2.2.3 นำไปเขียนสเป็คตรัมของแผ่นดินไหวผิวพื้นดินได้ตามที่แสดงด้วยเส้นประในรูปที่ 2.5 Newmark และ Hall (19) ได้ศึกษาอัตราส่วนขยายสเป็คตรัมการตอบสนองของมวลสั่นดีกรีเดียว และได้ให้ค่าขยายสำหรับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1 σ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 สำหรับอัตราความหน่วง (Damping Ratio) 5% จะได้อัตราส่วนขยายของความเร่ง ความเร็ว และการเคลื่อนที่เท่ากับ 2.71, 2.30 และ 2.01 ตามลำดับ เมื่อขยายสเป็คตรัมของความเร่ง ความเร็ว และการเคลื่อนที่ของแผ่นดินไหวที่ผิวดินตามอัตราส่วนเหล่านี้ ก็จะได้สเป็คตรัมออกแบบตามที่แสดงด้วยเส้นทึบในรูปที่ 2.5 ข้อมูลนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่ต้องการในการสร้างคลื่นความเร่งจำลองของแผ่นดินไหวโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จ SIMQKE (20) นอกจากนี้ยังต้องกำหนดเอนเวลโลพฟังก์ชัน (Envelope Function) และค่าสูงสุดของความเร่ง a_o สำหรับแผ่นดินไหวขนาด 5.5-6 ริคเตอร์ นั้น Jennings (21)ได้เสนอแนะให้ใช้เอนเวลโลพฟังก์ชันตามที่แสดงในรูปที่ 2.6 สำหรับข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว คลื่นความเร่งแผ่นดินไหวจำลองที่สร้างออกมาโดยโปรแกรม SIMQKE เป็นดังแสดงในรูปที่ 2.7

ตารางที่ 2.1 ก ข้อมูลแผ่นดินไหวภายในรัศมี 450 กิโลเมตรจากกรุงเทพฯ ค.ศ.1912-1983 (11, 14)

ลำดับ	ปี เดือน วัน	เส้นรุ้ง (^{o}น)	เส้นแวง (^{o}อ)	ขนาดแผ่นดินไหว (ริคเตอร์)
1	1957/06/18	13.50	96.50	6.0
2	1960/01/11	16.00	98.00	5.7
3	1967/02/14	13.70	96.50	5.4
4	1968/09/05	14.70	96.80	4.7
5	1971/09/11	15.10	96.50	5.2
6	1971/12/01	13.70	96.40	4.8
7	1978/02/26	15.25	96.55	4.1
8	1978/05/05	15.16	96.54	4.8
9	1978/07/02	14.19	96.38	4.2
10	1978/10/24	14.56	96.51	4.9
11	1978/11/09	14.35	96.54	4.1
12	1978/12/08	14.57	96.59	4.2
13	1979/04/08	14.32	96.44	4.0
14	1983/01/03	14.95	96.73	4.0
15	1983/04/15	14.91	99.20	5.0
16	1983/04/15	14.92	99.21	4.0
17	1983/04/22	14.92	99.06	5.5
18	1983/04/22	14.98	99.16	5.3
19	1983/04/22	15.09	99.16	4.2
20	1983/04/22	15.03	99.21	4.8
21	1983/04/22	14.93	99.19	4.0
22	1983/04/22	14.94	99.18	4.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ก (ต่อ)

ลำดับ	ปี เดือน วัน	เส้นรุ้ง (^{o}น)	เส้นแวง (^{o}อ)	ขนาดแผ่นดินไหว (ริคเตอร์)
23	1983/04/23	15.04	99.18	4.8
24	1983/04/23	14.85	99.19	4.7
25	1983/04/26	15.17	99.33	4.6
26	1983/04/27	14.99	98.99	4.7
27	1983/04/30	14.99	96.16	4.3
28	1983/05/01	15.01	99.17	4.2
29	1983/05/09	14.98	99.17	4.4
30	1983/06/14	14.96	99.18	4.4
31	1983/06/17	14.97	99.15	4.4
32	1983/07/03	14.96	99.19	4.2
33	1983/07/14	14.98	99.20	4.3
34	1983/07/15	14.90	99.20	4.0
35	1983/07/17	14.95	99.19	4.5
36	1983/08/29	14.92	99.15	4.2
37	1983/11/03	14.18	96.50	4.4
38	1983/12/02	14.72	96.53	4.0
39	1983/12/15	13.01	103.77	4.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ข ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว จำนวนครั้งที่เกิดและจำนวนครั้งสะสม (11, 14)

