

## บทที่ 2

### การหาค่าอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดิน

#### 2.1 แบบจำลองสำหรับหาอัตราเร่งที่ผิวดิน

จากการวิจัยที่ผ่านมาได้มีผู้เสนอแบบจำลองสำหรับหาอัตราเร่ง ที่มีขนาดลดลงตามระยะทางที่คลื่นแผ่นดินไหวแผ่กระจายไป (Attenuation Model) หลายท่าน ซึ่งมีทั้งแบบหาอัตราเร่งที่ผิวดิน เช่น Esteva, McGuire (อ้างถึงใน Dowrick, 1988) เป็นต้น และแบบอัตราเร่งที่ชั้นหินแข็ง เช่น Seed (1982) เป็นต้น ทั้งนี้แบบจำลองเหล่านี้มักจะขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นดินไหว ( $M$ ) (หน่วย ริคเตอร์) ระยะห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว (Focal Distance,  $R$ ) (หน่วย กิโลเมตร) สภาพและชนิดของชั้นดินซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นไหวที่ผิวดิน (Peak Ground Motions,  $y$ ) ดังสมการที่ (2.1)

$$\log y = b_1 + b_2 M + b_3 \log (R + b_4) \quad (2.1)$$

ค่าคงที่  $b_1$  ถึง  $b_4$  หาได้จากการแทนค่าชุดข้อมูลของแผ่นดินไหวที่วัดได้ลงในสมการที่ (2.1) ดังนั้นค่าคงที่  $b_1$  ถึง  $b_4$  จะขึ้นอยู่กับข้อมูลในพื้นที่นั้นๆ

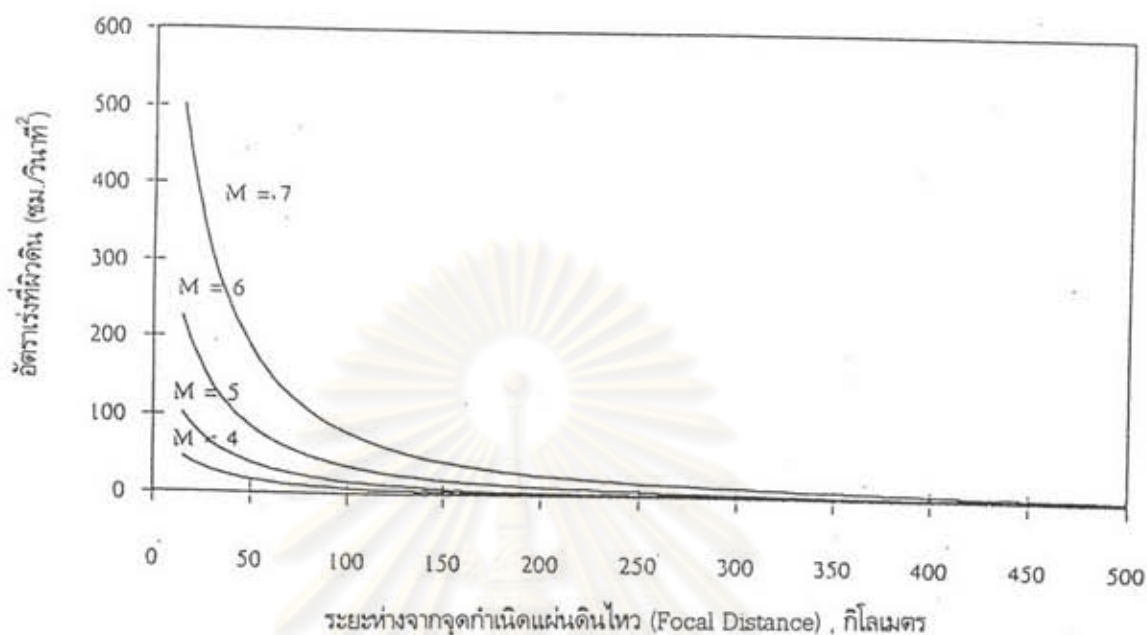
จากการวิจัยของ ปริญา นุตาลัย และ ประกาศ มาน เศรษฐา (2533) ที่ได้เปรียบเทียบค่าอัตราเร่งที่วัดได้จากสถานที่วัดแผ่นดินไหวที่เขื่อนศรีนครินทร์ และเขื่อนเขาแหลม กับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองต่างๆ ได้แก่ Esteva, McGuire, Oliveira และ Watabe ผลปรากฏว่าแบบจำลอง Esteva ให้ค่าใกล้เคียงที่สุด ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จะใช้แบบจำลอง Esteva ซึ่งสมการสำหรับหาอัตราเร่งสูงสุดบนผิวดิน ( $A$ ) (หน่วย ซม./วินาที<sup>2</sup>) และความเร็ว ( $v$ ) (หน่วย ซม./วินาที) ให้โดยสมการที่ (2.2) และ (2.3) ตามลำดับ ดังนี้

$$A = \frac{5600 e^{(0.8M)}}{(R + 40)^2} \quad (2.2)$$

$$v = \frac{e^M}{(R + 25)^{1.7}} \quad (2.3)$$

โดยที่สมการ (2.2) และ (2.3) จะใกล้เคียงความจริง เมื่อค่า  $R$  มีค่ามากกว่า 15 กม.ขึ้นไป

**ESTEVA'S ATTENUATION MODEL**  
(สำหรับแผ่นดินไหวขนาด 4 ถึง 7 หน่วยริคเตอร์)



รูปที่ 2.1 แบบจำลองสำหรับหาอัตราเร่งของ Esteva

## 2.2 การแจกแจงความถี่และการวิเคราะห์การถดถอย

เมื่อพิจารณาข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในรัศมี 800 กม. รอบๆ บริเวณจุดต่างๆ แล้วนำมาหาอัตราเร่งตามแบบจำลองของ Esteva ดังสมการที่ (2.2) จะได้ค่าอัตราเร่งมากบ้างน้อยบ้างขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นดินไหว และระยะของศูนย์กลางแผ่นดินไหวจากจุดที่พิจารณา โดยการแจกแจงความถี่ของการเกิดอัตราเร่งจะหาอัตราการเกิดเฉลี่ยต่อปี,  $U$  (Annual Mean Rate of Occurrence) ของอัตราเร่งขนาดค่าใดก็ตามที่อัตราเร่ง  $A$  ได้ ความสัมพันธ์ของ  $U$  กับอัตราเร่ง  $A$  มักสมมติเป็นรูปสมการลอการิทึม (logarithm) (Katayama และ Tomatsu, 1985) ดังนี้

$$\log U = b + a \log A \quad (2.4)$$

โดยที่  $a, b$  เป็นพารามิเตอร์ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลถดถอยของข้อมูล (Regression) ดังรูปที่ 2.2 - 2.4

ค่า  $a$  และ  $b$  ของจุดต่างๆ ที่พิจารณาจำนวน 85 จุด ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ a และ b ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

ลำดับ	ที่ตั้ง		พิกัดภูมิศาสตร์		ค่าคงที่	
	อำเภอ	จังหวัด	แลตติจูด	ลองติจูด	a	b
1	สังขละบุรี	กาญจนบุรี	15.1000	98.4000	-2.11306	1.674237
2	ทองผาภูมิ	กาญจนบุรี	14.6600	98.6000	-2.05721	1.829656
3	ศรีสวัสดิ์	กาญจนบุรี	14.5000	99.2000	-2.03853	1.991341
4	เลาขวัญ	กาญจนบุรี	14.6400	99.7000	-1.99256	1.516242
5	เมือง	กาญจนบุรี	14.0000	99.5000	-2.05730	1.092989
6	ฝาง	เชียงใหม่	19.9000	99.2000	-1.98293	1.917564
7	เชียงดาว	เชียงใหม่	19.4000	99.0000	-2.07935	2.041560
8	เมือง	เชียงใหม่	18.8000	99.0000	-2.20471	1.424119
9	แม่แจ่ม	เชียงใหม่	18.4700	98.4000	-2.14671	0.924039
10	อมก๋อย	เชียงใหม่	17.8000	98.4000	-2.16531	1.128159
11	เชียงแสน	เชียงราย	20.2500	100.1000	-2.24709	1.856815
12	เมือง	เชียงราย	19.9000	99.8300	-1.87934	1.321351
13	เวียงป่าเป้า	เชียงราย	19.3300	99.5000	-2.12641	1.525224
14	เมือง	แม่ฮ่องสอน	19.2700	98.0000	-1.88710	1.086458
15	ขุนยวง	แม่ฮ่องสอน	18.7700	97.9000	-2.02349	0.959840
16	แม่สะเรียง	แม่ฮ่องสอน	18.1000	97.9000	-2.08872	1.241001
17	ท่าสองยาง	ตาก	17.1800	98.3000	-2.14388	1.118987
18	เมือง	ตาก	16.8700	99.1300	-2.15991	0.633805
19	อุ้มผาง	ตาก	16.0000	98.8000	-2.18089	1.189540
20	แม่สอด	ตาก	16.7300	98.5000	-2.02049	1.314155
21	เชียงคำ	พะเยา	19.5000	100.3000	-2.09181	1.133002
22	เมือง	พะเยา	19.1800	99.9000	-1.78978	0.937174
23	เมือง	ลำพูน	18.5900	99.0000	-2.16302	1.100719
24	ลานสัก	อุทัยธานี	15.4400	99.6300	-2.00554	1.472601
25	เมือง	กำแพงเพชร	16.5000	99.5000	-2.25910	0.719072