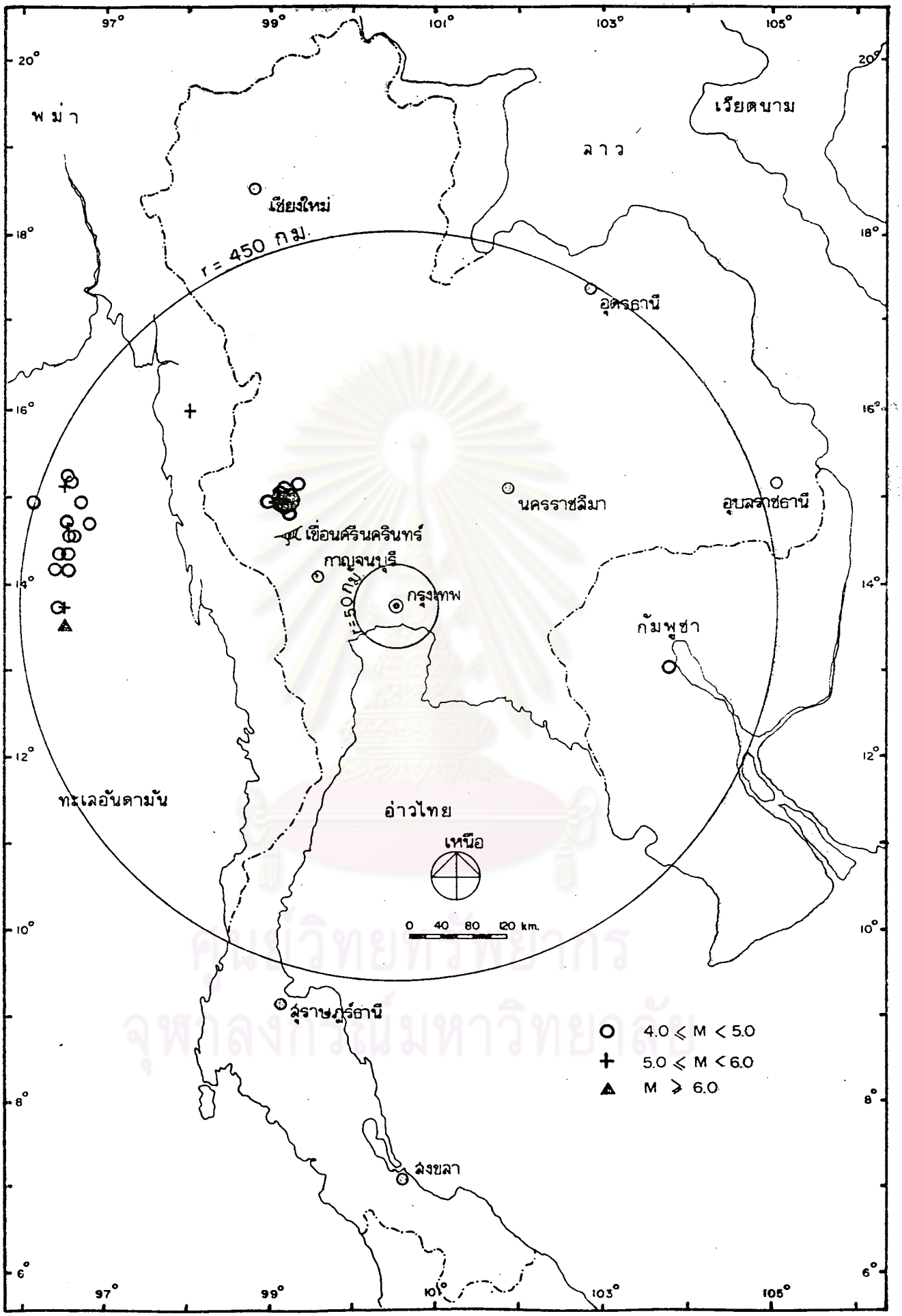
ขนาด (ริชเตอร์)	จำนวน	จำนวนสะสม
6.0	1	1
5.7	1	2
5.5	1	3
5.4	1	4
5.3	1	5
5.2	1	6
5.0	1	7
4.9	1	8
4.8	4	12
4.7	3	15
4.6	2	17
4.5	1	18
4.4	4	22
4.3	2	24
4.2	6	30
4.1	2	32
4.0	7	39

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

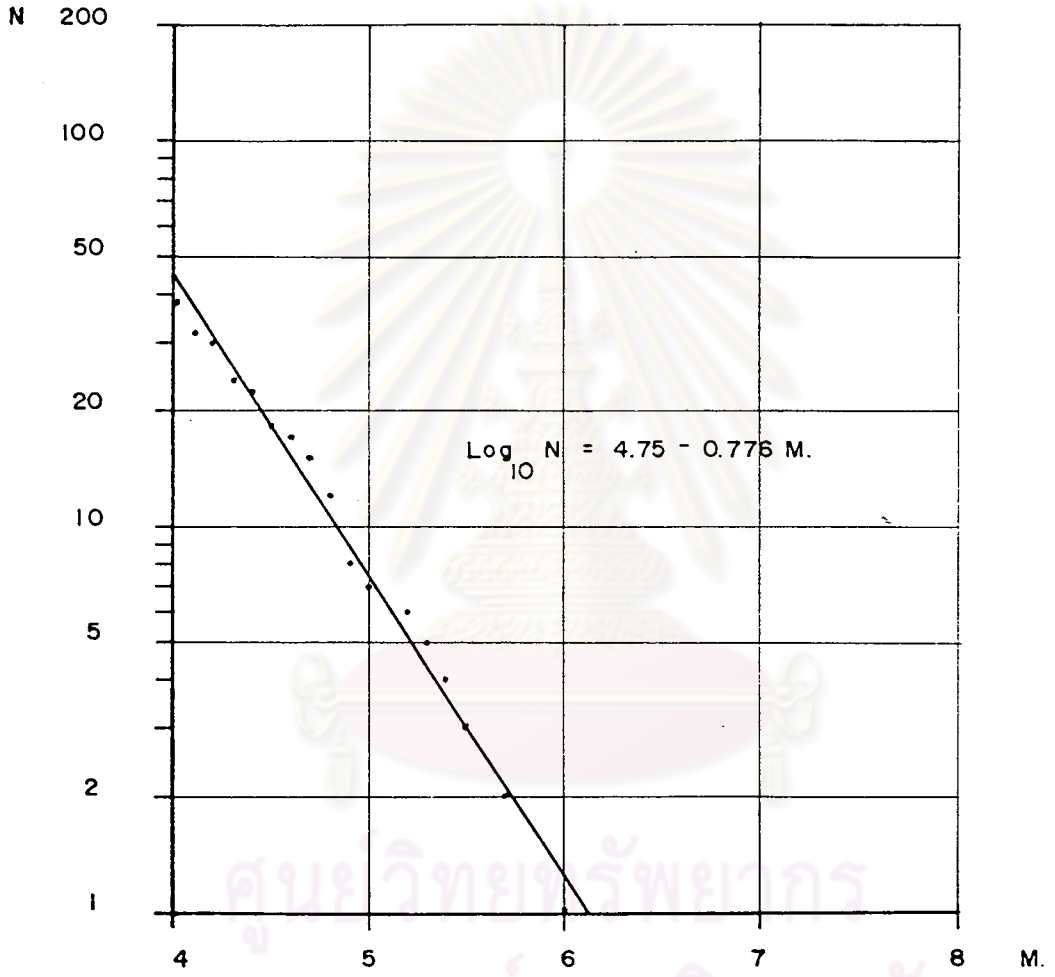
ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนขยายสเป็คตรัมสำหรับแนวราบช่วงอิลาสติก ของความเร่ง ความเร็ว และการเคลื่อนที่