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ a และ b ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล (ต่อ)

ลำดับ	ที่ตั้ง		พิกัดภูมิศาสตร์		ค่าคงที่	
	อำเภอ	จังหวัด	แลตติจูด	ลองติจูด	a	b
26	เถิน	ลำปาง	17.6200	99.2200	-2.17074	0.556663
27	จ.กอกะเรก	พม่า	16.4700	98.2700	-2.17155	1.098989
28	จ.ทวาย	พม่า	14.0800	98.2700	-2.23517	1.151159
29		พม่า	18.0000	97.0000	-2.20843	1.453875
30	เมือง	อุตรดิตถ์	17.6000	100.2000	-2.05850	0.332373
31	เมือง	แพร่	18.1455	100.1455	-1.85053	0.494016
32	เมือง	น่าน	18.7748	100.7773	-2.06668	0.630706
33	เมือง	ลำปาง	18.2873	99.5062	-2.14819	0.714906
34	เมือง	พิษณุโลก	16.8248	100.2632	-2.26047	0.305822
35	เมือง	นครสวรรค์	15.7037	100.1417	-2.06375	0.788909
36	หล่มสัก	เพชรบูรณ์	16.8838	101.2330	-2.04496	0.027878
37	เมือง	เลย	17.4857	101.7245	-1.98853	0.057349
38	เมือง	ชัยภูมิ	15.8067	102.0375	-2.02842	-0.26625
39	บ้านไผ่	ขอนแก่น	16.0585	102.7340	-1.83904	-0.43179
40	เมือง	อุตรธานี	17.4147	102.7910	-1.95034	-0.08021
41	ตระการพืชผล	อุบลราชธานี	15.6108	105.0243	-1.74675	-1.00332
42	เมือง	นครราชสีมา	14.9703	102.1023	-2.05125	-0.38441
43	รัตนบุรี	สุรินทร์	15.3193	103.8595	-1.62110	-0.79065
44	เมือง	สุรินทร์	14.8815	103.4955	-1.78983	-0.79512
45	กิ่งอ.ปลาปาก	นครพนม	17.1788	104.5288	-1.75162	-0.31498
46	ม่วงเหล็ก	สระบุรี	14.6568	101.2037	-2.01532	0.044229
47	เมือง	สิงห์บุรี	14.8883	100.4082	-1.97887	0.701906
48	เมือง	อยุธยา	14.3487	100.5608	-2.00882	0.449651
49		กรุงเทพฯ	13.7000	100.6000	-2.07669	0.211415
50	เมือง	ชลบุรี	13.3603	100.9870	-2.09857	-0.11698

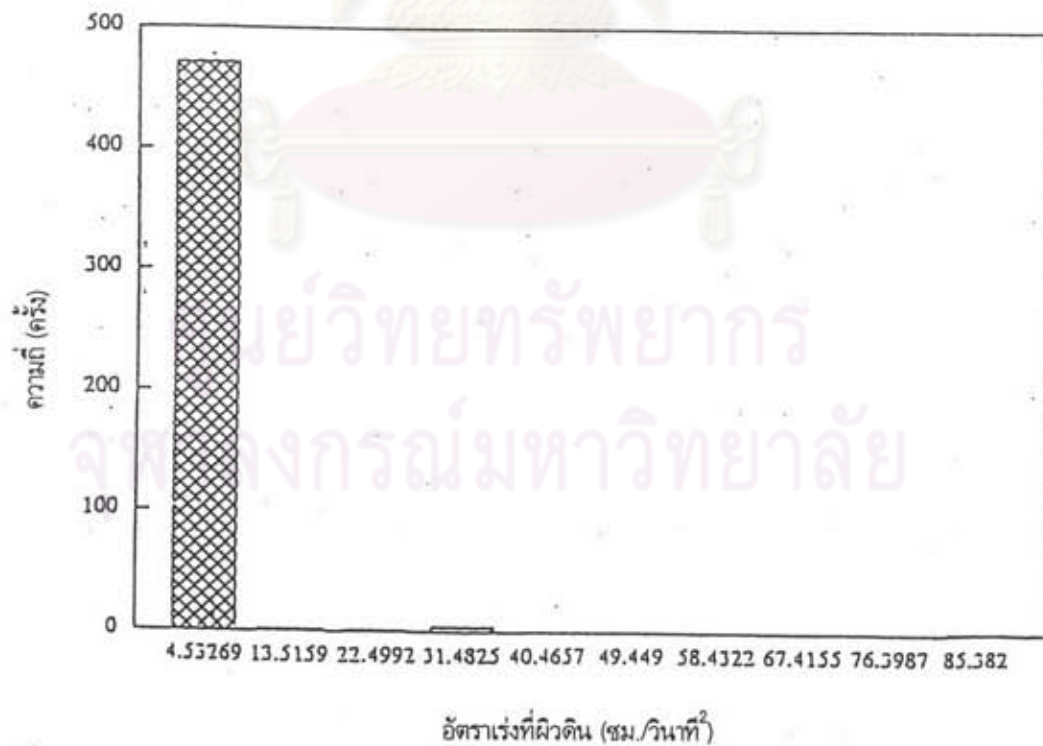


ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ a และ b ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล (ต่อ)