Damping	1 Sigma (84.1%)		
% Critical	ความเร่ง (A)	ความเร็ว (V)	การเคลื่อนที่ (D)
0.5	5.10	3.84	3.04
1	4.38	3.38	2.73
2	3.66	2.92	2.42
3	3.24	2.64	2.24
5	2.71	2.30	2.01
7	2.36	2.08	1.85
10	1.99	1.84	1.69
20	1.26	1.37	1.38

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



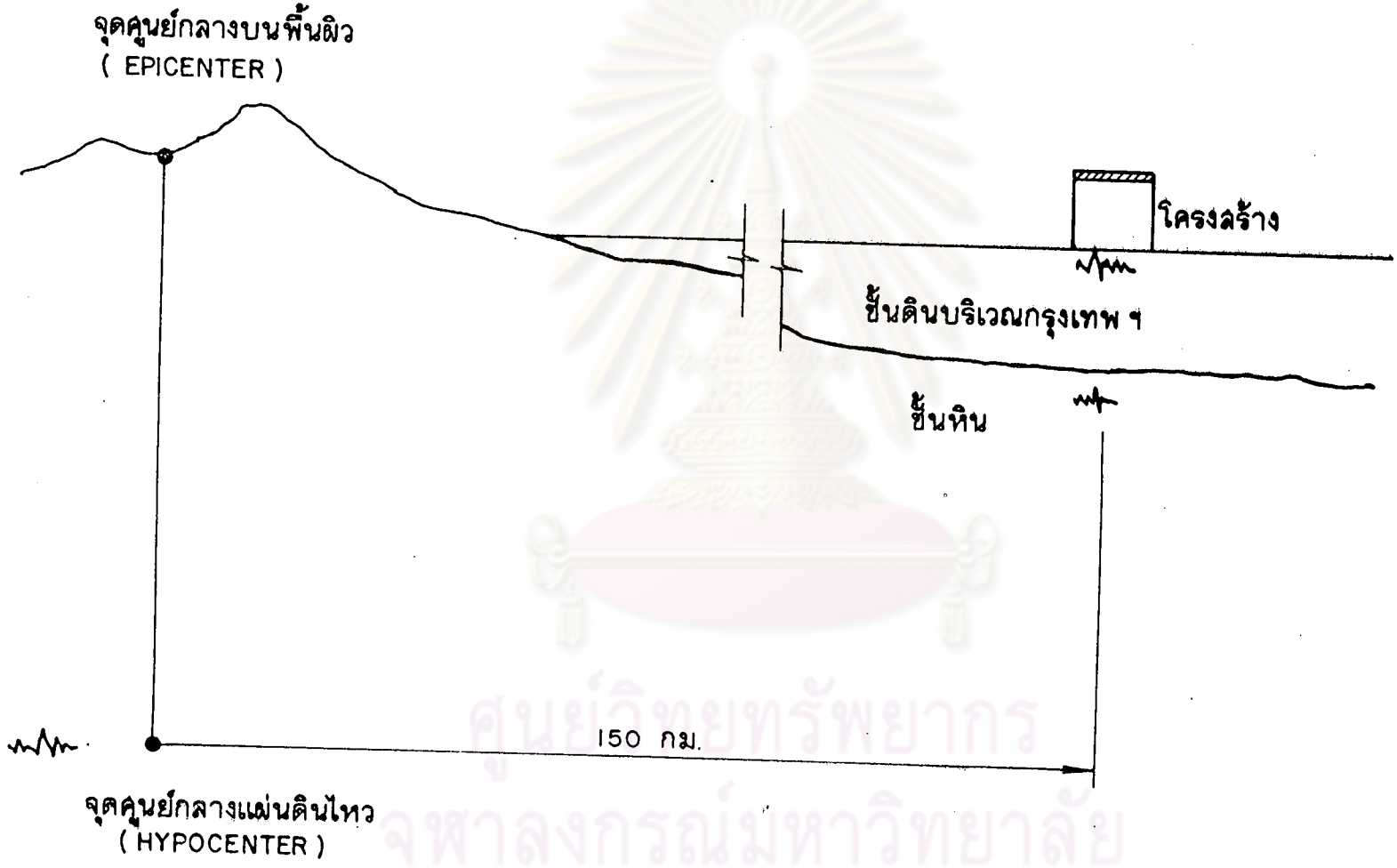
รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงแผ่นดินไหวภายในรัศมี 450 กิโลเมตร จากกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับขนาดแผ่นดินไหวที่เกิด.

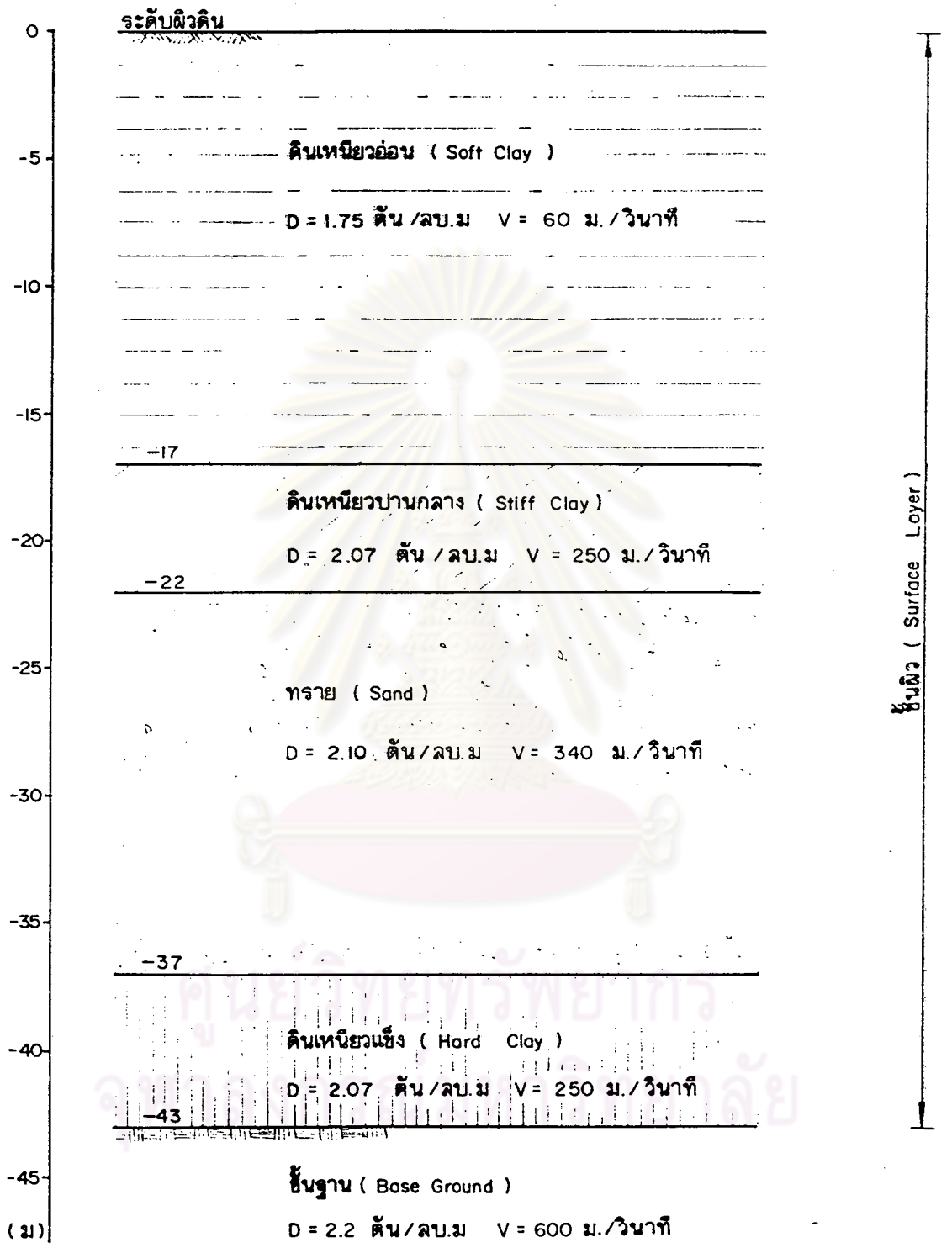
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