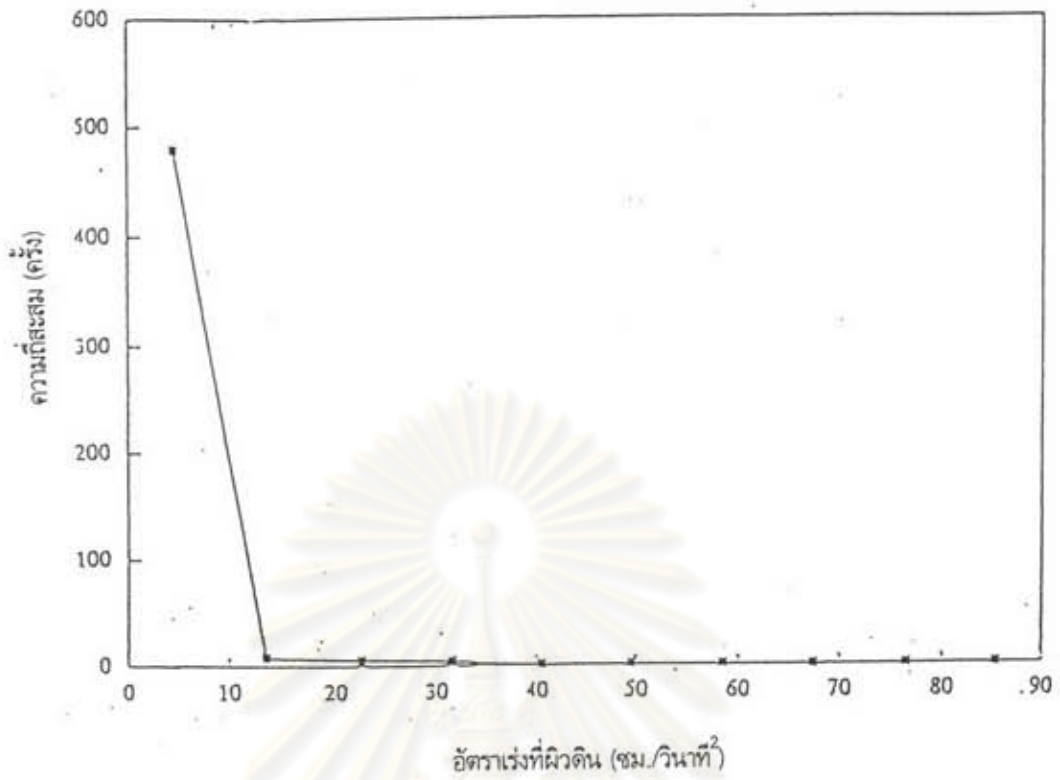
ลำดับ	ที่ตั้ง		พิกัดภูมิศาสตร์		ค่าคงที่	
	อำเภอ	จังหวัด	แลตติจูด	ลองติจูด	a	b
51	บ้านฉาง	ระยอง	12.7265	101.0685	-2.15811	-0.35741
52	เมือง	จันทบุรี	12.6113	102.1113	-2.04552	-0.78606
53	เมือง	ปราจีนบุรี	14.0468	101.3748	-2.07022	-0.12627
54	วัฒนานคร	ปราจีนบุรี	13.7357	102.3190	-2.00250	-0.66014
55	เมือง	เพชรบุรี	13.1095	99.9505	-2.17051	0.237174
56	เมือง	ประจวบคีรีขันธ์	11.8098	99.7995	-2.47714	-0.19691
57	เมือง	ชุมพร	10.4923	99.1822	-2.19694	-0.10306
58	พุนพิน	สุราษฎร์ธานี	9.1040	99.2360	-2.48870	-0.06701
59	เมือง	พังงา	8.4405	98.5203	-2.48591	0.293243
60	เมือง	นครศรีธรรมราช	8.4167	99.9662	-2.38454	-0.21428
61	เมือง	ตรัง	7.4032	99.5185	-2.28930	0.118012
62	เมือง	ระนอง	9.9648	98.6383	-2.38653	0.034692
63	เมือง	สงขลา	7.2040	100.6000	-2.28066	-0.29551
64	เมือง	สตูล	6.6220	100.0690	-2.16702	-0.00403
65	เมือง	นราธิวาส	6.4267	101.8300	-1.88913	-0.56249
66	เบตง	ยะลา	5.7693	101.0693	-2.01423	-0.28242
67		พม่า	20.0000	97.0000	-2.05539	0.988419
68		พม่า	20.0000	98.0000	-1.92831	1.491859
69		พม่า	21.0000	100.0000	-2.16699	1.883342
70		พม่า	19.0000	97.0000	-2.34943	1.494765
71		พม่า	18.0000	97.0000	-2.20843	1.453875
72		ทะเลอันดามัน	15.0000	97.0000	-1.72467	1.443602
73		พม่า	13.0000	99.0000	-2.33823	0.481950
74		พม่า	12.0000	99.0000	-2.47851	0.085276
75		พม่า	11.0000	99.0000	-2.27190	-0.04256

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ a และ b ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล (ต่อ)

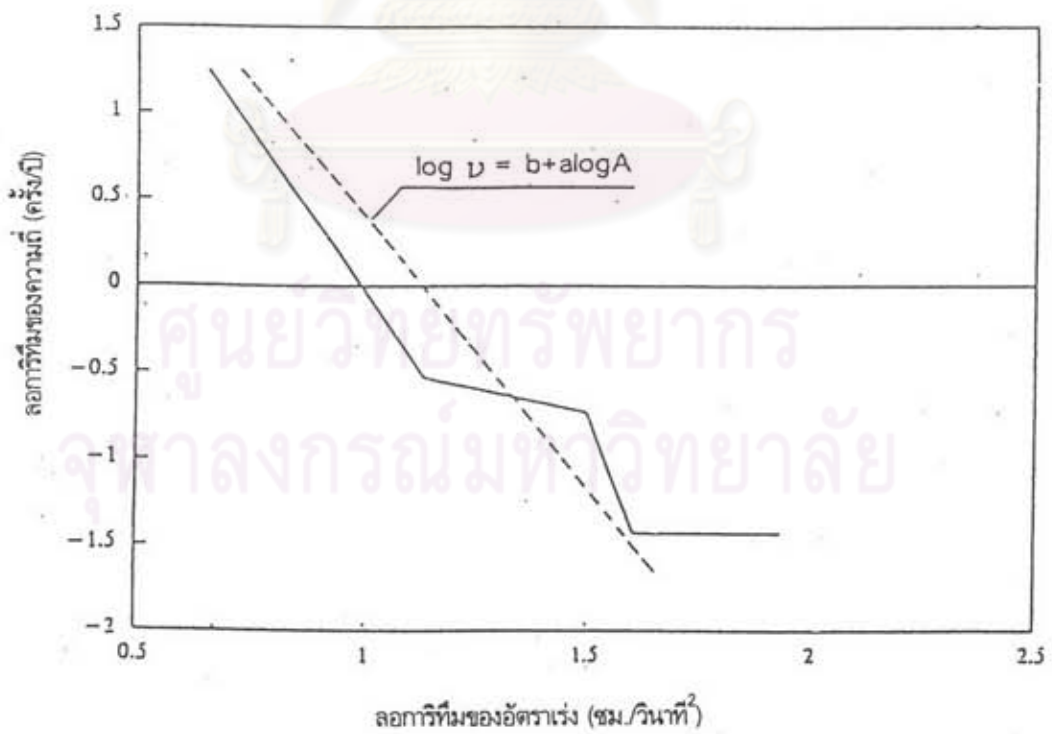
ลำดับ	ที่ตั้ง		พิกัดภูมิศาสตร์		ค่าคงที่	
	อำเภอ	จังหวัด	แลตติจูด	ลองติจูด	a	b
76		ทะเลอันดามัน	9.0000	98.0000	-2.52051	0.356655
77		ทะเลอันดามัน	7.0000	99.0000	-2.12407	0.397973
78		อ่าวไทย	10.0000	100.0000	-2.34612	-0.34326
79		อ่าวไทย	12.0000	101.0000	-2.27506	-0.53852
80		กัมพูชา	12.0000	103.0000	-1.76671	-1.21160
81		กัมพูชา	14.0000	104.0000	-1.64723	-1.20857
82		ลาว	16.0000	106.0000	-1.67147	-1.05345
83		ลาว	19.0000	104.0000	-1.97925	0.278448
84		ลาว	19.0000	102.0000	-1.87143	0.533519
85		ลาว	20.0000	101.0000	-1.90868	1.402854



รูปที่ 2.2 การแจกแจงความถี่ของอัตราเร่งแผ่นดินไหวของ อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความถี่สะสมกับอัตราเร่งของแผ่นดินไหว ของ อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี



รูปที่ 2.4 การหาเส้นสัมพันธ์ความถี่กับอัตราเร่งของ อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี

### 2.3 การหาค่าฟังก์ชันการกระจายสะสม (Cumulative Distribution Function)

โดยวิธีการของปณิธาน, สุริยา และอุทัย (2532) ซึ่งมีสมมติฐานว่าการเกิดแผ่นดินไหวสามารถจำลองเป็นกระบวนการแบบปัวซอง (Poisson Process) ได้ ดังนั้นคาบเวลาการกลับ (Return Period),  $T_r$  สามารถหาได้จาก

$$T_r = \frac{1}{U} \quad (2.5)$$

สำหรับค่า  $U$  น้อย ๆ ค่า  $U$  จะมีความสัมพันธ์กับความน่าจะเป็นของค่าเกิน,  $P_e$  (Probability of Exceedance) ดังนี้

$$U = P_e \quad (2.6)$$

แทนค่า  $T_r$  จากสมการที่ (2.5) ลงในสมการที่ (2.4) จะได้

$$\log (1/ T_r ) = b + a \log A \quad (2.7)$$

หรือ

$$\log T_r = -b - a \log A \quad (2.8)$$

สำหรับโครงสร้างที่มีอายุใช้งาน  $T_s$  ความเป็นไปได้  $Q$  ของการเกิดแผ่นดินไหวไม่เกินค่าหนึ่งๆ สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} Q &= (1 - P_e)(1 - P_e) \dots \dots \dots (\text{คูณ } T_s \text{ ครั้ง}) \\ &= (1 - U)^{T_s} \end{aligned} \quad (2.9)$$

ค่า  $Q$  ในสมการที่ (2.9) คือ ฟังก์ชันการกระจายสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF) นั่นเอง จากสมการที่ (2.5), (2.8) และ (2.9) จะได้

$$\begin{aligned} Q &= [ 1 - 10^{\frac{a \log A + b}{T_s}} ]^{T_s} \\ &= [ 1 - A^{-\frac{a}{T_s}} 10^{\frac{b}{T_s}} ]^{T_s} \end{aligned} \quad (2.10)$$



ซึ่งสามารถหาค่า pdf (Probability Density Function) ได้จาก

$$\text{pdf} = \frac{d(\text{CDF})}{dA} \quad (2.11)$$

แทนค่าสมการที่ (2.10) ลงในสมการที่ (2.11) และหาอนุพันธ์ จะได้

$$\text{pdf} = T_s \left[ 1 - A \frac{a}{10} \right]^{T_s - 1} \left[ -aA \frac{a-1}{10} \right] \quad (2.12)$$

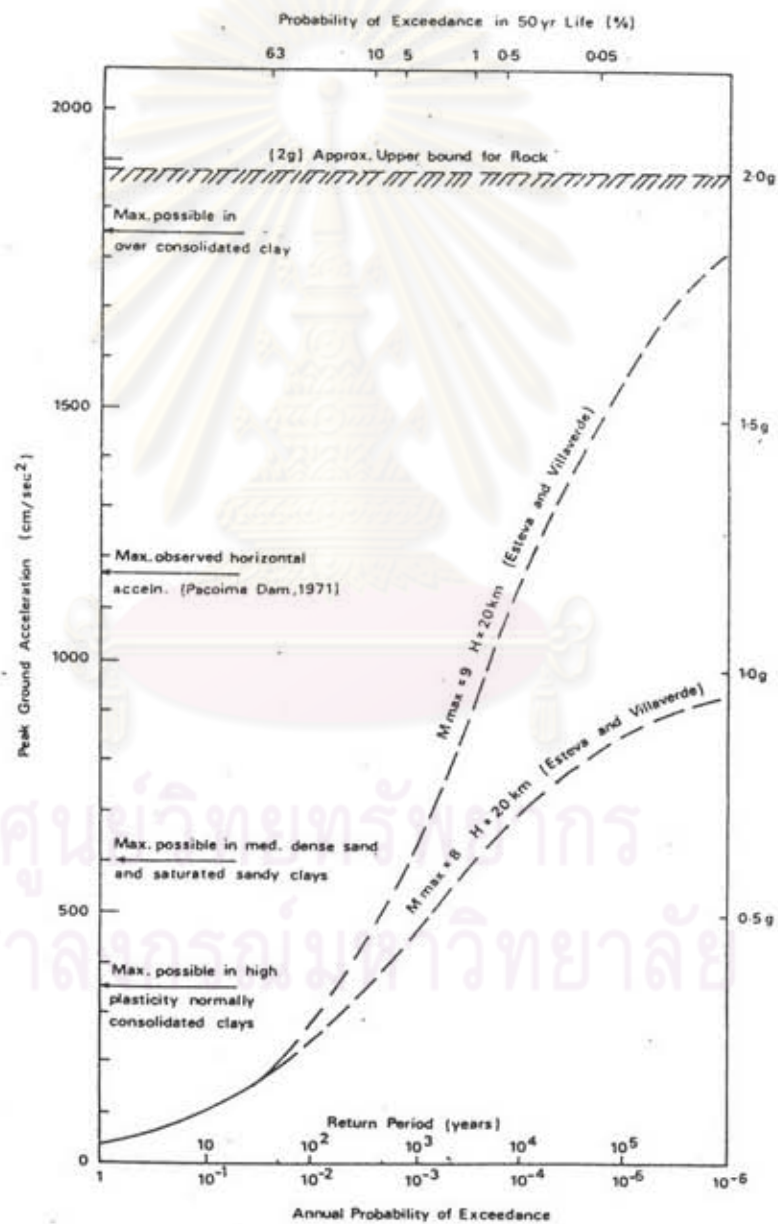
#### 2.4 การปรับแก้ฟังก์ชันการกระจายสะสม

CDF ที่ได้ในสมการที่ (2.10) ได้จากการพิจารณาทฤษฎีของความเป็นไปได้เพียงอย่างเดียว ปรากฏว่าเมื่อ CDF เข้าใกล้ 1 ค่าอัตราเร่งที่ผิวดินจะมีค่าสูงมาก ซึ่งไม่น่าเป็นไปได้เมื่อพิจารณาเหตุผลทางกายภาพในท้องถิ่นหนึ่งๆ ขนาดและความรุนแรงของแผ่นดินไหวต้องได้มาจากผลการศึกษาทางด้านธรณีวิทยา และไฮสโมโลยี (Seismology) อย่างละเอียด โดยเหตุที่ผลการศึกษาดังกล่าวยังมีไม่พอในประเทศไทย การคาดคะเนความรุนแรงสูงสุดที่น่าจะเป็นไปได้ จึงอาจพิจารณาได้ว่าในอดีต (ประมาณ 70 ปี) ที่ผ่านมามีความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทยนั้นมีค่าไม่เกิน 7 หน่วยเมอร์แคลลีปรับปรุง (Modified Mercalli Scale, MM) ซึ่งมีค่าอัตราเร่งที่ผิวดินประมาณ 80 แกล (ดูตารางที่ 2.2) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอัตราเร่ง กับคาบเวลาการกลับของแผ่นดินไหวที่มีขนาด 8 หน่วยริคเตอร์ (ดูรูปที่ 2.5) พบว่าค่าอัตราเร่งที่คาบเวลาการกลับ 10,000 ปี จะมีค่าประมาณ 3.85 เท่าของอัตราเร่งที่คาบเวลาการกลับ 50 ปี ดังนั้นค่าอัตราเร่งที่ผิวดินสูงสุดที่เกิดขึ้นจึงไม่น่าเกินประมาณ  $3.85 \times 80 \approx 300$  แกล ในงานวิจัยนี้ จึงใช้ค่าอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดินเท่ากับ 300 แกล เป็นตัวกำหนดค่าสูงสุดของอัตราเร่งที่ผิวดิน (Cut off Acceleration,  $A_0$ ) เมื่อค่า CDF เท่ากับ 1 และต้องทำการปรับแก้ค่า CDF และ pdf เสียใหม่ โดยวิธีการดังต่อไปนี้

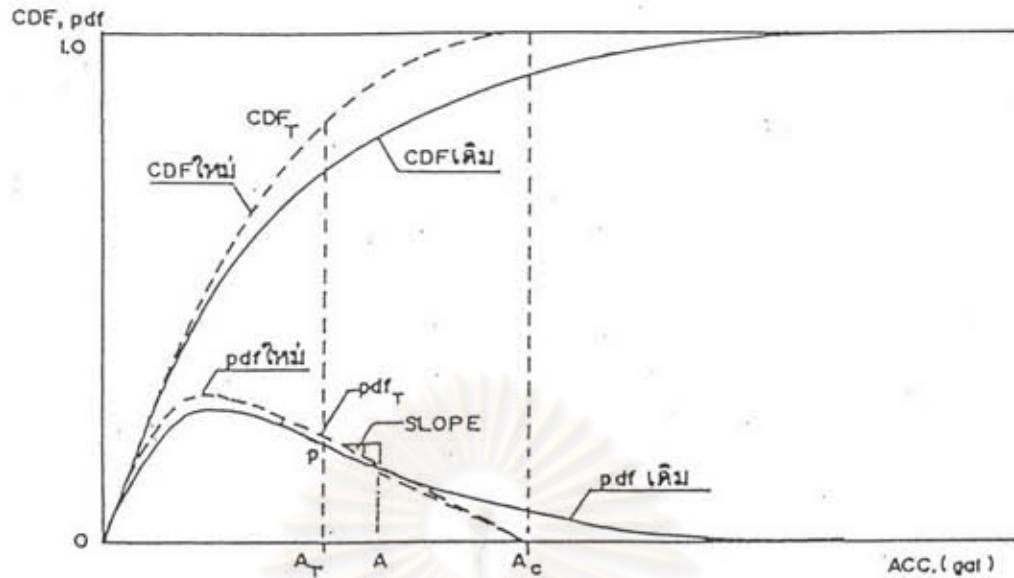
จากรูปที่ 2.6 CDF และ pdf เป็นกราฟเดิมที่ยังไม่ได้ทำการปรับแก้ เมื่อกำหนดค่า  $A_0$  ให้ลากเส้นจากจุด  $A_0$  มาสัมผัสกับกราฟของ pdf ที่จุด  $p$  (ซึ่งมีค่าอัตราเร่งเท่ากับ  $A_p$ ) ทำการหาพื้นที่ภายใต้กราฟ pdf ใหม่ ( $0 - p - A_0$ ) ให้เป็นค่า  $\alpha$  (ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1) ปรับแก้ pdf ใหม่ด้วยแฟกเตอร์  $1 / \alpha$  เพื่อให้ได้พื้นที่ภายใต้กราฟ pdf ใหม่เท่ากับ 1 ค่าของ pdf และ CDF หลังจากปรับแก้แล้วสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