013449
I 15769082

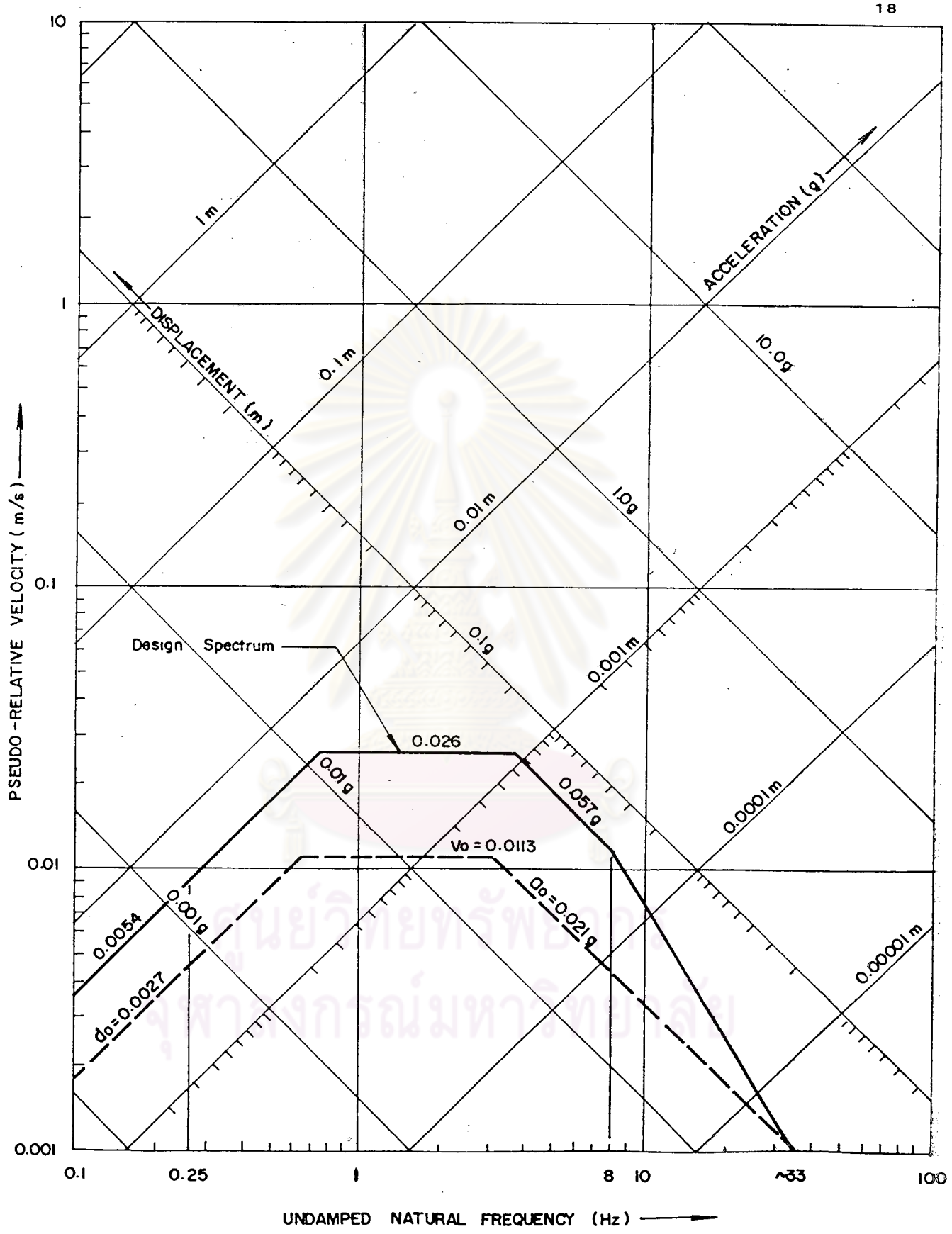


รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการส่งผ่านคลื่นแผ่นดินไหวจากจุดกำเนิดที่อยู่ไกลมายังบริเวณกรุงเทพ ฯ

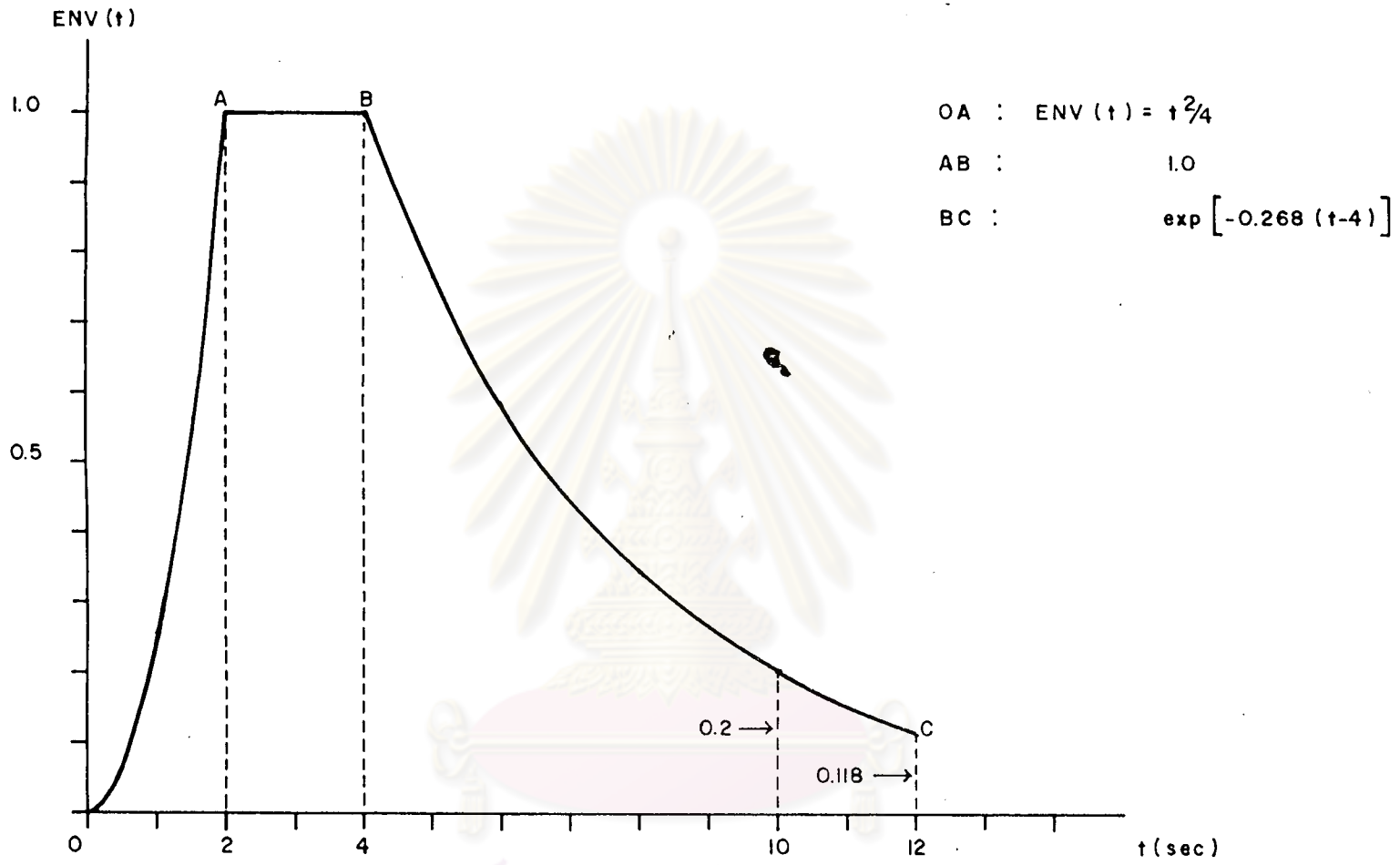
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 แสดงชั้นดินและคุณสมบัติของดินบริเวณกรุงเทพมหานคร