เมื่อ  $A < A_T$ , pdf ใหม่ = ( pdf เดิม ) /  $\alpha$   
 CDF ใหม่ = ( CDF เดิม ) /  $\alpha$   
 เมื่อ  $A > A_T$ , pdf ใหม่ =  $( A - A_c ) \times \text{SLOPE} / \alpha$   
 CDF ใหม่ =  $\text{CDF}_T + (\text{pdf}_T + \text{SLOPE} ( A - A_c )) \times ( A - A_T ) / 2$  (2.13)

โดยที่ SLOPE คือ ความชันของเส้นกราฟ pdf ณ ตำแหน่งของอัตราเร่งที่นำมาปรับแก้



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร่ง และ คาบเวลาการกลับของแผ่นดินไหว (Dowrick, 1988)



รูปที่ 2.6 การปรับแก้ pdf และ CDF

## 2.5 ค่าอัตราเร่งสูงสุดและเส้นชั้นอัตราเร่งสูงสุดบนผิวดิน

โดยการจำลองการเกิดแผ่นดินไหวตามวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) ด้วยการสุ่มตัวเลขซึ่งกำหนดให้มีโอกาสการเกิดเท่าๆ กัน จาก 0 ถึง 1 จำนวน 1000 ครั้ง เพื่อจำลองค่า CDF แล้วอ่านค่าอัตราเร่งจากเส้นกราฟ CDF ได้ ตารางที่ 2.3 แสดงค่าอัตราเร่งเฉลี่ย และอัตราเร่งเฉลี่ยบวกค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของจุดต่างๆ รวมทั้งค่าความน่าจะเป็นของการเกิดค่าอัตราเร่งสูงสุดเฉลี่ย และค่าอัตราเร่งเฉลี่ยสูงสุดบวกค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากค่าอัตราเร่งเฉลี่ยและ ค่าอัตราเร่งเฉลี่ยบวกค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่จุดต่างๆ ของประเทศไทยและ บริเวณใกล้เคียง สามารถสร้างเป็นเส้นชั้นขนาดของอัตราเร่งที่ผิวดินได้ดังรูปที่ 2.7 และ 2.8

โดยอาศัยความสัมพันธ์ของอัตราเร่งผิวดินสูงสุด และความเข้มในมาตราเมอร์เคลส์ปรับปรุงดังแสดงในตารางที่ 2.2 สามารถสร้างแผนที่ความเข้มของแผ่นดินไหว (Seismic Intensity Map) ดังรูปที่ 2.9

จากรูปที่ 2.7 และ 2.8 จะเห็นว่าค่าอัตราเร่งเฉลี่ยสูงสุด และ ค่าอัตราเร่งเฉลี่ยบวกค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าไม่เกิน 90 gals และ 140 gals ตามลำดับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าอัตราเร่งเท่ากับ 140 gals ซึ่งเป็นอัตราเร่งที่มีความน่าจะเป็นในการเกิดประมาณ 84 % ในอายุการใช้งาน 50 ปี มาจำลองคลื่นแผ่นดินไหวต่อไป

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของอัตราเร่งผิวดินสูงสุด และความเข้มในมาตราเมอร์แคลลิปปรับปรุง

Modified Mercalli Intensity Scale (1931, Wood and Neumann)	Acceleration		Magnitude (Instrumental)	Energy of Shock Ergs.
	Cm./sec <sup>2</sup>	Gravity Fraction		
I Detected only by sensitive instruments			2	$10^{14}$
II Felt by few persons at rest, especially on upper floor; delicately suspended objects may swing				$10^{15}$
III Felt noticeably indoor but not always recognized as earthquake; standing autos rock slightly; vibration like passing truck	10	0.01g	3	$10^{16}$
IV Felt indoors by many; outdoors by few; at night some awaken; dishes, windows, doors disturbed; motor cars rock noticeably			4	$10^{17}$
V Felt by most people, some breakage of dishes, windows, and plaster; disturbance of tall objects	20			$10^{18}$
VI Felt by all; many frightened and run outdoors; falling plaster and chimneys, damage small	40		5	$10^{19}$
VII Everybody runs outdoors; damage to buildings varies depending on quality of construction noticed by drivers of automobiles	60	0.05g		$10^{20}$
VIII Panel walls thrown out of frames; fall of walls, monuments chimneys, sand and mud ejected; drivers of autos disturbed	100	0.1g	6	$10^{21}$
IX Buildings shifted off foundations cracked, thrown out of plumb; ground cracked underground pipes broken	200			$10^{22}$
X Most masonry and frame structures destroyed; ground cracked; rails bent; landslides	400		7	$10^{23}$
XI Few structures remain standing bridges destroyed, fissures in ground, pipes broken, landslides, rails bent	800	0.5g		$10^{24}$
XII Damage total, waves seen on ground surfaces, lines of sight and level distorted, objects thrown up into air	1000	1.0g	8	$10^{25}$

Approximate relationships earthquake intensity, accelerations and magnitude (after Gumensky)

ตารางที่ 2.3 ค่าอัตราเร่งเฉลี่ย และอัตราเร่งเฉลี่ยบวกค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ลำดับ	ที่ตั้ง		$\bar{X}$	SD	$\bar{X} + SD$	$Q_x$	$Q_{x+sd}$
	อำเภอ	จังหวัด	(1000 ค่า) (gals)	(gals)	(gals)		
1	สังขละบุรี	กาญจนบุรี	59.64	40.00	99.64	0.67	0.88
2	ทองผาภูมิ	กาญจนบุรี	74.37	45.02	119.39	0.64	0.86
3	ศรีสวัสดิ์	กาญจนบุรี	87.74	47.67	135.41	0.62	0.84
4	เลาขวัญ	กาญจนบุรี	59.13	40.62	99.75	0.63	0.86
5	เมือง	กาญจนบุรี	36.45	29.09	65.54	0.69	0.90
6	ฝาง	เชียงใหม่	90.37	49.95	140.32	0.61	0.85
7	เชียงดาว	เชียงใหม่	87.93	48.24	136.17	0.64	0.86
8	เมือง	เชียงใหม่	39.56	29.09	68.65	0.67	0.89
9	แม่แจ่ม	เชียงใหม่	25.82	21.42	47.24	0.68	0.90
10	อมก๋อย	เชียงใหม่	31.63	23.01	54.64	0.69	0.89
11	เชียงแสน	เชียงราย	56.92	37.41	94.33	0.67	0.89
12	เมือง	เชียงราย	66.03	47.03	113.06	0.67	0.89
13	เวียงป่าเป้า	เชียงราย	52.11	39.97	92.08	0.69	0.90
14	เมือง	แม่ฮ่องสอน	49.97	38.78	88.75	0.69	0.89
15	ขุนยวง	แม่ฮ่องสอน	34.13	29.41	63.54	0.70	0.91
16	แม่สะเรียง	แม่ฮ่องสอน	39.39	29.00	68.39	0.67	0.89
17	ท่าสองยาง	ตาก	31.59	25.52	57.11	0.68	0.90
18	เมือง	ตาก	20.18	20.77	40.95	0.72	0.93
19	อุ้มผาง	ตาก	32.33	26.32	58.65	0.66	0.90
20	แม่สอด	ตาก	48.52	35.08	83.60	0.67	0.88
21	เชียงคำ	พะเยา	37.16	31.86	69.02	0.77	0.91
22	เมือง	พะเยา	47.16	36.01	83.17	0.67	0.87
23	เมือง	ลำพูน	32.21	27.33	59.54	0.71	0.92
24	ลานสัก	อุทัยธานี	58.12	40.90	99.02	0.66	0.88
25	เมือง	กำแพงเพชร	18.87	18.78	37.65	0.71	0.93



ตารางที่ 2.3 ค่าอัตราเร่งเฉลี่ย และอัตราเร่งเฉลี่ยบวกค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่อ)

ลำดับ	ที่ตั้ง		$\bar{X}$	SD	$\bar{X} + SD$	$Q_x$	$Q_{x+sd}$
	อำเภอ	จังหวัด	(1000 ค่า) (gals)	(gals)	(gals)		
26	เถิน	ลำปาง	17.25	16.29	33.54	0.69	0.92
27	จ.กอกะเรก	พม่า	29.44	24.71	54.15	0.67	0.90
28	จ.ทวาย	พม่า	29.49	23.17	52.66	0.69	0.91
29		พม่า	41.84	31.63	73.47	0.69	0.90
30	เมือง	อุตรดิตถ์	16.86	18.10	34.96	0.73	0.93
31	เมือง	แพร่	28.11	28.07	56.18	0.73	0.92
32	เมือง	น่าน	21.76	20.58	42.34	0.69	0.91
33	เมือง	ลำปาง	21.53	21.30	42.84	0.70	0.92
34	เมือง	พิษณุโลก	12.45	13.43	25.88	0.71	0.94
35	เมือง	นครสวรรค์	25.56	23.08	48.64	0.68	0.91
36	หล่มสัก	เพชรบูรณ์	11.74	13.37	25.11	0.71	0.93
37	เมือง	เลย	12.57	12.87	25.44	0.69	0.91
38	เมือง	ชัยภูมิ	8.80	10.12	18.92	0.72	0.93
39	บ้านไผ่	ขอนแก่น	9.51	14.07	23.58	0.75	0.95
40	เมือง	อุดรธานี	12.23	12.44	24.67	0.73	0.92
41	ตระการพืชผล	อุบลราชธานี	4.95	8.50	13.45	0.74	0.95
42	เมือง	นครราชสีมา	7.66	10.79	18.45	0.73	0.95
43	รัตนบุรี	สุรินทร์	8.33	13.47	21.81	0.77	0.95
44	เมือง	สุรินทร์	6.54	9.29	15.83	0.76	0.94
45	กิ่งอ.ปลาปาก	นครพนม	11.59	15.72	27.30	0.72	0.93
46	ม่วงเหล็ก	สระบุรี	13.56	16.99	30.55	0.75	0.95
47	เมือง	สิงห์บุรี	26.64	25.13	51.77	0.69	0.91
48	เมือง	อยุธยา	20.03	20.94	40.97	0.71	0.92
49		กรุงเทพฯ	13.64	14.41	28.05	0.70	0.92
50	เมือง	ชลบุรี	9.14	8.79	17.92	0.69	0.91

ตารางที่ 2.3 ค่าอัตราเร่งเฉลี่ย และอัตราเร่งเฉลี่ยบวกค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่อ)

ลำดับ	ที่ตั้ง		$\bar{X}$	SD	$\bar{X} + SD$	$Q_x$	$Q_{x+sd}$
	อำเภอ	จังหวัด	(1000 ค่า) (gals)	(gals)	(gals)		
51	บ้านฉาง	ระยอง	7.03	7.60	14.63	0.72	0.94
52.	เมือง	จันทบุรี	4.76	5.65	10.41	0.72	0.93
53	เมือง	ปราจีนบุรี	9.47	11.08	20.55	0.70	0.93
54	วัฒนานคร	ปราจีนบุรี	5.53	8.13	13.66	0.70	0.94
55	เมือง	เพชรบุรี	12.26	11.68	23.94	0.69	0.92
56	เมือง	ประจวบคีรีขันธ์	6.51	7.14	13.66	0.74	0.95
57	เมือง	ชุมพร	8.19	7.11	15.30	0.68	0.91
58	พุนพิน	สุราษฎร์ธานี	7.04	5.69	12.73	0.72	0.93
59	เมือง	พังงา	9.46	6.98	16.44	0.69	0.91
60	เมือง	นครศรีธรรมราช	6.65	8.39	15.05	0.72	0.95
61	เมือง	ตรัง	9.35	8.03	17.38	0.67	0.91
62	เมือง	ระนอง	8.30	8.53	16.83	0.71	0.94
63	เมือง	สงขลา	6.69	8.45	15.14	0.72	0.95
64	เมือง	สตูล	10.21	9.95	20.16	0.72	0.93
65	เมือง	นราธิวาส	7.48	9.91	17.39	0.74	0.94
66	เบตง	ยะลา	8.71	9.36	18.07	0.72	0.93
67		พม่า	33.53	28.59	62.12	0.70	0.91
68		พม่า	66.14	43.43	109.58	0.64	0.86
69		พม่า	65.59	39.30	104.90	0.66	0.87
70		พม่า	34.81	25.28	60.09	0.69	0.90
71		พม่า	40.88	32.11	72.99	0.68	0.90
72		ทะเลอันดามัน	93.98	54.89	148.87	0.63	0.85
73		พม่า	13.72	14.09	27.81	0.72	0.94
74		พม่า	7.64	5.47	13.10	0.67	0.90
75		พม่า	8.27	8.45	16.71	0.69	0.93

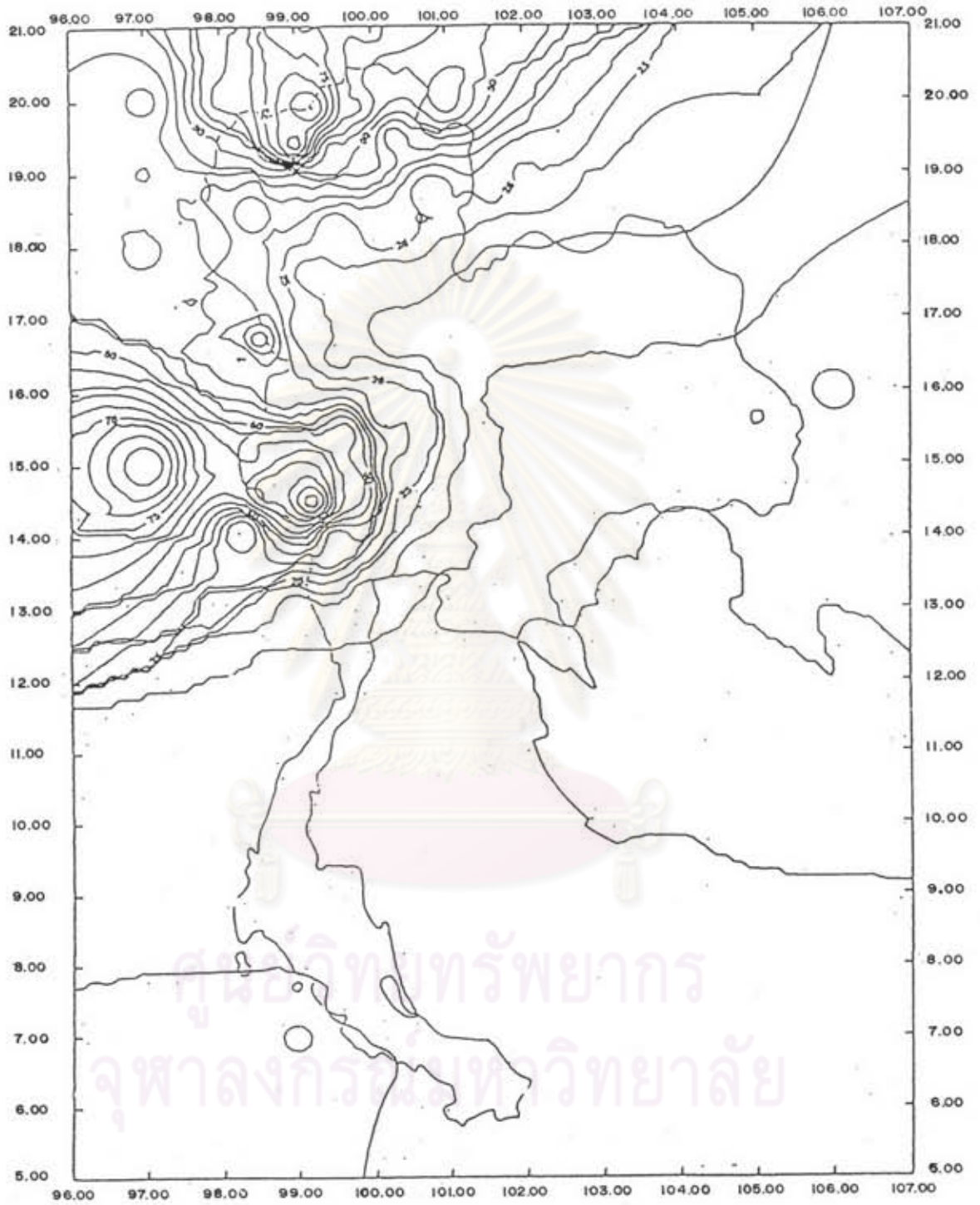
ตารางที่ 2.3 ค่าอัตราเร่งเฉลี่ย และอัตราเร่งเฉลี่ยบวกค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่อ)

ลำดับ	ที่ตั้ง		$\bar{X}$	SD	$\bar{X} + SD$	$Q_x$	$Q_{x+sd}$
	อำเภอ	จังหวัด	(1000 ค่า) (gals)	(gals)	(gals)		
76		ทะเลอันดามัน	9.09	6.15	15.24	0.65	0.89
77		ทะเลอันดามัน	15.72	17.98	33.71	0.70	0.93
78		อ่าวไทย	5.74	4.08	9.82	0.69	0.90
79		อ่าวไทย	5.35	7.45	12.80	0.73	0.96
80		กัมพูชา	3.79	6.24	10.04	0.75	0.95
81		กัมพูชา	4.08	7.99	12.08	0.74	0.95
82		ลาว	4.82	6.12	10.93	0.73	0.92
83		ลาว	17.02	18.12	35.14	0.71	0.92
84		ลาว	24.72	21.87	45.69	0.66	0.88
85		ลาว	62.28	44.24	106.52	0.64	0.87

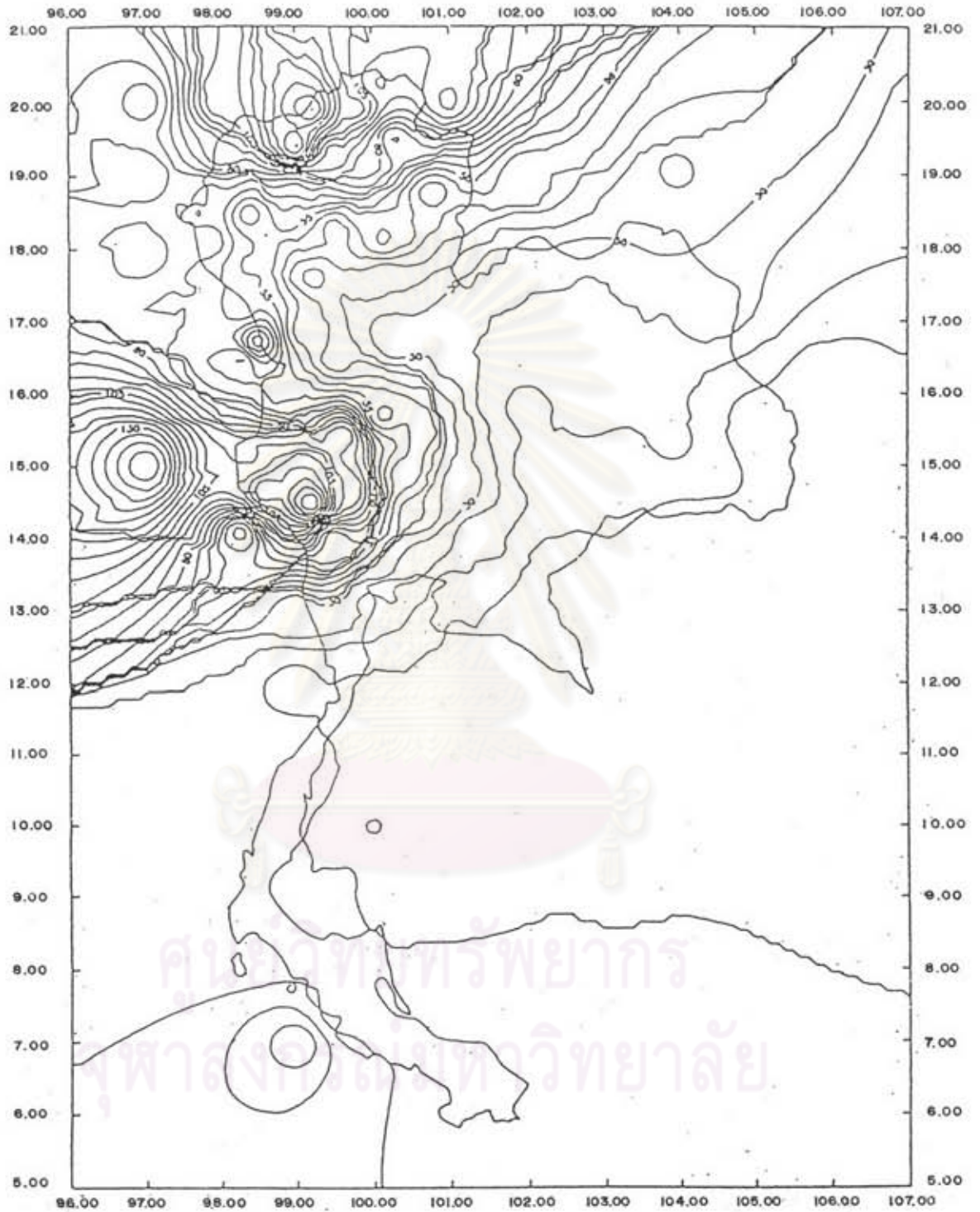
- หมายเหตุ  $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ยของอัตราเร่ง  
SD คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน  
 $Q_x$  คือ ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดอัตราเร่งไม่เกินค่าอัตราเร่งเฉลี่ย  
 $Q_{x+sd}$  คือ ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดอัตราเร่งไม่เกินค่าอัตราเร่งเฉลี่ยบวกด้วย

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

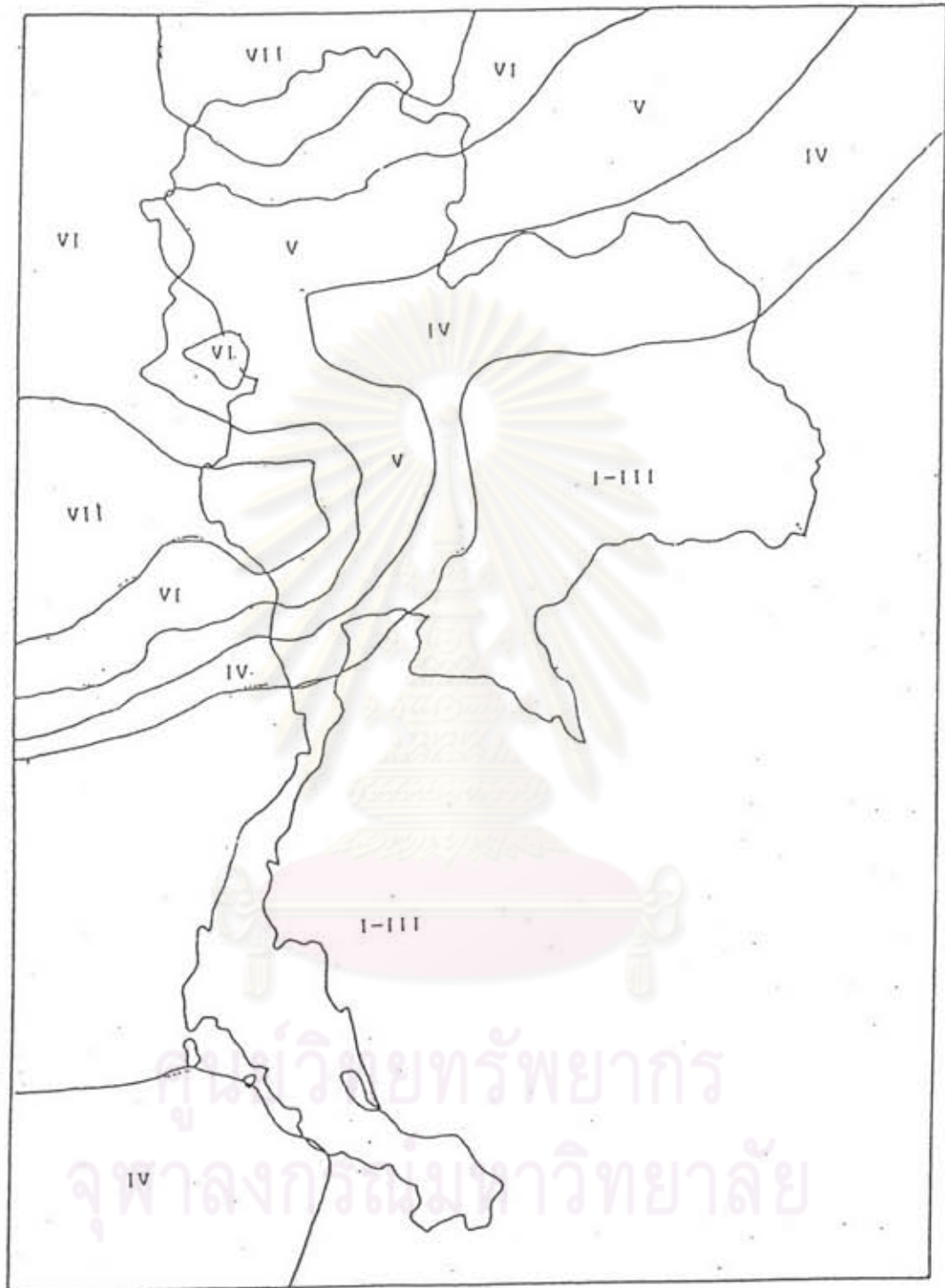




รูปที่ 2.7 แผนที่แสดงเส้นชั้นอัตราเร่งของค่าอัตราเร่งสูงสุดเฉลี่ย



รูปที่ 2.8 แผนที่แสดงเส้นชั้นอัตราเร่งของค่าอัตราเร่งสูงสุดเฉลี่ยบวกค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 2.9 แสดงแผนที่ความเข้มของแผ่นดินไหว (Seismic Intensity Map)

## 2.6 การเปรียบเทียบผลของอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดินกับงานวิจัยอื่น

เพื่อเป็นการตรวจสอบผลของค่าอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดินที่ได้ในงานวิจัยนี้ จะทำการพิจารณาเปรียบเทียบ กับผลงานวิจัยของ Thenhuas และ คณะ (1993) และปริญญา และ ประกาศ (2533)

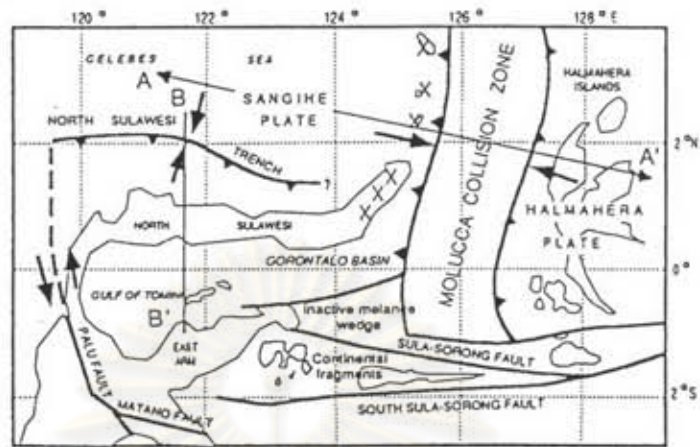
Thenhuas และ คณะ (1993) ได้ศึกษาถึงการเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวในเขต Sulawesi ตอนเหนือ ในประเทศอินโดนีเซีย รูปที่ 2.10 แสดงรอยเลื่อนที่อยู่รายล้อมเมือง Sulawesi ตอนเหนือ ซึ่งมีทั้งรอยเลื่อน Palu ทางทิศตะวันตก โซนซับดักชัน (Subduction Zone) ทางตอนเหนือของ Sulawesi และ ส่วนของ ซับดักชัน Sangihe ที่อยู่ใต้ทะเล Molucca โดยที่แต่ละรอยเลื่อนมีโอกาสทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ ถึง 8 หน่วยริคเตอร์ได้ รูปที่ 2.11 แสดงเส้นชั้นอัตราเร่งในชั้นหินแข็งที่มีความน่าจะเป็นของการเกิดค่า อัตราเร่งเกินค่าดังกล่าว 10 % ในช่วงอายุการใช้งานของโครงสร้าง 50 ปี จะเห็นว่าในบริเวณรอยเลื่อน Palu อัตราเร่งในชั้นหินแข็งมีค่า 35 %g และเมื่อพิจารณาบริเวณที่มีระยะห่างจากรอยเลื่อนสำคัญๆ ประมาณ 50 กิโลเมตร พบว่าค่าอัตราเร่งในชั้นหินแข็งจะมีค่าลดลงเหลือประมาณ 20 ถึง 25%g โดยเหตุที่ประเทศไทย อยู่ในเขตแผ่นดินไหวรุนแรงน้อยกว่าประเทศอินโดนีเซียพอสมควร อีกทั้งรอยเลื่อนขนาดใหญ่ที่มีอำนาจทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาด 8 หน่วยริคเตอร์อยู่ห่างจากประเทศไทยค่อนข้างมาก ค่าอัตราเร่งที่ผิวดินย่อมมีน้อยกว่านี้มาก อย่างไรก็ตาม จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในอดีต หากอนุมานว่ามีความเป็นไปได้ที่เกิดแผ่นดินไหว ขนาด 7.5 หน่วยริคเตอร์ในพม่าห่างจากพรมแดนไทยราว 50 กิโลเมตรแล้ว จะประมาณอัตราเร่งสูงสุดในชั้น หินแข็งที่พรมแดนไทยได้เป็น 61 % ของค่าที่เกิดจากแผ่นดินไหวขนาด 8 หน่วยริคเตอร์ นั่นคือประมาณ 12 ถึง 15 %g ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยนี้

ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 จากงานวิจัยของปริญญา และ ประกาศ (2533) พบว่าค่าอัตราเร่งสูงสุดที่ ผิวดินของจังหวัดเชียงใหม่ มีค่าประมาณ 120 แกลในคาบอุบัติซ้ำ (หรือคาบเวลาการกลับ) 680 ปี ซึ่งเทียบ ได้เป็น 115 แกล ในช่วงคาบอุบัติซ้ำ 475 ปี ขณะที่งานวิจัยนี้ที่อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ มีค่าอัตราเร่งสูง สุดที่ผิวดินเท่ากับ 140 แกล จะเห็นว่าผลการวิจัยทั้งสองสอดคล้องกันดีทีเดียว

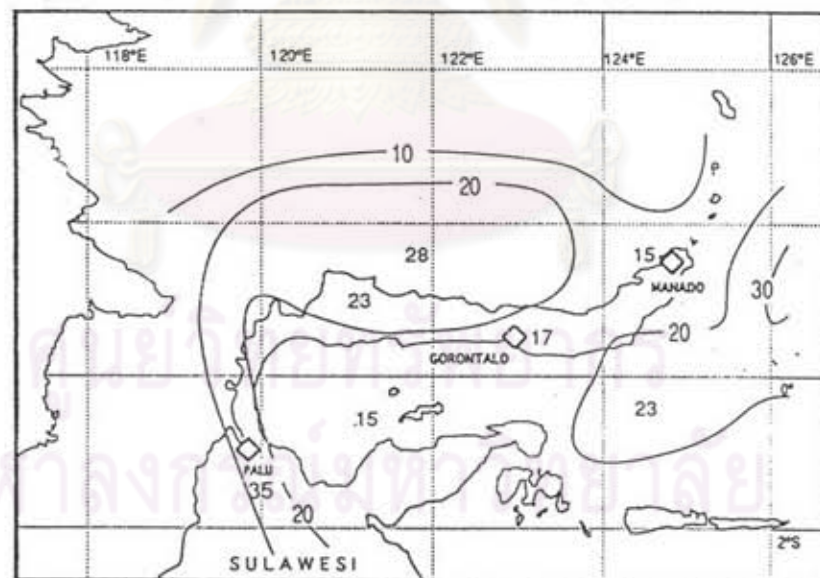
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

จากความสัมพันธ์ของอัตราเร่งกับขนาดของแผ่นดินไหวในตารางที่ 2.2 พบว่าอัตราเร่งที่เกิดจาก แผ่นดินไหวขนาด 7.5 หน่วยริคเตอร์ จะมีค่าประมาณ 61 % ของอัตราเร่งที่เกิดจากแผ่นดินไหวขนาด 8 หน่วยริคเตอร์



รูปที่ 2.10 แผนที่แสดงรอยเลื่อนในเขต North Sulawesi ประเทศอินโดนีเซีย



รูปที่ 2.11 แผนที่แสดงเส้นชั้นอัตราเร่งของค่าอัตราเร่งสูงสุดในชั้นหินแข็ง ของเขต Sulawesi ตอนเหนือ ประเทศอินโดนีเซีย ที่มีความเป็นไปได้ของการเกิดค่าอัตราเร่งเกินค่าดังกล่าว 10 % ในช่วงอายุการใช้งานของโครงสร้าง 50 ปี