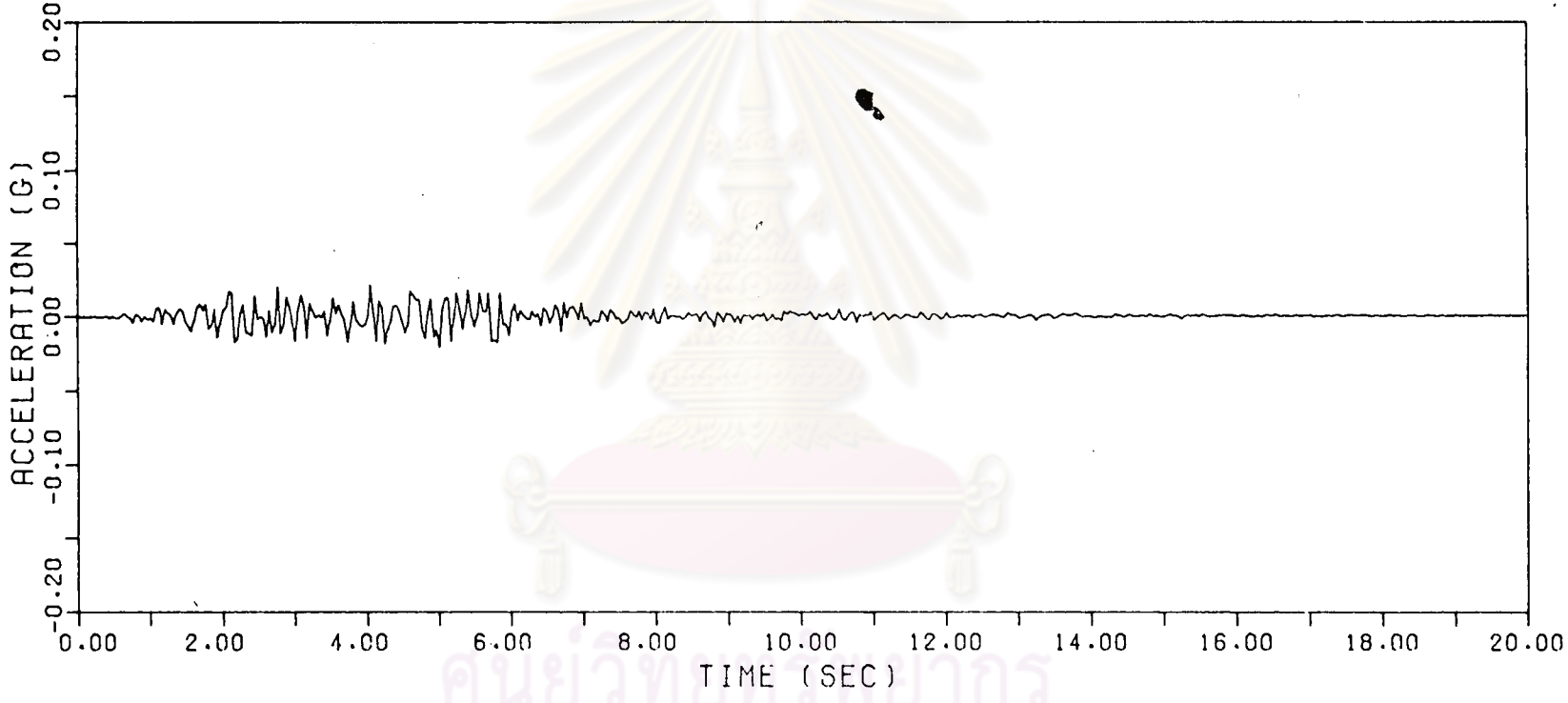


รูปที่ 2.5 สเป็คตรัมของแผ่นดินไหวที่ผิวดิน (เส้นประ) และสเป็คตรัมออกแบบ (เส้นทึบ)



รูปที่ 2.6 **เอ็นเวลโลพฟังก์ชัน** สำหรับสร้างคลื่นความเร่งแผ่นดินไหวในโปรแกรม SIMQKE.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.7 คลื่นความเร่งของแผ่นดินไหวบริเวณกรุงเทพมหานคร ขนาด 5.9 ริชเตอร์ ระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง-แผ่นดินไหว 150 กิโลเมตร.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย