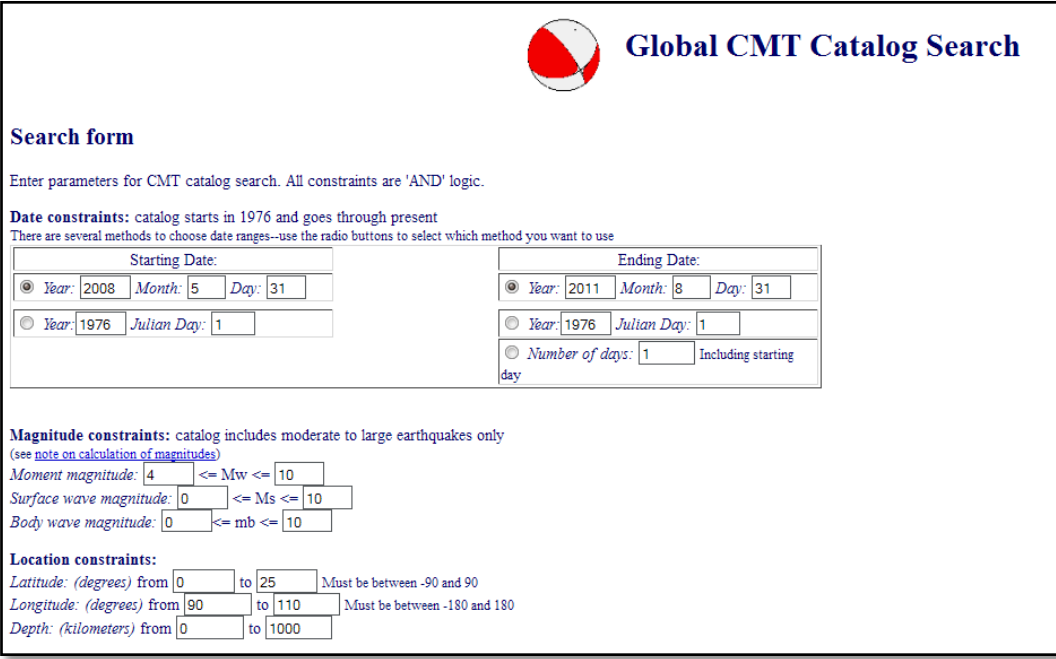


4.2 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว

การพิจารณาช่วงเวลาในการดาวน์โหลดข้อมูลจากสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา ได้พิจารณาเวลาการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวในแฟ้มเหตุการณ์แผ่นดินไหวของโกลบอล CMT (Global Central Moment Tensor catalog) ซึ่งข้อมูลเหตุการณ์การเกิดแผ่นดินไหวของ Global CMT Catalog มีความสำคัญต่อการศึกษาในครั้งนี้เป็นอย่างมาก โดยฐานข้อมูล Global CMT Catalog ประกอบด้วย วันและเวลาของเหตุการณ์แผ่นดินไหว (date and time) ขนาดโมเมนต์ (moment magnitude, M_w) ระนาบรอยเลื่อน (fault plane) ประกอบด้วยมุม strike มุม dip มุม slip ศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหว (epicenter) และความลึกศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหว (focal depth)

4.2.1 รายการเหตุการณ์แผ่นดินไหว

การค้นหาข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในฐานข้อมูล Global CMT Catalog ได้ค้นหาจากระบบออนไลน์ โดยการกำหนดขอบเขตในการค้นหาข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวประกอบด้วย ขอบเขตพิกัดจาก ละติจูด 0° ถึง 25° และ ลองจิจูด 90° ถึง 110° ขนาดของแผ่นดินไหว (moment magnitude, M_w) มากกว่า 4 ขึ้นไป และช่วงเวลาการเกิดแผ่นดินไหวที่ต้องการค้นหาได้กำหนดตั้งแต่ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2551 ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ซึ่งสืบค้นได้จาก www.globalcmt.org ดังแสดงรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3



Global CMT Catalog Search

Search form

Enter parameters for CMT catalog search. All constraints are 'AND' logic.

Date constraints: catalog starts in 1976 and goes through present
There are several methods to choose date ranges--use the radio buttons to select which method you want to use

Starting Date:			Ending Date:		
☒ Year:	2008	Month: 5 Day: 31	☒ Year:	2011	Month: 8 Day: 31
☐ Year:	1976	Julian Day: 1	☐ Year:	1976	Julian Day: 1
			☐ Number of days:	1	Including starting day

Magnitude constraints: catalog includes moderate to large earthquakes only
(see [note on calculation of magnitudes](#))

Moment magnitude: 4 <= Mw <= 10
Surface wave magnitude: 0 <= Ms <= 10
Body wave magnitude: 0 <= mb <= 10

Location constraints:

Latitude: (degrees) from 0 to 25 Must be between -90 and 90
Longitude: (degrees) from 90 to 110 Must be between -180 and 180
Depth: (kilometers) from 0 to 1000

รูปที่ 4.2 การค้นหาข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในฐานข้อมูล Global CMT Catalog

Global CMT Catalog	
Search criteria:	
Start date: 2008/5/31 End date: 2011/8/26	
0 <=lat<= 25 90 <=lon<= 110	
0 <=depth<= 1000 -9999 <=time shift<= 9999	
0 <=mb<= 10 0<=Ms<= 10 4<=Mw<= 10	
0 <=tension plunge<= 90 0 <=null plunge<= 90	
Results	
200806031015A NORTHERN SUMATRA, INDONESIA Date: 2008/ 6/ 3 Centroid Time: 10:15:53.0 GMT Lat= 0.10 Lon= 97.53 Depth= 31.0 Half duration= 1.1 Centroid time minus hypocenter time: 2.1 Moment Tensor: Expo=24 0.722 -0.450 -0.272 0.638 -0.467 0.525 Mw = 5.3 mb = 5.1 Ms = 0.0 Scalar Moment = 1.13e+24 Fault plane: strike=315 dip=23 slip=97 Fault plane: strike=127 dip=67 slip=87	
200806131613A NORTHERN SUMATRA, INDONESIA Date: 2008/ 6/13 Centroid Time: 16:13:25.1 GMT Lat= 0.37 Lon= 97.28 Depth= 38.9 Half duration= 0.9 Centroid time minus hypocenter time: 0.5 Moment Tensor: Expo=23 4.020 -3.100 -0.918 2.980 -2.780 3.520 Mw = 5.1 mb = 5.0 Ms = 0.0 Scalar Moment = 6.35e+23 Fault plane: strike=297 dip=26 slip=76 Fault plane: strike=132 dip=65 slip=96	

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างรายการเหตุการณ์แผ่นดินไหวในฐานข้อมูล Global CMT Catalog

การศึกษานี้ต้องการพิจารณาแผ่นดินไหวที่สามารถทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างจึงพิจารณาแผ่นดินไหวที่มีขนาด M_w (moment magnitude) ตั้งแต่ 4 ขึ้นไป มีจุดกำเนิดอยู่ระหว่าง 0 ถึง 25 องศาเหนือ และ 90 ถึง 110 องศาตะวันออก ซึ่งเป็นบริเวณที่สามารถส่งผลกระทบหรือส่งแรงสั่นสะเทือนมายังเครื่องมือตรวจวัด ณ สถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวระบบดิจิทัลของประเทศไทย และรายการแผ่นดินไหวอยู่ในช่วงเวลาระหว่าง มิถุนายน พ.ศ. 2549 ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ซึ่งพบเหตุการณ์แผ่นดินไหว 189 ครั้งดังตารางที่ 4.9 ถ้าเป็นแผ่นดินไหวต้นในแผ่นเปลือกโลกมีรูปแบบของกลไกการเกิดแผ่นดินไหว (focal mechanism) ได้แก่ normal fault (NM) strike slip (SS) และ reverse fault (RV) ถ้าเป็นแผ่นดินไหว subduction แบ่งได้เป็นแบบที่เกิดในแผ่นเปลือกโลก (intra-slab = IS) และ ที่เกิดบริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นเปลือกโลกที่มุดใต้อีกแผ่น (Interface = IF)

ตารางที่ 4.9 รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

Events No.	Date	Time	Epicenter Latitude	Epicenter Long.	Focal Mech	Mw	Depth (km)	Type of Earthquake
001	2006/10/07	21:12:28	+011.78	+100.15	NM	5.0	12.0	Shallow
002	2006/11/18	13:55:25	+004.58	+094.57	IF	5.9	36.4	Subduction
003	2006/11/18	13:57:57	+004.60	+094.67	IF	5.9	23.0	Subduction
004	2006/12/01	03:58:24	+003.46	+099.05	IS	6.3	208.4	Subduction
005	2006/12/12	17:02:00	+018.93	+098.97	SS	5.1	11.0	Shallow
006	2006/12/17	21:10:26	+004.58	+094.89	IS	5.8	54.4	Subduction
007	2006/12/17	21:39:17	+000.57	+099.83	SS	5.8	18.2	Shallow
008	2006/12/22	19:50:49	+010.70	+092.11	IF	6.2	22.0	Subduction
009	2007/01/03	12:47:33	+005.25	+094.28	IF	5.4	44.0	Subduction
010	2007/01/07	10:47:07	+022.04	+098.30	SS	4.8	20.0	Shallow
011	2007/01/08	12:48:44	+008.03	+092.30	IF	6.1	12.0	Subduction
012	2007/01/09	05:27:24	+019.13	+095.35	IS	4.9	97.6	Subduction
013	2007/01/22	16:44:35	+002.36	+095.58	IF	5.3	36.8	Subduction
014	2007/01/25	15:18:40	+001.36	+097.03	IF	5.0	39.6	Subduction
015	2007/01/29	19:48:40	+008.37	+093.76	IS	5.4	77.3	Subduction
016	2007/02/11	10:47:37	+006.12	+094.47	IS	5.4	63.6	Subduction
017	2007/02/14	19:50:02	+000.33	+097.22	IF	5.7	12.0	Subduction
018	2007/02/14	20:12:00	+005.04	+094.23	IF	5.2	34.2	Subduction
019	2007/02/14	20:46:34	+000.39	+097.17	IF	5.4	12.0	Subduction
020	2007/03/01	02:01:05	+003.60	+096.23	IF	5.2	43.4	Subduction
021	2007/03/01	05:08:23	+010.42	+093.23	IS	5.0	89.2	Subduction
022	2007/03/06	03:49:44	-000.65	+100.53	SS	6.4	20.9	Shallow
023	2007/03/06	05:49:29	-000.51	+100.47	SS	6.3	21.9	Shallow
024	2007/03/07	10:53:42	+001.80	+097.74	IF	5.9	49.0	Subduction
025	2007/04/07	09:51:54	+002.74	+095.48	IF	6.1	12.0	Subduction
026	2007/04/10	13:56:55	+013.13	+092.59	IS	5.5	18.3	Subduction
027	2007/04/26	05:23:48	+015.47	+096.16	SS	4.9	12.0	Shallow
028	2007/04/27	08:02:52	+005.09	+094.43	IF	5.9	49.2	Subduction
029	2007/04/28	19:14:31	+001.76	+099.15	SS	4.9	18.1	Shallow
030	2007/05/01	19:44:20	+005.29	+094.38	IS	5.0	51.2	Subduction
031	2007/05/16	08:56:18	+020.52	+100.89	SS	6.3	12.6	Shallow
032	2007/05/18	15:57:31	+003.68	+096.07	IS	5.2	56.5	Subduction
033	2007/05/23	20:19:11	+002.48	+095.39	IF	5.2	12.0	Subduction
034	2007/05/31	23:18:05	+008.31	+094.03	SS	5.4	12.0	Shallow

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

Events No.	Date	Time	Epicenter Latitude	Epicenter Long.	Focal Mech	Mw	Depth (km)	Type of Earthquake
035	2007/06/02	21:35:02	+023.02	+101.13	SS	6.1	12.0	Shallow
036	2007/06/03	02:49:03	+022.93	+101.12	SS	4.9	24.4	Shallow
037	2007/06/09	14:59:51	+002.19	+095.93	IF	5.2	36.3	Subduction
038	2007/06/23	08:17:20	+021.49	+100.00	SS	5.6	16.1	Shallow
039	2007/06/23	08:27:49	+021.46	+099.93	SS	5.4	17.6	Shallow
040	2007/06/24	13:47:40	+005.21	+094.50	IS	5.0	54.0	Subduction
041	2007/07/21	12:53:03	+005.14	+097.72	IF	5.2	12.0	Subduction
042	2007/07/24	14:51:33	+002.14	+097.72	IS	5.3	50.5	Subduction
043	2007/07/25	23:37:35	+007.06	+092.52	IF	6.0	12.0	Subduction
044	2007/07/30	22:42:06	+019.06	+095.77	IF	5.6	12.0	Subduction
045	2007/07/31	08:43:42	+019.05	+095.79	IF	5.0	13.5	Subduction
046	2007/08/08	17:05:11	-006.03	+107.58	IS	7.5	304.8	Subduction
047	2007/08/25	17:03:08	+014.31	+094.01	SS	5.2	41.1	Shallow
048	2007/09/12	11:11:15	-003.78	+100.99	IF	8.5	24.4	Subduction
049	2007/09/12	23:49:35	-002.46	+100.13	IF	7.9	43.1	Subduction
050	2007/09/13	02:30:04	-001.94	+099.54	IF	6.5	34.8	Subduction
051	2007/09/13	03:35:36	-002.31	+099.39	IF	7.0	17.0	Subduction
052	2007/09/20	08:31:24	-002.24	+099.85	IF	6.7	32.3	Subduction
053	2007/10/04	12:40:30	+002.47	+092.83	SS	6.2	12.0	Shallow
054	2007/10/24	21:02:58	-004.37	+100.78	IF	6.8	20.0	Subduction
055	2007/11/21	03:30:15	+002.81	+096.19	IF	4.9	41.0	Subduction
056	2007/11/21	19:04:02	+007.76	+093.79	IS	4.9	17.8	Subduction
057	2007/11/22	23:02:14	+004.46	+095.01	IS	5.8	52.1	Subduction
058	2007/12/01	01:44:35	+001.81	+097.75	IS	5.9	50.3	Subduction
059	2007/12/22	12:26:21	+001.92	+096.58	IF	6.1	25.0	Subduction
060	2007/12/28	05:24:19	+005.63	+095.95	SS	5.4	25.7	Shallow
061	2008/01/14	13:38:40	+010.39	+092.69	IF	5.8	43.8	Subduction
062	2008/01/22	17:15:03	+000.94	+097.16	IF	6.1	23.2	Subduction
063	2008/02/20	08:08:45	+002.73	+095.93	IF	7.4	15.2	Subduction
064	2008/02/24	14:46:27	-002.65	+099.69	IF	6.4	12.0	Subduction
065	2008/02/25	08:36:42	-002.76	+099.87	IF	6.9	22.6	Subduction
066	2008/02/25	18:06:09	-002.67	+099.66	IF	6.4	23.0	Subduction
067	2008/02/25	21:02:23	-002.53	+099.65	IF	6.5	23.0	Subduction

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

Events No.	Date	Time	Epicenter Latitude	Epicenter Long.	Focal Mech	Mw	Depth (km)	Type of Earthquake
068	2008/03/15	14:43:30	+002.49	+094.47	IF	6.0	12.0	Subduction
069	2008/03/29	17:30:57	+002.74	+095.19	IF	6.3	12.0	Subduction
070	2008/05/12	06:28:41	+031.49	+104.11	RV	7.9	12.0	Shallow
071	2008/05/13	10:29:22	+004.34	+095.07	IS	5.4	50.0	Subduction
072	2008/05/19	14:26:48	+001.66	+099.11	SS	6.0	16.5	Shallow
073	2008/06/19	00:35:34	+006.76	+092.66	IF	5.1	12.0	Subduction
074	2008/06/25	01:52:40	+001.00	+096.97	IF	5.5	20.0	Subduction
075	2008/06/27	11:40:19	+010.92	+091.82	IS	6.6	17.1	Subduction
076	2008/06/27	13:07:15	+011.09	+091.95	IS	5.9	12.1	Subduction
077	2008/07/14	04:44:54	+001.83	+096.28	IF	5.6	28.9	Subduction
078	2008/08/10	08:20:37	+010.96	+091.83	SS	6.2	15.8	Shallow
079	2008/08/10	09:27:58	+011.05	+091.80	IS	5.3	13.5	Subduction
080	2008/08/10	12:21:19	+011.12	+091.84	IS	5.7	12.0	Subduction
081	2008/08/21	12:24:36	+024.92	+097.99	SS	6.0	18.2	Shallow
082	2008/09/03	06:27:27	+024.84	+098.02	SS	5.0	18.4	Shallow
083	2008/09/22	13:30:38	+015.46	+096.15	NM	5.2	12.0	Shallow
084	2008/10/03	21:20:27	+010.83	+091.80	IS	5.4	12.0	Subduction
085	2008/11/16	12:20:39	+010.88	+091.82	IS	5.5	12.0	Subduction
086	2008/12/05	23:24:39	+008.71	+094.13	SS	5.2	22.0	Shallow
087	2008/12/06	00:43:09	+008.73	+094.11	SS	5.3	24.6	Shallow
088	2008/12/20	23:22:51	+022.65	+096.09	SS	5.3	14.8	Shallow
089	2009/03/12	10:05:11	+004.43	+095.03	IF	5.0	47.6	Subduction
090	2009/07/28	05:15:00	+010.64	+094.23	IS	5.2	12.0	Subduction
091	2009/08/10	19:56:05	+014.16	+092.94	IS	7.5	22.0	Subduction
092	2009/08/12	04:33:24	+009.03	+093.78	IS	5.1	19.7	Subduction
093	2009/08/13	09:21:37	+014.04	+092.76	SS	5.8	33.0	Shallow
094	2009/08/14	19:39:53	+014.08	+093.02	IS	5.0	19.7	Subduction
095	2009/08/23	07:20:16	+000.21	+096.92	IS	5.4	16.5	Subduction
096	2009/09/19	10:50:42	+000.49	+099.90	SS	5.1	21.6	Shallow
097	2009/09/21	19:38:44	+020.14	+094.87	IS	5.7	74.2	Subduction
098	2009/11/02	21:35:48	+013.97	+093.13	IF	5.4	16.7	Subduction
099	2009/11/10	02:48:48	+008.05	+091.86	SS	6.0	19.9	Shallow
100	2009/12/01	11:40:48	+013.62	+092.81	SS	5.3	27.4	Shallow

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

Events No.	Date	Time	Epicenter Latitude	Epicenter Long.	Focal Mech	Mw	Depth (km)	Type of Earthquake
101	2009/12/07	22:06:16	+000.05	+096.97	IS	4.9	12.0	Subduction
102	2009/12/29	09:01:55	+024.31	+094.84	IS	5.6	125.1	Subduction
103	2010/01/22	06:46:16	+002.95	+093.75	IS	5.0	13.1	Subduction
104	2010/02/14	22:09:10	+002.71	+094.10	IF	4.9	12.0	Subduction
105	2010/03/12	23:19:57	+022.99	+094.62	IS	5.5	114.7	Subduction
106	2010/03/13	14:59:06	+001.16	+096.81	IF	5.8	23.6	Subduction
107	2010/03/19	19:53:38	+021.47	+099.99	SS	4.9	15.2	Shallow
108	2010/03/30	16:54:54	+013.58	+092.76	SS	6.6	30.5	Shallow
109	2010/04/06	22:15:19	+002.07	+096.74	IF	7.8	17.6	Subduction
110	2010/04/09	06:29:36	+001.87	+099.17	SS	4.9	21.1	Shallow
111	2010/04/13	20:15:00	+007.83	+091.94	SS	5.2	28.5	Shallow
112	2010/04/28	18:01:23	+019.18	+093.01	IS	5.2	31.2	Subduction
113	2010/05/09	05:59:51	+003.36	+095.78	IF	7.2	37.2	Subduction
114	2010/05/11	12:17:49	+003.24	+095.69	IF	5.4	42.3	Subduction
115	2010/05/16	08:55:48	+014.31	+093.29	IS	5.1	30.0	Subduction
116	2010/05/31	19:51:50	+011.16	+093.70	IS	6.5	127.9	Subduction
117	2010/06/01	15:58:12	+024.84	+099.24	SS	4.9	17.6	Shallow
118	2010/06/03	09:24:18	+004.71	+095.77	IS	5.4	88.3	Subduction
119	2010/06/12	19:27:00	+007.85	+091.65	IF	7.5	33.1	Subduction
120	2010/06/13	06:26:04	+007.71	+091.82	SS	5.2	12.0	Shallow
121	2010/06/13	07:05:36	+007.98	+091.92	IS	5.2	18.9	Subduction
122	2010/06/15	23:24:26	+007.41	+091.67	SS	5.0	12.0	Shallow
123	2010/06/18	23:09:34	+013.21	+093.12	IF	5.9	20.1	Subduction
124	2010/06/24	04:08:37	+007.69	+091.85	SS	5.5	14.8	Shallow
125	2010/06/24	17:06:22	+007.72	+091.96	SS	4.9	16.6	Shallow
126	2010/06/25	07:29:00	+007.65	+091.85	SS	5.2	14.4	Shallow
127	2010/06/27	09:43:52	+013.43	+095.88	NM	5.0	12.0	Shallow
128	2010/06/27	10:51:46	+013.50	+096.00	NM	5.0	12.0	Shallow
129	2010/07/01	15:21:52	+001.09	+096.68	IF	5.1	35.8	Subduction
130	2010/07/02	18:23:12	+010.22	+092.02	IF	5.4	12.0	Subduction
131	2010/07/08	13:47:01	+014.37	+093.20	SS	5.0	28.3	Shallow
132	2010/07/13	04:26:27	+001.18	+096.85	IF	5.1	23.2	Subduction
133	2010/08/09	22:21:47	+013.64	+092.76	SS	5.2	22.4	Shallow
134	2010/08/17	01:39:31	+011.54	+095.13	SS	5.4	12.4	Shallow

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

Events No.	Date	Time	Epicenter Latitude	Epicenter Long.	Focal Mech	Mw	Depth (km)	Type of Earthquake
135	2010/08/21	05:42:57	+002.01	+096.45	IF	5.9	24.0	Subduction
136	2010/09/10	17:24:21	+023.29	+090.74	SS	5.1	18.4	Shallow
137	2010/09/11	11:43:13	+007.73	+094.24	SS	5.8	19.9	Shallow
138	2010/12/01	00:50:23	+002.70	+098.86	IS	5.6	164.4	Subduction
139	2010/12/14	20:01:02	+003.81	+095.91	IF	4.9	44.5	Subduction
140	2010/12/18	22:56:45	+005.27	+094.55	IS	5.0	53.1	Subduction
141	2010/12/21	14:07:52	+002.44	+095.59	IF	5.8	23.2	Subduction
142	2011/01/07	03:10:00	+004.20	+090.37	SS	5.5	13.6	Shallow
143	2011/01/15	11:23:55	+002.26	+096.13	IF	5.8	17.0	Subduction
144	2011/01/15	16:26:09	+002.30	+096.22	IF	5.5	12.0	Subduction
145	2011/01/18	11:33:47	+002.38	+096.17	IF	5.9	15.0	Subduction
146	2011/01/22	07:34:16	+002.48	+095.34	IF	5.2	35.7	Subduction
147	2011/01/22	07:38:58	+002.74	+095.32	IF	5.7	15.0	Subduction
148	2011/01/26	07:24:29	+009.96	+108.22	SS	5.0	12.0	Shallow
149	2011/01/26	15:42:35	+001.87	+096.52	IF	6.0	22.7	Subduction
150	2011/01/26	15:45:44	+001.49	+096.55	IF	4.9	40.5	Subduction
151	2011/01/26	07:24:29	+009.96	+108.22	SS	5.0	12.0	Shallow
152	2011/02/01	13:39:46	+010.62	+094.27	SS	5.5	12.0	Shallow
153	2011/02/04	13:53:49	+024.46	+094.68	IS	6.3	103.5	Subduction
154	2011/02/18	23:12:07	+001.86	+097.77	IF	5.2	44.2	Subduction
155	2011/03/10	04:58:16	+024.63	+098.01	SS	5.5	14.6	Shallow
156	2011/03/24	13:55:20	+020.65	+100.06	SS	6.8	12.6	Shallow
157	2011/04/06	14:01:48	+001.45	+096.82	IF	6.0	18.0	Subduction
158	2011/04/29	08:56:51	+003.98	+095.96	IS	5.4	67.2	Subduction
159	2011/06/03	07:27:14	+009.74	+092.58	IS	5.5	45.1	Subduction
160	2011/06/14	00:08:35	+001.85	+099.05	SS	5.5	19.0	Shallow
161	2011/06/14	03:01:31	+001.85	+099.07	SS	5.7	20.2	Shallow
162	2011/06/18	11:58:03	+001.80	+099.12	SS	5.2	17.0	Shallow
163	2011/06/20	10:16:52	+025.00	+098.80	RV	5.0	15.7	Shallow
164	2011/07/04	19:00:56	+001.24	+096.87	IF	5.2	24.3	Subduction
165	2011/07/21	06:48:01	+000.12	+096.93	IS	4.8	19.2	Subduction
166	2011/08/03	20:02:20	+001.08	+098.68	IS	5.2	91.8	Subduction
167	2011/08/09	11:50:19	+024.98	+098.73	SS	5.1	20.1	Shallow
168	2011/08/21	08:18:15	+004.48	+094.95	IS	4.9	51.3	Subduction

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

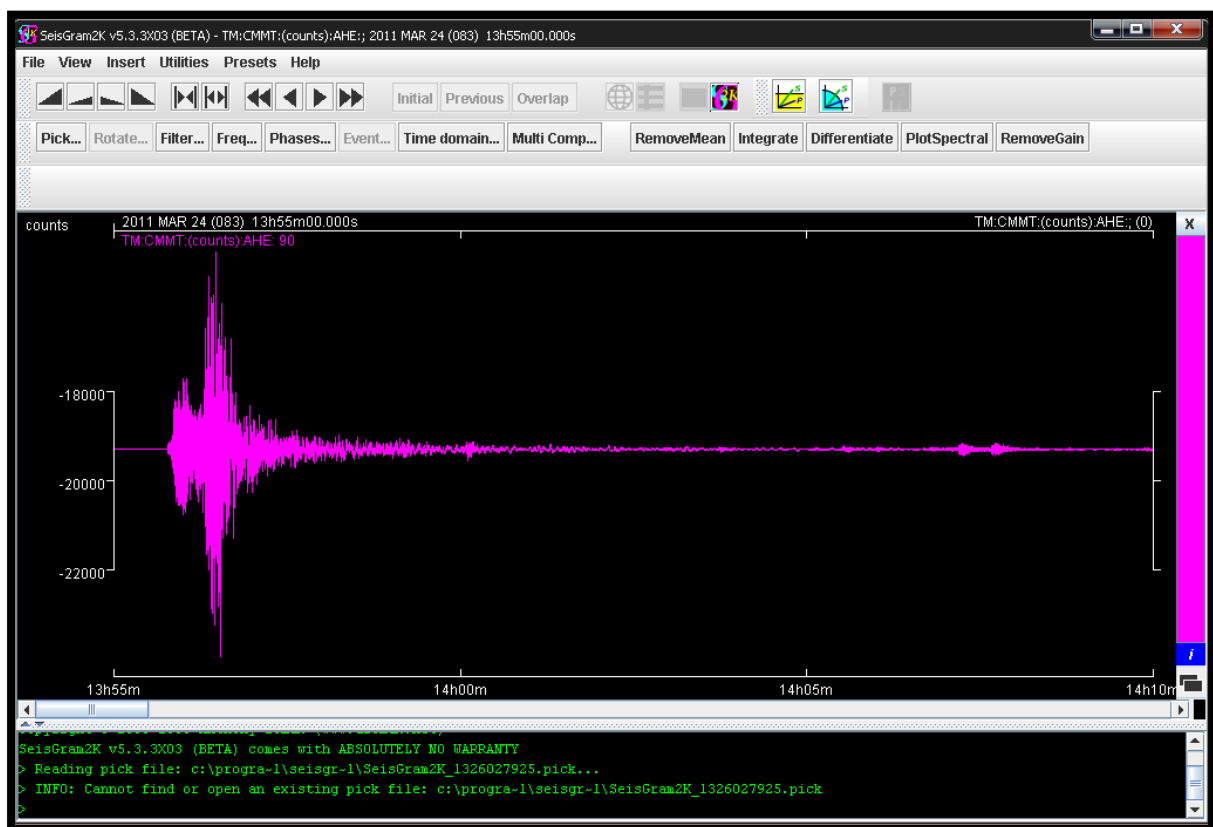
Events No.	Date	Time	Epicenter Latitude	Epicenter Long.	Focal Mech	Mw	Depth (km)	Type of Earthquake
169	2011/08/31	03:08:27	+002.16	+096.28	IF	4.9	32.1	Subduction
170	2011/09/05	17:55:14	+002.88	+097.86	IS	6.7	94.6	Subduction
171	2011/10/01	12:49:00	+012.85	+095.76	NM	5.0	12.0	Shallow
172	2011/10/16	17:16:20	+002.46	+096.10	SS	5.4	31.3	Shallow
173	2011/11/21	03:15:42	+024.82	+095.19	IS	5.8	129.2	Subduction
174	2011/11/27	11:01:07	+000.06	+097.65	IF	5.4	24.0	Subduction
175	2011/11/30	19:42:36	+007.90	+094.01	IS	5.6	12.0	Subduction
176	2011/12/02	19:37:48	+007.90	+094.12	IS	5.1	14.7	Subduction
177	2011/12/16	15:47:27	+007.84	+094.11	SS	5.1	15.8	Shallow
178	2012/01/10	18:37:13	+002.59	+092.98	SS	7.2	23.7	Shallow
179	2012/03/06	02:52:45	+008.57	+093.86	IS	5.4	12.9	Subduction
180	2012/04/11	08:39:29	+002.24	+092.78	SS	8.6	40.0	Shallow
181	2012/04/14	15:21:57	+000.29	+092.22	IF	5.4	12.0	Subduction
182	2012/04/15	05:57:42	+002.52	+090.32	SS	6.2	29.9	Shallow
183	2012/04/16	09:44:25	+008.02	+098.37	SS	4.3	10.0	Shallow
184	2012/04/20	23:14:34	+002.22	+093.36	IF	5.9	42.2	Subduction
185	2012/04/24	14:57:15	+008.94	+094.05	SS	5.6	12.4	Shallow
186	2012/04/25	07:42:27	+008.92	+094.07	SS	5.8	14.3	Shallow
187	2012/11/11	01:12:57	+022.74	+096.05	SS	6.8	14.2	Shallow
188	2012/11/11	10:54:44	+022.64	+096.04	SS	5.9	12.0	Shallow
189	2012/11/11	18:19:45	+023.08	+096.08	SS	5.6	18.9	Shallow

4.2.2 กระบวนการแปลงข้อมูลสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลระบบใหม่

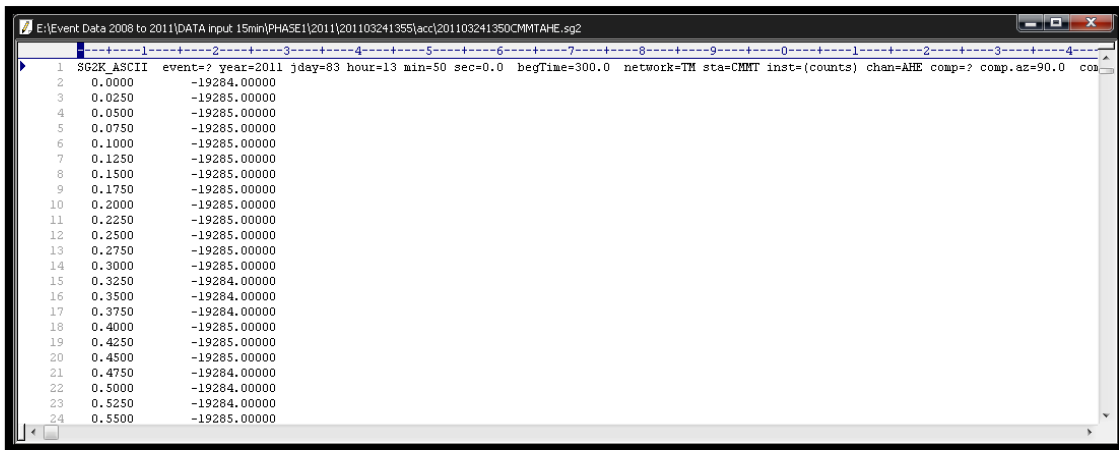
หลังจากรวบรวมรายการเหตุการณ์แผ่นดินไหว จากนั้นทำการรวบรวมข้อมูลการสั่นไหวของพื้นที่ที่ตรวจวัดได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลระบบใหม่ระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ซึ่งสามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้โดยตรงกับสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา โดยข้อมูลข้อมูลการสั่นไหวของพื้นที่ที่ตรวจวัดได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลระบบใหม่ระยะที่ 1 อยู่ในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลประวัติเวลาการเคลื่อนที่ของพื้นดิน (ground motion time history data) โดยชนิดของข้อมูลจะเป็น SEED format ซึ่งใช้โปรแกรม Atlas ในการอ่านข้อมูลชนิดนี้แต่โปรแกรมจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงชนิดของข้อมูลได้ จึงต้องทำการเปลี่ยนแปลงชนิดของไฟล์ให้เป็น SAC format เพื่อสะดวกต่อการอ่านข้อมูลและเปลี่ยนแปลงชนิดข้อมูลเป็น ASCII format โดยใช้โปรแกรม SeisGram2K แสดงดังรูปที่ 4.4 สำหรับข้อมูลการสั่นไหวของพื้นที่ที่ตรวจวัดได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลระบบใหม่ระยะที่ 2 ซึ่งข้อมูลจะเก็บเป็นแฟ้มข้อมูล real time อยู่ในรูปแฟ้มข้อมูล SUD format ซึ่งสามารถแปลงเป็น แฟ้มข้อมูล SUD format ได้ด้วยโปรแกรม Smart

Extract และใช้โปรแกรม SeisPlus เปลี่ยนแปลงชนิดของแฟ้มข้อมูลจาก SUD format เป็น ASCII format หรือ SAC format ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งโปรแกรม Seisplus สามารถแยกแฟ้มข้อมูลประวัติเวลาการสั่นไหวของพื้นดินเป็นของแต่ละสถานีในแต่ละองค์ประกอบ (component) ให้อัตโนมัติ

หลังจากที่ทำการแปลงข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินทั้งหมดให้อยู่ในรูป ASCII format (text file) เรียบร้อยแล้ว แสดงดังรูปที่ 4.5 มีส่วนหัวเรื่องอยู่ 1 บรรทัด ซึ่งบอกรายละเอียดของข้อมูล เช่น เวลาที่เริ่มต้นบันทึกข้อมูล ชื่อสถานีที่บันทึก ทิศทาง ระยะเวลาระหว่างการบันทึกข้อมูลแต่ละค่า และจำนวนข้อมูล เป็นต้น และบรรทัดถัดๆ ไปเป็นคู่ลำดับของเวลาและค่านับ (count) ของข้อมูลตามลำดับ ซึ่งค่านับต้องถูกแปลงให้เป็นข้อมูลประวัติเวลาความเร็วของพื้นดิน (velocity time history) หรือข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน (acceleration time history) ตามประเภทและความไวของเครื่องมือตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวซึ่งแล้วแต่กรณี



รูปที่ 4.4 หน้าจอแสดงโปรแกรม SeisGram2K



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างแฟ้มข้อความ ASCII format

การปรับเปลี่ยนข้อมูลประวัติเวลาความเร็วของพื้นดิน (velocity time history) ที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดความเร็วให้เป็นข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน (acceleration time history) และข้อมูลประวัติเวลาการกระจัดของพื้นดิน (displacement time history) เป็นการประมาณค่าโดยการประยุกต์ใช้การหาอนุพันธ์เชิงตัวเลข (numerical differentiation) ซึ่งใช้วิธีผลต่างกลาง (central difference) โดยการประยุกต์ใช้พหุนามลากรางจ์ อันดับที่ 4 (4th order Lagrange polynomial) และการหาปริพันธ์เชิงตัวเลข (numerical integration) โดยใช้วิธีกฎสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal rule) ดังสมการที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

$$\ddot{x}_2 = \frac{1}{12h}(\dot{x}_0 - 8\dot{x}_1 + 8\dot{x}_3 - \dot{x}_4) \quad (4.6)$$

$$\ddot{x}_n = \frac{1}{12h}(\dot{x}_{n-2} - 8\dot{x}_{n-1} + 8\dot{x}_{n+1} - \dot{x}_{n+2})$$

$$\dot{x}_n = \dot{x}_{n-1} + \frac{h}{2}(\ddot{x}_n + \ddot{x}_{n-1}) \quad (4.7)$$

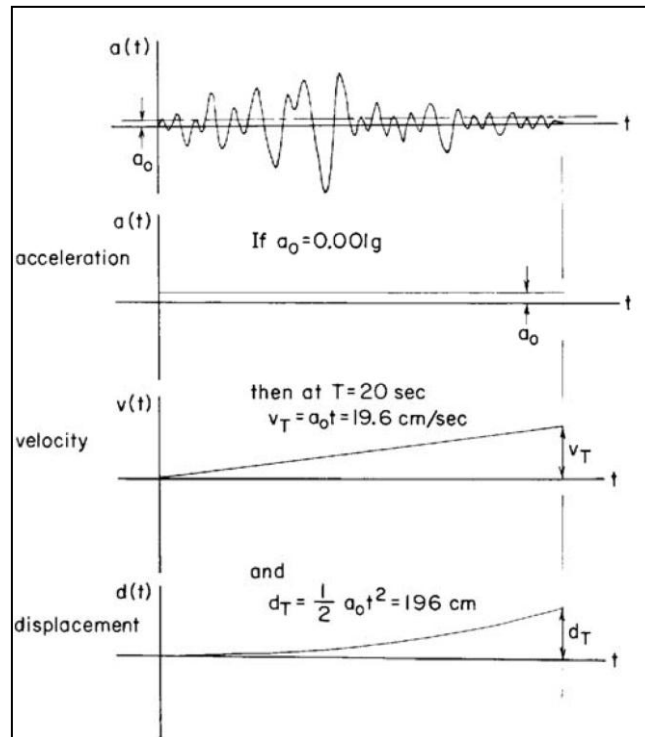
$$x_n = x_{n-1} + \frac{h}{2}(\dot{x}_n + \dot{x}_{n-1})$$

โดยที่

h	=	ช่วงเวลาในการบันทึกข้อมูลในแต่ละค่า (time step, Δt) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{Fs}$
Fs	=	ความถี่ในการบันทึกข้อมูล
$\ddot{x}$	=	ความเร่งของพื้นดิน
$\dot{x}$	=	ความเร็วของพื้นดิน
x	=	การกระจัดของพื้นดิน

4.2.3 การปรับแก้เส้นฐานและการกรองสัญญาณรบกวนของคลื่นแผ่นดินไหว

1) การปรับแก้เส้นฐาน



รูปที่ 4.6 การปรับแก้เส้นฐานข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน (Hudson, 1979)

การปรับแก้เส้นฐานของข้อมูลประวัติเวลาการสั่นไหวของพื้นดินมีความจำเป็นในกระบวนการสร้างฐานข้อมูล เนื่องจากข้อมูลประวัติเวลาการสั่นไหวของพื้นดินที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวมีทั้งค่าบวกและค่าลบ ซึ่งเส้นฐานของข้อมูลอาจจะไม่ได้อยู่ที่พิกัดศูนย์ โดยความเร็วของพื้นดินและการกระจัดของพื้นดินที่ได้จากการหาปริพันธ์ความเร่งของพื้นดินจะไม่แกว่งรอบแกนศูนย์รูปที่ 4.6 ซึ่งถ้าไม่มีการปรับแก้เส้นฐานข้อมูลอาจจะมีความไม่ถูกต้อง

การปรับแก้เส้นฐานของการศึกษานี้ได้อ้างอิงจาก Hudson (1979) ซึ่งได้อธิบายไว้ว่าหากมีความคลาดเคลื่อนคงที่ a_0 ในประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน เมื่อนำไปหาค่าปริพันธ์จะทำให้ข้อมูลความเร็วของพื้นดินมีค่าไม่เท่ากับศูนย์เมื่อความสั่นสะเทือนของพื้นดินสิ้นสุดลง ซึ่งไม่สมเหตุสมผลกับความเป็นจริงดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับแก้เส้นฐานของประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน ดังสมการที่ 4.8

$$a^*(t) = a(t) - a_0 \quad (4.8)$$

โดยที่

$a^*(t)$ = ความเร่งของพื้นดินที่ได้ปรับแก้เส้นฐาน ณ เวลา

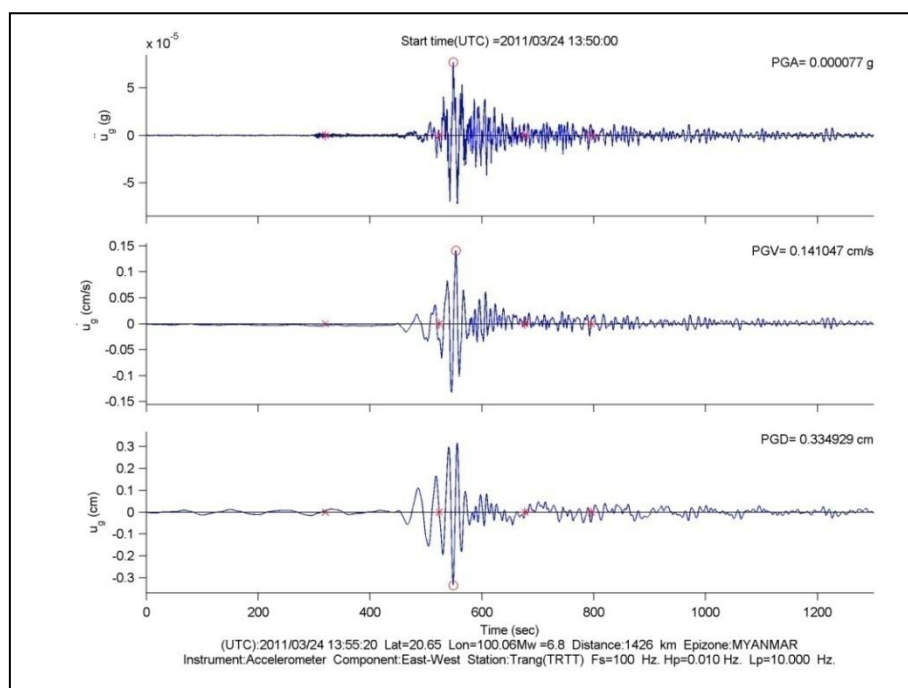
$a(t)$ = ความเร่งของพื้นดินที่ไม่ได้ปรับแก้เส้นฐาน ณ เวลา

a_0 = ค่าปรับแก้เส้นฐานของความเร่งของพื้นดิน ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของความเร่งของพื้นดินที่เวลาตั้งแต่ 0

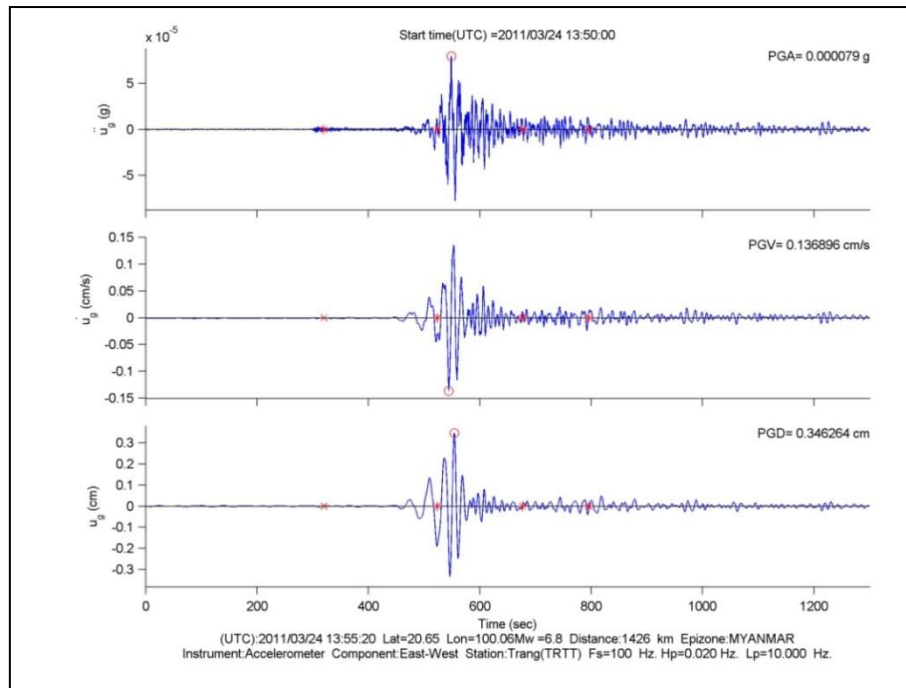
2) การกรองสัญญาณรบกวนของคลื่นแผ่นดินไหว

การกรองสัญญาณรบกวนของคลื่นแผ่นดินไหวได้ใช้วิธี Butterworth filter ซึ่งอันดับของวิธี butterworth filter ได้ใช้อันดับที่ 4 ตามกระบวนการ United States Geological Survey (USGS) โดยความถี่ที่เหมาะสมในการกรองสัญญาณรบกวนของคลื่นแผ่นดินไหวได้อ้างอิงจากการศึกษาของ Charoenyuth (2007) ซึ่งการศึกษาดังกล่าวใช้ข้อมูลประวัติเวลาการสั่นไหวของพื้นดินจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว 4 เหตุการณ์ ซึ่งพิจารณาหาความถี่ที่เหมาะสมในการกรองสัญญาณรบกวนโดยการศึกษา นั้นได้สรุปไว้ว่า ถ้าระยะทางจากสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวถึงจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (epicenter) มากกว่า 1,000 กิโลเมตร และค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน (peak ground acceleration, PGA) มีค่าน้อยกว่า 0.0003g ให้กรองสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำผ่าน (low pass, LP) ที่ 10 เฮิร์ตซ์ และการกรองความถี่สูงผ่านให้กรองความถี่สูงผ่าน (high pass, HP) ที่ 0.01 เฮิร์ตซ์

เมื่อทำการกรองสัญญาณโดยการกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงเกิน $LP = 10 \text{ Hz}$ และที่มีความถี่ต่ำกว่า $HP = 0.01 \text{ Hz}$ ทิ้งไป ซึ่งเรียกว่าความถี่ผ่านเป็นช่วง (band pass) จะได้คลื่นแผ่นดินไหวที่ผ่านการกรองสัญญาณแล้วดังเช่นรูปที่ 4.7 (ก) ซึ่งสังเกตได้ว่าความเร็วและการกระจัดช่วงต้นก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ดังนั้นจึงลองทำการเปลี่ยนความถี่สูงผ่านให้กรองความถี่สูงผ่าน (high pass, HP) ที่ 0.02 และ 0.05 เฮิร์ตซ์ โดยจากรูปที่ 4.7 (ข) พบว่าข้อมูลที่ถูกรองสัญญาณรบกวนให้ความถี่เป็นช่วงผ่านแล้วนี้将会有ความถูกต้องสมเหตุสมผลมากกว่าข้อมูลที่กรองความถี่สูงผ่านที่ 0.01 เฮิร์ตซ์ อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้พยายามกรองสัญญาณทิ้งไปให้น้อยที่สุด และพบว่าการกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน ด้วยตัวกรองบัตเทอร์เวิร์ทอันดับที่ 4 $HP = 0.02 \text{ Hz}$ ให้ความเร็วและการกระจัดของคลื่นแผ่นดินไหวช่วงต้นที่ยอมรับได้ จึงเห็นว่าควรที่จะกำหนดตัวกรองความถี่สูงผ่าน (high pass filter) $HP = 0.02 \text{ Hz}$



(ก) กรองความถี่สูงผ่านที่ 0.01 เฮิร์ตซ์



(ข) กรองความถี่สูงผ่านที่ 0.02 เฮิรตซ์

รูปที่ 4.7 กราฟข้อมูลประวัติเวลาความเร่ง ความเร็ว และการกระจัดสถานีตรวจวัดความเร่งตรัง (TRTT) เหตุการณ์แผ่นดินไหววันที่ 24 มีนาคม 2011 เวลา 13:55 น. ระยะทางจากจุดกำเนิดถึงสถานี 1426 กม.

(ก) กรองความถี่สูงผ่านที่ 0.01 เฮิรตซ์ (ข) กรองความถี่สูงผ่านที่ 0.02 เฮิรตซ์

4.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการไหวสะเทือนของพื้นดินโดยใช้โปรแกรม MATLAB

1) โปรแกรมทำการอ่านข้อมูลประวัติเวลาความเร่งจาก ASCII format

1.1) กรองสัญญาณรบกวนออกด้วยตัวกรองบัตเทอร์เวิร์ทที่ 4 ในกรณีที่ค่า PGA น้อยกว่า 0.0003g และระยะห่างจากจุดกำเนิดมากกว่า 1,000 กิโลเมตร สัญญาณรบกวนสามารถตัดออกได้โดยใช้ค่าตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน $LP = 10 \text{ Hz}$ และค่าตัวกรองความถี่สูงผ่าน $HP = 0.02 \text{ Hz}$ ซึ่งถ้าไม่อยู่ในกรณีนี้ ใช้ค่าตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน $LP = Fs/2$ โดยที่ $Fs =$ ค่าความถี่ในการบันทึกข้อมูลมีหน่วยเป็นจำนวนข้อมูลต่อวินาที (sampling frequency) และค่าตัวกรองความถี่สูงผ่าน $HP = 0.02 \text{ Hz}$

1.2) ปรับแก้เส้นฐาน โดยหาค่าเฉลี่ยของความเร่ง

1.3) หาปริพันธ์ (integrate) ของความเร่งได้ความเร็ว

1.4) ปรับแก้เส้นฐาน โดยหาค่าเฉลี่ยของความเร็ว

1.5) หาปริพันธ์ของความเร็วได้การกระจัด

1.6) กรองสัญญาณรบกวนออกด้วยตัวกรองบัตเทอร์เวิร์ทที่ 4 และปรับแก้เส้นฐานโดยหาค่าเฉลี่ยของการกระจัด

2) โปรแกรมทำการอ่านข้อมูลประวัติเวลาความเร็วจาก ASCII format

2.1) กรองสัญญาณรบกวนออกด้วยตัวกรองบัตเทอร์เวิร์ทที่ 4 ในกรณีที่ค่า PGA น้อยกว่า 0.0003g และระยะห่างจากจุดกำเนิดมากกว่า 1,000 กิโลเมตร สัญญาณรบกวนสามารถตัดออกได้โดยใช้ค่าตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน LP = 10 Hz และค่าตัวกรองความถี่สูงผ่าน HP = 0.02 Hz ซึ่งถ้าไม่อยู่ในกรณีนี้ ใช้ค่าตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน LP = $F_s/2$ โดยที่ F_s = ค่าความถี่ในการบันทึกข้อมูลมีหน่วยเป็นจำนวนข้อมูลต่อวินาที (sampling frequency) และค่าตัวกรองความถี่สูงผ่าน HP = 0.02 Hz

2.2) ปรับแก้เส้นฐาน โดยหักลบค่าเฉลี่ยของความเร็ว

2.3) หาอนุพันธ์ (differentiate) ของความเร็วได้ความเร่ง

2.4) ปรับแก้เส้นฐาน โดยหักลบค่าเฉลี่ยของความเร่ง

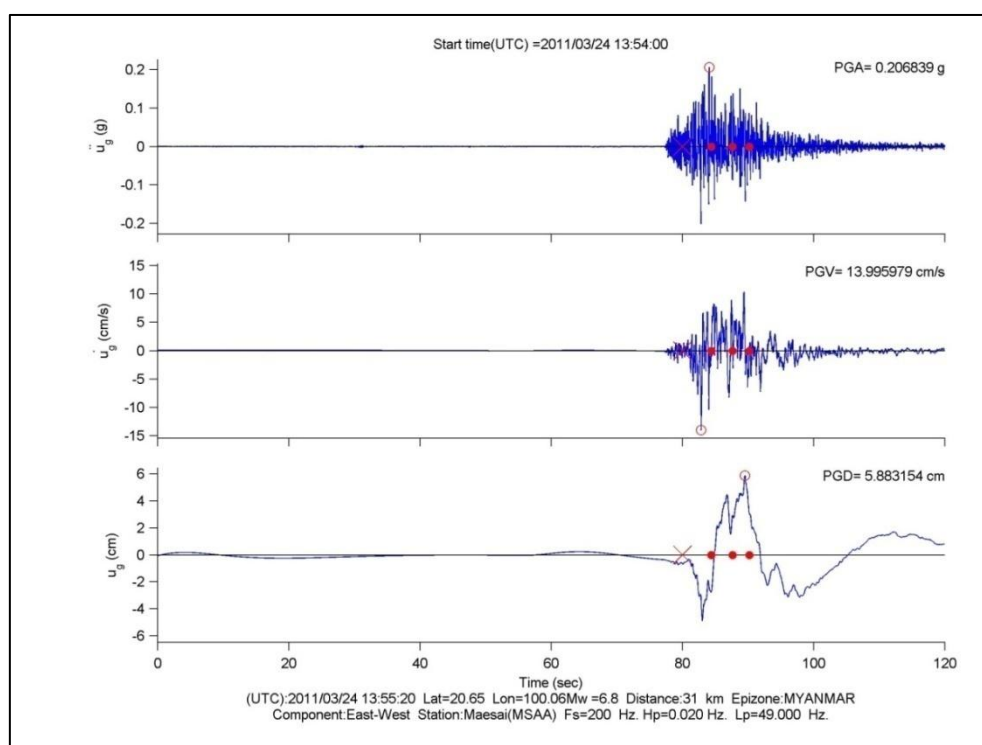
2.5) หาปริพันธ์ของความเร็วได้การกระจัด

2.6) ปรับแก้เส้นฐาน โดยหักลบค่าเฉลี่ยของการกระจัด

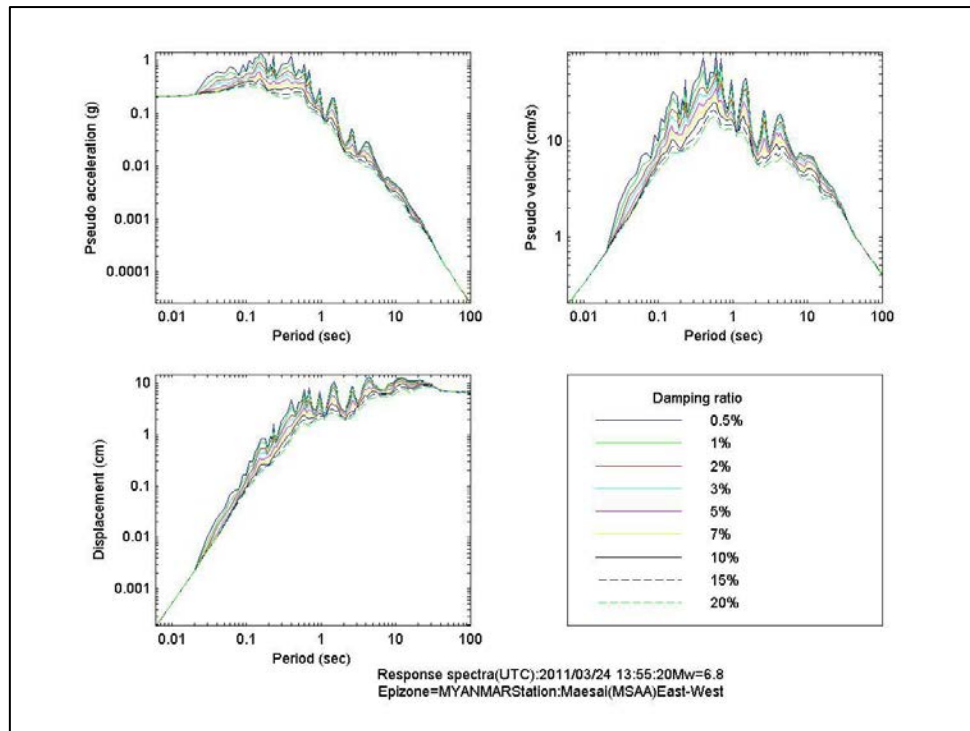
3) โปรแกรมทำการหาค่าความเร่งสูงสุด ความเร็วสูงสุด และการกระจัดสูงสุด

4) คำนวณสเปกตรัมผลตอบสนองของคลื่นแผ่นดินไหว โดยใช้โปรแกรม speceq ช่วยในการคำนวณ โดยกำหนดค่าอัตราความหน่วงเท่ากับ 0.5% 1% 2% 3% 5% 7% 10% 15% และ 20%

5) โปรแกรมทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบรูปภาพ และแฟ้มข้อมูล (text file) โดยข้อมูลรูปภาพแสดงข้อมูลประวัติเวลาความเร่ง ความเร็ว การกระจัดของพื้นดิน และสเปกตรัมผลตอบสนองของคลื่นแผ่นดินไหว แสดงดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ข้อมูลประวัติเวลาความเร่ง ความเร็ว และการกระจัด สถานีตรวจวัดความเร่งแม่สาย (MSAA) เหตุการณ์แผ่นดินไหววันที่ 24 มีนาคม 2011 เวลา 13:55 น. ระยะทางจากจุดกำเนิดถึงสถานี 31 กม.



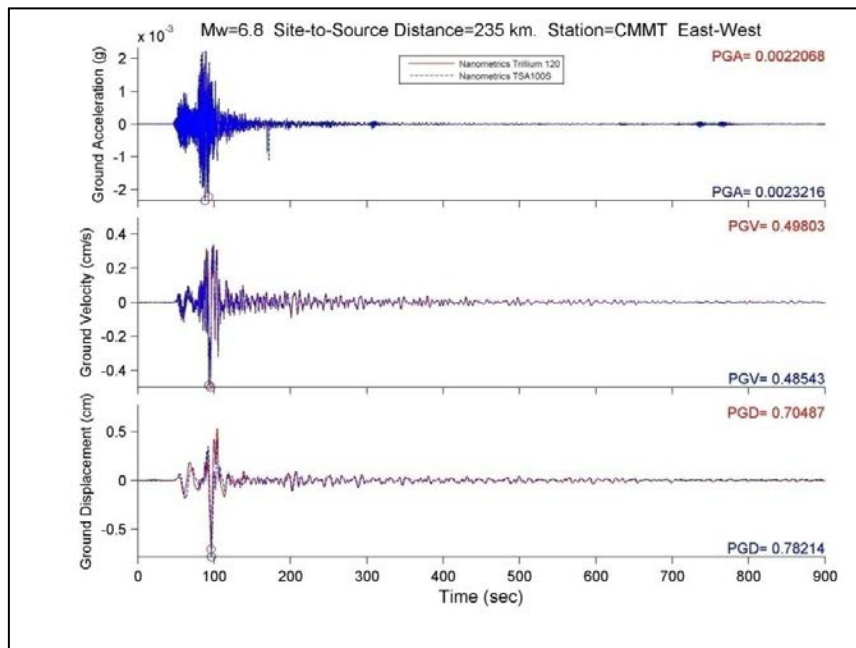
รูปที่ 4.9 กราฟข้อมูลสเปกตรัมผลตอบสนอง สถานีตรวจวัดความเร่งแม่สาย (MSAA) เหตุการณ์แผ่นดินไหววันที่ 24 มีนาคม 2011 เวลา 13:55 น. ระยะทางจากจุดกำเนิดถึงสถานี 31 กม.

การสร้างฐานข้อมูลสำหรับพัฒนาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว สำหรับประมาณอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน (peak ground acceleration, PGA) และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (spectral acceleration, Sa) ได้เลือกข้อมูลประวัติเวลาการสั่นไหวของพื้นดินที่บันทึกได้โดยเครื่องมือตรวจวัดความเร่งของพื้นดินเป็นข้อมูลหลัก ซึ่งถ้าหากเครื่องมือตรวจวัดความเร่งของพื้นดินไม่สามารถบันทึกการสั่นไหวของพื้นดินได้ จึงจะเลือกใช้ข้อมูลที่บันทึกได้โดยเครื่องมือตรวจวัดความเร็วส่วนการศึกษาพัฒนาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว สำหรับประมาณความเร็วสูงสุดของพื้นดิน (peak ground velocity, PGV) และการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน (peak ground displacement, PGD) ได้เลือกข้อมูลประวัติเวลาการสั่นไหวของพื้นดินที่บันทึกได้โดยเครื่องมือตรวจวัดความเร็วของพื้นดินเป็นข้อมูลหลัก ซึ่งถ้าหากเครื่องมือตรวจวัดความเร็วของพื้นดินไม่สามารถบันทึกการสั่นไหวของพื้นดินได้ จึงจะเลือกใช้ข้อมูลที่บันทึกได้โดยเครื่องมือตรวจวัดความเร่ง

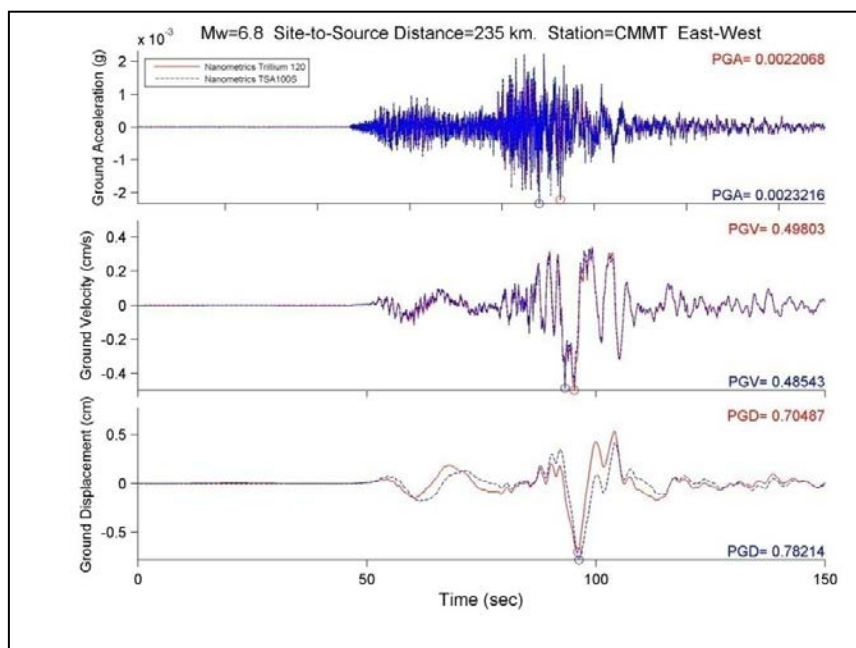
4.2.5 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ได้ใช้วิธีนำคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้โดยเครื่องมือตรวจวัดความเร่งของพื้นดิน (TSA100S) และเครื่องมือตรวจวัดความเร็วของพื้นดิน (Trillium 120) มาทำการเปรียบเทียบค่าความเร่งของพื้นดิน (ground acceleration) ความเร็วของพื้นดิน (ground velocity) และการกระจัดของพื้นดิน (ground displacement) ที่ได้จากเครื่องมือทั้งสองประเภท ซึ่งคลื่นแผ่นดินไหวที่นำมาเปรียบเทียบเป็นคลื่นที่บันทึกได้โดยสถานีตรวจวัดจังหวัดเชียงใหม่ (CMMT) ซึ่งเป็นเหตุการณ์เมื่อวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2554 เวลา 13:55 น. โดยมีจุดศูนย์กลาง

แผ่นดินไหวอยู่ที่ประเทศพม่า ซึ่งจากการเปรียบเทียบพบว่าค่าความเร่ง ความเร็ว และการกระจัดของพื้นดินที่บันทึกได้จากเครื่องมือทั้งสองประเภทมีค่าใกล้เคียงกัน และมีรูปร่างการแกว่งของคลื่นรอบแกนศูนย์คล้ายคลึงกัน (รูปที่ 4.10) จากนั้นนำข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดินของเครื่องมือทั้งสองประเภทคำนวณหาสเปกตรัมความเร่งเทียม (pseudo acceleration) ซึ่งพบว่าสเปกตรัมความเร่งเทียมของเครื่องมือทั้งสองประเภทมีค่าใกล้เคียงกัน รูปที่ 4.11

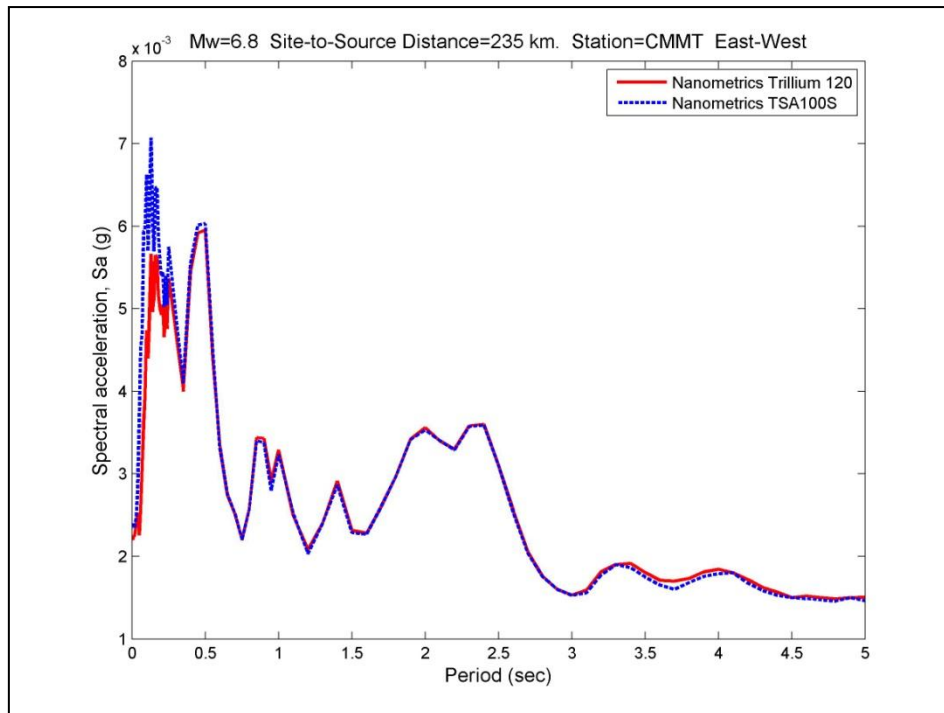


(ก) กราฟเปรียบเทียบช่วงเวลา 900 วินาที



(ข) กราฟช่วงเวลาเปรียบเทียบ 150 วินาที

รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบความเร่ง ความเร็ว การกระจัดของพื้นดิน ตรวจวัดได้โดยเครื่องมือวัดความเร่ง และเครื่องมือวัดความเร็ว ที่สถานีเชียงใหม่ (CMMT) เหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด $M_w = 6.8$ เมื่อวันที่ 24 มีนาคม 2011 เวลา 13:55 น.



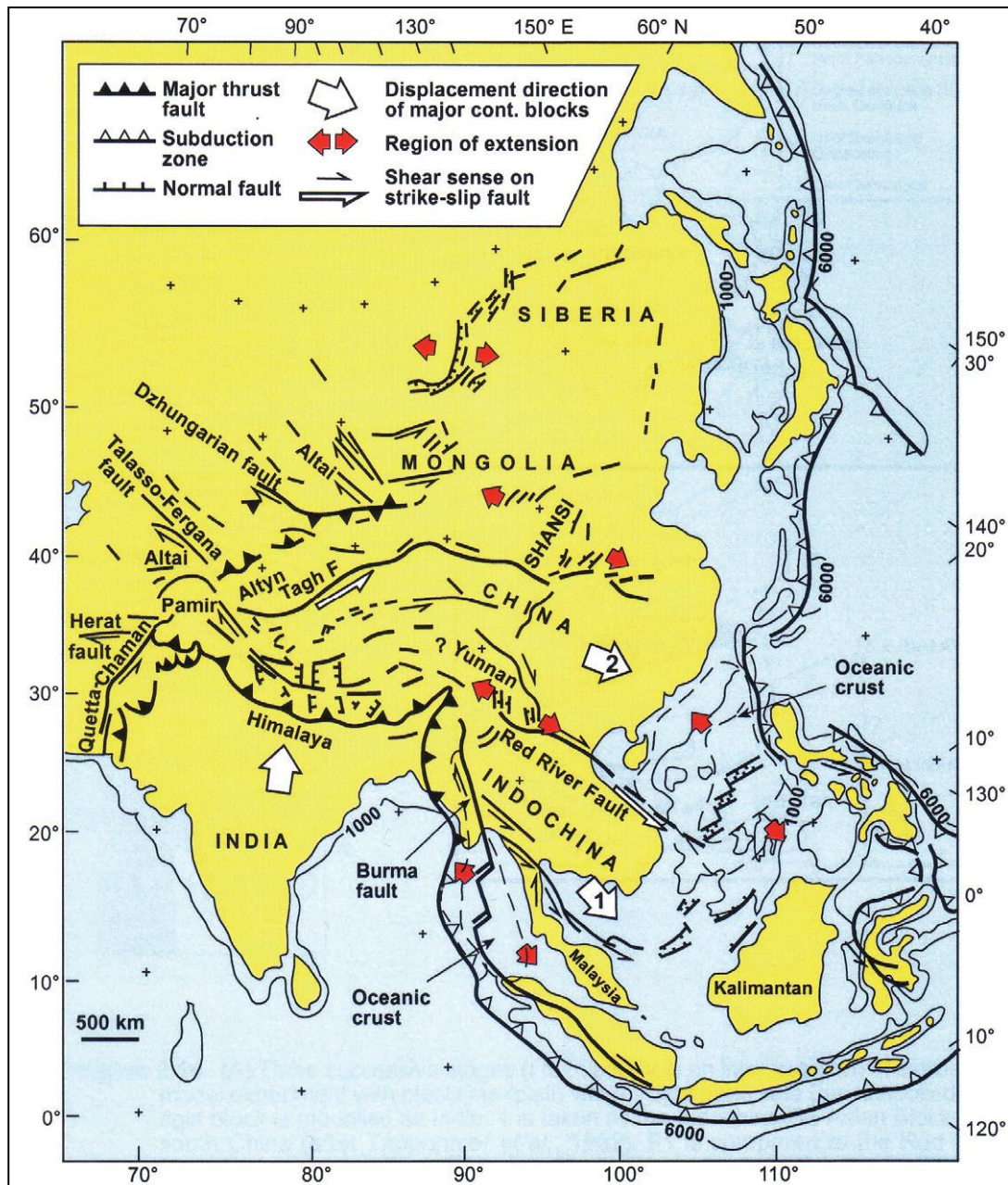
รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมความเร่งเทียบ ตรวจวัดได้โดยเครื่องมือวัดความเร่ง และ เครื่องมือวัดความเร็ว ที่สถานีเชียงใหม่ (CMMT) เหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด $M_w = 6.8$ เมื่อวันที่ 24 มีนาคม 2011 เวลา 13:55 น. ระยะทางจากจุดกำเนิดถึงสถานี 235 กม.

4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการสร้างฐานข้อมูล

4.3.1 บริเวณการแปรสัณฐานของเปลือกโลกของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

บริเวณการแปรสัณฐานของเปลือกโลกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ (1) บริเวณแผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก (shallow crustal earthquakes) ซึ่งแบ่งเป็น (1.1) บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง (active tectonic regions) (1.2) บริเวณภาคพื้นทวีปที่มีเสถียรภาพ (stable continental regions) และ (2) บริเวณเขตหมุดตัวของเปลือกโลก (subduction zones) ซึ่งบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง (active tectonic regions) เป็นบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวบ่อยครั้งและมีระยะทางค่อนข้างใกล้กับที่ตั้งสถานี ตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแต่บริเวณเขตหมุดตัวของเปลือกโลก (subduction zones) จะมีระยะทางค่อนข้างไกลซึ่งการสร้างแบบจำลองสำหรับทั้งสองบริเวณนี้นักวิจัยนิยมใช้ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดิน จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริงเป็นข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองส่วนบริเวณภาคพื้นทวีปที่มีเสถียรภาพ (stable continental region) เป็นบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวน้อยกว่าบริเวณอื่นซึ่งการสร้างแบบจำลองสำหรับบริเวณนี้นักวิจัยมักจะใช้วิธีการจำลองคลื่นแผ่นดินไหว (simulations) ควบคู่กับการใช้ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดิน

ประเทศไทยตั้งอยู่บนแผ่นยูเรเชีย รูปที่ 4.12 ไกล่รอยต่อระหว่างแผ่นยูเรเชียกับแผ่นอินเดีย – ออสเตรเลีย มีรอยเลื่อน (fault) อยู่ทางภาคตะวันตกและภาคเหนือ ส่วนใหญ่อยู่ในเขตสหภาพพม่า ทะเลอันดามัน และหมู่เกาะสุมาตรา



รูปที่ 4.12 แผนที่แสดงบริเวณการแปรสัณฐานของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
(สำนักธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อมและธรณีพิบัติภัย กรมทรัพยากรธรณี, 2554)

จากรูปที่ 4.12 จะพบว่ารอยเลื่อนที่มีผลกระทบกับประเทศไทยหลักๆ แบ่งออกเป็น 3 บริเวณ
รอยเลื่อน

1) บริเวณรอยเลื่อนตามแนวรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินเดีย-ออสเตรเลีย และแผ่นเปลือก
โลกยูเรเชีย บริเวณนี้เป็นแนวรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินเดีย-ออสเตรเลีย ที่มุดตัวเข้าไปใน
แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (subduction zone) ผาดผ่านประเทศพม่า ทะเลอันดามัน และเกาะสุมาตรา ซึ่งทำให้
เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ เช่น เหตุการณ์แผ่นดินไหว 26 มีนาคม พ.ศ. 2547 เกิดแผ่นดินไหวขนาด
โมเมนต์ 9.0 ที่เกิดบริเวณนอกชายฝั่งตะวันตกทางตอนเหนือของหมู่เกาะสุมาตรา

2) บริเวณรอยเลื่อนประเทศพม่า รอยเลื่อนสะแกงเป็นรอยเลื่อนตามแนวระดับขนาดใหญ่ที่มีการเลื่อนไปทางขวา (right lateral strike-slip fault) วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ จัดเป็นรอยเลื่อนที่มีพลัง เช่น เหตุการณ์แผ่นดินไหว 11 พฤศจิกายน พ.ศ.2555 เกิดแผ่นดินไหวขนาดโมเมนต์ 6.8 โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่บริเวณประเทศพม่า

3) บริเวณรอยเลื่อนจีนตอนใต้พม่า และลาว บริเวณนี้มีรอยเลื่อนขนาดใหญ่ รอยเลื่อนแม่น้ำแดง (red river fault) ซึ่งทำให้เกิดรอยเลื่อนขนาดเล็กแตกย่อยออกเป็นจำนวนมาก หนึ่งในจำนวนนั้น คือ รอยเลื่อนน้ำมา (nam ma fault) ซึ่งทำให้เกิดแผ่นดินไหว 24 มีนาคม พ.ศ.2554 เกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.8 เป็นรอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike slip) โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่บริเวณประเทศพม่าใกล้กับประเทศไทย และประเทศลาว ซึ่งอยู่ห่างจาก อ.แม่สาย ระยะทางประมาณ 30 กิโลเมตร ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายเป็นจำนวนมากทางฝั่งประเทศพม่า และทางตอนเหนือของประเทศไทย

4.3.2 ความรุนแรงการสั่นไหวของพื้นดิน

ความรุนแรงการสั่นไหวของพื้นดินได้แก่ ความเร่งสูงสุด (Peak Ground Acceleration, PGA) ความเร็วสูงสุด (Peak Ground Velocity, PGV) การกระจัดสูงสุด (Peak Ground Displacement, PGD) และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (Spectral Acceleration, SA) ค่าความรุนแรงการสั่นไหวของพื้นดินในแนวราบค่าที่บันทึกได้จริงที่สถานีหนึ่งๆ จะประกอบด้วยสองทิศทางในแนวราบ สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวในต่างประเทศนิยมที่จะพิจารณาค่าโดยเฉลี่ยของสองทิศทางนั้นเพราะมีสมมติฐานว่าความไม่แน่นอนมีการกระจายแบบลูปปกติ ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิต (geometric mean) ของสองทิศทางเท่ากับรากที่สองของผลคูณของค่าความรุนแรงการสั่นไหวของพื้นดินในสองทิศทางนั้น

4.3.3 ขนาดของแผ่นดินไหว

ขนาดของแผ่นดินไหว (magnitude) เกี่ยวข้องกับปริมาณของพลังงานซึ่งถูกปลดปล่อยออกมา ณ ตำแหน่งจุดกำเนิดแผ่นดินไหว ค่าขนาดของแผ่นดินไหวนี้ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ด้วยเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว ขนาดของแผ่นดินไหวแต่ละครั้งจึงมีได้ค่าเดียว ค่าที่บันทึกจากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว ไม่ได้เป็นหน่วยวัดเพื่อแสดงผลของความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งการตรวจวัดขนาดแผ่นดินไหวเป็นการวัดกำลังหรือพลังงานที่ปลดปล่อยในการเกิดแผ่นดินไหว

ขนาดของแผ่นดินไหวที่ใช้วัดความรุนแรงของแผ่นดินไหวมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น ขนาดท้องถิ่น (local magnitude, M_L) ขนาดคลื่นพื้นผิว (surface wave magnitude, M_s) ขนาดคลื่นในตัวกลาง (body wave magnitude, M_b) และขนาดโมเมนต์ (moment magnitude, M_w) ซึ่งในการสร้างแบบจำลองการลดทอน (attenuation model) มาตรฐานที่นิยมใช้ คือขนาดโมเมนต์ (moment magnitude, M_w) เนื่องจากมาตรฐานชนิดนี้สามารถวัดขนาดของแผ่นดินไหวที่มีระดับความรุนแรงมากได้โดยไม่เกิดสภาวะการอิ่มตัว (magnitude saturation) ซึ่งเป็นปัญหาของมาตรฐานวัดขนาดแผ่นดินไหวชนิดอื่นที่ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มาก ๆ ได้

ขนาดโมเมนต์ (moment magnitude, M_w) เป็นมาตรวัดขนาดของแผ่นดินไหวชนิดหนึ่งโดยขนาดโมเมนต์จะเป็นขนาดที่เกี่ยวข้องกับพลังงานศักย์ที่ปลดปล่อยออกมาเป็นพลังงานจลน์ซึ่งขึ้นอยู่กับ

พื้นที่การแตกตัวของรอยเลื่อนและระยะการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกและค่าโมดูลัสการเฉือนของหินที่รอยเลื่อนไกลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละครั้งซึ่งจะมีค่าเท่ากับ

$$M_w = \log M_o - 10.7 \quad (4.9)$$

เมื่อ

M_w = ขนาดโมเมนต์ (moment magnitude)

M_o = โมเมนต์แผ่นดินไหว (seismic moment) (ดาวยน์ – เซนติเมตร)

โดยโมเมนต์แผ่นดินไหว (seismic moment) มีค่าเท่ากับ

$$M_o = \mu A \bar{D} \quad (4.10)$$

เมื่อ

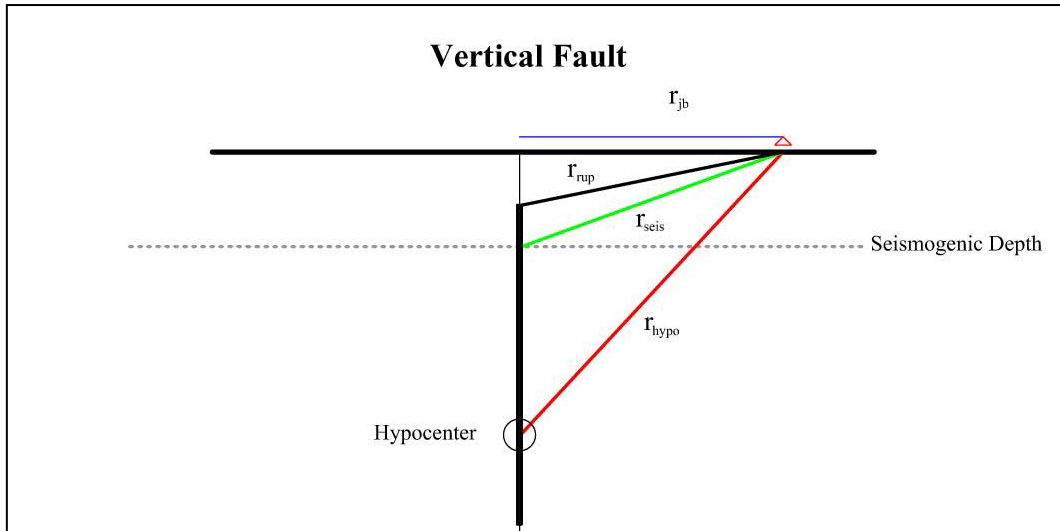
μ = กำลังการแตกตัว (rupture strength) ของวัสดุตามแนวรอยเลื่อน (fault) (ดาวยน์ต่อตารางเซนติเมตร)

A = พื้นที่การแตกตัว (rupture area) (ตารางเซนติเมตร)

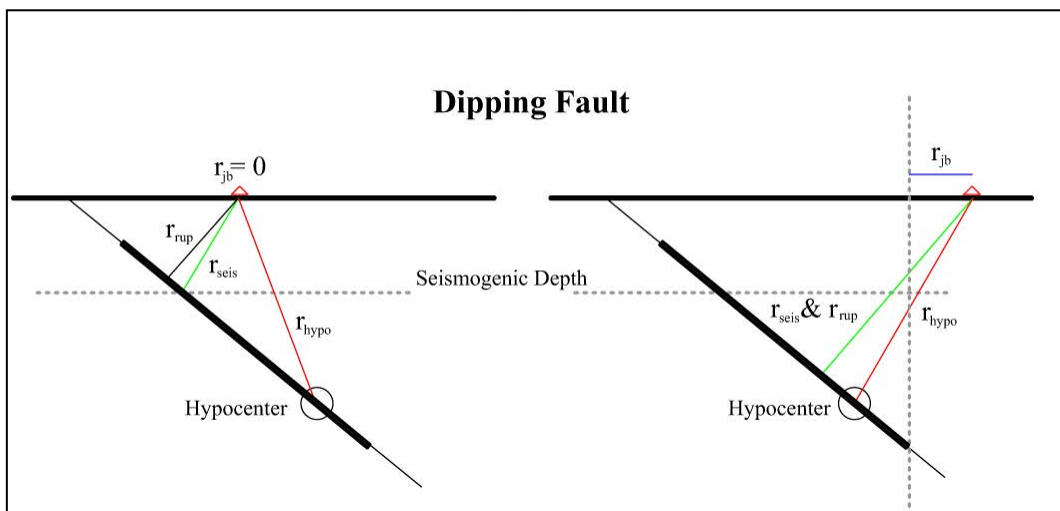
$\bar{D}$ = การกระจัดของรอยเลื่อน (เซนติเมตร)

4.3.4 ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว

การวัดระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานี (site-to-source distance) มีรูปแบบในการวัดหลายรูปแบบ ซึ่งรูปแบบของระยะทางที่นักวิจัยมักนิยมใช้ในการสร้างสมการการลดทอนสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ ระยะทางที่ขึ้นอยู่กับจุดกำเนิดแผ่นดินไหวจุดเดียว และระยะทางที่ขึ้นอยู่กับ การแตกตัวของรอยเลื่อน (finite fault rupture) โดยรูปแบบของระยะทางที่ขึ้นอยู่กับจุดกำเนิดแผ่นดินไหวจุดเดียวสามารถแบ่งออกเป็นสองรูปแบบ คือ ระยะทางจุดเกิดแผ่นดินไหว (hypocenter distance, r_{hypo}) และระยะทางจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (epicenter distance, r_{epi}) ซึ่งระยะทางจุดเกิดแผ่นดินไหวเป็นการวัดระยะจากสถานีถึงจุดเกิดแผ่นดินไหวที่เริ่มมีการแตกตัว และระยะทางจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหวเป็นการวัดระยะจากสถานีถึงภาพฉายแนวตั้งของจุดเกิดแผ่นดินไหวบนพื้นผิวโลก ส่วนรูปแบบของระยะทางที่ขึ้นอยู่กับ การแตกตัวของรอยเลื่อน (finite fault rupture) จะประกอบด้วยรูปแบบของระยะทางดังนี้คือ ระยะทางในแนวราบที่สั้นที่สุดถึงบริเวณภาพฉายบนผิวดินของระนาบแตกตัว (Joyner-Boore distance, r_{jb}) ระยะทางที่ใกล้ที่สุดกับพื้นผิวการแตกตัว (closest distance to the rupture surface, r_{rup}) และระยะทางที่ใกล้ที่สุดกับส่วนที่ก่อให้เกิดแผ่นดินไหวของระนาบแตกตัว (closest distance to the seismogenic rupture surface, r_{seis}) ซึ่งรูปแบบของระยะทางได้แสดงในรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 รูปแบบของระยะทางกับรอยเลื่อนตั้งฉาก
(Abrahamson and Shedlock, 1997)



รูปที่ 4.14 รูปแบบของระยะทางกับรอยเลื่อนเฉียง
(Abrahamson and Shedlock, 1997)

ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นระยะทางจากจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (epicentral distance) ซึ่งหมายถึงระยะที่สั้นที่สุดตามผิวโค้งของโลกที่ระดับน้ำทะเลระหว่างจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (epicenter) กับสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว ซึ่งในการคำนวณระยะทางจากจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัดใช้สูตรระยะทางของวงกลมใหญ่ (great circle distance formula) ซึ่งเมื่อทราบค่าละติจูดและลองจิจูดของจุดกำเนิดแผ่นดินไหว และสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว สามารถหาระยะทางระหว่างจุด 2 จุดบนผิวโลก จากสมการที่ 4.11

$$d = \left\{ \cos^{-1} \left[\sin(A) \cdot \sin(B) + \cos(A) \cdot \cos(B) \cdot \cos(|\Delta_{\text{long}}|) \right] \right\} \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 111.23 \text{ km} \quad (4.11)$$

โดยที่

d	=	ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว (กิโลเมตร)
A	=	ละติจูดของสถานี
B	=	ละติจูดของจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว
Δ_{long}	=	(ลองจิจูดของสถานี – ลองจิจูดของจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว)
111.23 km	=	ความยาวบนผิวโลกของมุมลองจิจูดหนึ่งองศา ณ เส้นศูนย์สูตร

4.3.5 ประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว

การสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวจำเป็นต้องพิจารณาความแตกต่างของประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว เนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวที่เดินทางมาถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวมีระดับความรุนแรงที่แตกต่างกันโดยมีสาเหตุมาจากประเภทชั้นดิน ซึ่งในการแยกประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวของแต่ละสถานีขึ้นอยู่กับความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตร

การแบ่งประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวควรจะใช้ข้อมูลสำรวจดิน ณ ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว แต่เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลดังกล่าว จึงอ้างอิงข้อมูลการขุดเจาะสำรวจชั้นดินของบริเวณใกล้เคียงเป็นตัวแทนข้อมูลการขุดเจาะสำรวจชั้นดินของแต่ละสถานี ซึ่งข้อมูลการขุดเจาะสำรวจชั้นดินได้จากเว็บไซต์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย ซึ่งมีข้อมูลเจาะสำรวจชั้นดินทั่วประเทศไทย และในการศึกษานี้ได้แบ่งประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวออกเป็นสองประเภทคือ สถานีที่ตั้งอยู่บนหิน (rock site) และสถานีที่ตั้งอยู่บนดิน (soil site)

ข้อมูลเจาะสำรวจชั้นดินจะใช้ประมาณค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตร (shear wave velocity, V_{s30}) ในแต่ละชั้นดินโดยใช้สมการเชิงประจักษ์ (empirical equations) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า N-values ของการทดสอบการทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) กับความเร็วคลื่นเฉือน (shear wave velocity, V_{s30}) ซึ่งการประมาณค่าความเร็วคลื่นเฉือน (shear wave velocity, V_{s30}) สำหรับชั้นดินทรายได้ใช้สมการดังนี้

$$\text{Dickenson (1994) : } V_s = 88.392(N+1)^{0.3} \quad (4.12)$$

$$\text{Seed, Idriss and Arango (1983) : } V_s = 56.388N^{0.5} \quad (4.13)$$

$$\text{Sykora and Stokoe (1983) : } V_s = 100.583N^{-0.29} \quad (4.14)$$

สำหรับการประมาณค่าความเร็วคลื่นเฉือน (shear wave velocity, V_{s30}) สำหรับชั้นดินเหนียวได้ใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{Imai and Tonouchi (1982) : } V_s = 96.926N^{-0.314} \quad (4.15)$$

$$\text{Ohsaki and Iwasaki (1973) : } V_s = 81.686N^{-0.39} \quad (4.16)$$

$$\text{Ohta and Goto (1978) : } V_s = 85.344N^{-0.341} \quad (4.17)$$

โดยที่

V_s = ความเร็วคลื่นเฉือน (shear wave velocity, $V_{s_{30}}$) (เมตร/วินาที)

N = ค่า blow count ที่นับได้จากการทดสอบการทะลวงมาตรฐาน
(Standard Penetration Test, SPT) (ครั้ง/ฟุต)

การประมาณค่าความเร็วคลื่นเฉือนในบริเวณที่มีสภาพดินเป็นดินเหนียวอ่อนซึ่งได้แก่ บริเวณ กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ค่าพารามิเตอร์สำหรับการประมาณค่าความเร็วคลื่นเฉือนต้องเปลี่ยนไป เนื่องจากไม่สามารถหาค่า blow count ของการทดสอบการทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) ได้ จึงประมาณค่าความเร็วคลื่นเฉือนโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนกับ กำลังเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำโดยใช้สมการที่ 4.18

Dickenson (1994) :
$$V_s = 68.7 S_u^{0.475} \quad (4.18)$$

โดยที่

V_s = ความเร็วคลื่นเฉือน (shear wave velocity,) (เมตร/วินาที)

S_u = ค่า undrained shear strength (ตัน/ตารางเมตร)

การแบ่งประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีได้แบ่งตามเกณฑ์ของ International Building Code (IBC) แสดงในตารางที่ 4.10 โดยใช้ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน ซึ่งการหาค่าเฉลี่ยความเร็วคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดินได้แสดงในสมการที่ 4.19

$$V_{s_{30}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad (4.19)$$

โดยที่

$V_{s_{30}}$ = ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (เมตร/วินาที)

n = จำนวนชั้นดินในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน

d_i = ความหนาของชั้นดิน i (เมตร)

V_{si} = ความเร็วคลื่นเฉือนในชั้นดิน i (เมตร/วินาที)

ตารางที่ 4.10 การแบ่งประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตามเกณฑ์ของ International Building Code (2003)

Site Class	Soil Type	Average Shear Wave Velocity (m/s)
A	หินแข็ง	$V_{s30} > 1500$
B	หิน	$760 < V_{s30} \leq 1500$
C	ดินแน่นมากและหินผุ	$360 < V_{s30} \leq 760$
D	ดินแข็ง	$180 < V_{s30} \leq 360$
E	ดินอ่อน	$V_{s30} < 180$

การศึกษานี้ได้แบ่งประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวออกเป็นสองประเภท คือ สถานีที่ตั้งอยู่บนหิน (rock site) โดยมีค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยมากกว่า 360 m/s และสถานีที่ตั้งอยู่บนดิน (soil site) มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยน้อยกว่าเท่ากับ 360 m/s ซึ่งประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวและค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย (average shear wave velocity, V_{s30}) ของสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวในระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ได้อ้างอิงจากการศึกษาของ วิษณุ หัตถา (2551) ได้แสดงในตารางที่ 4.11 ถึง ตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.11 ประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวหลักระบบใหม่ระยะที่ 1 (วิษณุ หัตถา, 2551)

Code	Station	Soil type	Average shear wave velocity Vs30 (m/s)
Soil site ($V_{s30} \leq 360$)			
KRDT	นครราชสีมา	ดินแข็ง	348
SKNT	สกลนคร	ดินแข็ง	254
PBKT	เพชรบูรณ์	ดินแข็ง	245
UBPT	อุบลราชธานี	ดินแข็ง	294
MHMT	แม่สะเรียง	ดินแข็ง	361*
SURT	สุราษฎร์ธานี	ดินแข็ง	290
TRTT	ตรัง	ดินแข็ง	340
PKDT	ภูเก็ต	ดินแข็ง	215
SKLT	สงขลา	ดินแข็ง	340
Rock site ($V_{s30} > 360$)			
KHLT	เขื่อนเขาแหลม	ดินแน่นมากและหิน	387
SRDT	กาญจนบุรี	ดินแน่นมากและหิน	387
CHBT	จันทบุรี	ดินแน่นมากและหิน	487
CMMT	เชียงใหม่	หิน	-
MHIT	แม่ฮ่องสอน	ดินแน่นมากและหิน	379
RNTT	ระนอง	ดินแน่นมากและหิน	417

*จากผลการทดสอบแบบหลุมเจาะ

ตารางที่ 4.12 ประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวหลักระบบใหม่ระยะที่ 2
(วิษณุ หัตถา, 2551)

Code	Station	Soil type	Average shear wave velocity Vs30 (m/s)
Soil site ($V_{s30} \leq 360$)			
PHIT	เขื่อนแควน้อย จ.พิษณุโลก	ดินแข็ง	254
SUKH	อ่างเก็บน้ำห้วยท่าแพ จ.สุโขทัย	ดินแข็ง	321
UTTA	เขื่อนสิริกิติ์ จ.อุตรดิตถ์	ดินแข็ง	278
UMPA	สถานีอุตุนิยมวิทยาอุ้มผาง จ.ตาก	ดินแข็ง	307
UTHA	เขื่อนทับเสลา จ.อุทัยธานี	ดินแข็ง	249
PATY	สถานีอุตุนิยมวิทยาพญา จ.ชลบุรี	ดินแข็ง	300
CHAI	อ่างเก็บน้ำช่อระกา จ.ชัยภูมิ	ดินแข็ง	338
KHON	สถานีอากาศเกษตรท่าพระ	ดินแข็ง	281
SURI	อ่างเก็บน้ำอำป้อม จ.สุรินทร์	ดินแข็ง	312
CMAI	สถานีอุตุนิยมวิทยาดอยอ่างขาง	ดินแข็ง	351
SRIT	อ่างเก็บน้ำคลองดินแดง	ดินแข็ง	270
SURA	ฝายเก็บน้ำท่าทอง	ดินแข็ง	254
NONG	อ่างเก็บน้ำห้วยเปลงเหือง	ดินแข็ง	266
PANO	อ่างเก็บน้ำห้วยแคน จ.นครพนม	ดินแข็ง	296
NAYO	อ่างเก็บน้ำคลองท่าด่าน	ดินแข็ง	258
LOEI	อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหนาม จ.เลย	ดินแข็ง	355
Rock site ($V_{s30} > 360$)			
NAN	ฝายน้ำกอน จ.น่าน	ดินแน่นมากและหินผุ	454
PHET	อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน	ดินแน่นมากและหินผุ	382
SRAK	อ่างเก็บน้ำห้วยยาง จ.สระแก้ว	ดินแน่นมากและหินผุ	395
KRAB	อ่างเก็บน้ำบางก่าปรัด จ.กระบี่	ดินแน่นมากและหินผุ	540
CRAI	อ่างเก็บน้ำสอง จ.แพร่	ดินแน่นมากและหินผุ	362
PRAC	อ่างเก็บน้ำห้วยช้าง จ.เชียงราย	ดินแน่นมากและหินผุ	387
LAMP	เขื่อนกิ่วลม จ.ลำปาง	ดินแน่นมากและหินผุ	458*
PAYA	อ่างเก็บน้ำแม่ปืม จ.พะเยา	ดินแน่นมากและหินผุ	443*

*จากผลการทดสอบแบบหลุมเจาะ

ตารางที่ 4.13 ประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดเฉพาะความเร่งของพื้นดินระบบใหม่ระยะที่ 1 และ 2 (วิษณุ หัตถา, 2551)

Code	Station	Soil type	Average shear wave velocity Vs30 (m/s)
Soil site ($V_{s30} \leq 360$)			
BKKA	สถานีกรมอุตุนิยมวิทยา บางนา	ดินอ่อน	139
SPBA	สถานีอุตุนิยมวิทยาสุพรรณบุรี	ดินแข็ง	291
CHLA	สถานีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ดินอ่อน	160
PTNA	สถานีอุตุนิยมวิทยาปทุมธานี	ดินอ่อน	161
MSAA	ที่ว่าการอำเภอแม่สาย จ.เชียงราย	ดินแข็ง	330*
Rock site ($V_{s30} > 360$)			
KCBA	สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี	ดินแน่นมากและหิน	368
CMCA	ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ	ดินแน่นมากและหิน	392

*จากผลการทดสอบแบบหลุมเจาะ

4.3.6 กลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก

การเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละครั้งจะมีรูปแบบการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกที่แตกต่างกัน โดยความแตกต่างของรูปแบบการเลื่อนจะมีผลต่อระดับความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหวและการแบ่งแยกเหตุการณ์แผ่นดินไหว ดังนั้นในการรวบรวมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวควรที่จะต้องมีการแยกรูปแบบกลไกการเลื่อน (fault mechanism) ของแผ่นเปลือกโลก โดยการจำแนกจะใช้มุมลาดเอียง (slip or rake, λ) และมุมแนวระดับ (strike) เป็นเครื่องมือในการแยกประเภท ซึ่งมุมลาดเอียงคือมุมระหว่างทิศทางการเลื่อนบนระนาบรอยเลื่อนและมุมแนวระดับคือมุมที่แสดงทิศทางการเลื่อนเทียบกับทิศเหนือ ซึ่งรูปแบบของรอยเลื่อนจำแนกเป็น 3 ประเภท (1) รอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike-slip fault) , (2) รอยเลื่อนตามแนวมุมเท (dip-slip fault) แบ่งได้เป็น (2.1) normal fault กับ (2.2) reverse fault และ (3) รอยเลื่อนตามแนวเฉียง (oblique-slip fault) แบ่งได้เป็น (3.1) normal oblique fault กับ (3.2) reverse oblique fault ซึ่งการศึกษานี้จะรวมกลุ่มของ normal fault กับ normal oblique fault และ กลุ่มของ reverse fault กับ reverse oblique fault เป็นกลุ่มเดียวกันโดยกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกอ้างอิงการจำแนกตาม Idriss (2008) ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 รูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก (Idriss, 2008)

Fault Mechanism	Rake Angle (degrees)		
Strike slip	-180	< Rake <	-150
	-30	< Rake <	30
	150	< Rake <	180
Normal	-120	< Rake <	-60
Reverse	60	< Rake <	120
Reverse Oblique	30	< Rake <	60
	120	< Rake <	150
	-150	< Rake <	-120
Normal Oblique	-60	< Rake <	-30

4.4 ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

4.4.1 ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว

การรวบรวมข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินเนื่องจากแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยที่ใช้ในการศึกษานี้ได้รวบรวมข้อมูลตั้งแต่ มิถุนายน พ.ศ. 2549 ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 แล้วนำไปรวบรวมกับข้อมูลเก่าตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2549 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2551 ซึ่งมีเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทยทั้งหมด 189 เหตุการณ์ แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ (1) ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2549 ถึง วันที่ พฤษภาคม พ.ศ. 2551 ได้พิจารณาแผ่นดินไหวที่มีจุดกำเนิดอยู่ระหว่างพิภพลึก 0 ถึง 32 องศาเหนือ และลองจิจูด 90 ถึง 110 องศาตะวันออก โดยมีขนาดโมเมนต์ตั้งแต่ 4.8 ถึง 8.5 ได้มีเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทยทั้งหมด 72 เหตุการณ์ และ (2) ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวตั้งแต่ มิถุนายน พ.ศ. 2551 ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ได้พิจารณาแผ่นดินไหวที่มีจุดกำเนิดอยู่ระหว่างพิภพลึก 0 ถึง 25 องศาเหนือ และลองจิจูด 90 ถึง 110 องศาตะวันออก โดยมีขนาดโมเมนต์ตั้งแต่ 4.3 ถึง 8.6 ได้มีเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทยทั้งหมด 117 เหตุการณ์ ซึ่งข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลที่บันทึกได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิทัลระบบใหม่ระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ของกรมอุตุนิยมวิทยา

การแบ่งแยกเหตุการณ์แผ่นดินไหวตามบริเวณการแปรสัณฐานขอบเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกของการศึกษานี้ แบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบ

1) ตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหว (event location)

ตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหว สามารถบ่งบอกบริเวณการแปรสัณฐานได้ในเบื้องต้น ถ้าเหตุการณ์เกิดบริเวณรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกที่มุดตัวเข้าหากัน สันนิษฐานว่าเป็นบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก และถ้าเหตุการณ์เกิดบริเวณรอยเลื่อนตามแนวระดับสันนิษฐานว่าเป็นแผ่นดินไหวต้นในแผ่นเปลือกโลก

2) ความลึกของเหตุการณ์แผ่นดินไหว (focal depth)

การแบ่งแยกเหตุการณ์แผ่นดินไหวตามบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก อ้างอิงตาม Atkinson และ Boore (2003) โดยที่ความลึกของเหตุการณ์แผ่นดินไหวน้อยกว่า 50 กิโลเมตร จัดเป็นแผ่นดินไหวเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก ประเภทเหตุการณ์ที่ผิวหน้า (interface events) และถ้าความลึกของเหตุการณ์แผ่นดินไหวมากกว่า 50 กิโลเมตร จัดเป็นประเภทเหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกด้วย

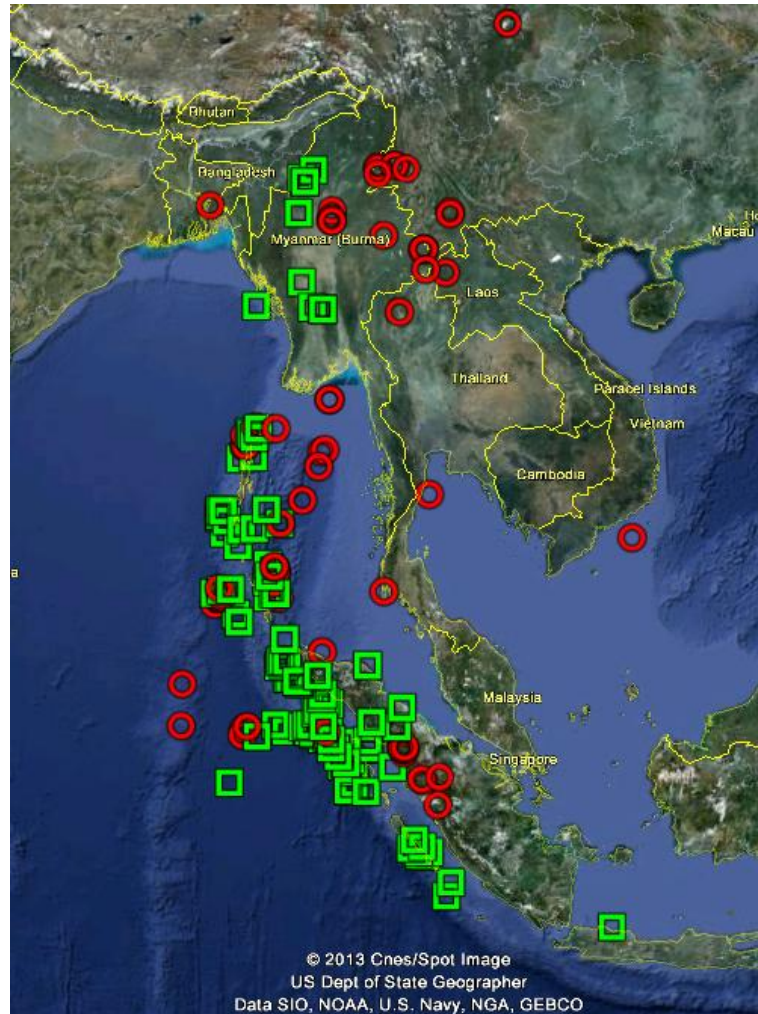
3) กลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก (focal mechanism)

กลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก อ้างอิงตาม Atkinson และ Boore (2003) โดยที่

3.1) เหตุการณ์แผ่นดินไหวเกิดบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกแล้วเป็นรอยเลื่อนประเภทการเลื่อนปกติ (normal fault) จัดเป็นเหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab)

3.2) ที่ความลึกน้อยกว่า 50 กิโลเมตร เป็นรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) จัดเป็นเหตุการณ์ที่ผิวหน้า (interface events)

การจัดกลุ่มข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวตามบริเวณการแปรสัณฐานแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ คือ แผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก (shallow crustal earthquakes) ซึ่งมีเหตุการณ์แผ่นดินไหว 70 เหตุการณ์ และแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (subduction earthquakes) มีเหตุการณ์แผ่นดินไหว 119 เหตุการณ์ แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา (สีแดง = เหตุการณ์แผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก, สีเขียว = เหตุการณ์แผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก)

4.4.2 ข้อมูลบันทึกการสั่นไหวของพื้นดิน

ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินในการศึกษานี้มีข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินทั้งหมด 1335 บันทึก โดยช่วงเวลา ตุลาคม พ.ศ. 2549 ถึง วันที่ พฤษภาคม พ.ศ. 2551 มีข้อมูลการสั่นไหวของแผ่นดินทั้งหมด 389 บันทึกและช่วงเวลา มิถุนายน พ.ศ. 2551 ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 มีข้อมูลการสั่นไหวของแผ่นดินทั้งหมด 946 บันทึกโดยแบ่งกลุ่มข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่มีแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก (shallow crustal earthquakes) มีข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินทั้งหมด 560 บันทึก และแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (subduction earthquakes) มีข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินทั้งหมด 775 บันทึก ซึ่งในแต่ละบริเวณได้จัดกลุ่มข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินตามลักษณะชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว โดยแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่บันทึกได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่ตั้งอยู่บนหิน (rock site) และที่ตั้งอยู่บนดิน (soil site) ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 จำนวนข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่แบ่งตามบริเวณการแปรสัณฐานและลักษณะชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว

Seismic source EQ	Site category		Total
	Rock	Soil	
Shallow crustal earthquake	205	355	560
Subduction earthquake	276	499	775
Total	481	854	1335

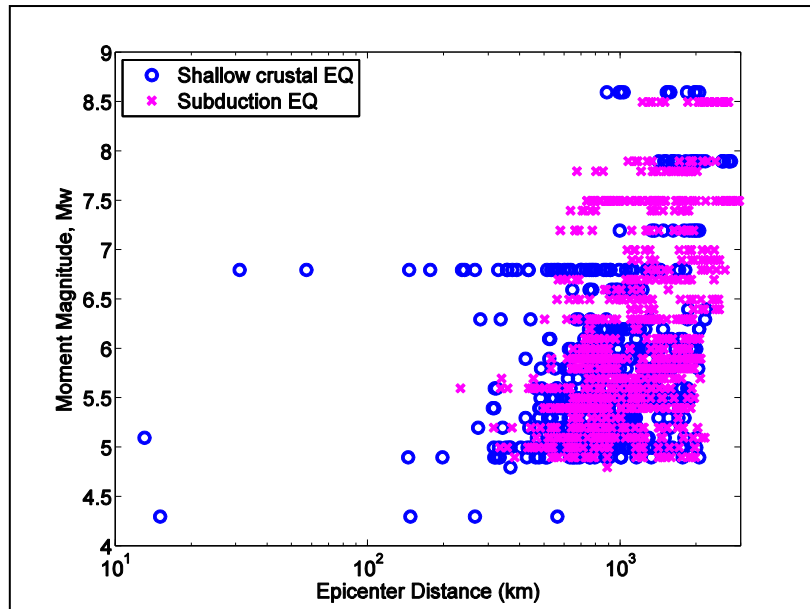
ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยโดยมีการกระจายตามขนาดโมเมนต์และระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัดแบ่งตามบริเวณการแปรสัณฐานและประเภทชั้นดินของสถานีตรวจวัดได้แสดงในรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 ซึ่งข้อมูลที่ตรวจวัด มีระยะทางตั้งแต่ 13 ถึง 2,948 กิโลเมตร และมีขนาดโมเมนต์ระหว่าง 4.3 ถึง 8.6 ซึ่งแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงส่วนมากจะมีแหล่งกำเนิดอยู่ในบริเวณเกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งมีระยะทางค่อนข้างไกลจากสถานีตรวจวัด ส่วนข้อมูลที่มีระยะทางใกล้ในช่วง 500 กิโลเมตร เป็นข้อมูลที่มีแหล่งกำเนิดในประเทศและประเทศเพื่อนบ้านทางภาคเหนือของประเทศไทยโดยมีขนาดโมเมนต์น้อยกว่า 7 รูปที่ 4.18 แสดงการกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัดแบ่งตามบริเวณการแปรสัณฐานรูปที่ 4.19 ถึง 4.22 แสดงการกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดิน ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ความเร็วสูงสุดของพื้นดิน และการการจัดสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัดแบ่งตามประเภทชั้นดินของสถานีตรวจวัด

รูปที่ 4.23 ถึง รูปที่ 4.26 แสดงการกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัด โดยแบ่งตามบริเวณการแปรสัณฐาน ประเภทชั้นดินของสถานีตรวจวัดและขนาดโมเมนต์ซึ่งสังเกตได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบ่งชั้นตามขนาดโมเมนต์อย่างเห็นได้ชัดแสดงว่าขนาดโมเมนต์เป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับการประมาณความรุนแรงการสั่นไหว

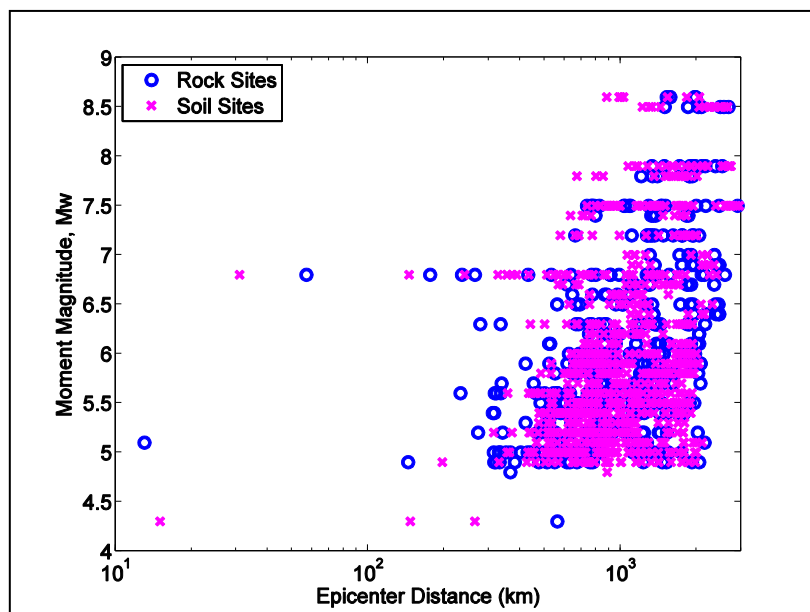
รูปที่ 4.27 ถึง 4.34 แสดงการกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัด สำหรับบริเวณแผ่นดินไหวต้นของแผ่นเปลือกโลก โดยแบ่งตามประเภทชั้นดินของสถานีตรวจวัด ขนาดโมเมนต์ และรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกซึ่งพบว่าตัวแปรรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก สำหรับบริเวณแผ่นดินไหวต้นของแผ่นเปลือกโลกยังขาดข้อมูลอีกเป็นจำนวนมากเพื่อบ่งชี้ความแตกต่างของรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกระหว่างรอยเลื่อนแนวระดับ (strike slip fault) รอยเลื่อนปกติ (normal fault) และรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) ดังนั้นการศึกษานี้จึงรวมรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกทั้ง 3 รูปแบบ สำหรับสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย บริเวณแผ่นดินไหวต้นของแผ่นเปลือกโลก

รูปที่ 4.35 ถึง 4.42 แสดงการกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัด สำหรับบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก โดยแบ่งตามประเภท

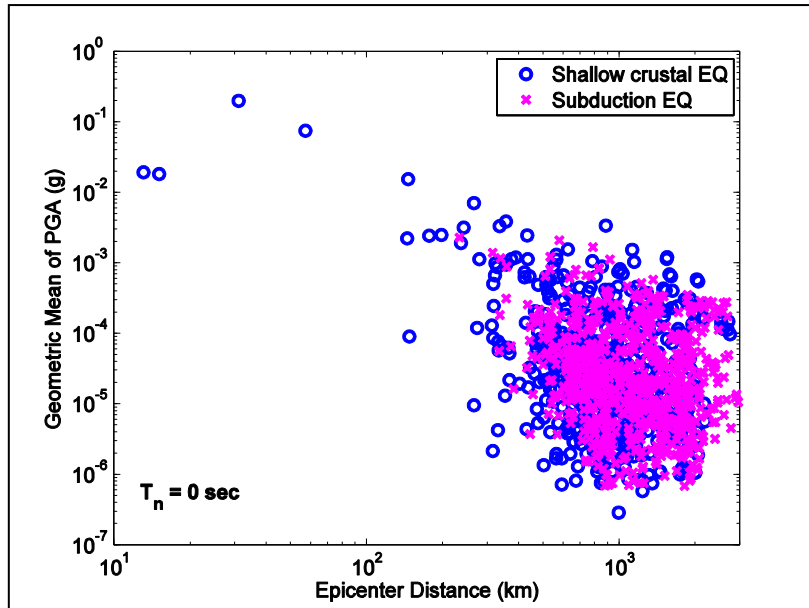
ชั้นดินของสถานีตรวจวัด ขนาดโมเมนต์ และรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกข้อมูลยังมีการกระจายเพื่อป้องกันความแตกต่างที่ยังไม่ชัดเจน และยังขาดข้อมูลเหตุการณ์ภายในแผ่น (intra slab) ที่ขนาดโมเมนต์เท่ากับ 8 ดังนั้นการศึกษานี้จึงรวมรูปแบบเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface) และเหตุการณ์ภายในแผ่น ทั้ง 2 รูปแบบ สำหรับสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก



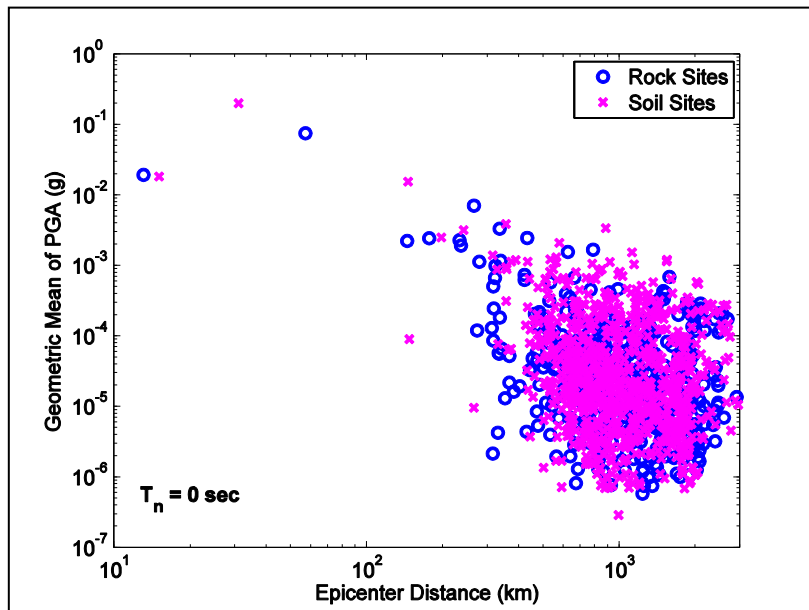
รูปที่ 4.16 การกระจายของข้อมูลที่บันทึกได้ตามขนาดโมเมนต์กับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานี แบ่งตามบริเวณการแปรสัณฐานของเปลือกโลก



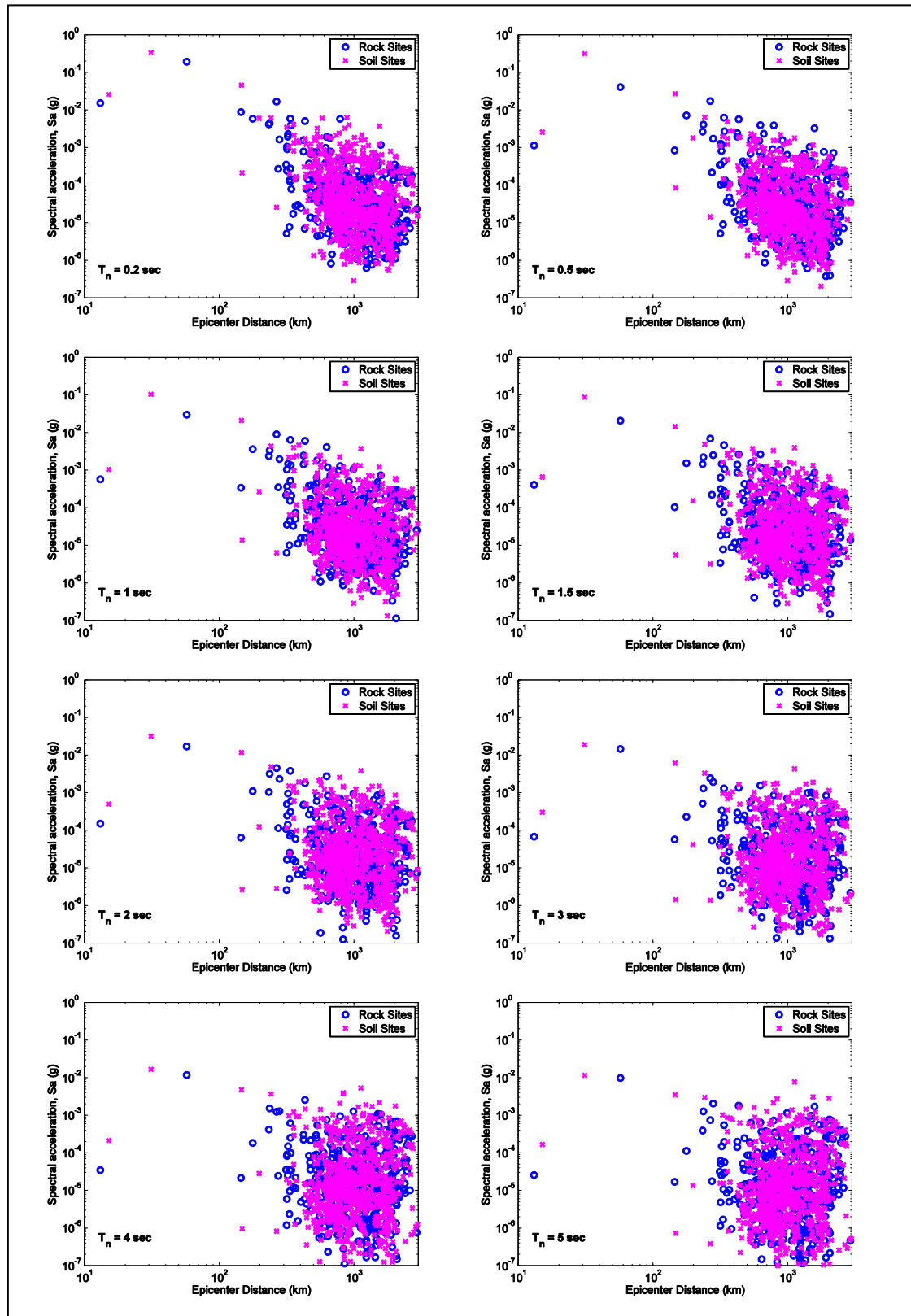
รูปที่ 4.17 การกระจายของข้อมูลที่บันทึกได้ตามขนาดโมเมนต์กับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานี แบ่งตามประเภทชั้นดินของสถานีตรวจวัด



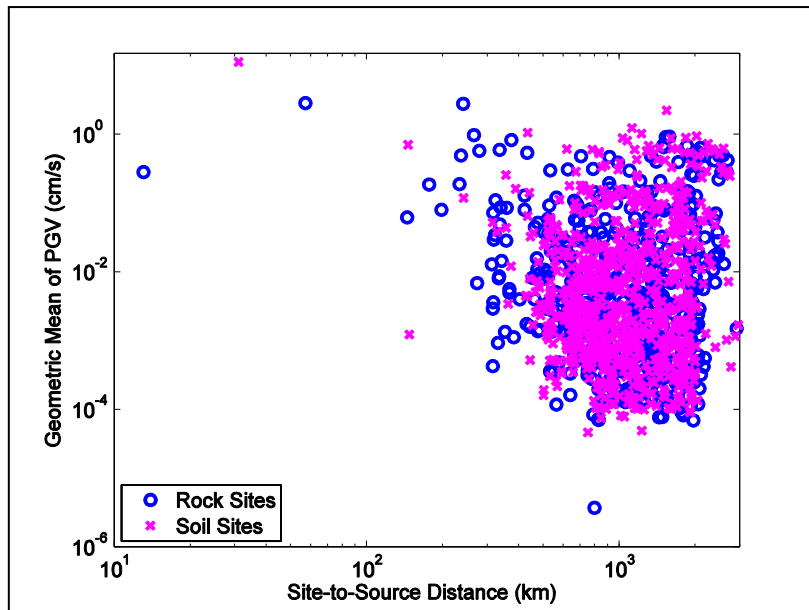
รูปที่ 4.18 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานี
ตรวจวัดแบ่งตามบริเวณการแปรสัณฐานของเปลือกโลก



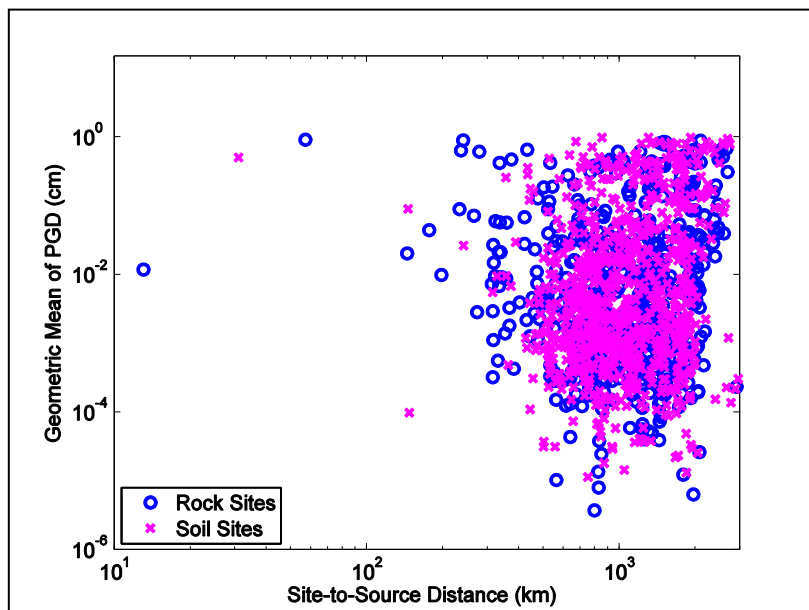
รูปที่ 4.19 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานี
ตรวจวัดแบ่งตามประเภทชั้นดินของสถานีตรวจวัด



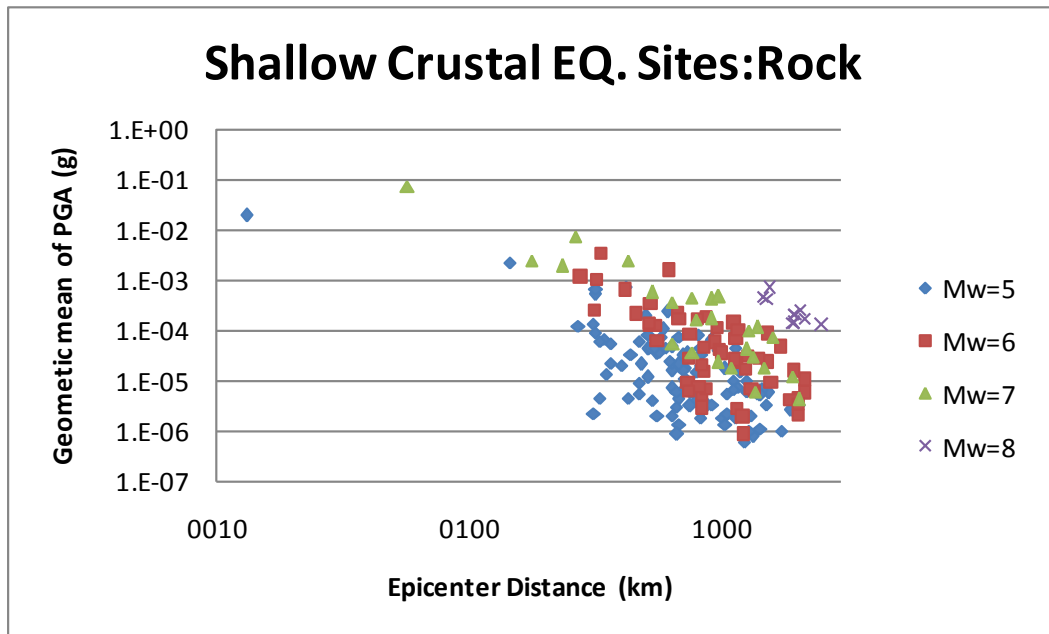
รูปที่ 4.20 การกระจายของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมตามระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด



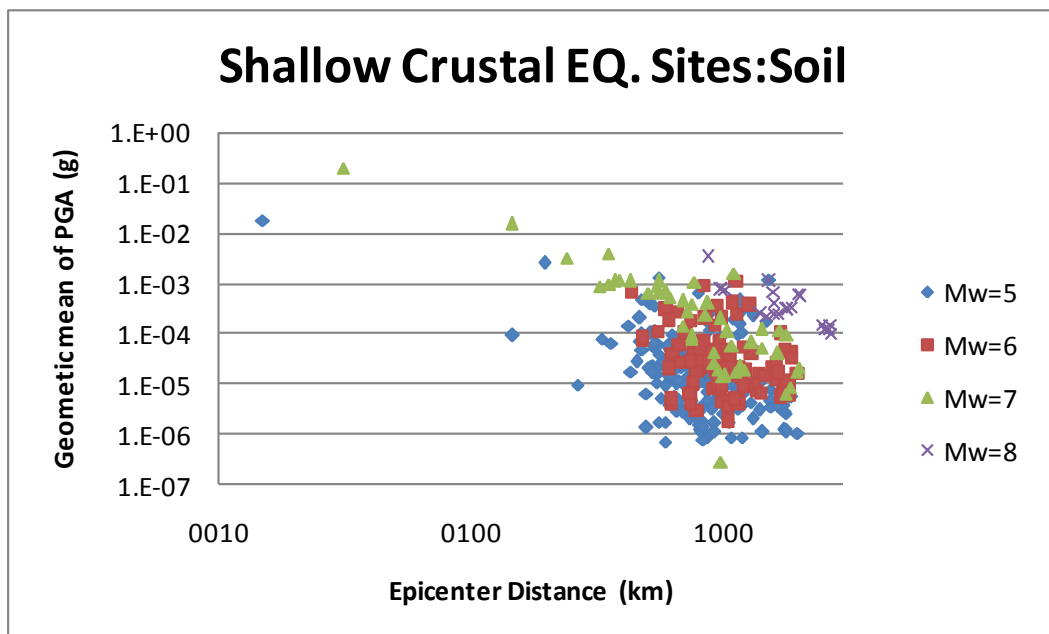
รูปที่ 4.21 การกระจายของข้อมูลความเร็วสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานี
ตรวจวัด



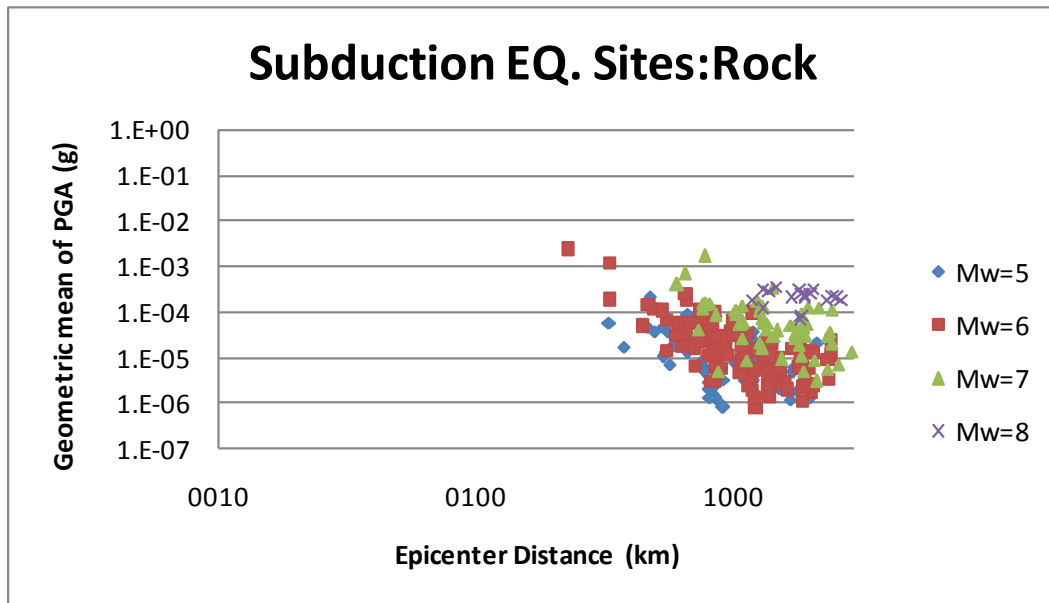
รูปที่ 4.22 การกระจายของข้อมูลการกระจัดสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานี
ตรวจวัด



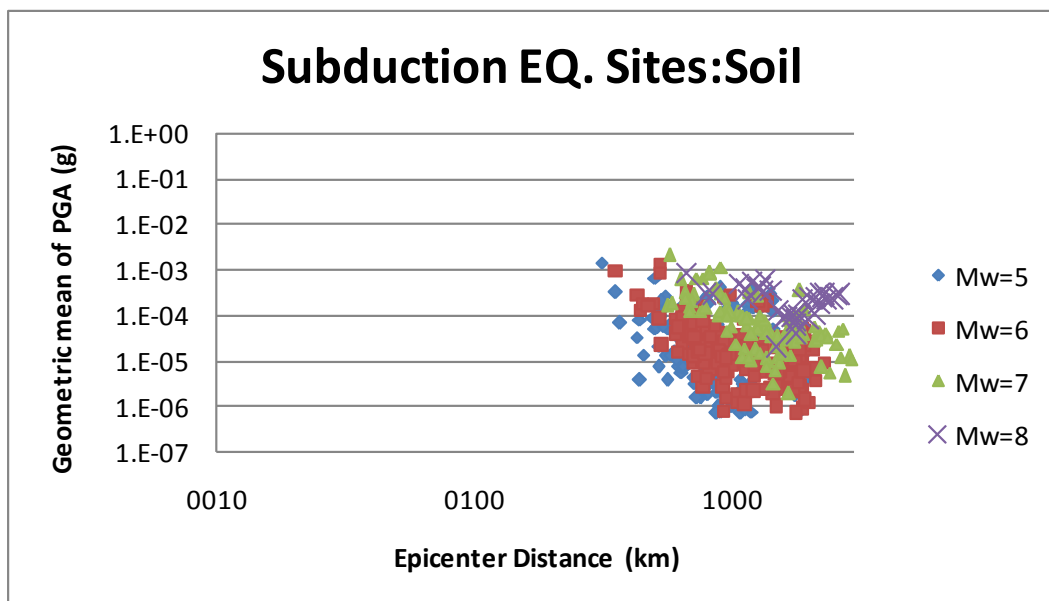
รูปที่ 4.23 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้น สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน แบ่งตามขนาดโมเมนต์



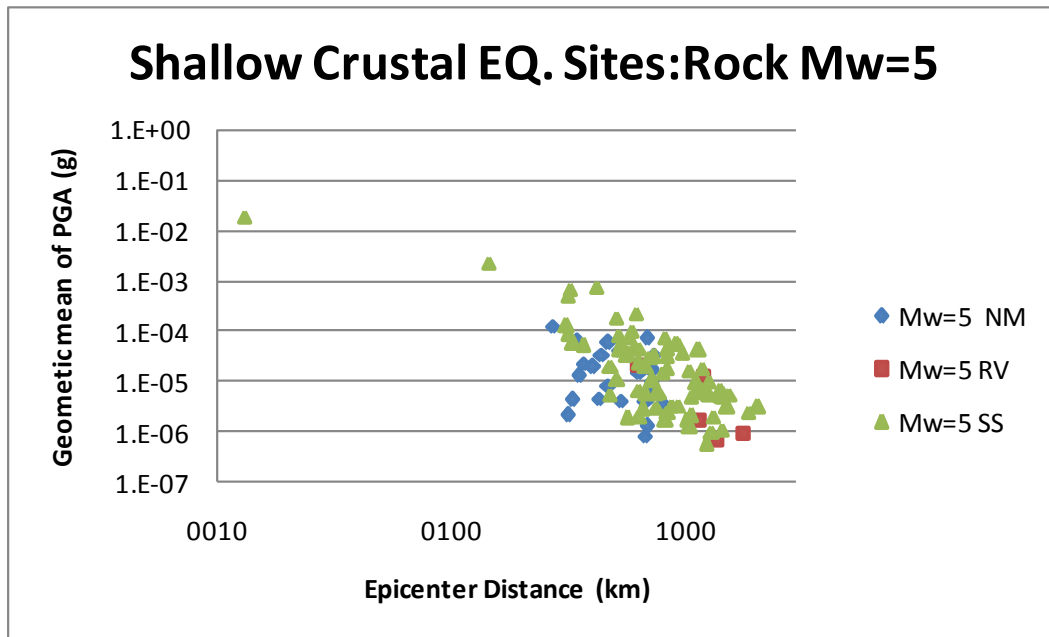
รูปที่ 4.24 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดบริเวณแผ่นดินไหวตื้น สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน แบ่งตามขนาดโมเมนต์



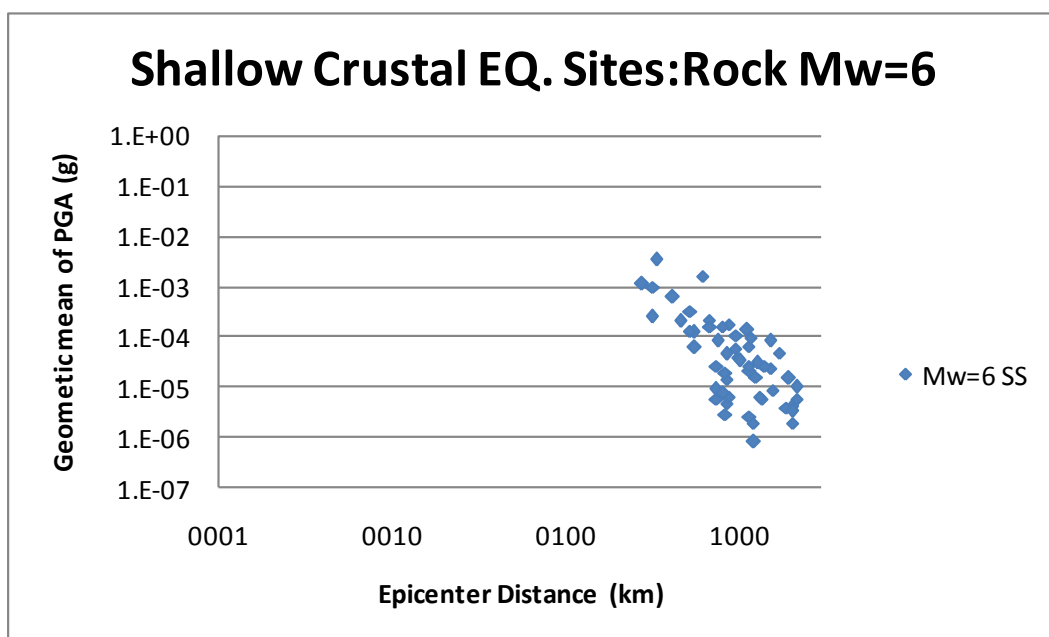
รูปที่ 4.25 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน แบ่งตามขนาดโมเมนต์



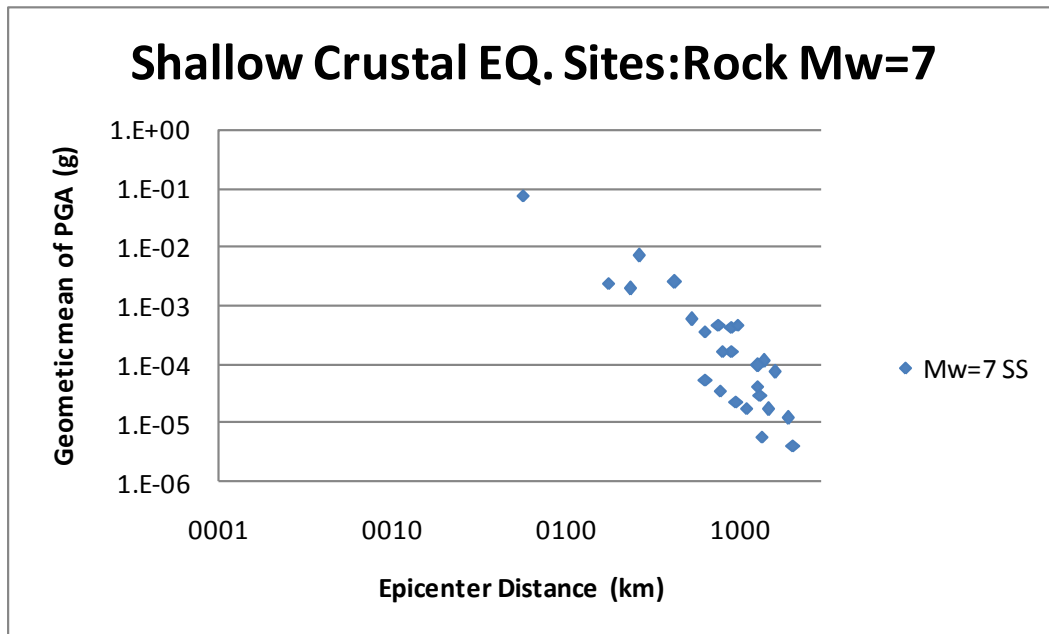
รูปที่ 4.26 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน แบ่งตามขนาดโมเมนต์



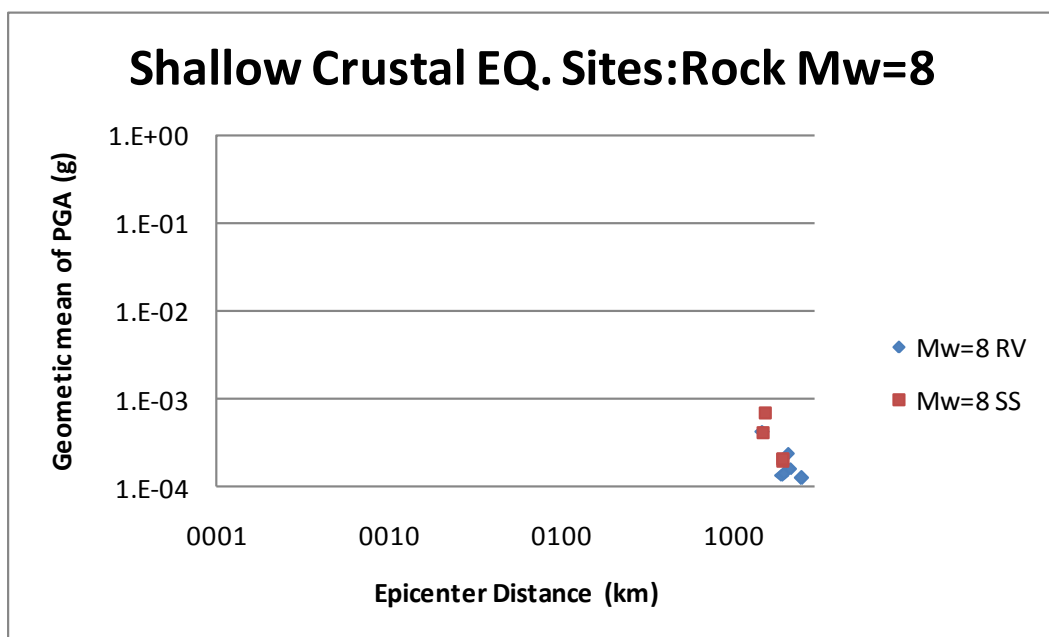
รูปที่ 4.27 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_w = 5$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



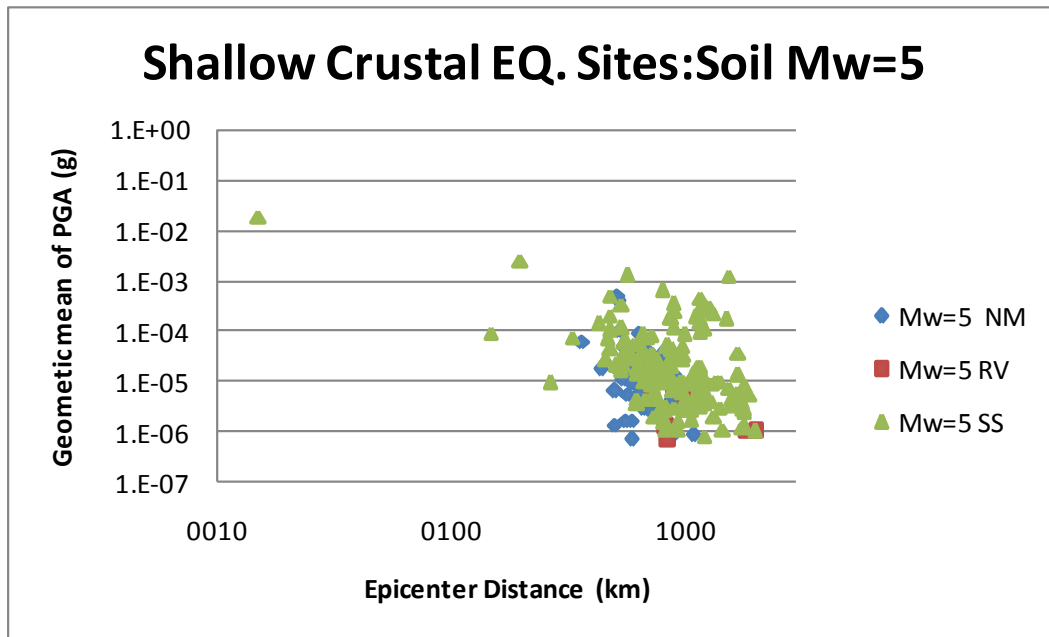
รูปที่ 4.28 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_w = 6$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



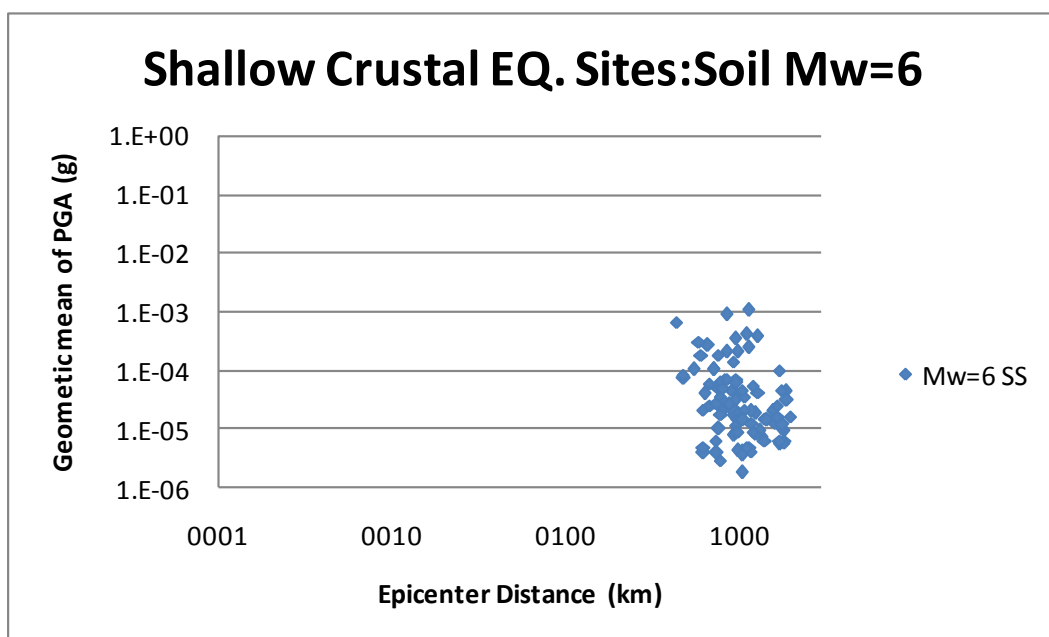
รูปที่ 4.29 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานี
 ตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก
 $M_w = 7$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



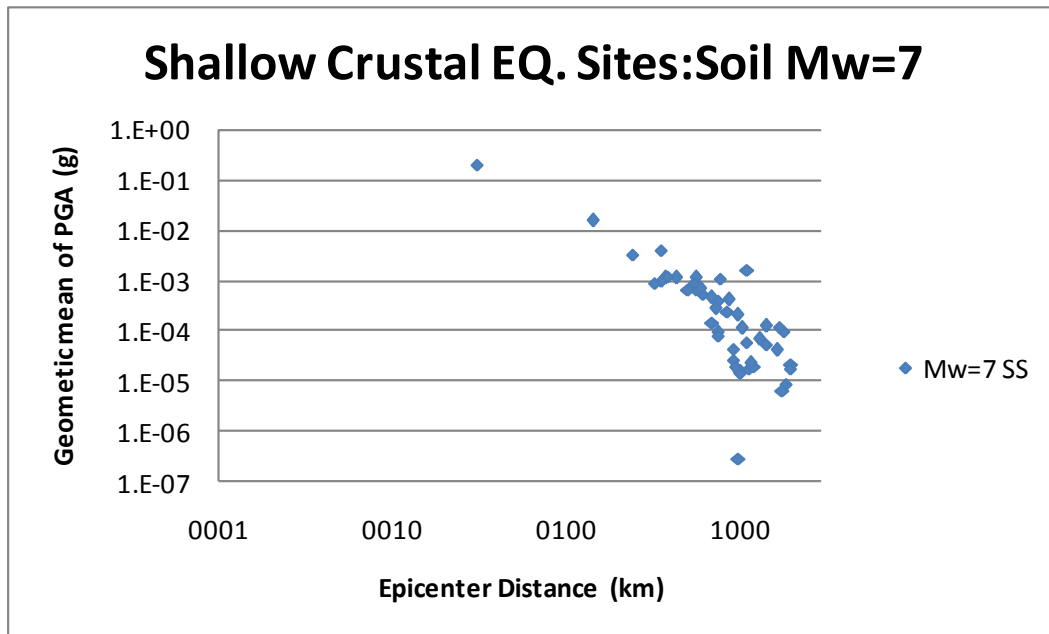
รูปที่ 4.30 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานี
 ตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก
 $M_w = 8$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



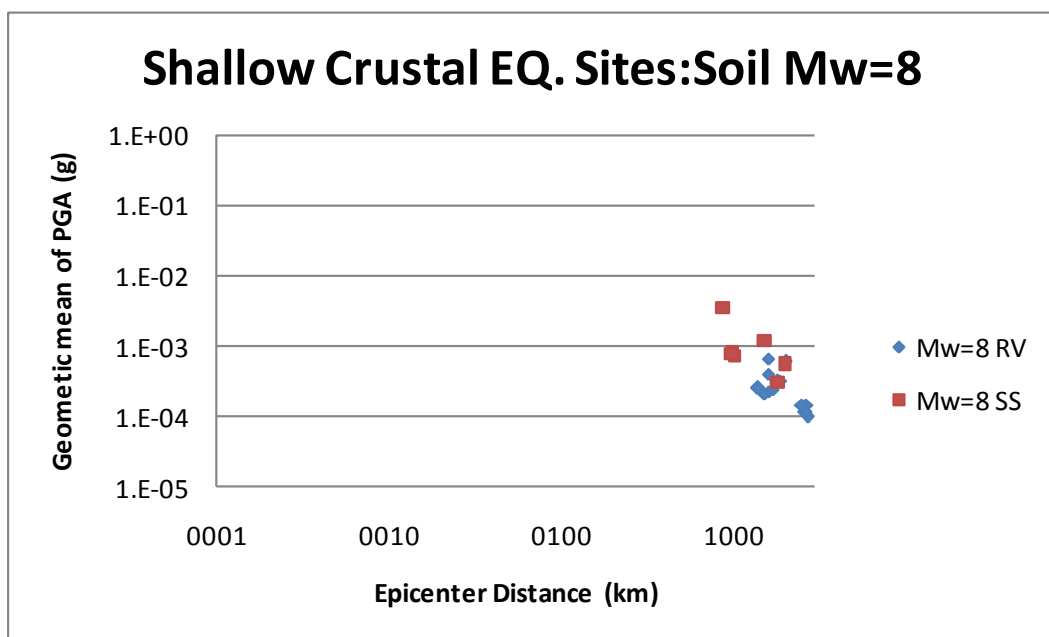
รูปที่ 4.31 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_w = 5$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน



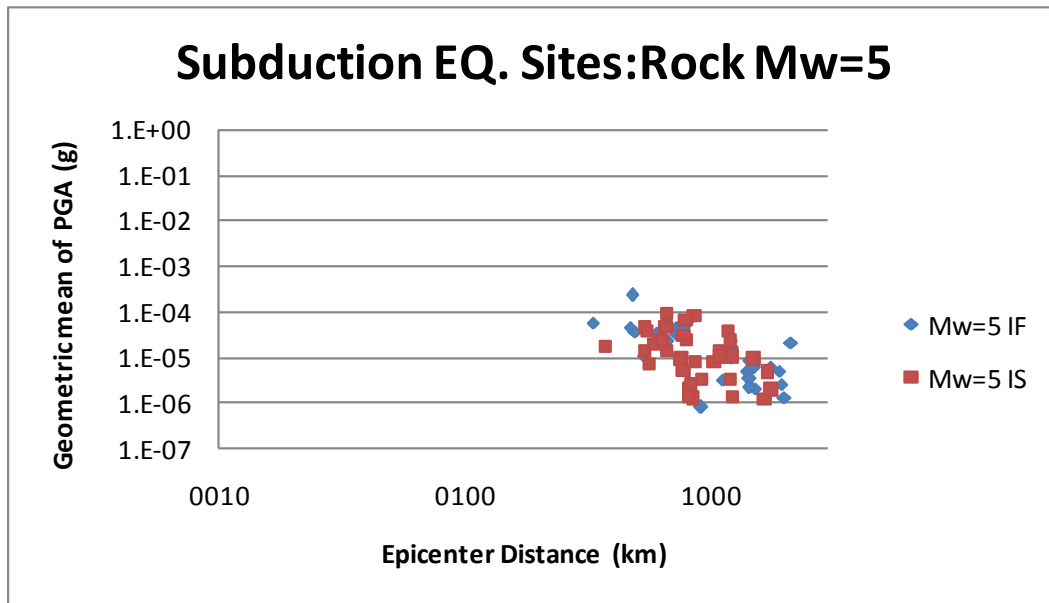
รูปที่ 4.32 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_w = 6$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน



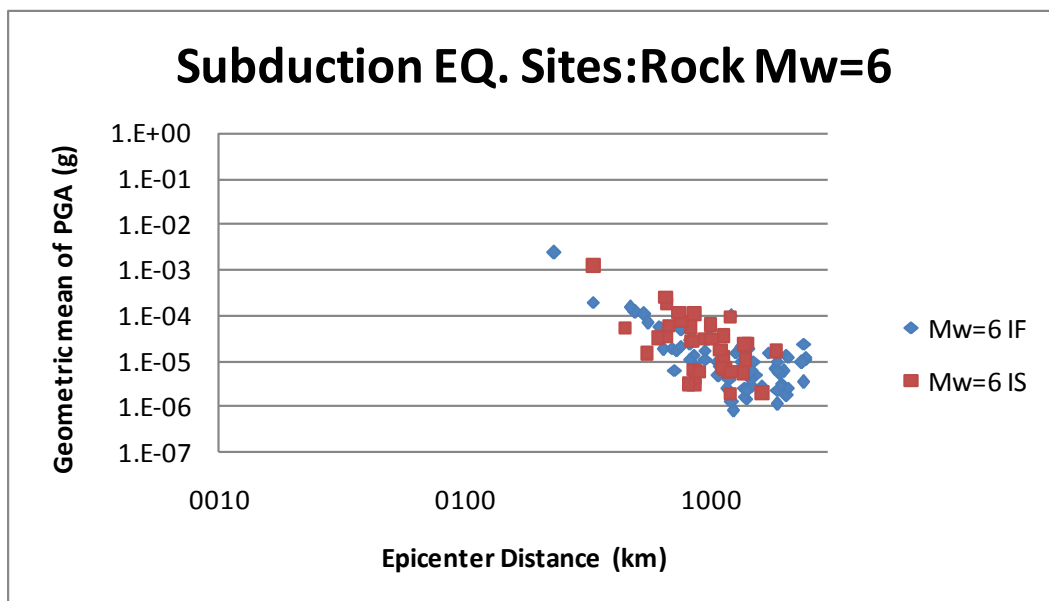
รูปที่ 4.33 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_w = 7$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน



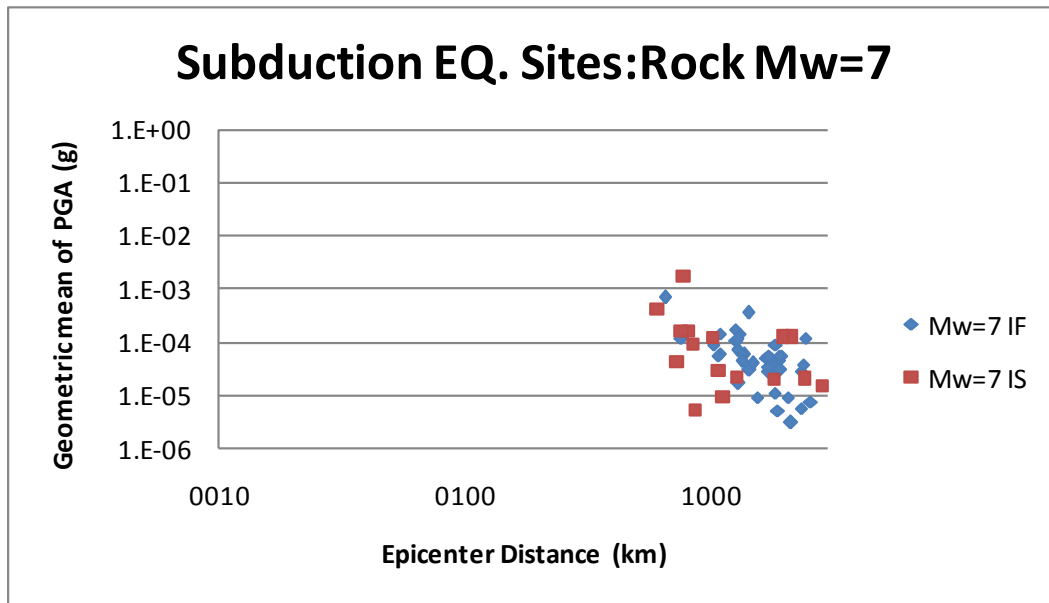
รูปที่ 4.34 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_w = 8$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน



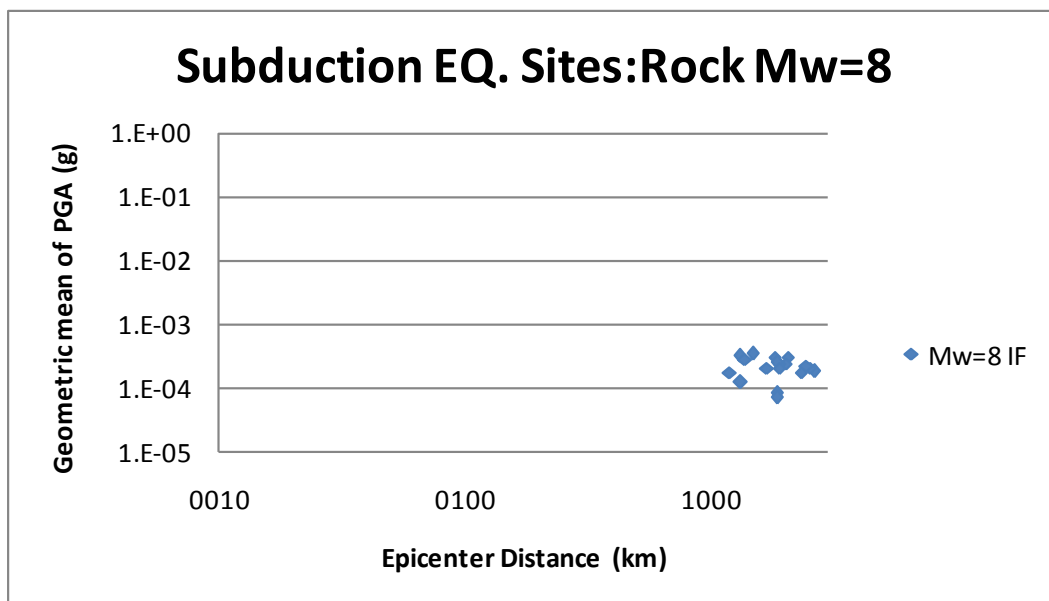
รูปที่ 4.35 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_w = 5$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



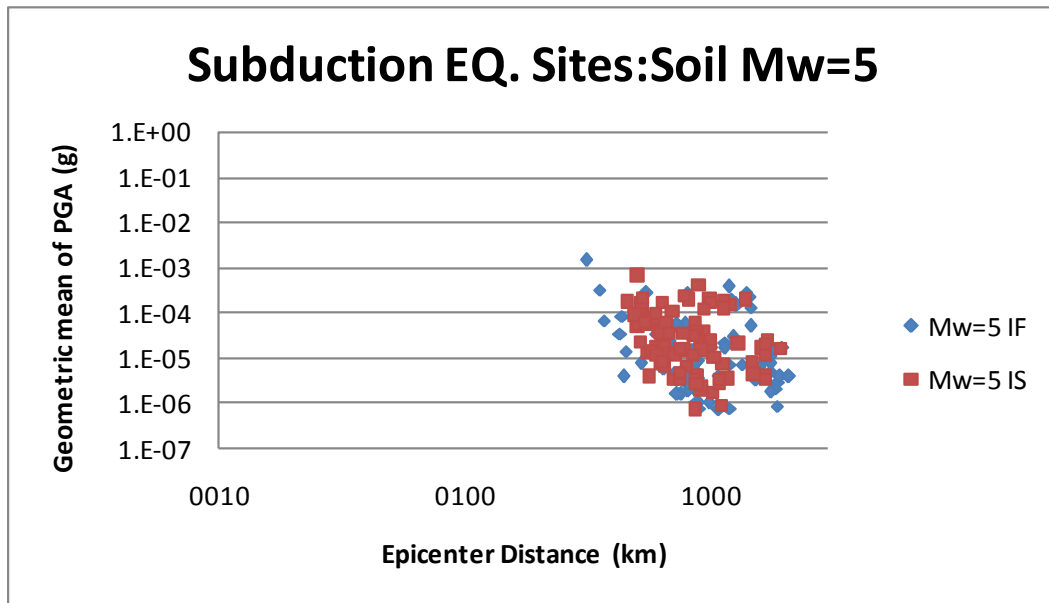
รูปที่ 4.36 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_w = 6$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



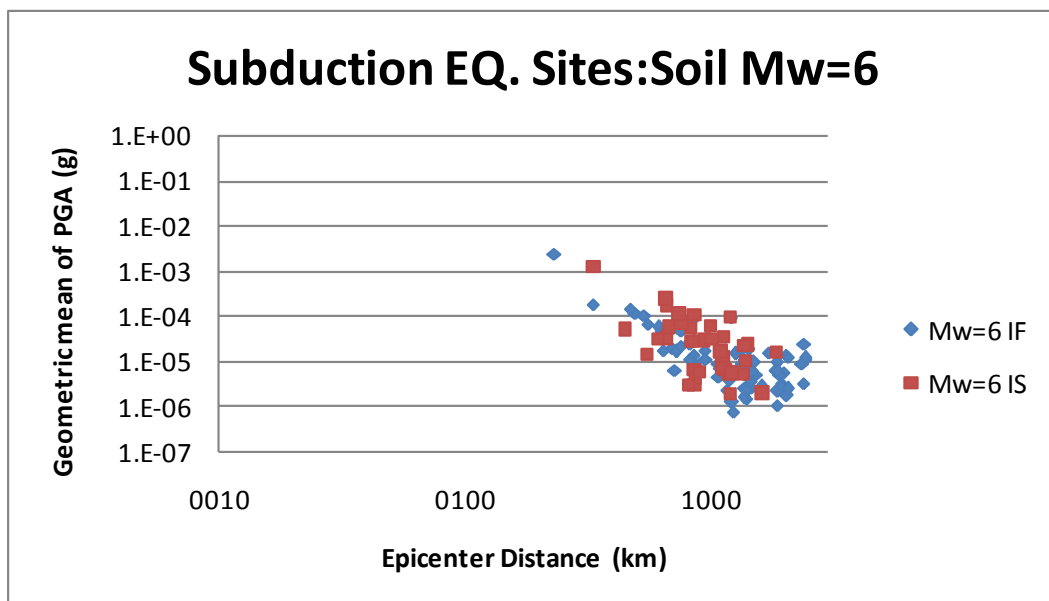
รูปที่ 4.37 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_w = 7$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



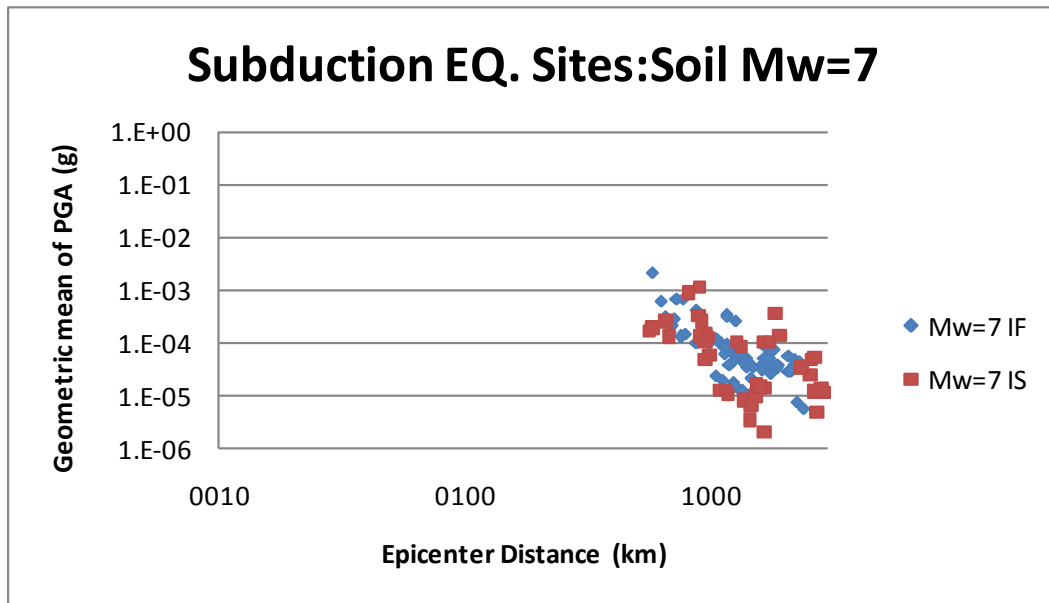
รูปที่ 4.38 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_w = 8$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



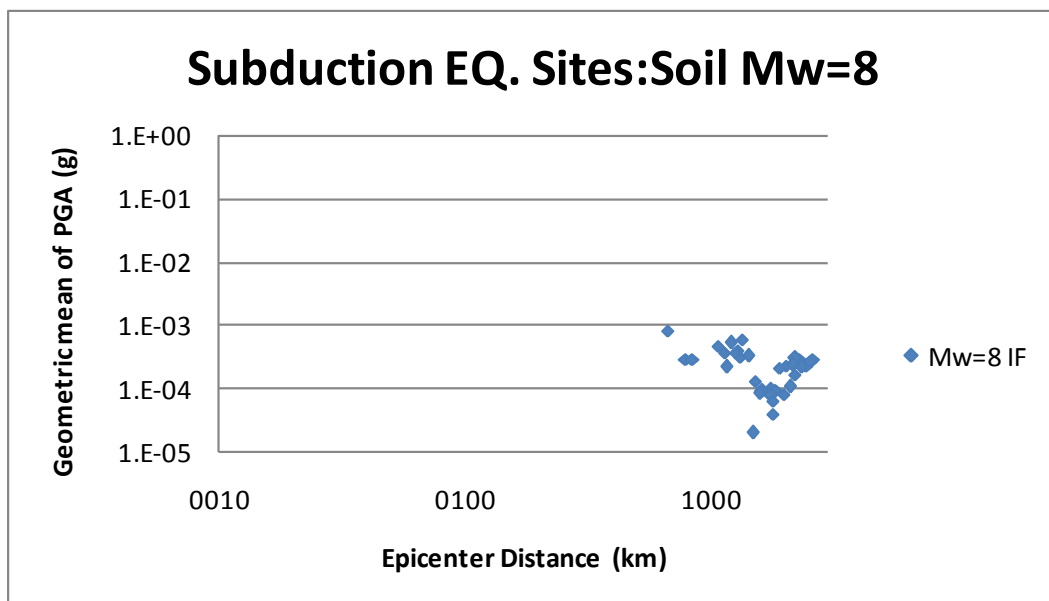
รูปที่ 4.39 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_w = 5$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน



รูปที่ 4.40 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_w = 6$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน



รูปที่ 4.41 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_w = 7$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน



รูปที่ 4.42 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_w = 8$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน

บทที่ 5

การสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย

ในการศึกษาประเมินระดับอันตรายและความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว สามารถทำได้หลายแบบ การทำแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว (seismic hazard map) เป็นวิธีการสากลที่เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางในการศึกษาอันตรายจากแผ่นดินไหว ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในการคำนวณปริมาณต่าง ๆ หลายอย่าง เช่น ข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดิน ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น (ขนาด ตำแหน่ง และความลึกของแผ่นดินไหว) และสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว

ในการสร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทยที่ผ่านมา ยังไม่มีสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่สร้างไว้สำหรับพื้นที่บริเวณประเทศไทยโดยเฉพาะ เนื่องจากประเทศไทยยังขาดแคลนข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นดินไหวที่มีขนาดโมเมนต์มากกว่า 4 ขึ้นไป และมีระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดประมาณ 0 ถึง 200 กิโลเมตร จึงต้องใช้สมการที่พัฒนาขึ้นในต่างประเทศ ในการประมาณความรุนแรงของการสั่นไหวของพื้นดิน ซึ่งพัฒนามาจากข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ประเทศต่าง ๆ เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น ไต้หวัน ตุรกี ซึ่งอาจมีสภาพทางธรณีวิทยาและธรณีแปรสัณฐานที่แตกต่างจากบริเวณประเทศไทย สมการเหล่านั้นมีอยู่หลายสมการซึ่งเสนอโดยนักวิจัยหลายประเทศ ค่าจากแต่ละสมการก็แตกต่างกันมากพอสมควร ซึ่งการเลือกใช้สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวจากต่างประเทศมาประมาณความรุนแรงแผ่นดินไหวบริเวณประเทศไทยอาจมีความคลาดเคลื่อน ถ้าได้แผนที่เสี่ยงภัยที่ให้ค่าต่ำเกินไปอาจทำให้อาคารมีความแข็งแรงไม่เพียงพอและมีโอกาสที่จะเกิดภัยพิบัติร้ายแรง แต่ถ้าให้ค่าที่สูงเกินไปก็จะทำให้การออกแบบอาคารในประเทศไทยแข็งแรงเกินความจำเป็น เป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณและทรัพยากรของประเทศ

เนื่องจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ประเทศพม่าวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2554 แผ่นดินไหวมีขนาด 6.8 ซึ่งมีระยะทางจาก อ.แม่สาย จ.เชียงราย ซึ่งอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางประมาณ 30 กิโลเมตร ทำให้ประเทศไทยมีบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวของพื้นดินที่บันทึกได้จริงในบริเวณประเทศไทยที่มี ขนาดแผ่นดินไหวรุนแรง และมีระยะทางใกล้กับสถานีตรวจวัดต่าง ๆ ของสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา จึงสมควรที่จะทำการศึกษาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลที่บันทึกได้จริงบริเวณประเทศไทย

5.1 ทฤษฎีพื้นฐานของแบบจำลองการลดทอน

สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวเป็นสมการที่ใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์การสั่นไหวของพื้นดิน เช่น ความเร่งสูงสุดของพื้นดิน ความเร็วสูงสุดของพื้นดิน การกระจัดสูงสุดของพื้นดิน และความเร่งเทียม ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลัก ได้แก่ ขนาดของแผ่นดินไหว (magnitude) ระยะห่างจากจุดกำเนิด (distance) คาบธรรมชาติ (natural period) กลไกการเคลื่อน (faulting mechanism) และอาจรวมถึงผลจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความลึกของจุดกำเนิด (depth) ซึ่งสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวได้มี

รูปแบบฟังก์ชันโดยทั่วไปดังสมการที่ 5.1 และขั้นตอนการสร้างสมการลดทอนโดยใช้ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินแสดงในรูปที่ 5.1

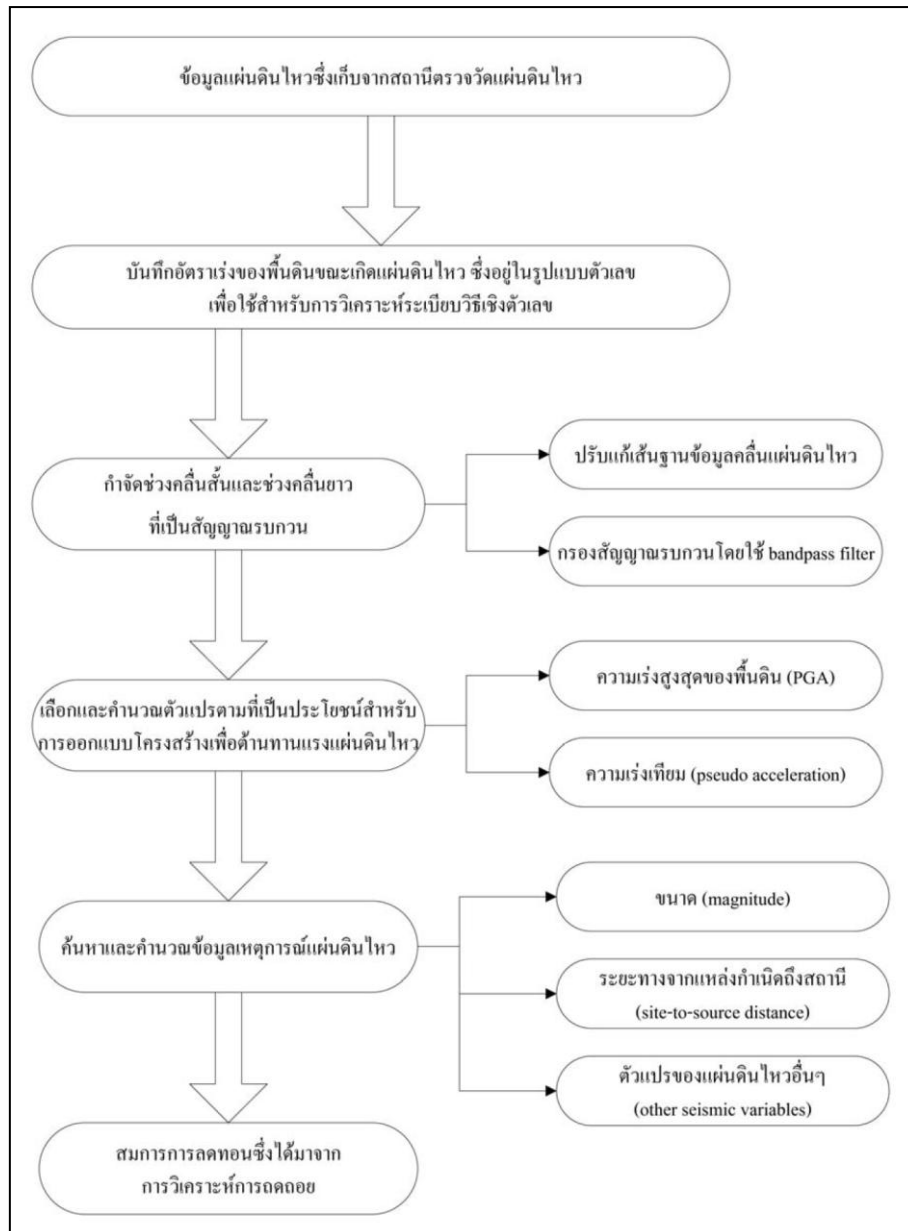
$$\ln(Y) = \ln(b_1) + \ln f_1(M) + \ln f_2(R) + \ln f_3(M, R) + \ln f_4(P_i) + \ln(\varepsilon) \quad (5.1)$$

โดย

Y	= พารามิเตอร์การสั่นไหวของพื้นดิน
b_1	= ตัวประกอบมาตราส่วน
$f_1(M)$	= ฟังก์ชันของขนาดแผ่นดินไหว (magnitude)
$f_2(R)$	= ฟังก์ชันของระยะทาง (distance)
$f_3(M, R)$	= ฟังก์ชันขนาดแผ่นดินไหว (magnitude) และระยะทาง (distance)
$f_4(P_i)$	= ตัวแปรอื่นๆ ของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (source) และผลกระทบของชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว
ε	= ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากความไม่แน่นอน

สมการลดทอน อาจจะมีรูปแบบแตกต่างจากสมการที่ 5.1 ขึ้นอยู่กับนักวิจัยผู้พัฒนา ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดิน ซึ่งวิธีการวิเคราะห์การถดถอยที่นิยมใช้มีดังนี้ คือ วิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแบบถ่วงน้ำหนักไม่เชิงเส้น (weighted nonlinear least squares regression) วิธีการถดถอยสองขั้นตอน (two-step regression) และวิธีผลกระทบแบบสุ่ม (random-effects method)

สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่มีอยู่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ (1) สำหรับแผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก (shallow crustal earthquakes) และ (2) สำหรับแผ่นดินไหวในบริเวณที่เปลือกโลกมุดตัวเข้าไปใต้แผ่นเปลือกโลกอีกแผ่นหนึ่ง (subduction earthquakes) ซึ่งกลุ่มแรกแบ่งออกได้เป็นสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับ บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง (active tectonic regions) เช่น ในภาคตะวันตกของสหรัฐอเมริกา รัฐแคลิฟอร์เนีย และบริเวณภาคพื้นทวีปที่มีเสถียรภาพ (stable continental regions) เช่น ในภาคตะวันออกของสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการสร้างสมการลดทอน (วิษณุ หัตถา, 2551)

5.2 สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย

การรวบรวมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวของพื้นที่บันทึกได้ในประเทศไทยที่ใช้ในการศึกษานี้ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2549 ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ซึ่งข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวของพื้นที่ทั้งหมดเป็นข้อมูลที่บันทึกได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลระบบใหม่ระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ของสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งพบว่าข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยในช่วงระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด 0 ถึง 200 กิโลเมตร มีปริมาณไม่เพียงพอต่อการสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย ดังนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลเสริมในช่วงระยะทางที่ไม่มีข้อมูลบันทึก ร่วมกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทยเพื่อพิจารณาหารูปแบบของสมการลดทอนของต่างประเทศ ที่มีค่าพารามิเตอร์สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทยและข้อมูลจากค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศ เพื่อนำไปประมาณค่า

ความเร่งสูงสุดของพื้นดิน ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ความเร็วสูงสุดของพื้นดิน และการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน

5.2.1 การประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการลดทอนที่เหมาะสมสำหรับ ข้อมูลแผ่นดินไหวประเทศไทย

การประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศที่สอดคล้องกับข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยและข้อมูลจากค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศ เพื่อให้ค่าคงเหลือ (residual) มีค่าต่ำสุด (minimum) ผลรวมกำลังสองของค่าคงเหลือ (residual sum of square) แสดงดังสมการที่ 5.2 และ 5.3 ซึ่งวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์นี้เรียกว่าวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square method)

$$RSS = \sum_{i=1}^n e_i^2 = e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2 \quad (5.2)$$

$$e = Y - \hat{Y} \quad (5.3)$$

โดยที่

RSS = ผลรวมกำลังสองของส่วนเหลือ
 e = ความแตกต่างระหว่างค่าของข้อมูลที่ตรวจวัดได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว Y และค่าที่คำนวณจากสมการ $\hat{Y}$ เรียกว่าส่วนเหลือ (Residual)

การพิจารณาหาความเหมาะสมของรูปแบบสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศที่มีค่าพารามิเตอร์สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทย โดยใช้วิธีการพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณโดยการคำนวณหารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสอง (square root of mean of square of error, RMS) ซึ่งแสดงดังสมการที่ 5.4

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (\ln y - \ln \hat{y})^2}{n}} \quad (5.4)$$

โดย

y = จุดข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริง
 $\hat{y}$ = ข้อมูลที่ประมาณค่าจากสมการลดทอน
 n = จำนวนของจุดข้อมูล

5.2.2 รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินและความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม

การศึกษานี้เลือกพิจารณาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศทั้งหมด 14 สมการ แบ่งเป็น 8 สมการ สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง และ 6 สมการ สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก ดังแสดงตารางที่ 5.1

โดยที่สมการที่เลือกใช้ในการศึกษานี้โดยส่วนหนึ่งเป็นสมการที่ Douglas (2012) นำมาเลือกพิจารณาสำหรับคัดเลือกในโครงการ Global Earthquake Model (GEM) – PEER Global Ground – Motion Prediction Equations (GMPEs) เช่น สมการของ Akkar และ Bommer (2010) สำหรับแผ่นดินไหวต้นบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง Atkinson และ Boore (2003) Lin และ Lee (2008) Youngs และคณะ (1997) สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก และสมการของ Kanno และคณะ (2006) Mcverry และคณะ (2006) Zhao และคณะ (2006) เป็นสมการสำหรับทั้งแผ่นดินไหวต้นบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง และบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก

ตารางที่ 5.1 สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศที่เลือกใช้ในการศึกษา

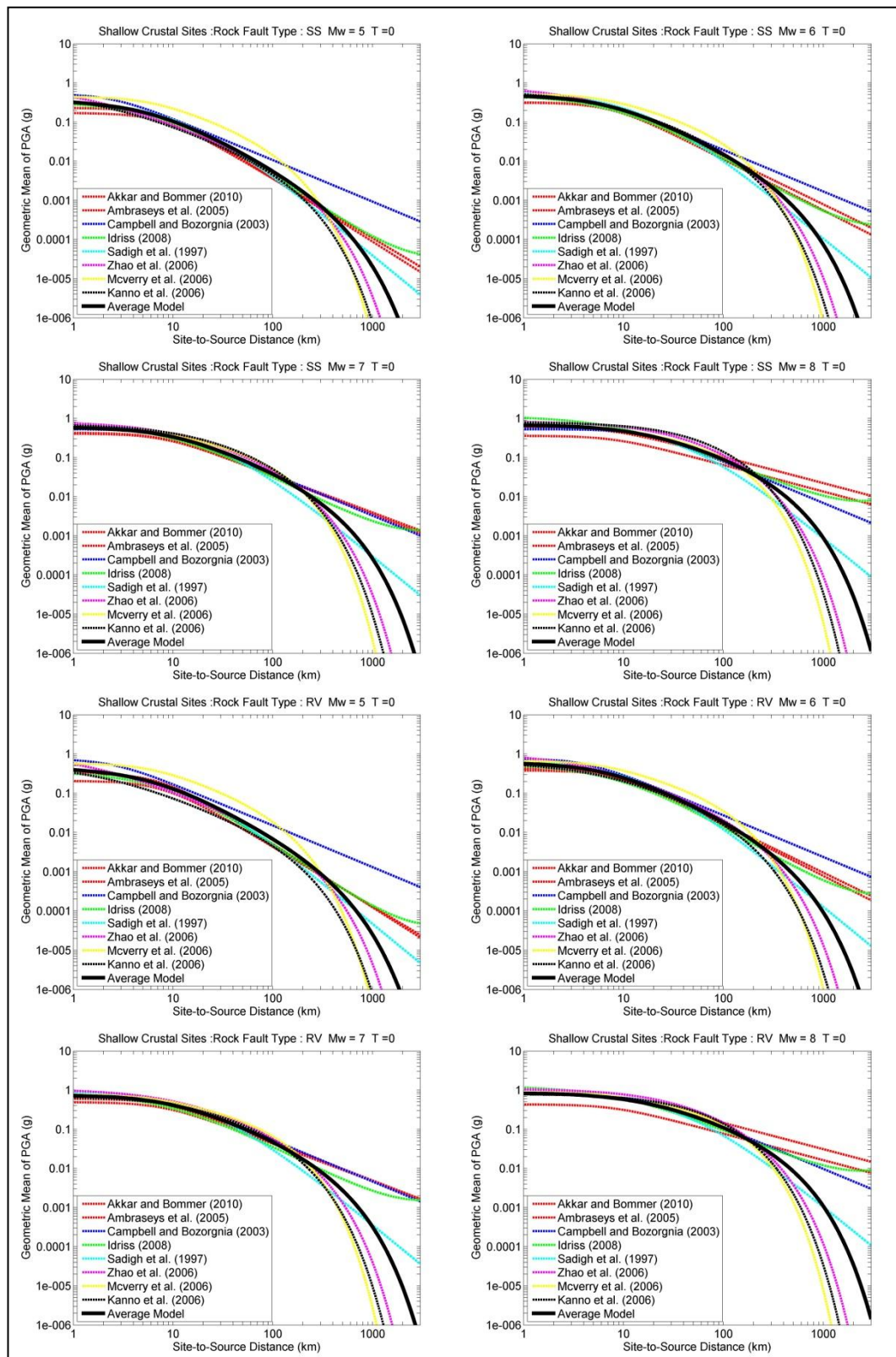
Attenuation model	Distance range (km)	Magnitude range	Periods (s)
Active Tectonic Region			
Akkar และ Bommer (2010)	0-100	5.0-7.6	0.05-3.0
Ambraseys และคณะ (2005)	0-100	5.0-7.6	0.05-2.5
Campbell และ Bozorgnia (2003)	0-60	4.7-7.7	0.05-4.0
Idriss (2008)	0-200	4.6-7.4	0.01-10.0
Kanno และคณะ (2006)	1-300	5.5-8.0	0.05-5.0
Mcverry และคณะ (2006)	1-400	5.0-7.2	0.075-3.0
Sadigh และคณะ (1997)	0-100	4.0-8.0	0.03-4.0
Zhao และคณะ (2006)	0-300	5.0-8.3	0.05-5.0
Subduction Zone			
Atkinson และ Boore (2003)	10-500	5.0-8.3	0.04-3.0
Kanno และคณะ (2006)	30-300	5.5-8.0	0.05-5.0
Lin และ Lee (2008)	10-400	5.5-8.1	0.01-5.0
Mcverry และคณะ (2006)	30-400	5.1-6.8	0.075-3.0
Youngs และคณะ (1997)	10-500	5.0-8.2	0.075-3.0
Zhao และคณะ (2006)	0-300	5.0-8.3	0.05-5.0

สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศที่ใช้ในการศึกษานี้ สำหรับบริเวณการแปรสภาพที่มีพลัง ให้ค่าประมาณความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่ใกล้เคียงกันทุกสมการที่เลือกใช้ในการศึกษา ช่วงระยะทางตั้งแต่ 1 ถึง 100 กิโลเมตร ส่วนที่ระยะทางที่มากกว่า 300 กิโลเมตร เริ่มให้ค่าประมาณความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่แตกต่างกันมากขึ้นอย่างชัดเจนแสดงดังรูปที่ 5.2 และ 5.3 สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน

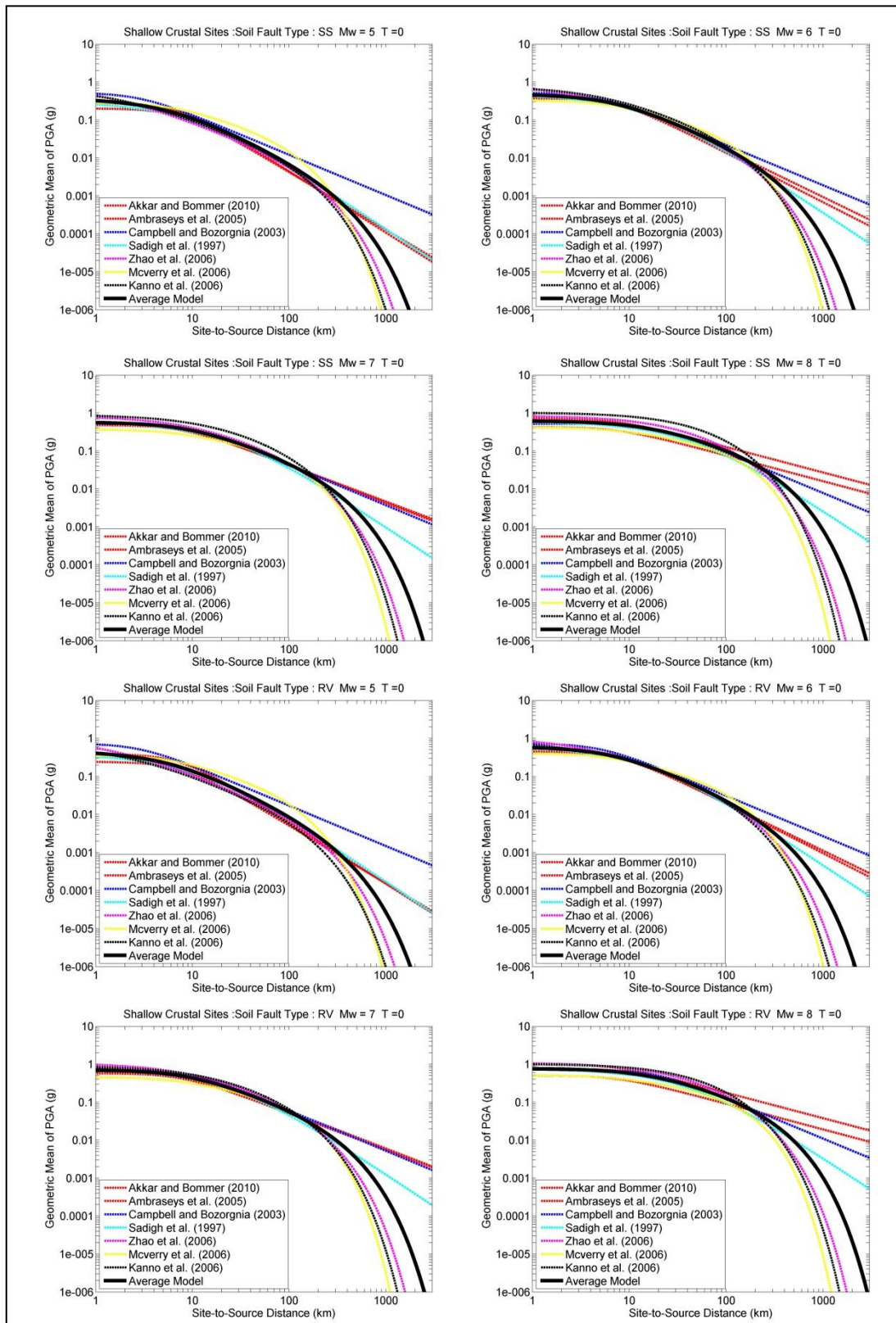
สำหรับบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก ให้ค่าประมาณความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่ใกล้เคียงกันในช่วงระยะทางตั้งแต่ 30 ถึง 200 กิโลเมตร ส่วนระยะทางตั้งแต่ 500 กิโลเมตร ขึ้นไปเริ่มมีความแตกต่างมากขึ้นอย่างชัดเจนแสดงดังรูปที่ 5.4 และ 5.5 สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน

การศึกษานี้เลือกใช้ค่าเฉลี่ยของความเร่งสูงสุดของพื้นดินและความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมจากสมการลดทอนของต่างประเทศที่ใช้ในการศึกษามาเป็นข้อมูลเสริมในช่วงระยะทางไกลซึ่งเป็นช่วงที่ประเทศไทยขาดแคลนข้อมูลในช่วงระยะทาง 1 ถึง 100 กิโลเมตร เป็นข้อมูลเสริมสำหรับบริเวณการแปรสภาพที่มีพลัง และช่วงระยะทาง 30 ถึง 200 กิโลเมตร สำหรับบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก สำหรับที่ระยะทางไกลๆ ใช้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยเพื่อพิจารณาหารูปแบบของสมการลดทอนของต่างประเทศที่มีค่าพารามิเตอร์สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทยและข้อมูลจากค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศ

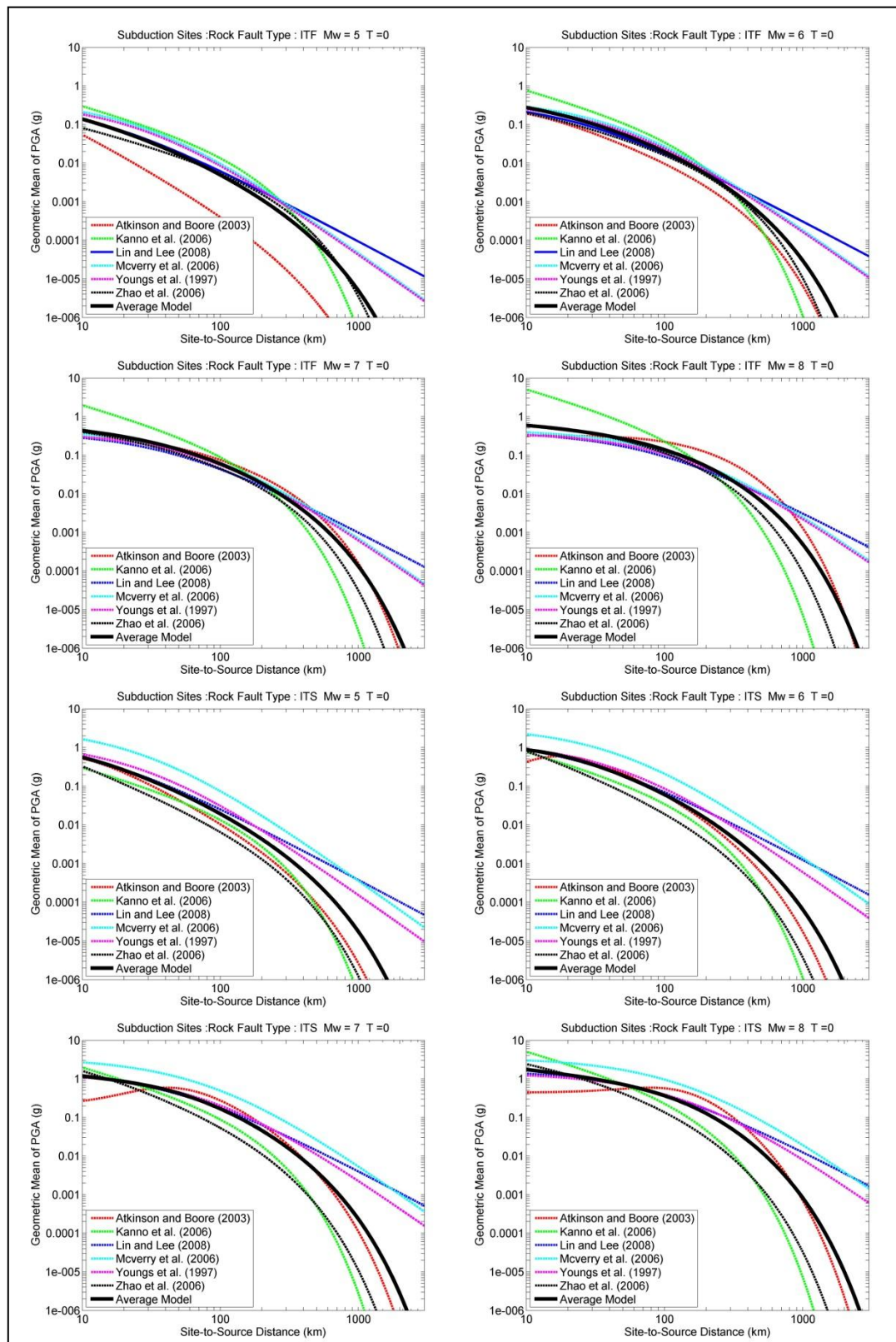
การหารูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินและความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่มีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย ได้นำข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินและความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่บันทึกได้จริงเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสมการลดทอนของต่างประเทศที่ได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมได้คำนวณในระบบยัดหยุ่นอิสระดีกรีเดียว โดยมีอัตราส่วนความหน่วง 5 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งเป็นสถานีที่ตั้งบนหินและดิน



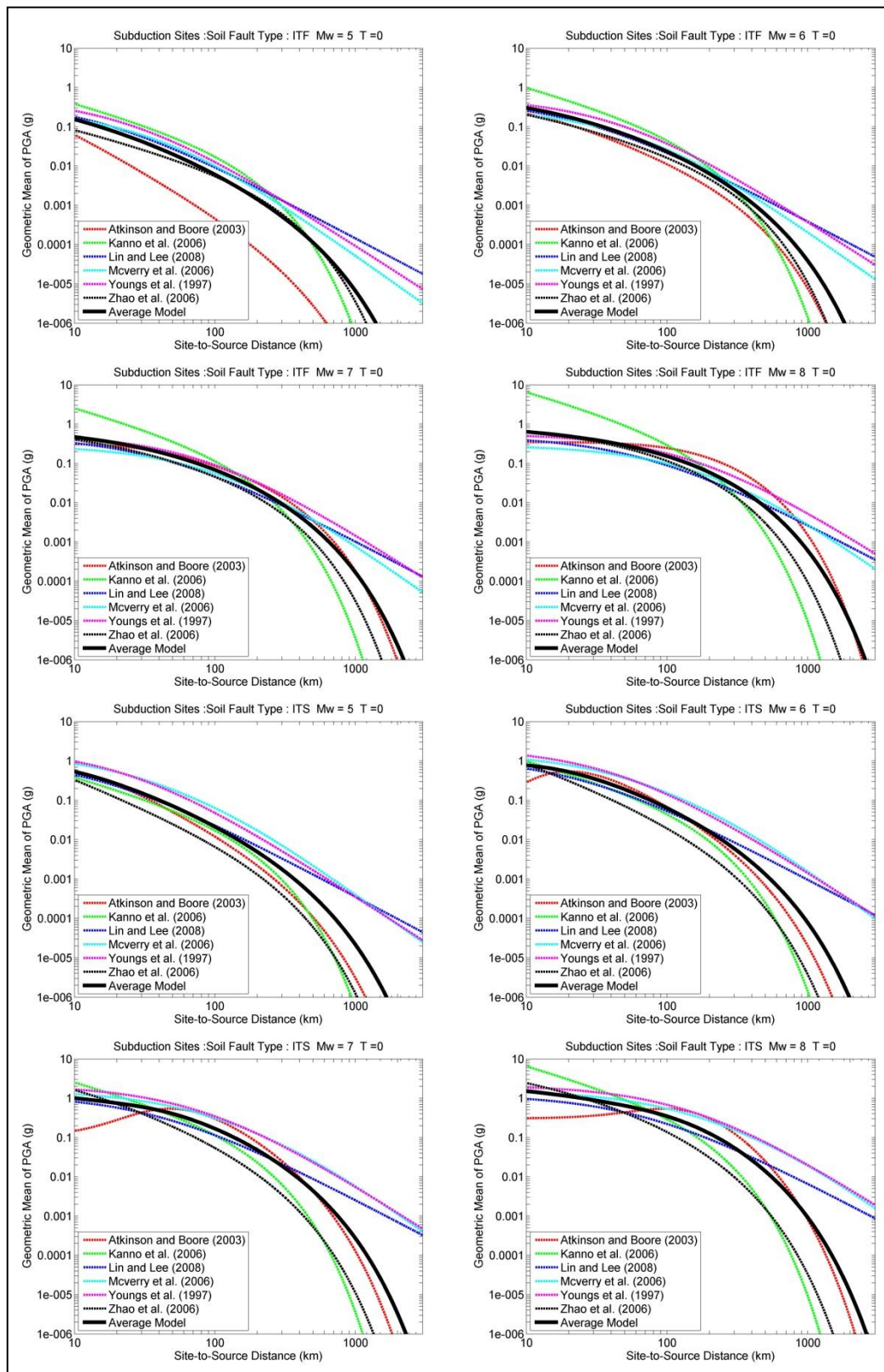
รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบสมการลดทอนของต่างประเทศ สำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของ
พื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง ที่ตั้งอยู่บนหิน



รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบสมการลดทอนของต่างประเทศ สำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของ
พื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง ที่ตั้งอยู่บนดิน



รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบสมการลดทอนของต่างประเทศ สำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของ
พื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก ที่ตั้งอยู่บนหิน



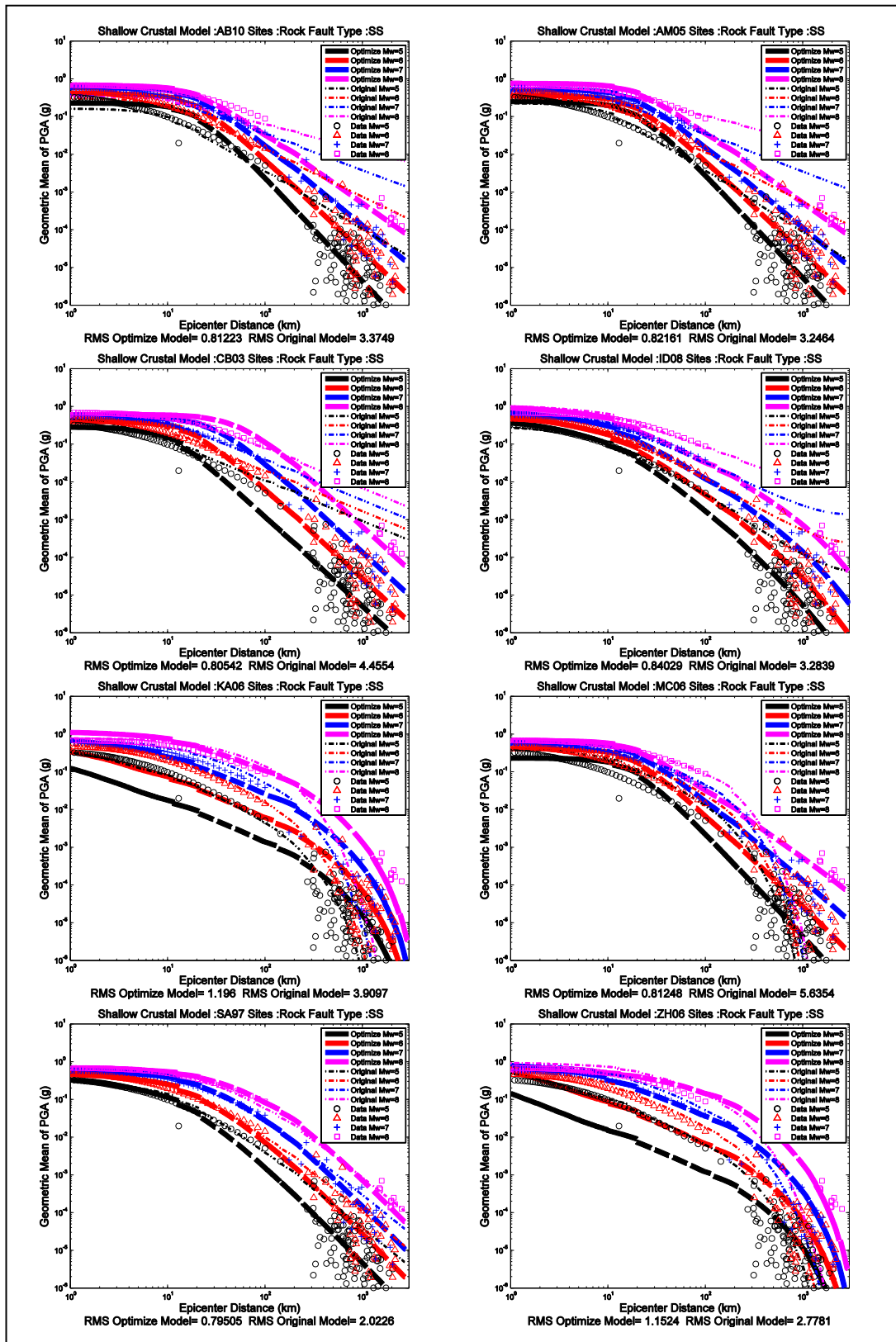
รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบสมการลดทอนของต่างประเทศ สำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของ
พื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก ที่ตั้งอยู่บนดิน

1) สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง

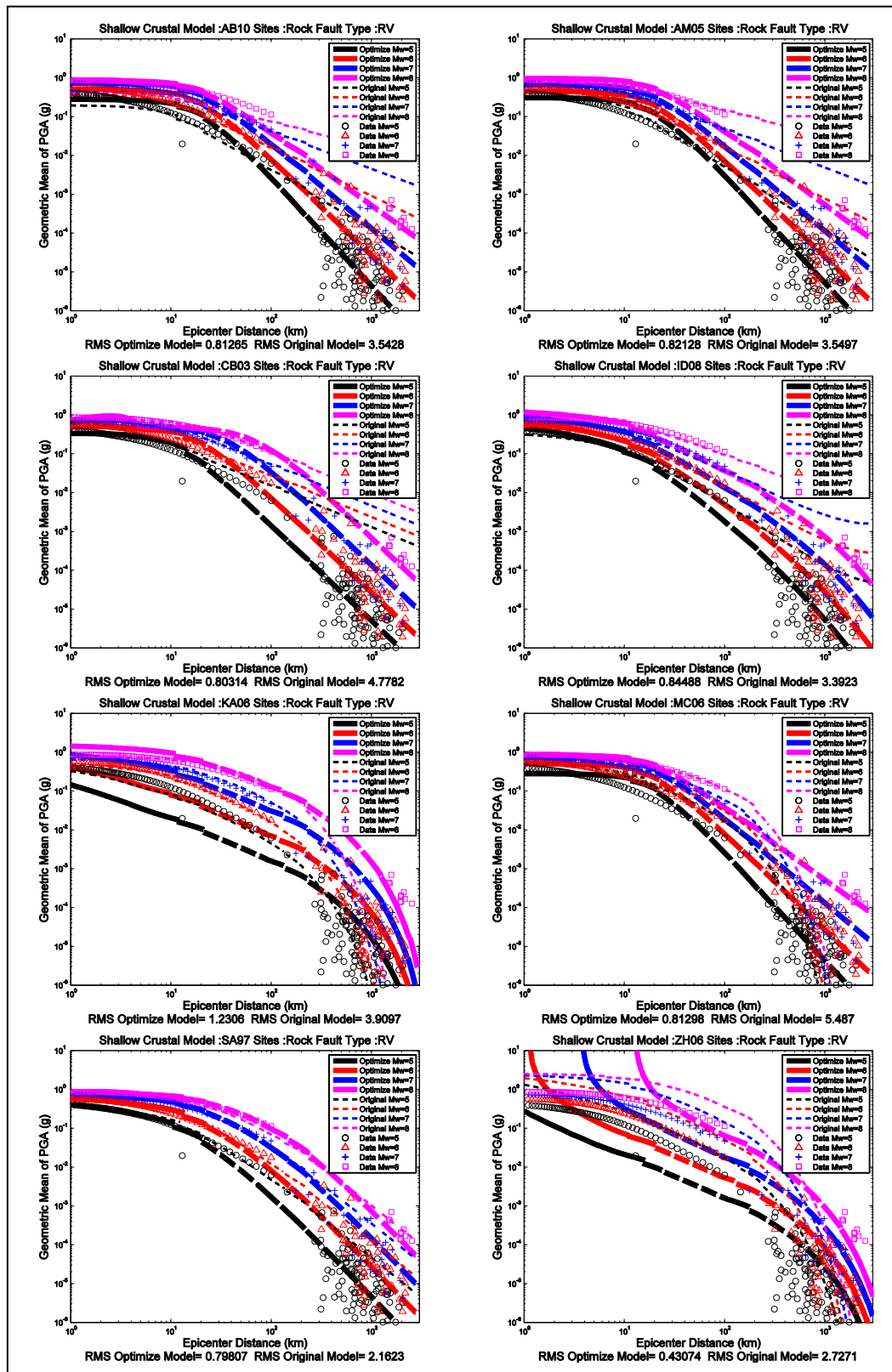
กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดินรูปที่ 5.6 ถึง 5.9 แสดงกราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากแต่ละรูปแบบสมการที่ใช้ในการศึกษา และความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการตามระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับแผ่นดินไหวตื้นบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังโดยแบ่งตามประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว และแบ่งตามรูปแบบรอยเลื่อน และในรูปที่ 5.6 ถึง 5.9 แสดงการกระจายของจุดข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่บันทึกได้จริงในประเทศตามระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว รูปที่ 5.10 ถึง 5.13 แสดงการกระจายตัวของค่าคงเหลือระหว่างความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่บันทึกได้จริงในประเทศกับความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการ

จากการเปรียบเทียบค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากการประมาณค่าพารามิเตอร์กับข้อมูลค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากค่าเฉลี่ยสมการลดทอนของต่างประเทศในระยะทางใกล้และข้อมูลที่บันทึกได้จริงในประเทศ พบว่ารูปแบบสมการของ Kanno และคณะ (2006) และ Zhao และคณะ (2006) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน ทั้งรูปแบบรอยเลื่อนตามแนวระดับและรอยเลื่อนย้อน ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าที่สูง ซึ่งกราฟยังไม่มี ความสอดคล้องกับข้อมูลค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศในระยะทางใกล้ และข้อมูลที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยในระยะทางไกล

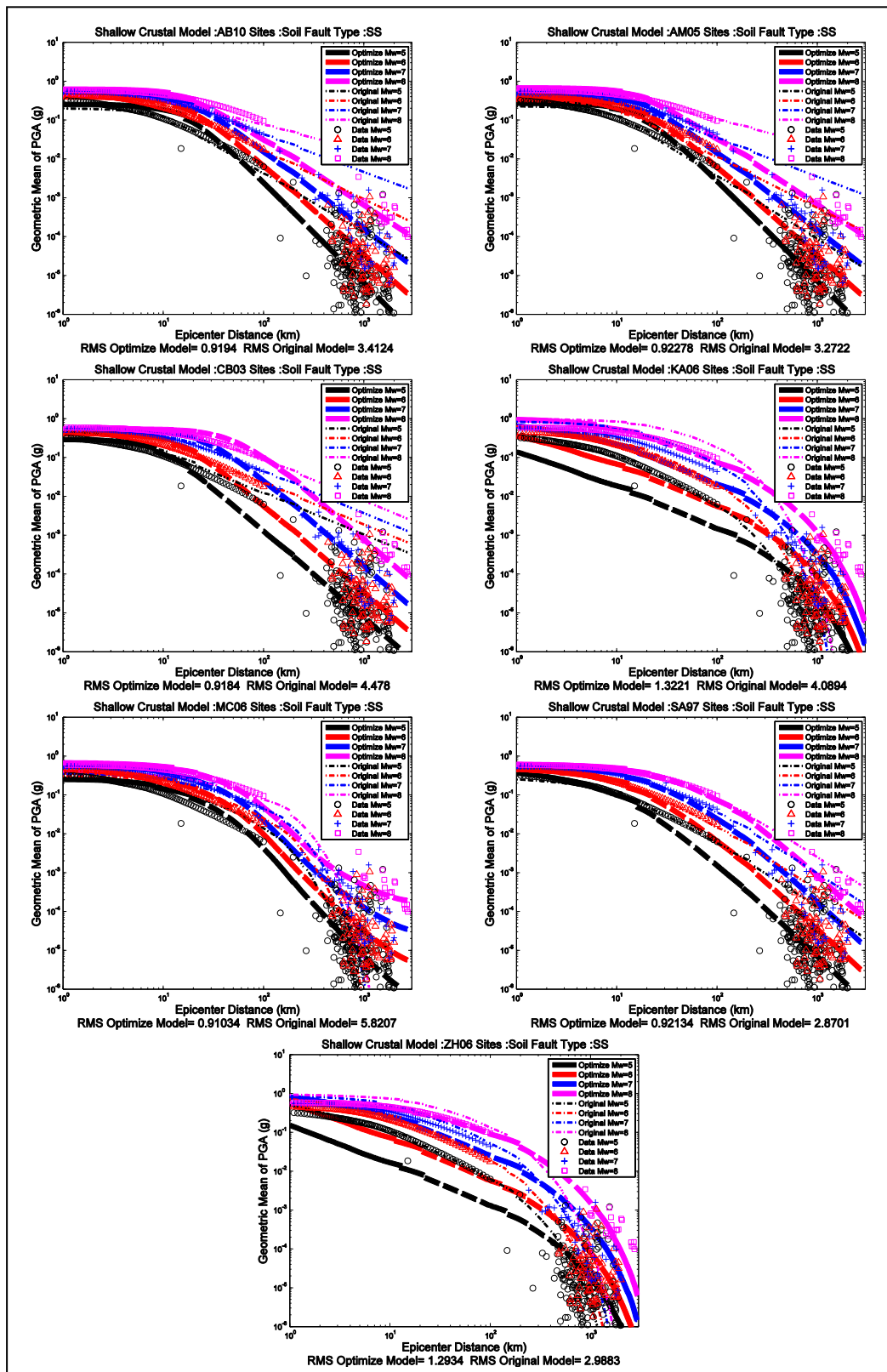
รูปแบบสมการของ Akkar และ Bommer (2010) Ambraseys และคณะ (2005) Campbell และ Bozorgnia (2003) และ Mcverry และคณะ (2006) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน และรูปแบบสมการของ Idriss (2008) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหิน ทั้งรูปแบบรอยเลื่อนตามแนวระดับและรอยเลื่อนย้อน ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าที่ต่ำ ซึ่งกราฟยังไม่มี ความสอดคล้องกับข้อมูลค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศในระยะทางใกล้ แต่สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยในระยะทางไกล รูปแบบสมการของ Sadigh และคณะ (1997) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน ทั้งรูปแบบรอยเลื่อนตามแนวระดับและรอยเลื่อนย้อน ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าที่ต่ำ ซึ่งกราฟมีความสอดคล้องกับข้อมูลค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศในระยะทางใกล้ และมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยในระยะทางไกล



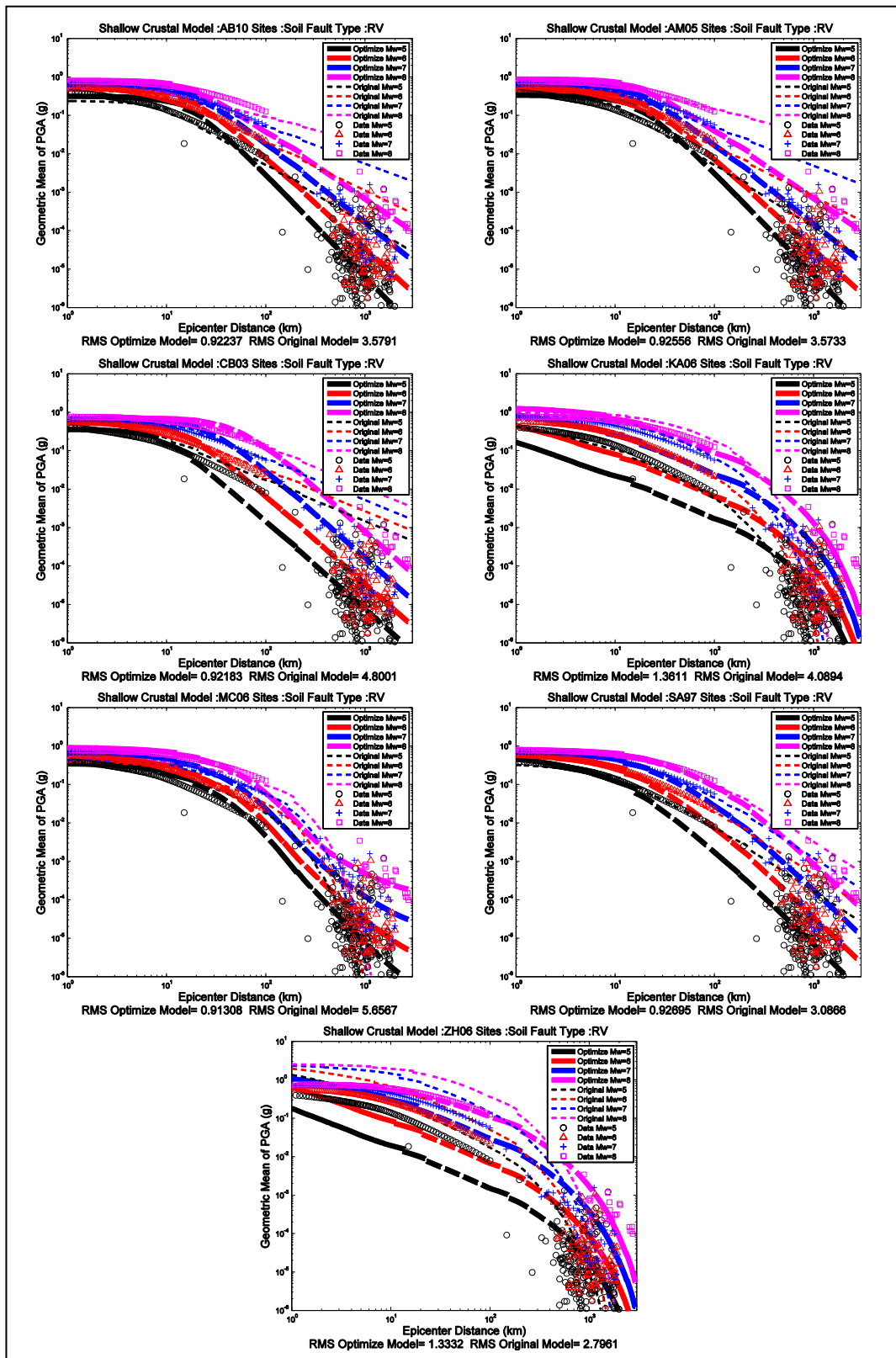
รูปที่ 5.6 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง
สถานที่ตั้งบนหิน สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



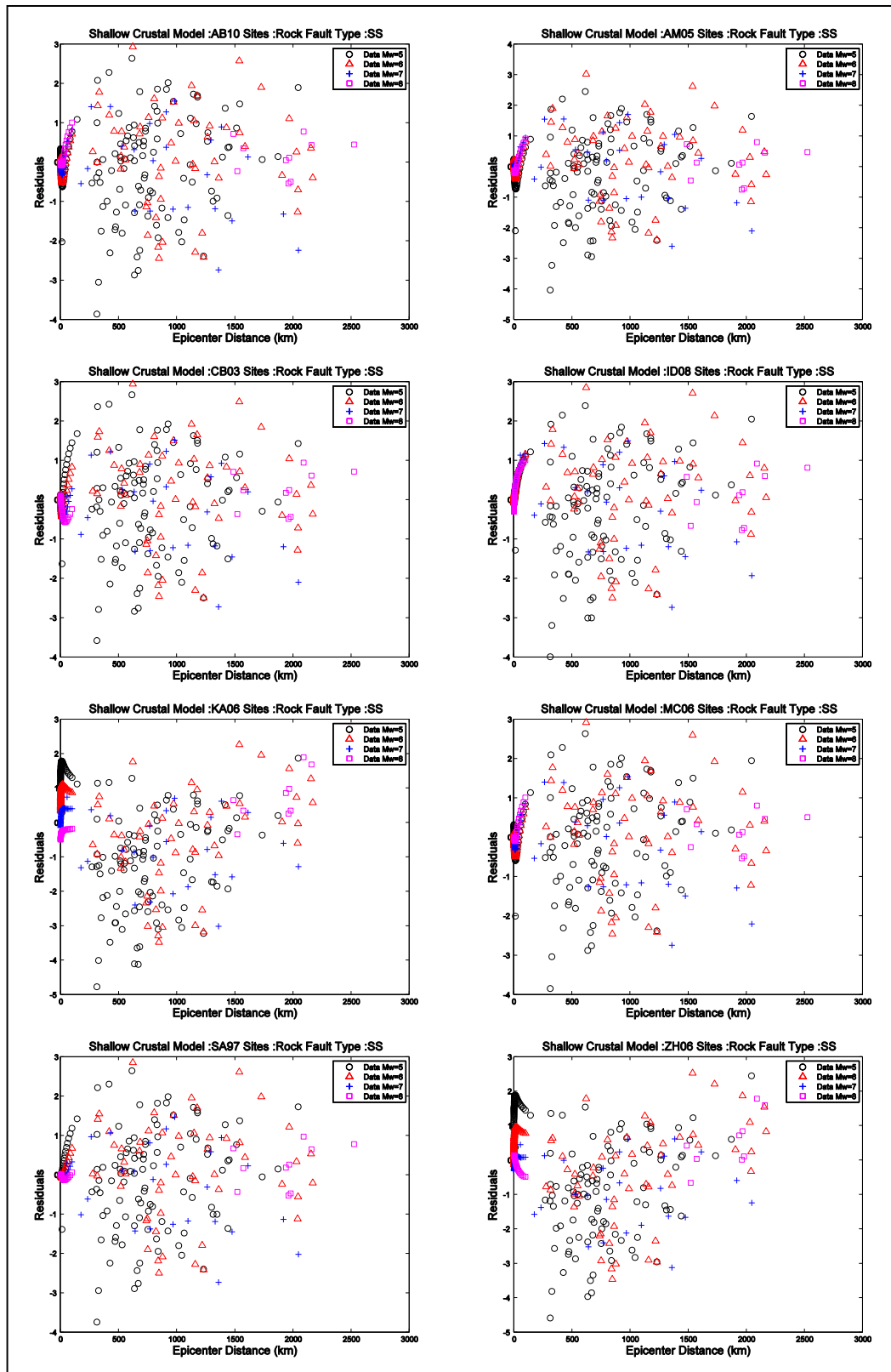
รูปที่ 5.7 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง
สถานที่ตั้งบนหิน สำหรับรอยเลื่อนย้อน



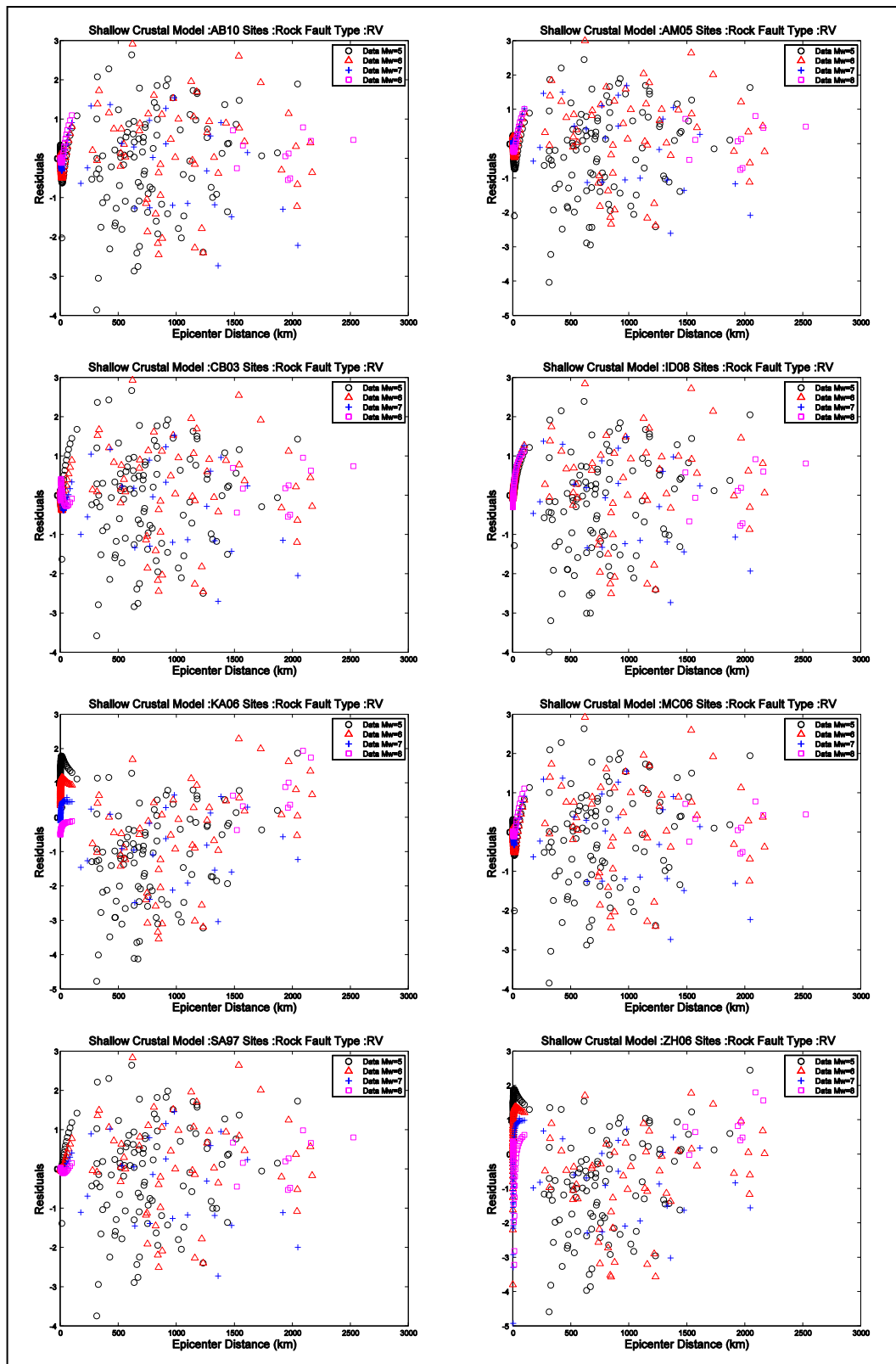
รูปที่ 5.8 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง
สถานที่ตั้งบนดิน สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



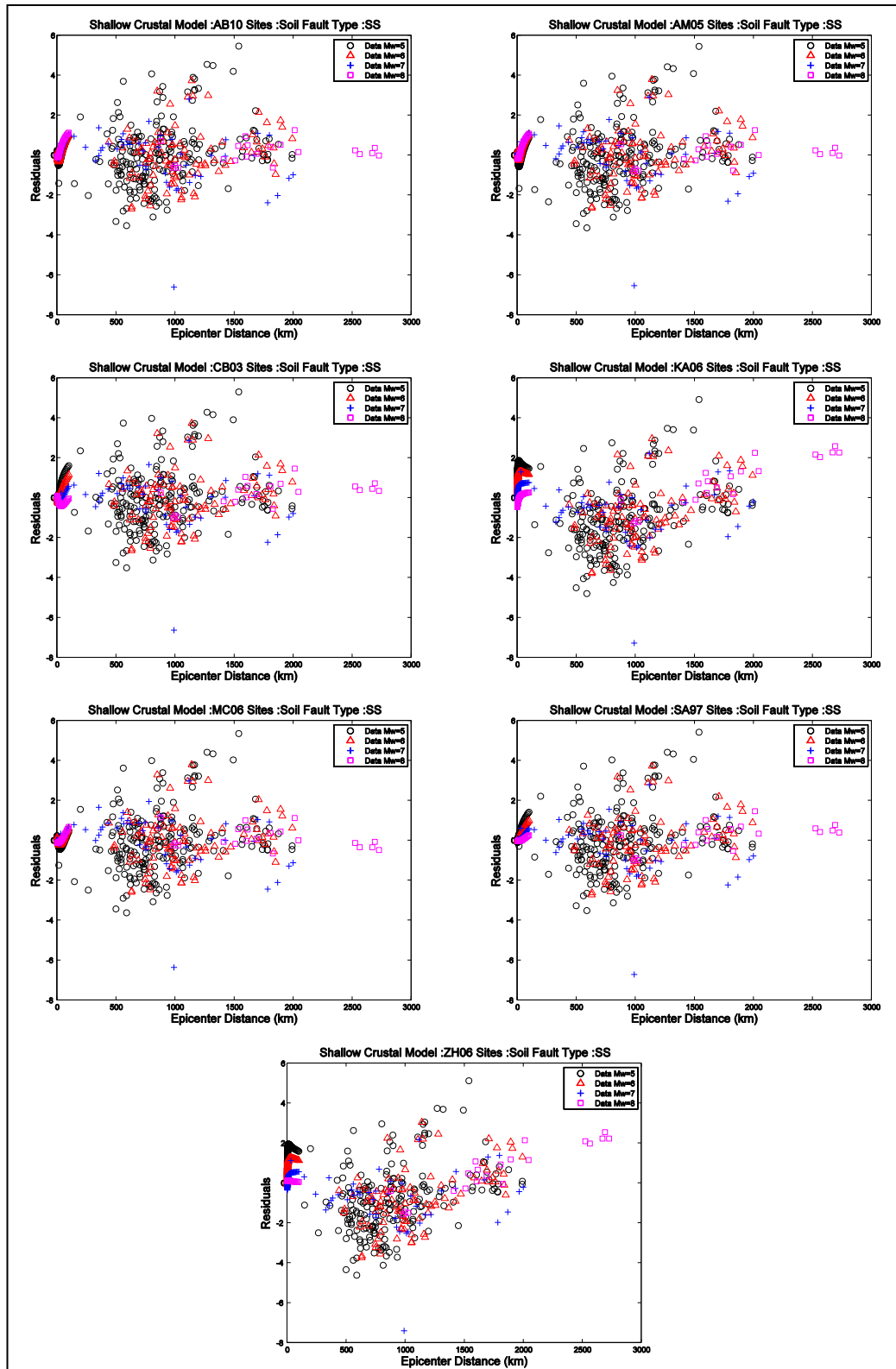
รูปที่ 5.9 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง
สถานที่ตั้งบนดิน สำหรับรอยเลื่อนยอน



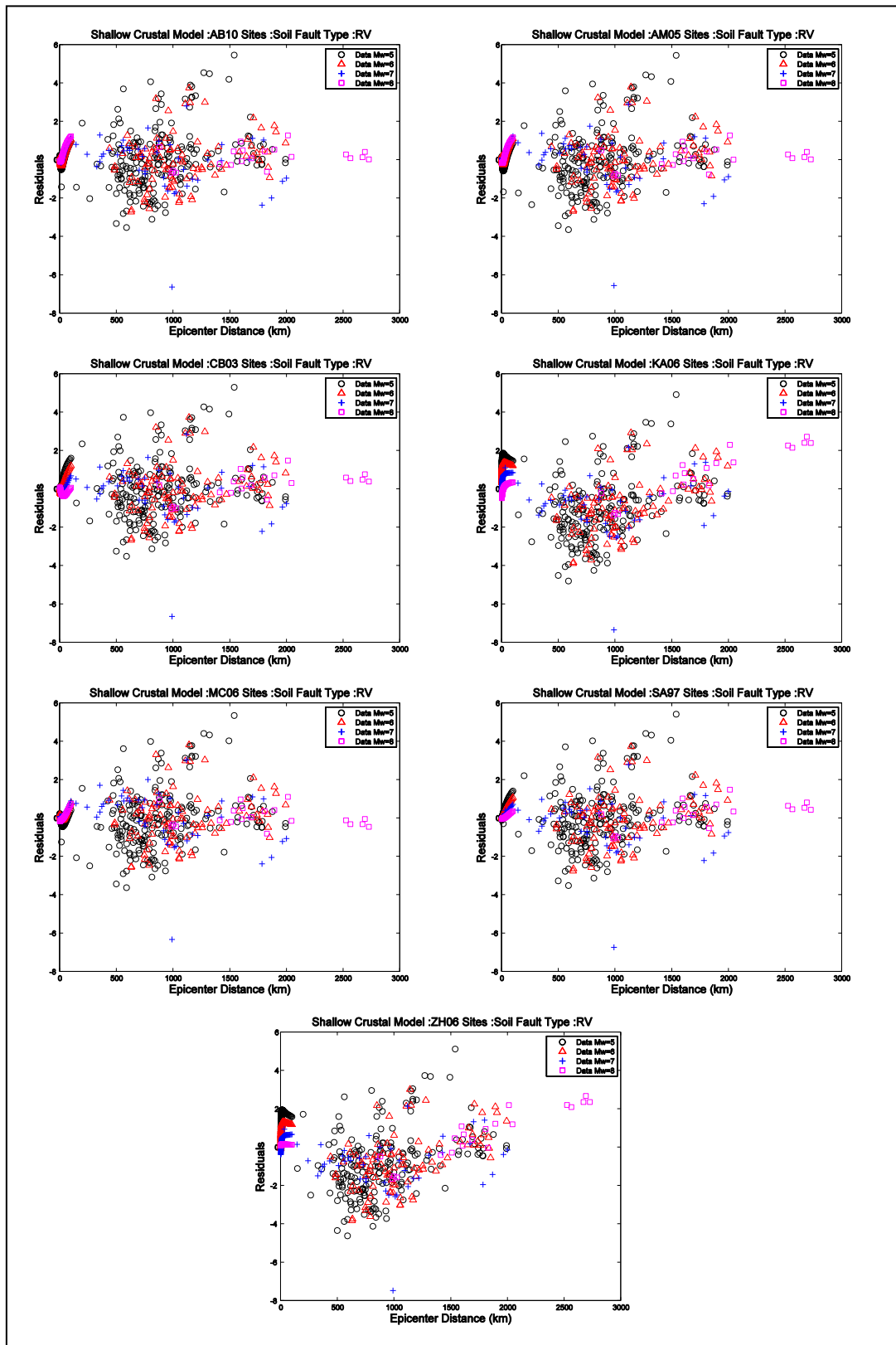
รูปที่ 5.10 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง
สถานที่ตั้งบนหิน สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



รูปที่ 5.11 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง
สถานที่ตั้งบนหิน สำหรับรอยเลื่อนยอน



รูปที่ 5.12 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง
สถานที่ตั้งบนดิน สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



รูปที่ 5.13 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง
 สถานี่ที่ตั้งบนดิน สำหรับรอยเลื่อนยอน

รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่มีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับแผ่นดินไหวตื้นบริเวณการแปรสัณฐาน ทั้งสถานที่ที่ตั้งบนหินและบนดิน รูปแบบรอยเลื่อนตามแนวระดับและรอยเลื่อนย้อน ได้แก่ รูปแบบสมการของ Sadigh และคณะ (1997)

รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมจากการเปรียบเทียบค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมจากตารางที่ 5.2 และ 5.3 พบว่า รูปแบบสมการของ Sadigh และคณะ (1997) ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองที่ต่ำในทุกๆ คาบธรรมชาติ ทั้งสถานที่ที่ตั้งบนหินและบนดิน รูปแบบรอยเลื่อนตามแนวระดับและรอยเลื่อนย้อน

ดังนั้นจึงเลือกใช้รูปแบบสมการของ Sadigh และคณะ (1997) สำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินและความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ซึ่งแสดงดังสมการที่ 5.5 และ 5.6 สำหรับสถานที่ที่ตั้งบนหินและบนดิน โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ที่ตั้งบนหิน ได้แก่ ตารางที่ 5.4 และ 5.5 สำหรับรอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike slip fault) และรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) ตามลำดับ และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ที่ตั้งบนดิน ได้แก่ ตารางที่ 5.6 และ 5.7 สำหรับรอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike slip fault) และรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) ตามลำดับ โดยกราฟความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทยแสดงดังรูปที่ 5.14 ถึง 5.17 และกราฟค่าคงเหลือของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 5.18 ถึง 5.21

$$\ln(S_a) = c_1 + c_2 M_w + c_3 (8.5 - M_w)^{2.5} + c_4 \ln(r_{rup} + e^{(c_5 + c_6 M_w)}) + c_7 \ln(r_{rup} + 2) \quad (5.5)$$

$$\ln(S_a) = c_1 + c_2 M_w - c_3 \ln(r_{rup} + c_4 e^{c_5 M_w}) + c_6 + c_7 (8.5 - M_w)^{2.5} \quad (5.6)$$

โดยที่

S_a = ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (g)

M_w = ขนาดโมเมนต์

r_{rup} = ระยะทางที่ใกล้ที่สุดถึงระนาบแตกร้าว (กิโลเมตร)

ตารางที่ 5.2 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานที่ตั้งบนหิน

T (s)	AB10	AM10	CB03	ID08	SA97	AB10	AM10	CB03	ID08	SA97
	SS					RV				
0	0.81	0.82	0.81	0.84	0.80	0.81	0.82	0.80	0.84	0.80
0.1	0.78	0.79	0.77	0.82	0.77	0.78	0.79	0.77	0.83	0.77
0.2	0.78	0.79	0.77	0.82	0.76	0.78	0.79	0.77	0.83	0.76
0.5	0.88	0.90	0.87	0.89	0.85	0.88	0.90	0.87	0.90	0.85
1	0.86	0.89	0.85	0.87	0.83	0.85	0.88	0.84	0.87	0.83
1.5	0.91	0.93	0.90	0.92	0.88	0.90	0.93	0.90	0.91	0.88
2	0.94	0.97	0.94	0.96	0.92	0.94	0.97	0.94	0.96	0.92
3	0.93	-	0.92	0.95	0.92	0.93	-	0.92	0.96	0.92
4	-	-	0.99	1.01	0.98	-	-	0.99	1.02	0.98
5	-	-	-	1.08	-	-	-	-	1.08	-

ตารางที่ 5.3 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานที่ตั้งบนดิน

T (s)	AB10	AM10	CB03	SA97	AB10	AM10	CB03	SA97
	SS				RV			
0	0.919	0.923	0.918	0.921	0.922	0.926	0.922	0.927
0.1	0.971	0.971	0.96	0.971	0.974	0.974	0.964	0.976
0.2	0.948	0.949	0.942	0.947	0.951	0.953	0.945	0.952
0.5	0.892	0.902	0.885	0.883	0.893	0.904	0.888	0.888
1	0.914	0.937	0.902	0.899	0.914	0.937	0.903	0.901
1.5	0.976	1.005	0.964	0.961	0.975	1.003	0.964	0.962
2	0.986	1.016	0.974	0.975	0.986	1.016	0.975	0.976
3	0.973	-	0.964	0.967	0.973	-	0.964	0.968
4	-	-	1.002	1.004	-	-	1.003	1.005

ตารางที่ 5.4 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานที่ตั้งบนหิน รอยเลื่อน
แนวระดับ (strike slip fault)

T (s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-1.851	1.655	-0.011	-2.670	-0.256	0.582	0.003
0.1	-1.031	1.606	-0.001	-2.741	-0.148	0.554	0.025
0.2	1.113	1.632	-0.019	-3.027	0.456	0.511	0.010
0.5	1.127	1.563	-0.039	-2.646	0.899	0.498	-0.256
1	0.741	1.257	-0.065	-2.550	1.125	0.391	-0.004
1.5	-0.913	1.219	-0.070	-2.260	1.104	0.362	-0.032
2	-1.486	1.242	-0.075	-1.936	1.212	0.407	-0.299
3	-4.922	1.356	-0.069	-1.904	0.093	0.456	0.005
4	-6.375	1.472	-0.069	-1.825	-0.073	0.481	0.003

ตารางที่ 5.5 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานที่ตั้งบนหิน รอยเลื่อน
ย้อน (reverse fault)

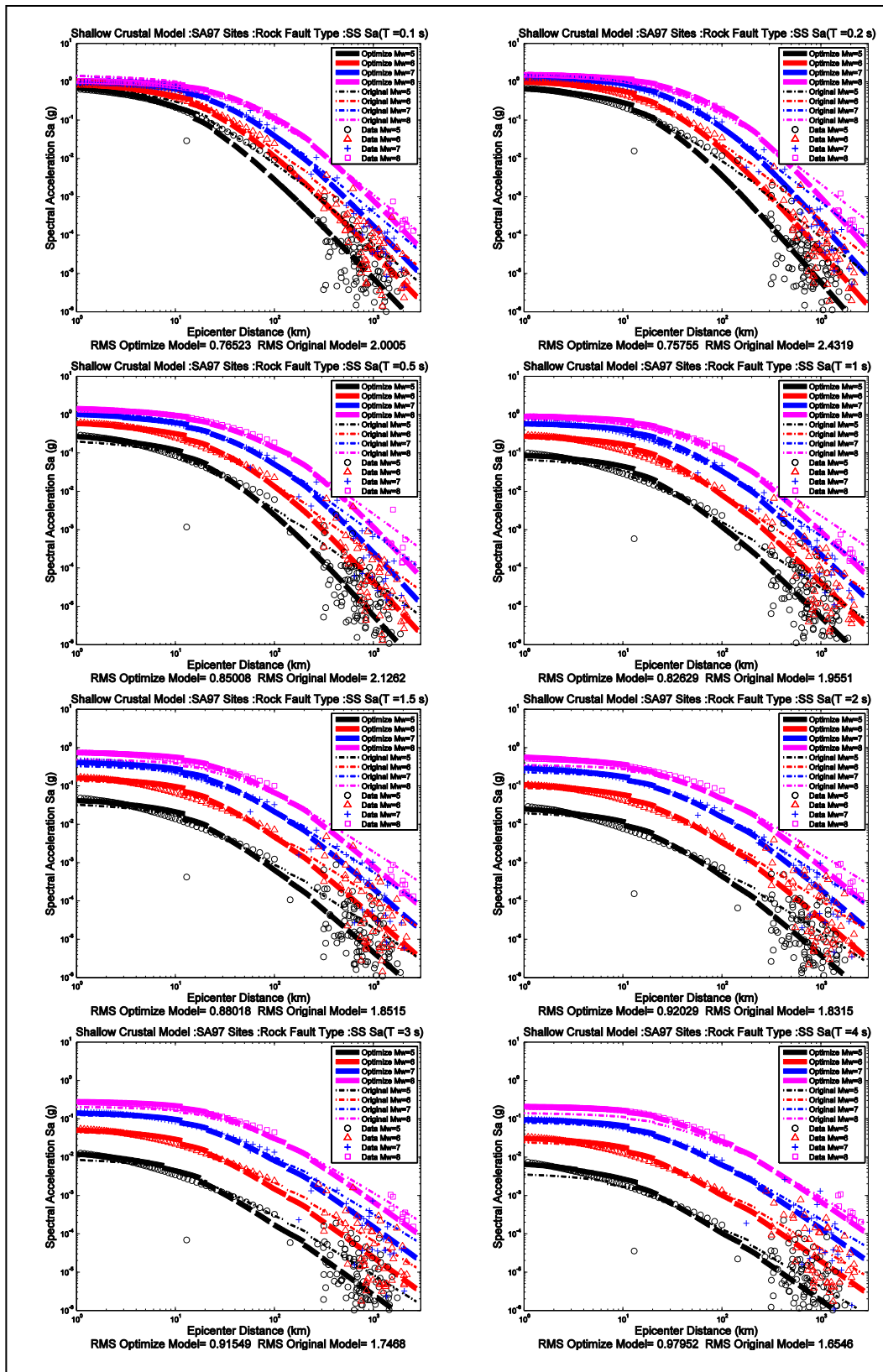
T (s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-1.818	1.673	-0.010	-2.716	-0.201	0.571	0.001
0.1	-0.699	1.596	-0.005	-2.746	-0.115	0.556	-0.028
0.2	1.016	1.697	-0.013	-2.999	0.520	0.518	-0.096
0.5	0.666	1.520	-0.040	-2.821	0.712	0.463	-0.009
1	0.479	1.281	-0.062	-2.595	1.147	0.378	0.026
1.5	-1.298	1.253	-0.064	-2.314	1.186	0.340	0.012
2	-2.231	1.222	-0.072	-2.139	0.939	0.363	-0.005
3	-4.960	1.353	-0.070	-1.916	0.080	0.461	0.000
4	-6.151	1.444	-0.075	-1.844	-0.261	0.507	-0.003

ตารางที่ 5.6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานที่ตั้งบนดิน รอยเลื่อนในแนวระดับ (strike slip fault)

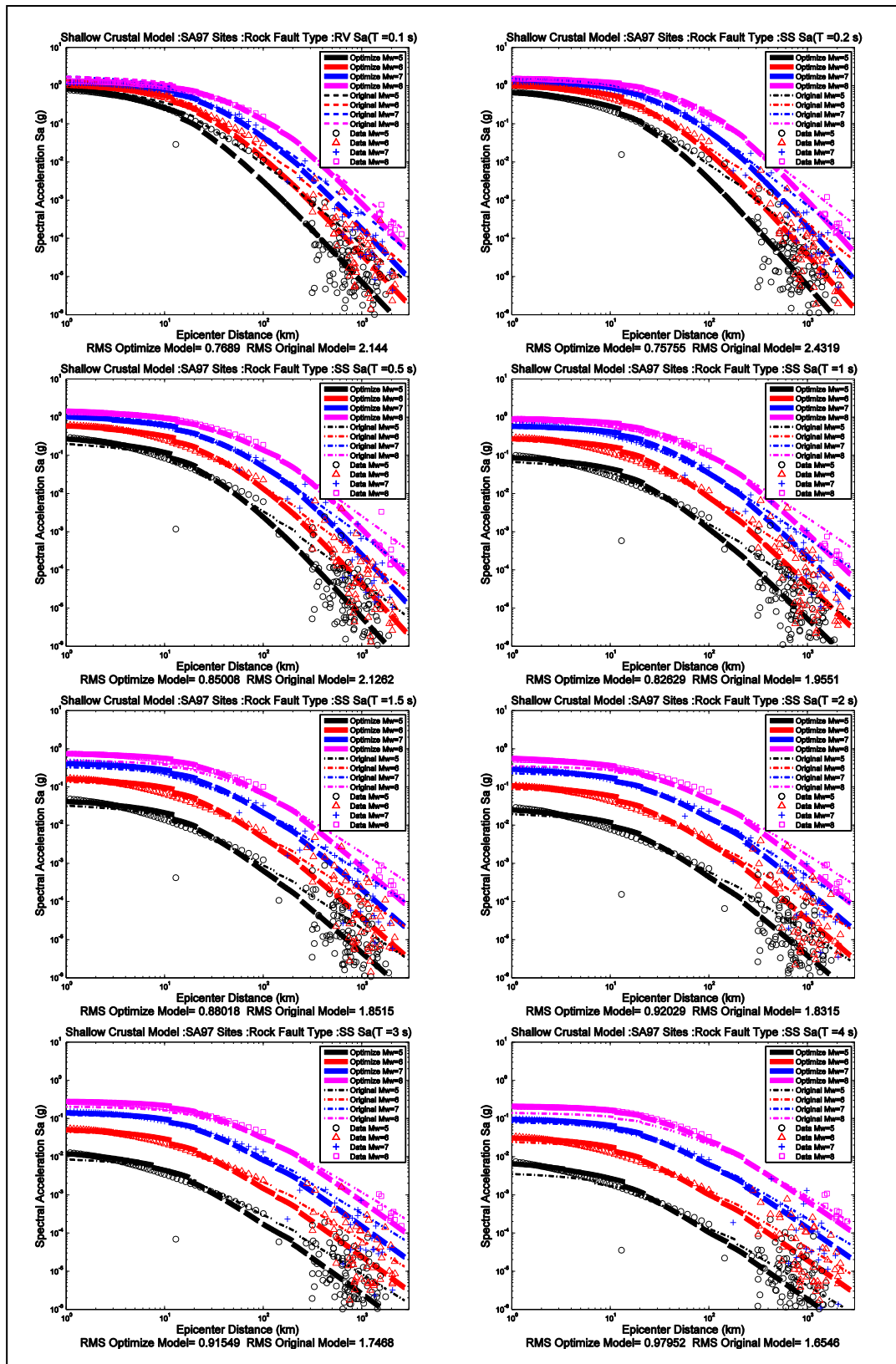
T (s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-3.111	1.629	2.439	0.466	0.626	-0.007	-0.002
0.1	1.694	1.652	2.468	0.591	0.582	-4.613	0.023
0.2	-2.883	1.655	2.696	0.970	0.539	1.641	0.005
0.5	1.085	1.526	2.646	1.186	0.498	-1.704	-0.029
1	-0.957	1.303	2.356	1.255	0.453	-0.019	-0.059
1.5	-1.351	1.199	2.132	1.291	0.416	-0.376	-0.075
2	-3.017	1.191	1.947	0.911	0.436	0.001	-0.077
3	-4.873	1.216	1.761	0.552	0.483	0.246	-0.085
4	-5.276	1.324	1.700	0.347	0.557	-0.596	-0.087

ตารางที่ 5.7 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานที่ตั้งบนดิน รอยเลื่อนย้อน (reverse fault)

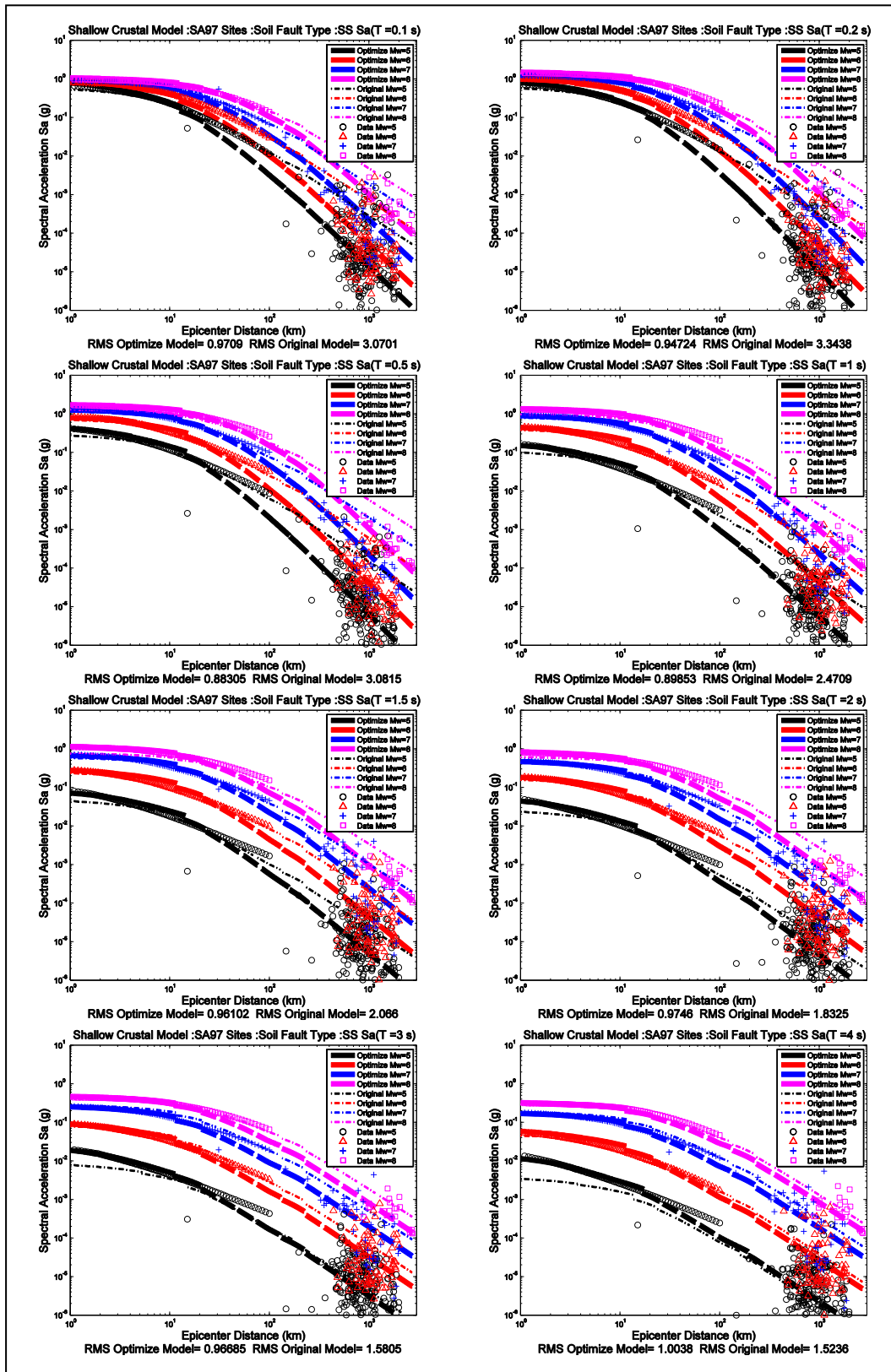
T (s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-2.765	1.642	2.501	0.526	0.606	-0.008	-0.001
0.1	-0.903	1.664	2.522	0.640	0.567	-1.712	0.024
0.2	-0.954	1.659	2.749	0.999	0.531	0.060	0.005
0.5	2.251	1.527	2.709	1.287	0.486	-2.421	-0.030
1	0.139	1.321	2.403	1.403	0.439	-0.906	-0.058
1.5	-2.459	1.218	2.159	1.469	0.399	0.776	-0.073
2	-2.976	1.199	1.965	0.953	0.429	0.023	-0.076
3	-4.109	1.203	1.772	0.534	0.491	-0.338	-0.087
4	-4.055	1.271	1.706	0.264	0.590	-1.352	-0.096



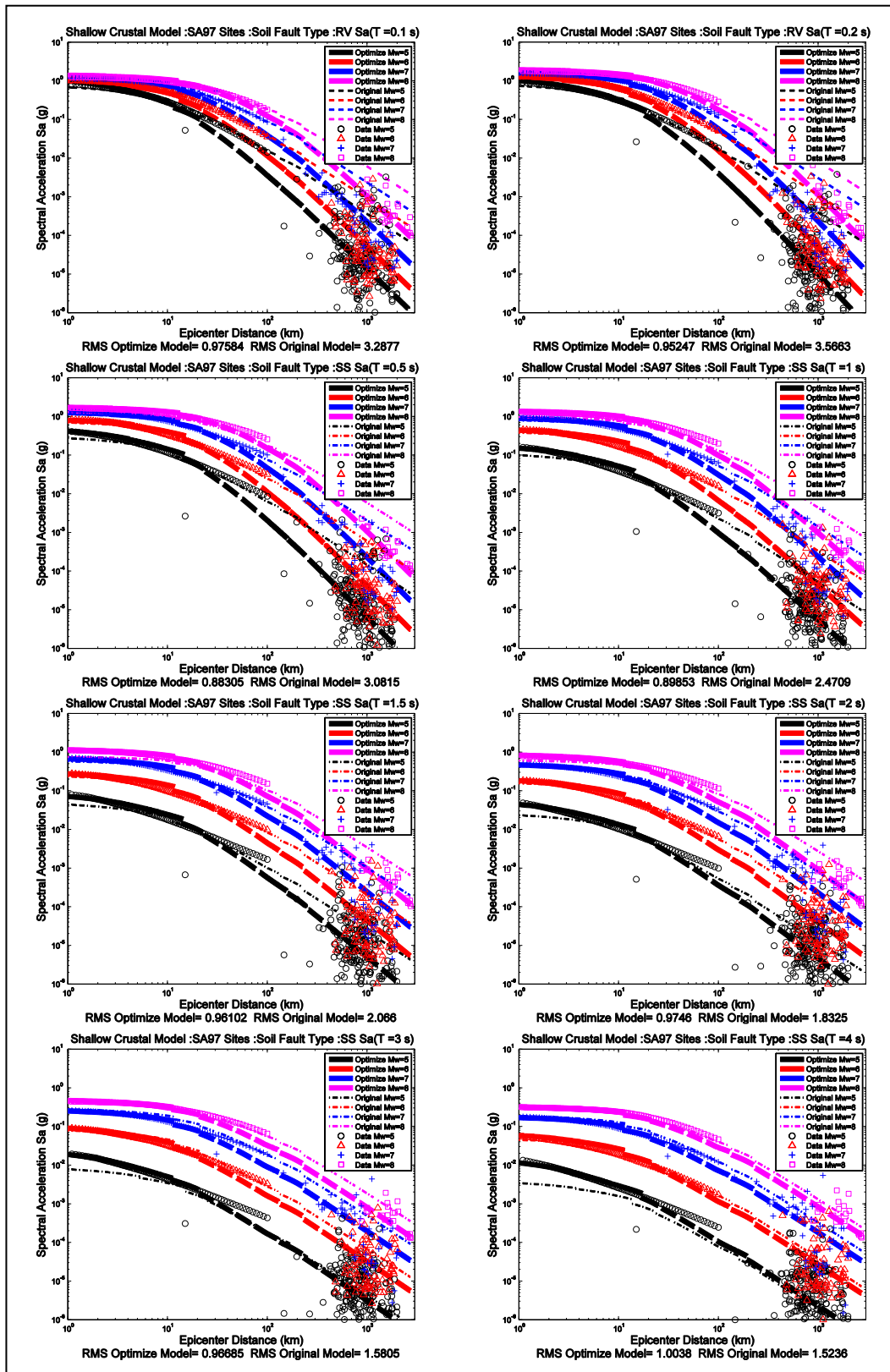
รูปที่ 5.14 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับ
ประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานที่ที่ตั้งบนหิน
สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



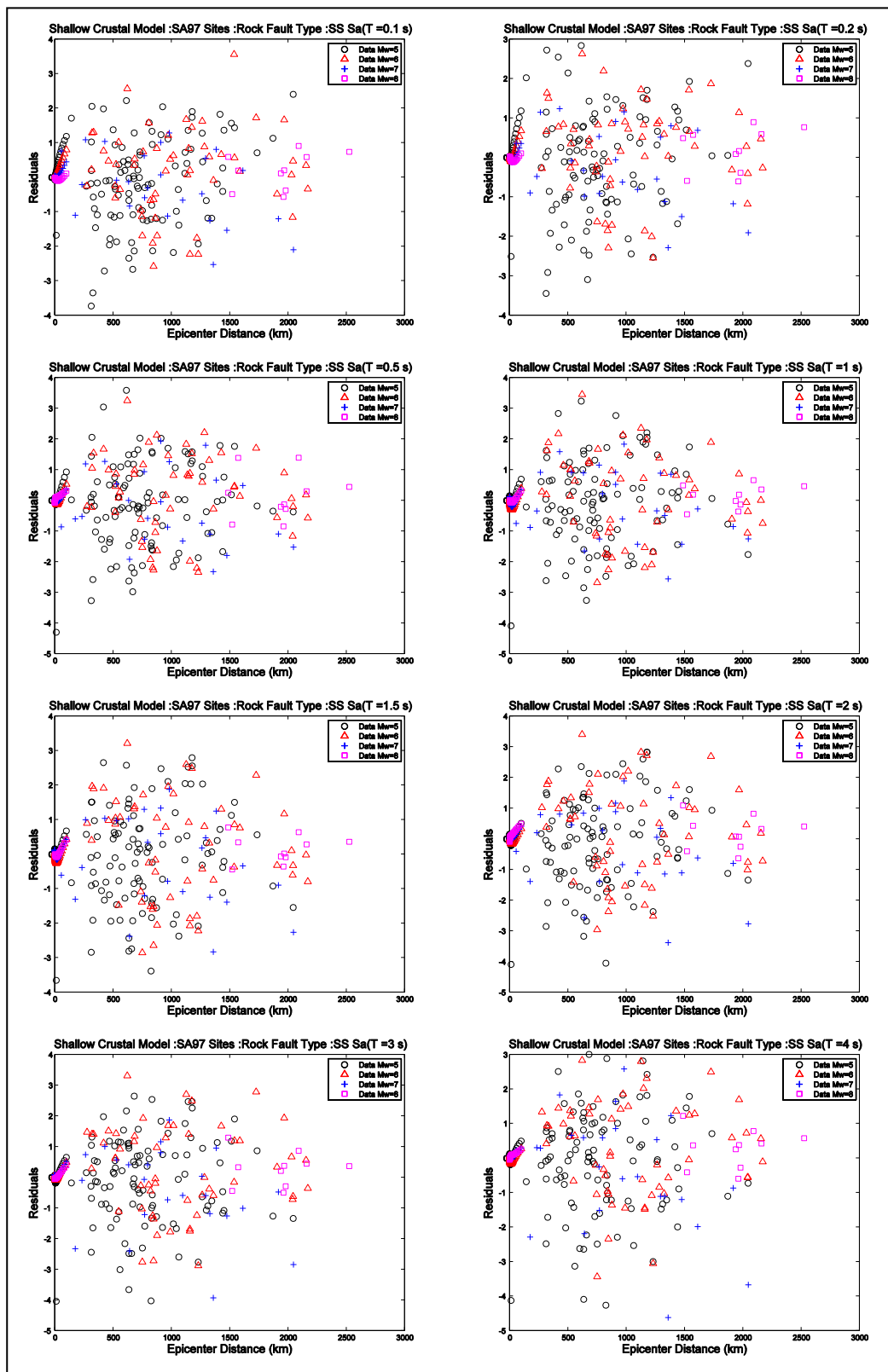
รูปที่ 5.15 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับ
ประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานที่ที่ตั้งบนหิน
สำหรับรอยเลื่อนย้อน



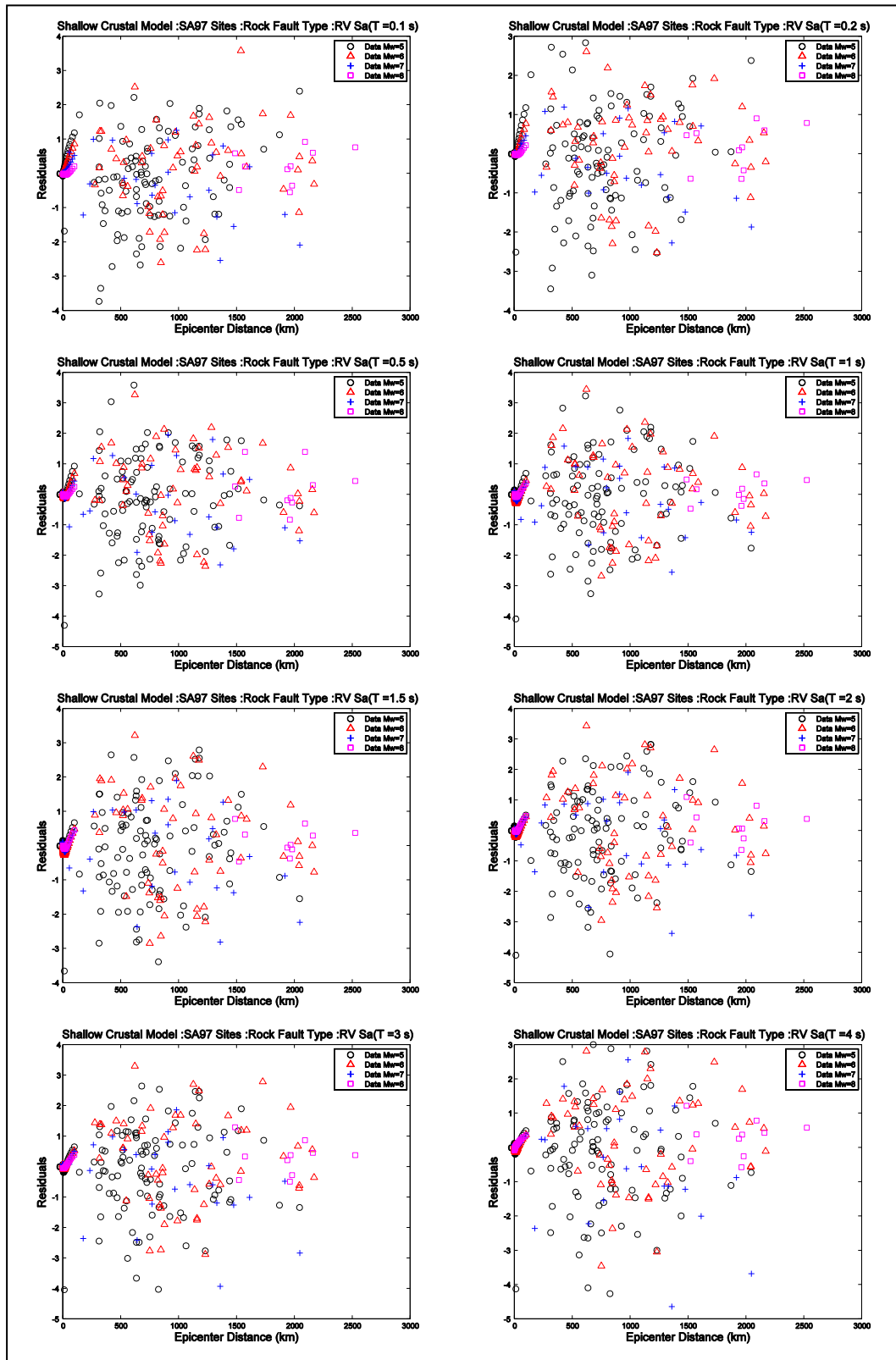
รูปที่ 5.16 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับ
ประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานที่ที่ตั้งบนดิน
สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



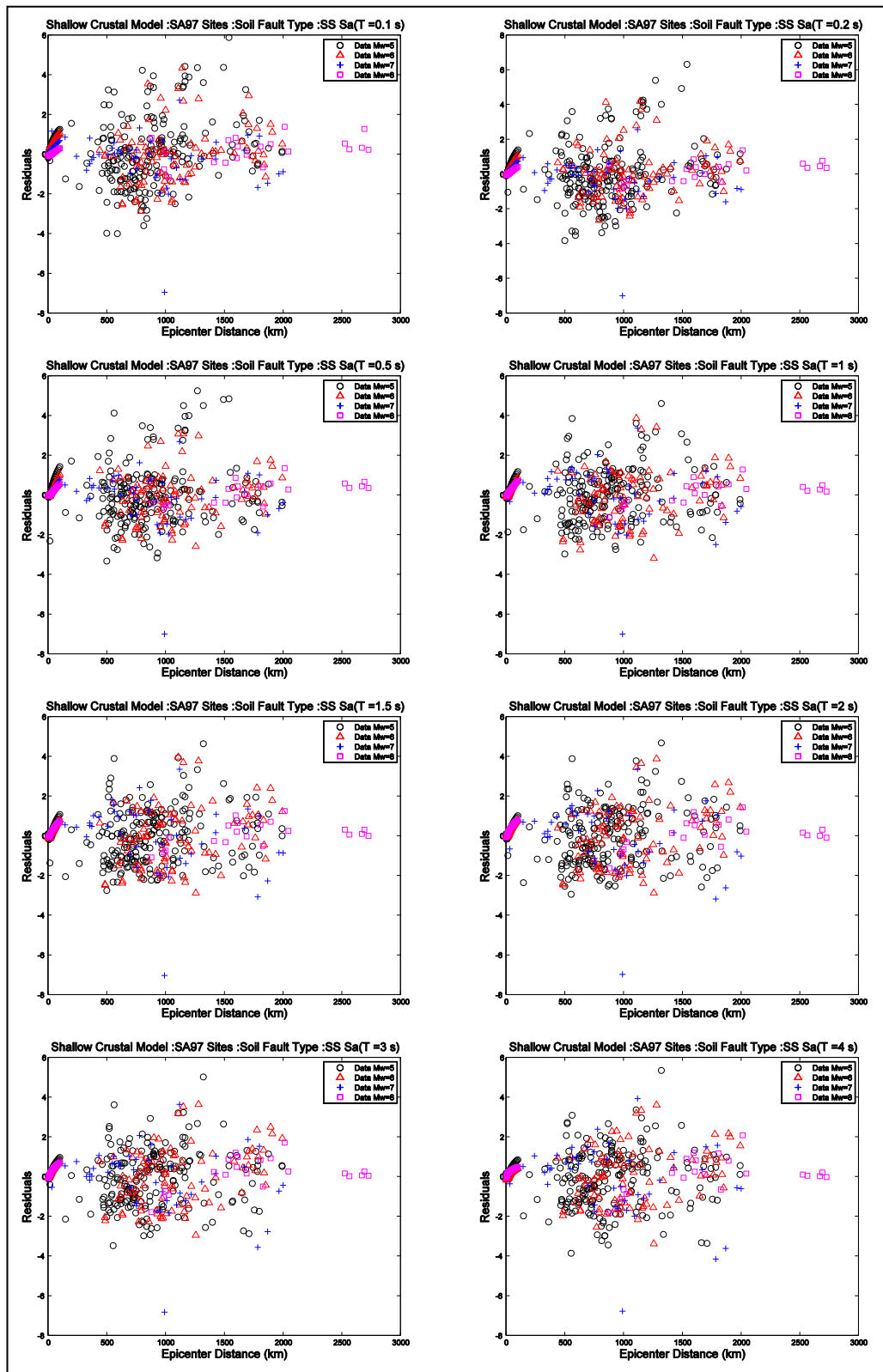
รูปที่ 5.17 กราฟการลดทอนของแรงตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับ
ประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานที่ที่ตั้งบนดิน
สำหรับรอยเลื่อนย้อน



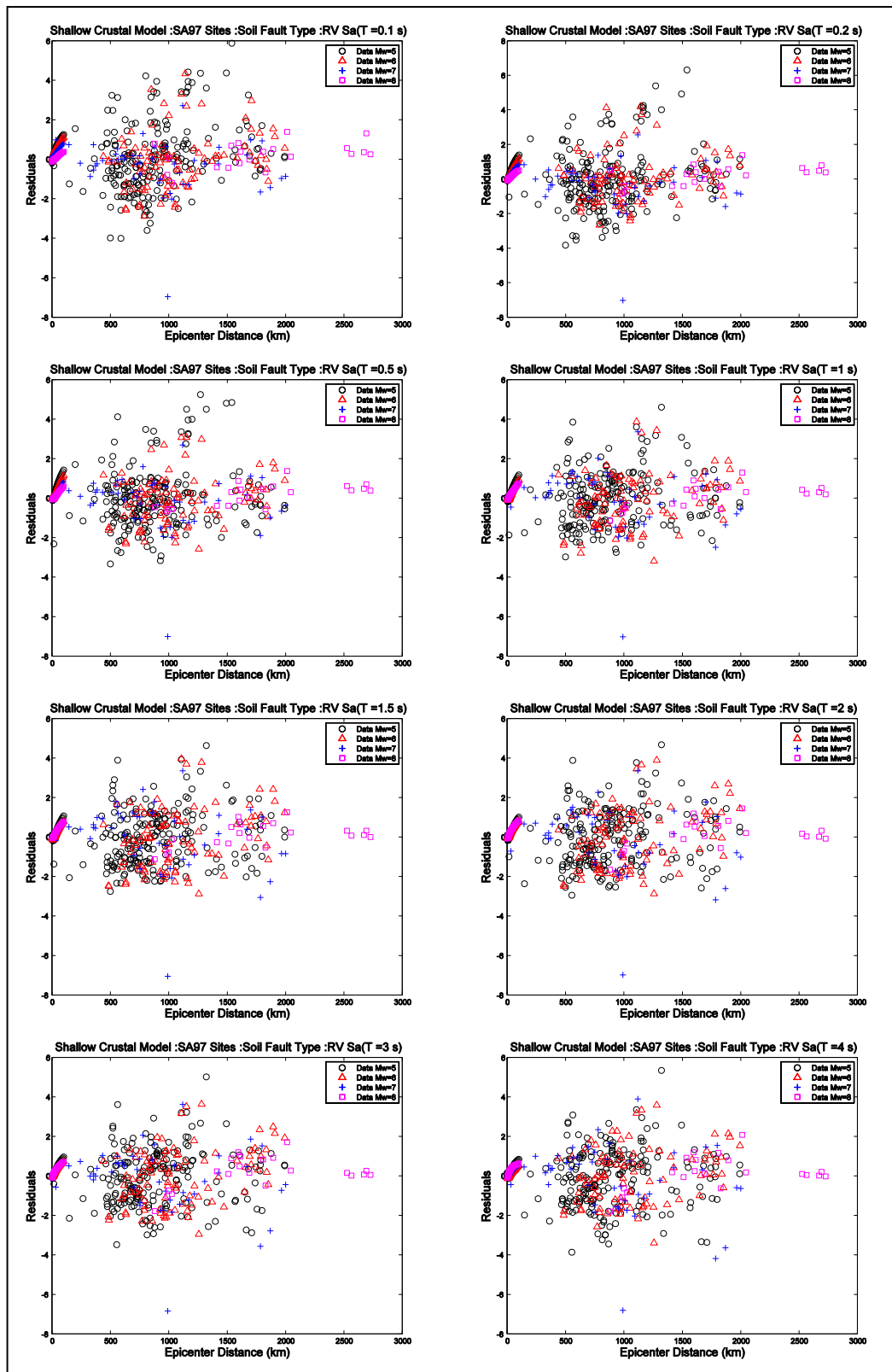
รูปที่ 5.18 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับ
ประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานที่ที่ตั้งบนหิน
สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



รูปที่ 5.19 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับ
ประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานที่ที่ตั้งบนหิน
สำหรับรอยเลื่อนย้อน



รูปที่ 5.20 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับ
ประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานที่ตั้งบนดิน
สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



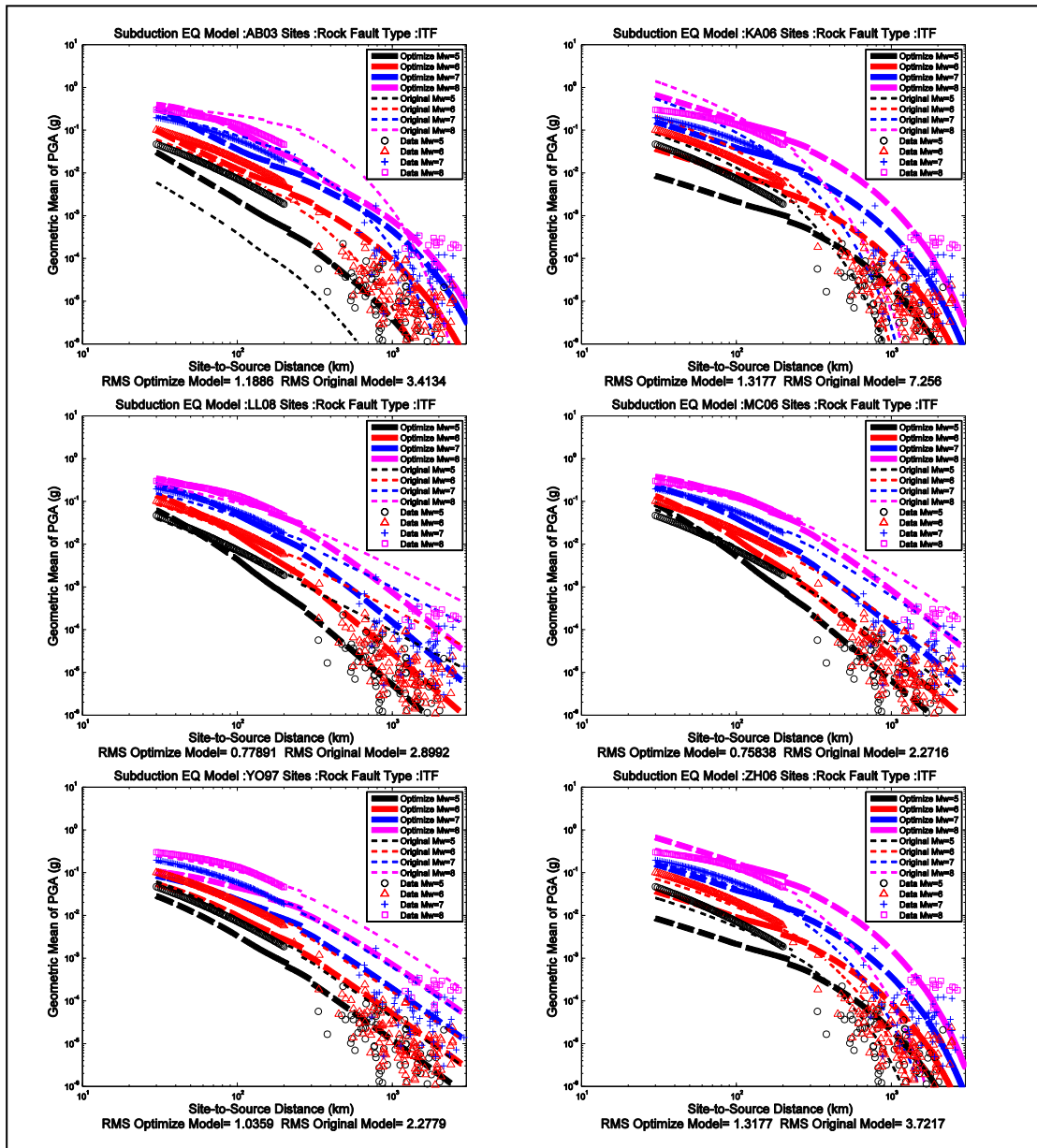
รูปที่ 5.21 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับ
ประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานที่ที่ตั้งบนดิน
สำหรับรอยเลื่อนย้อน

2) สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก

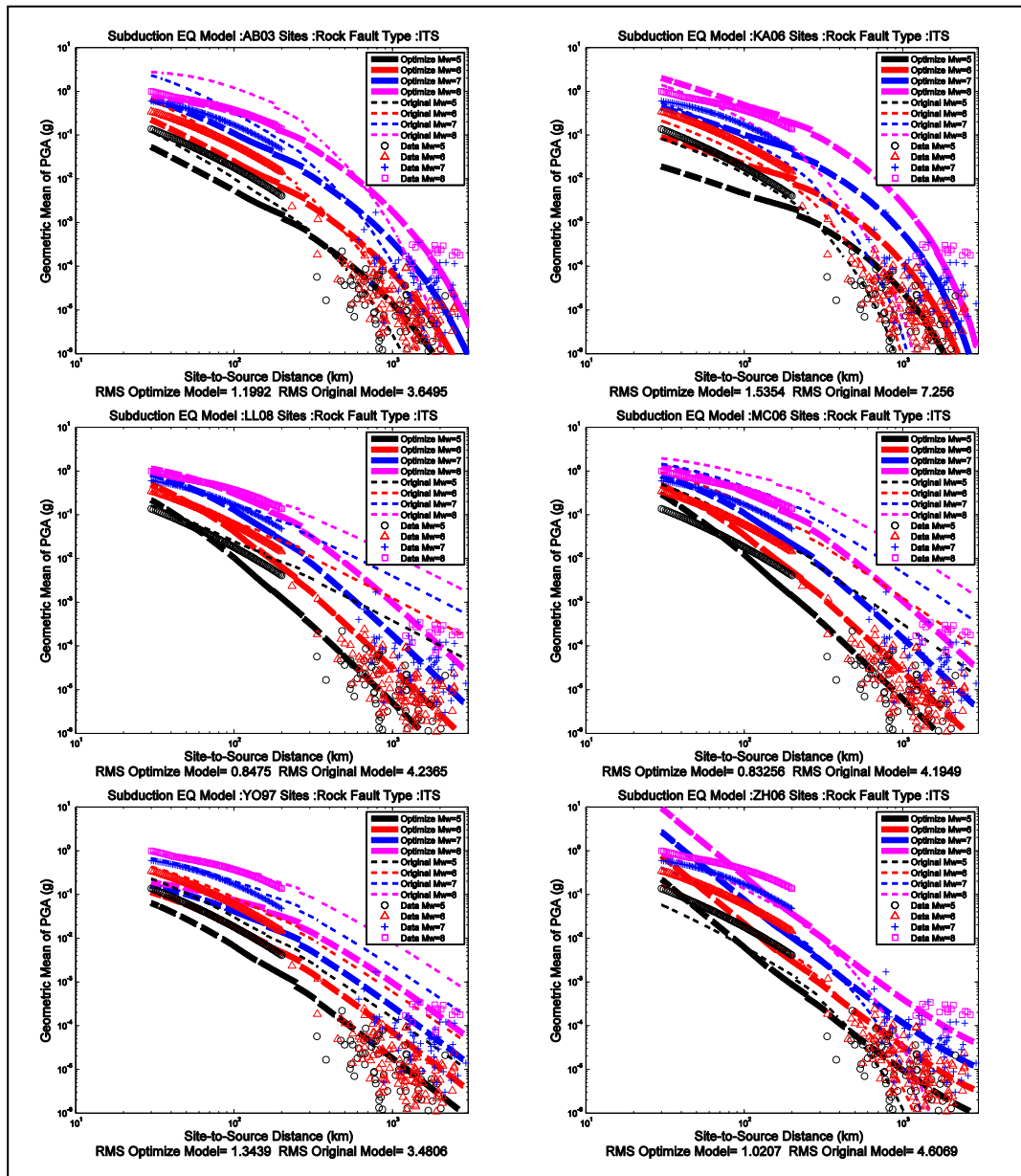
กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดินรูปที่ 5.22 ถึง 5.25 แสดงกราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากแต่ละรูปแบบสมการที่ใช้ในการศึกษา และความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการตามระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก โดยแบ่งตามประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว และแบ่งตามเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface) และเหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab) และในรูปที่ 5.22 ถึง 5.25 แสดงการกระจายของจุดข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่บันทึกได้จริงในประเทศตามระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว รูปที่ 5.26 ถึง 5.29 แสดงการกระจายตัวของค่าคงเหลือระหว่างความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่บันทึกได้จริงในประเทศกับความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการ

จากการเปรียบเทียบค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน พบว่ารูปแบบสมการของ Atkinson และ Boore (2003) Kanno และคณะ (2006) และรูปแบบสมการของ Zhao และคณะ (2006) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน ทั้งเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัสและเหตุการณ์ภายในแผ่น ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าที่สูง ซึ่งกราฟยังไม่มี ความสอดคล้องกับข้อมูลค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศในระยะทางไกล และข้อมูลที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยในระยะทางไกล

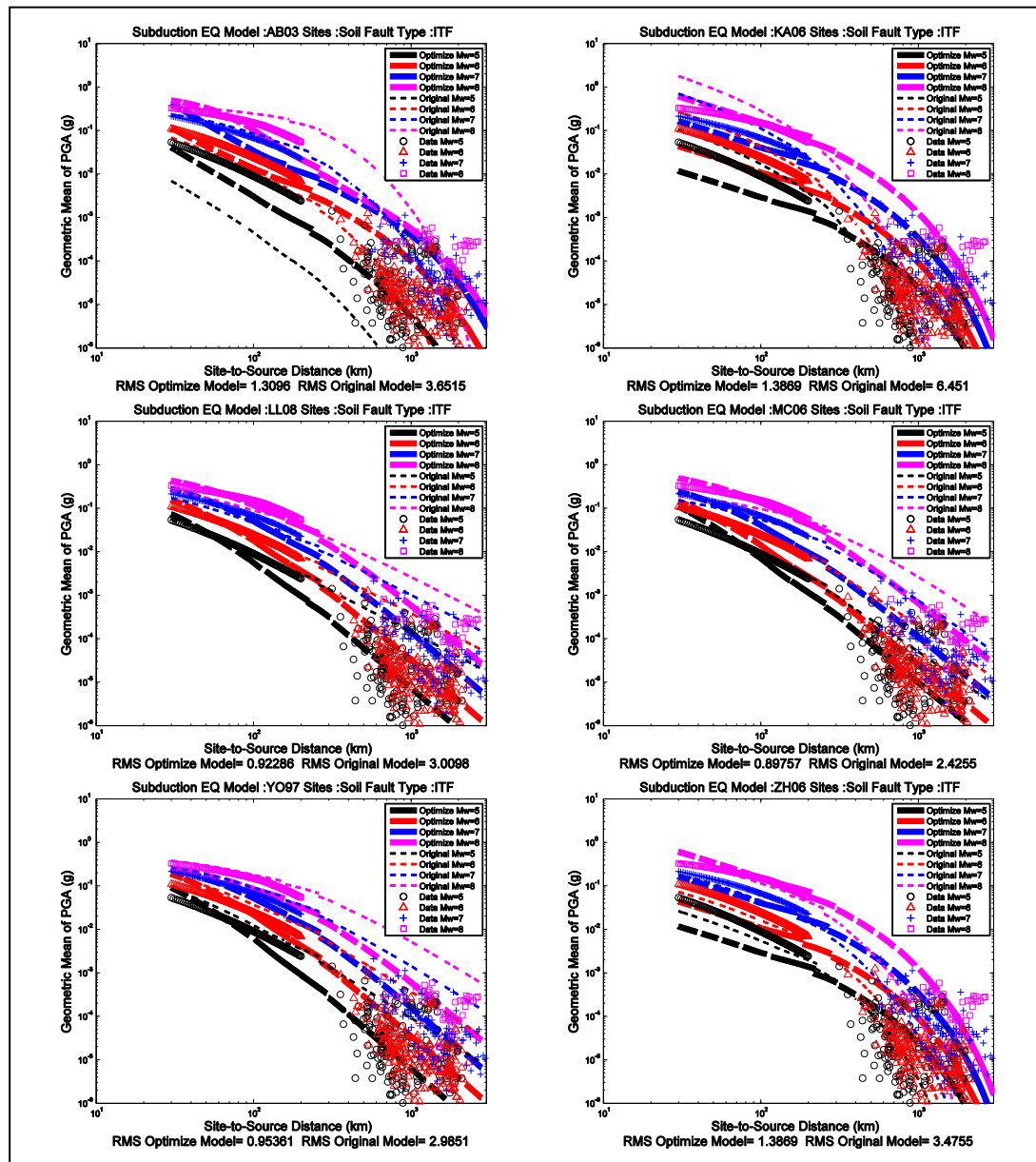
รูปแบบสมการของ Mcverry และคณะ (2007) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน ทั้งเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัสและเหตุการณ์ภายในแผ่น ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าที่ต่ำที่สุด แต่รูปแบบสมการมีความสับสน จึงไม่แนะนำในการนำไปใช้ประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม รูปแบบสมการของ Youngs และคณะ (1997) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน ทั้งเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัสและเหตุการณ์ภายในแผ่น ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าที่ต่ำ ซึ่งกราฟยังไม่มี ความสอดคล้องกับข้อมูลค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศในระยะทางไกล แต่สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยในระยะทางไกล รูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน ทั้งเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัสและเหตุการณ์ภายในแผ่น ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าที่ต่ำ ซึ่งกราฟมีความสอดคล้องกับข้อมูลค่าเฉลี่ยจากสมการของต่างประเทศในระยะทางไกล และมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยในระยะทางไกลมากที่สุด



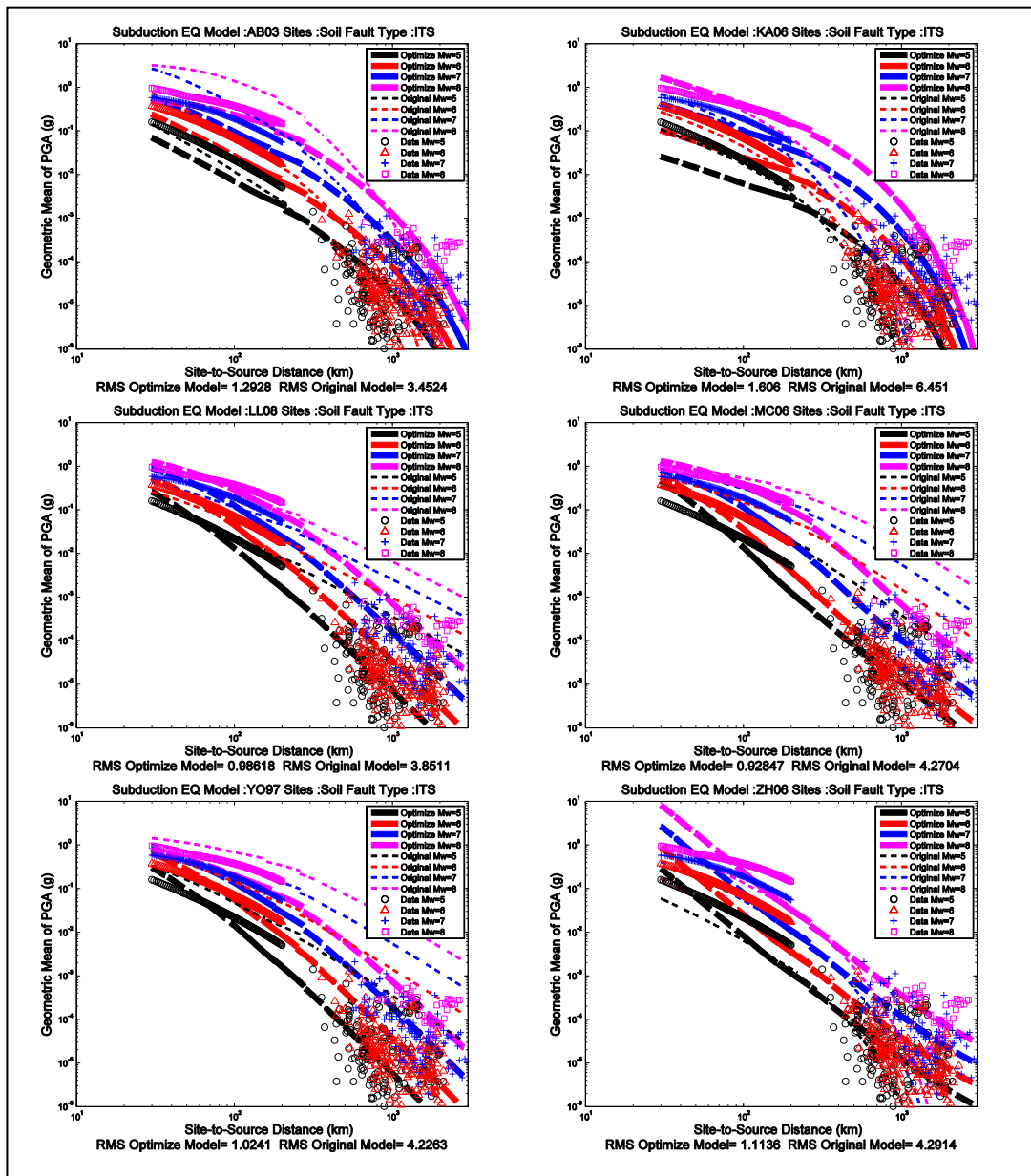
รูปที่ 5.22 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก
สถานที่ที่ต้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส



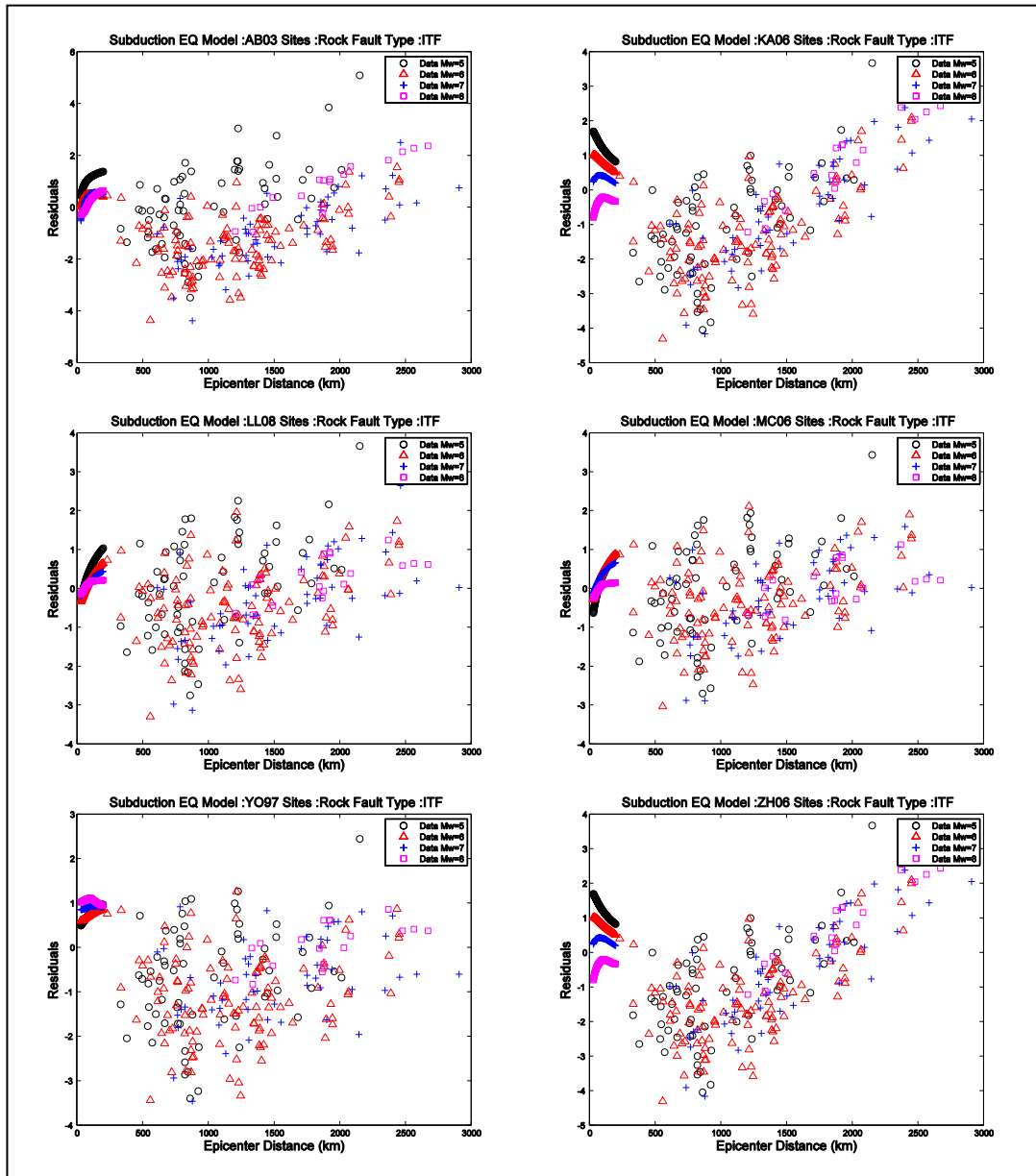
รูปที่ 5.23 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก
สถานที่ที่ต้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น



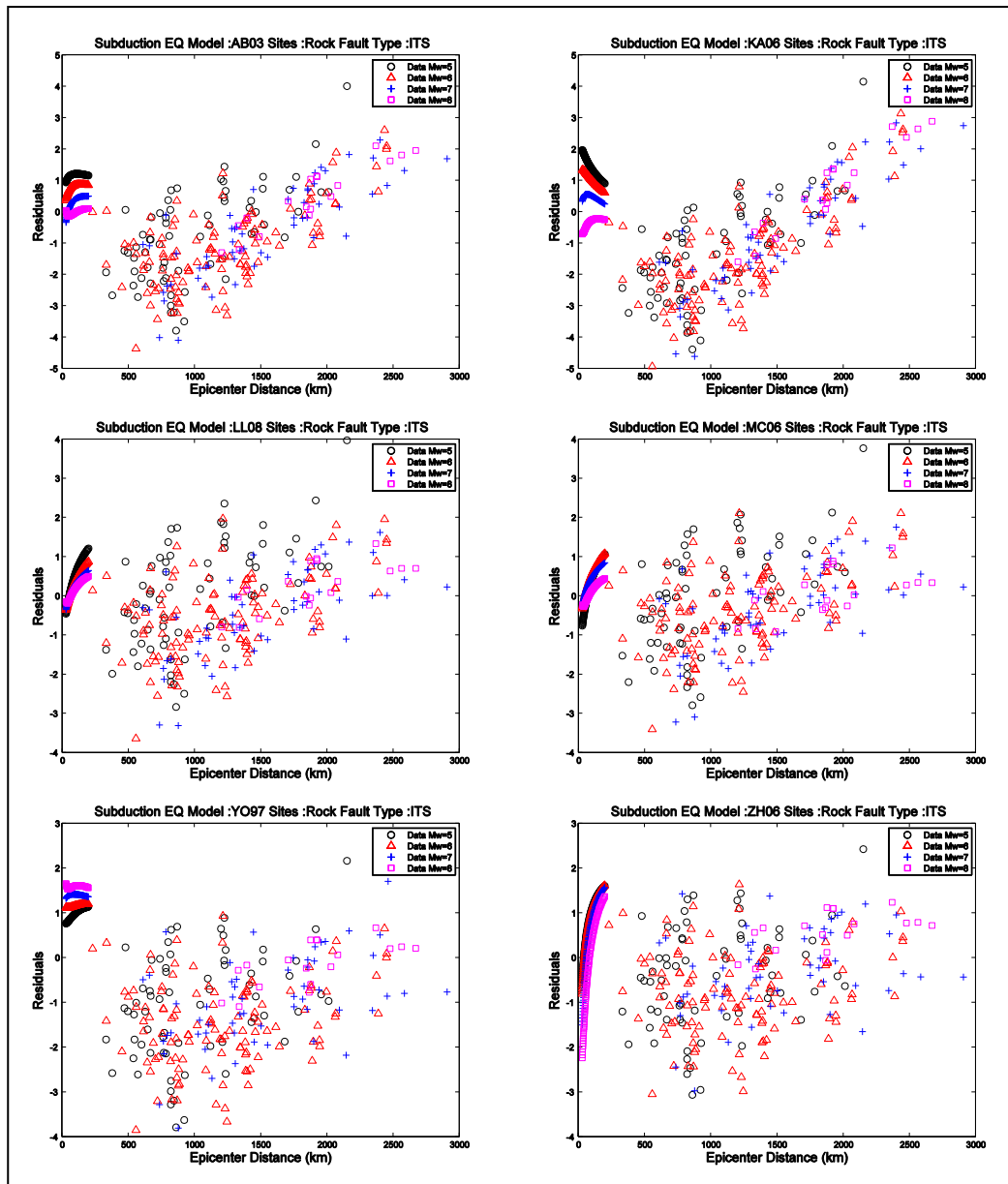
รูปที่ 5.24 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก
สถานที่ที่ตั้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส



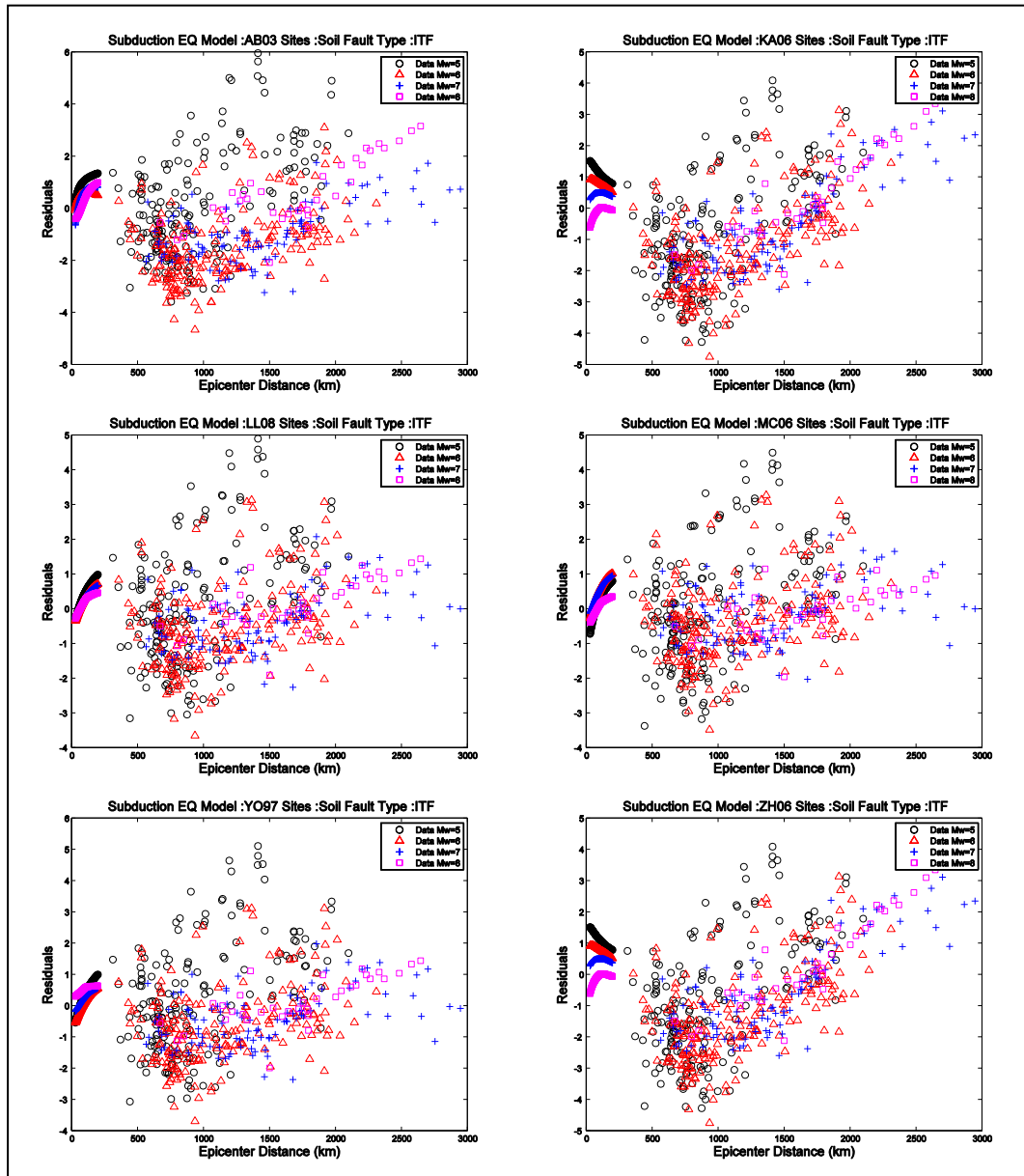
รูปที่ 5.25 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก
สถานที่ตั้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น



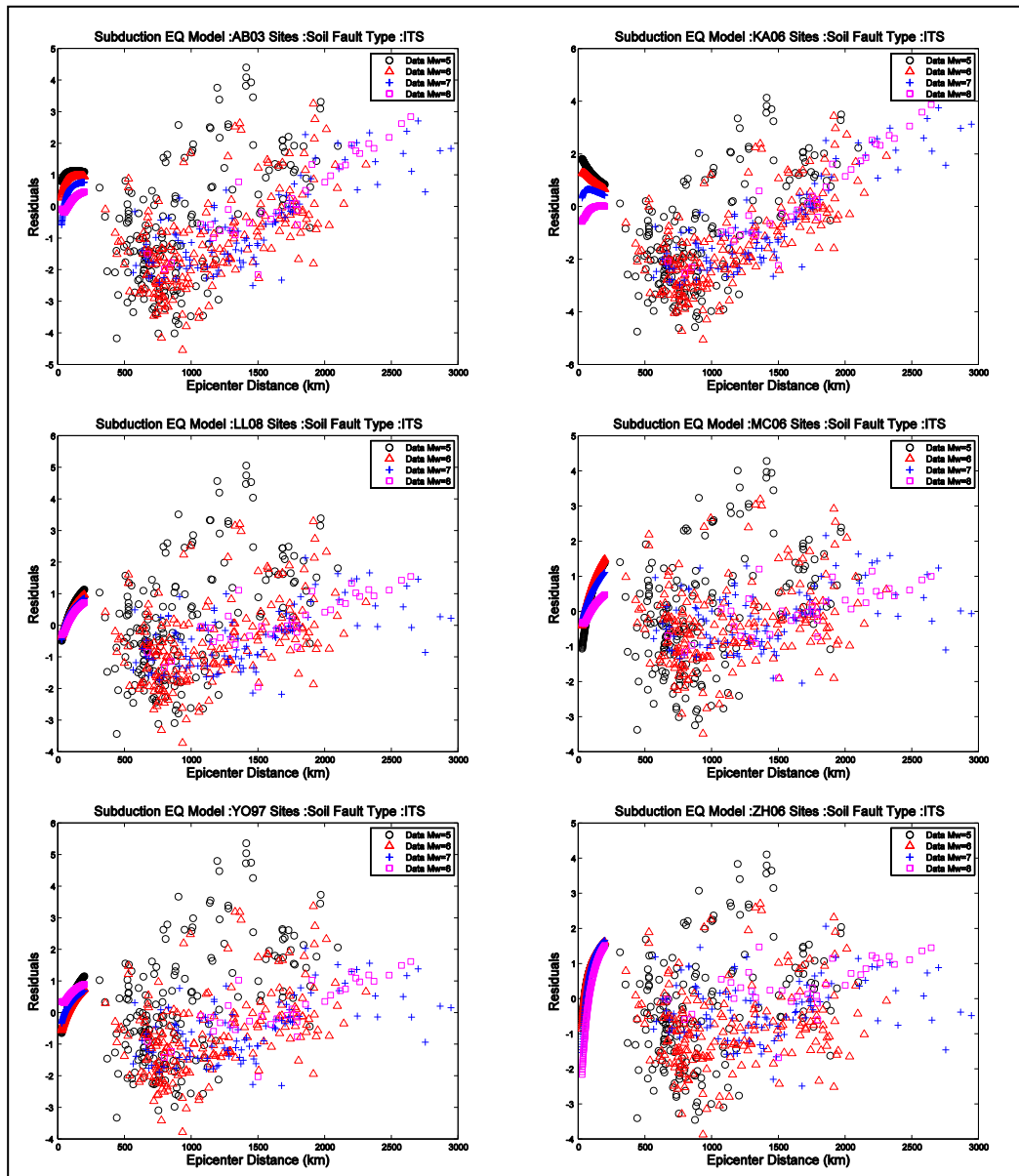
รูปที่ 5.26 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก
สถานที่ที่ต้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส



รูปที่ 5.27 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก
สถานที่ที่ตั้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น



รูปที่ 5.28 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก
สถานที่ที่ต้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส



รูปที่ 5.29 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก
สถานที่ที่ต้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น

รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่มีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก ทั้งสถานที่ตั้งบนหินและบนดิน เหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface) และเหตุการณ์ภายในแผ่น (intra slab) ได้แก่ รูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008)

รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมจากการเปรียบเทียบค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมระหว่าง Lin และ Lee (2008) กับ Youngs และคณะ (1997) จากตารางที่ 5.8 และ 5.9 พบว่า รูปแบบสมการของ Lin และ Lee (1997) ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองที่ต่ำในทุกๆ คาบธรรมชาติ ทั้งสถานที่ตั้งบนหินและบนดิน เหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface) และเหตุการณ์ภายในแผ่น (intra slab)

ดังนั้นจึงเลือกใช้รูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) สำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินและค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ซึ่งแสดงดังสมการที่ 5.7 โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ตั้งบนหินได้แก่ ตารางที่ 5.10 และ 5.11 สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส และเหตุการณ์ภายในแผ่น ตามลำดับ และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ตั้งบนดิน ได้แก่ ตารางที่ 5.12 และ 5.13 สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส และเหตุการณ์ภายในแผ่น ตามลำดับ โดยกราฟความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทยแสดงดังรูปที่ 5.30 ถึง 5.33 และกราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 5.34 ถึง 5.37

$$\ln(S_a) = C_1 + C_2 M_w + C_3 (R + C_4 e^{C_5 M_w}) + C_6 H + c_7 Z_T \quad (5.7)$$

โดย

S_a = ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (g)

M_w = ขนาดโมเมนต์

R = ระยะทางจุดเกิดแผ่นดินไหว (กิโลเมตร)

H = ความลึกศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (กิโลเมตร)

Z_T = 0 สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวหน้าสัมผัส (interface events)

Z_T = 1 สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab events)

ตารางที่ 5.8 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานที่ตั้งบนหิน

T (s)	LL08	YO97	LL08	YO97
	ITF		ITS	
0	0.779	0.848	1.036	1.344
0.1	0.825	0.906	0.855	0.941
0.2	0.761	0.814	0.798	0.856
0.5	0.816	0.852	0.853	0.896
1	0.687	0.721	0.725	0.777
1.5	0.692	0.722	0.719	0.769
2	0.72	0.752	0.739	0.786
3	0.761	0.785	0.779	0.81
4	0.834	0.851	-	-
5	0.887	0.903	-	-

ตารางที่ 5.9 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานที่ตั้งบนหิน

T (s)	LL08	YO97	LL08	YO97
	ITF		ITS	
0	0.923	0.986	0.954	1.024
0.1	1.051	1.19	1.077	1.15
0.2	0.973	1.017	1.027	1.073
0.5	0.898	0.93	0.965	1.014
1	0.791	0.823	0.872	0.928
1.5	0.743	0.777	0.828	0.894
2	0.757	0.792	0.835	0.905
3	0.818	0.888	0.86	0.91
4	0.883	0.905	0.941	0.967
5	0.958	0.971	-	-

ตารางที่ 5.10 ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานที่ตั้งบนหิน เหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface)

T (s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	1.609	1.778	-3.213	1.393	0.575	-0.008	-0.485
0.1	7.353	1.567	-3.208	2.125	0.486	-0.090	2.882
0.2	2.138	1.729	-3.523	4.191	0.430	0.038	-1.585
0.5	4.488	1.808	-3.329	5.521	0.395	-0.047	-33.487
1	-0.416	1.866	-3.080	6.839	0.368	0.002	-8.070
1.5	-7.968	1.963	-2.836	4.797	0.414	0.103	-7.894
2	-9.541	2.016	-2.594	3.089	0.464	0.092	-2.900
3	-8.505	2.211	-2.338	0.840	0.665	0.008	-0.024
4	-10.708	2.326	-2.201	1.290	0.581	0.013	0.098
5	-11.316	2.406	-2.128	0.916	0.641	0.001	0.089

ตารางที่ 5.11 ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานที่ตั้งบนหิน เหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab)

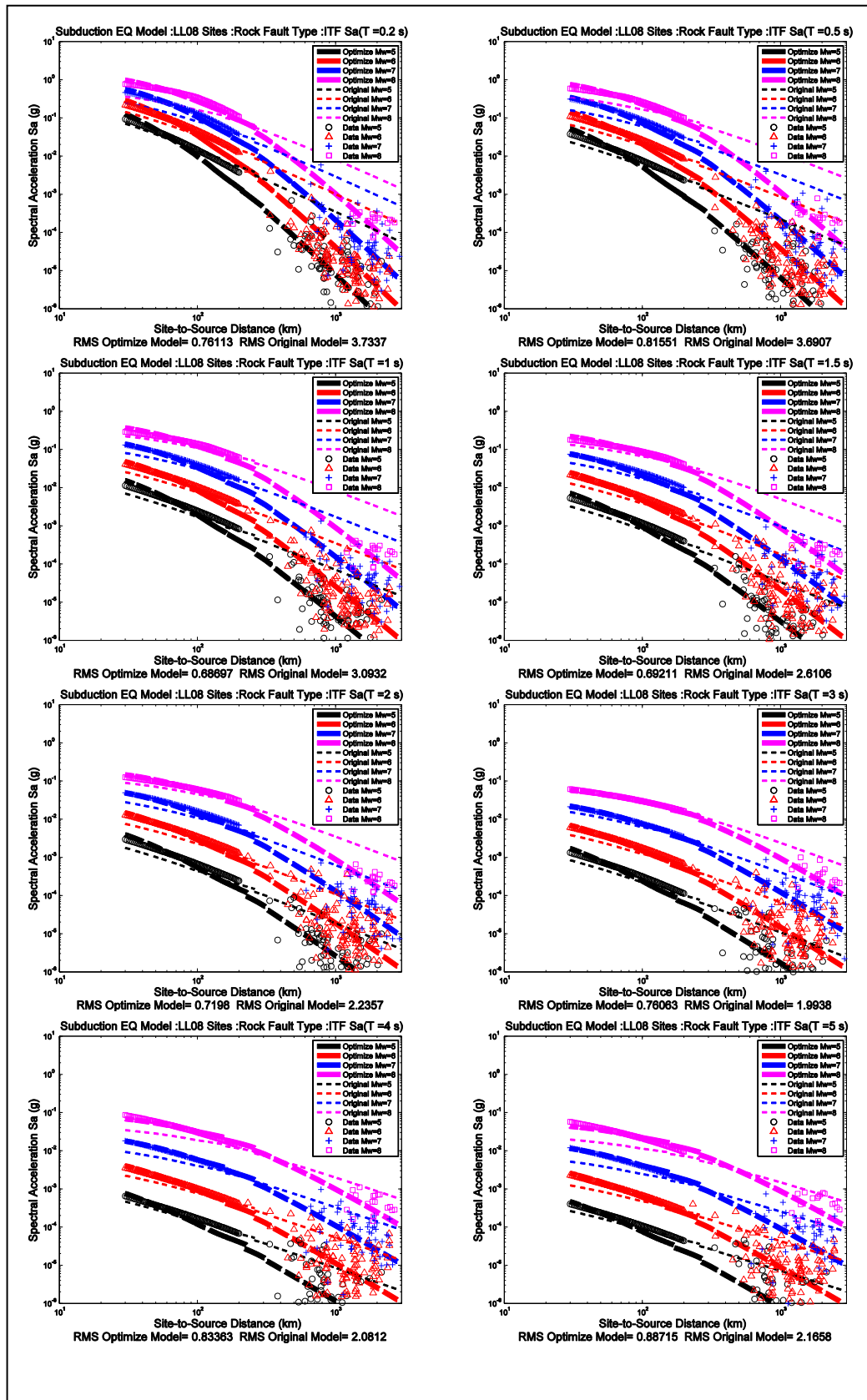
T (s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	2.616	1.870	-3.602	1.304	0.573	0.003	0.257
0.1	1.892	1.671	-3.654	1.820	0.507	0.015	0.431
0.2	16.308	1.794	-3.841	3.580	0.448	-0.049	-0.657
0.5	0.798	1.856	-3.578	4.430	0.415	0.030	-3.068
1	19.684	1.903	-3.311	6.226	0.355	-0.108	3.121
1.5	9.278	1.996	-3.055	4.865	0.380	-0.049	-0.999
2	0.354	2.058	-2.851	3.371	0.425	-0.015	-0.736
3	-10.156	2.198	-2.329	0.129	0.808	0.009	0.193
4	-8.154	2.367	-2.410	1.346	0.569	-0.004	0.128
5	-9.921	2.447	-2.341	1.035	0.619	-0.004	0.660

ตารางที่ 5.12 ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนดิน เหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface)

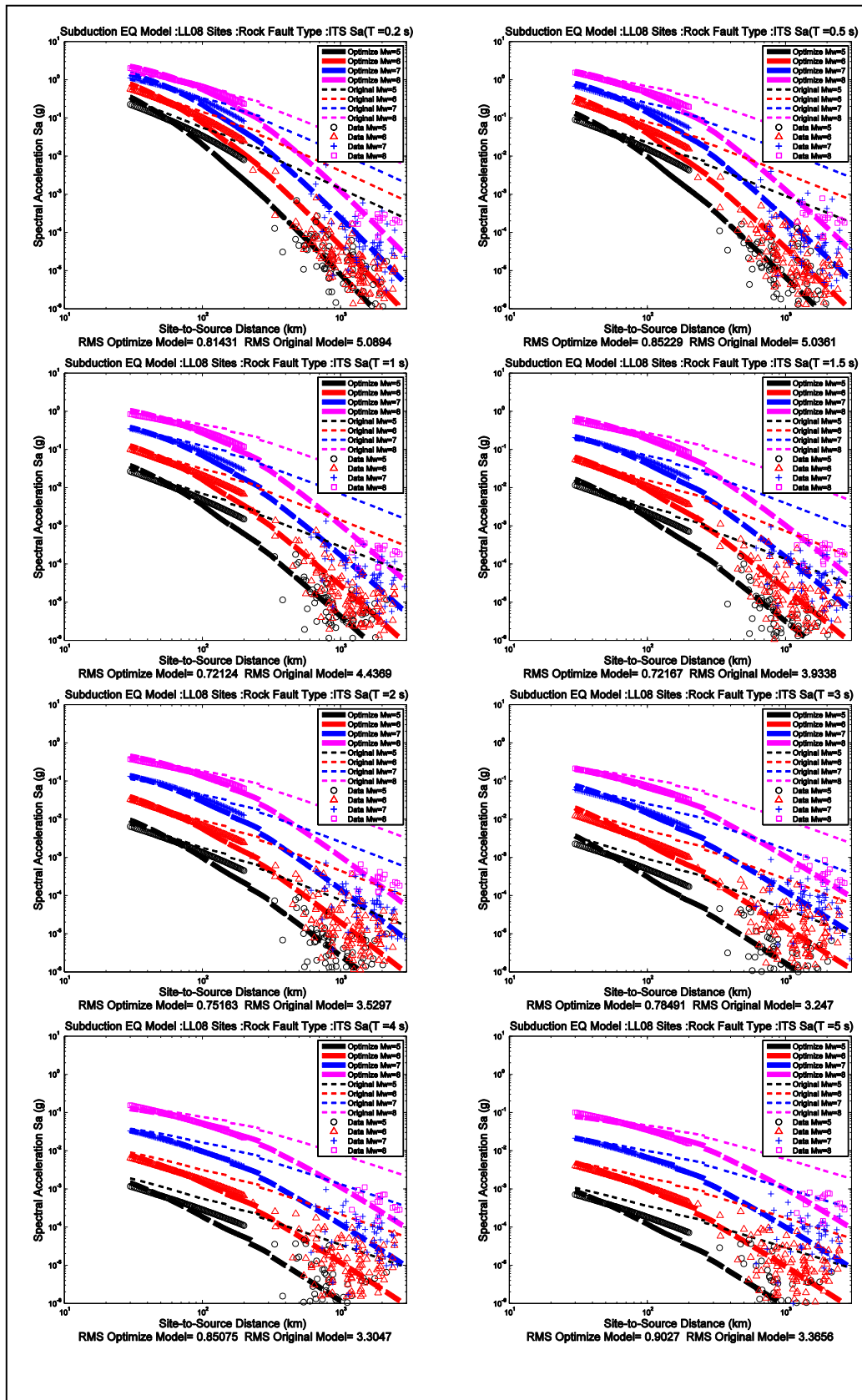
T (s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	2.568	1.538	-3.186	2.640	0.465	0.000	0.680
0.1	1.976	1.246	-2.742	0.011	1.031	-0.006	13.061
0.2	5.901	1.482	-3.533	8.182	0.321	-0.003	2.038
0.5	4.284	1.670	-3.581	10.441	0.301	0.008	0.272
1	-3.157	1.771	-3.283	14.428	0.254	0.098	16.446
1.5	1.072	1.834	-3.027	21.723	0.197	-0.033	-2.492
2	-0.071	1.876	-2.784	26.195	0.167	-0.051	-4.834
3	-7.527	2.034	-2.411	8.847	0.313	0.022	-0.482
4	-8.480	2.107	-2.217	7.730	0.326	0.001	0.148
5	-9.197	2.104	-2.095	3.985	0.370	-0.007	-0.924

ตารางที่ 5.13 ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนดิน เหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab)

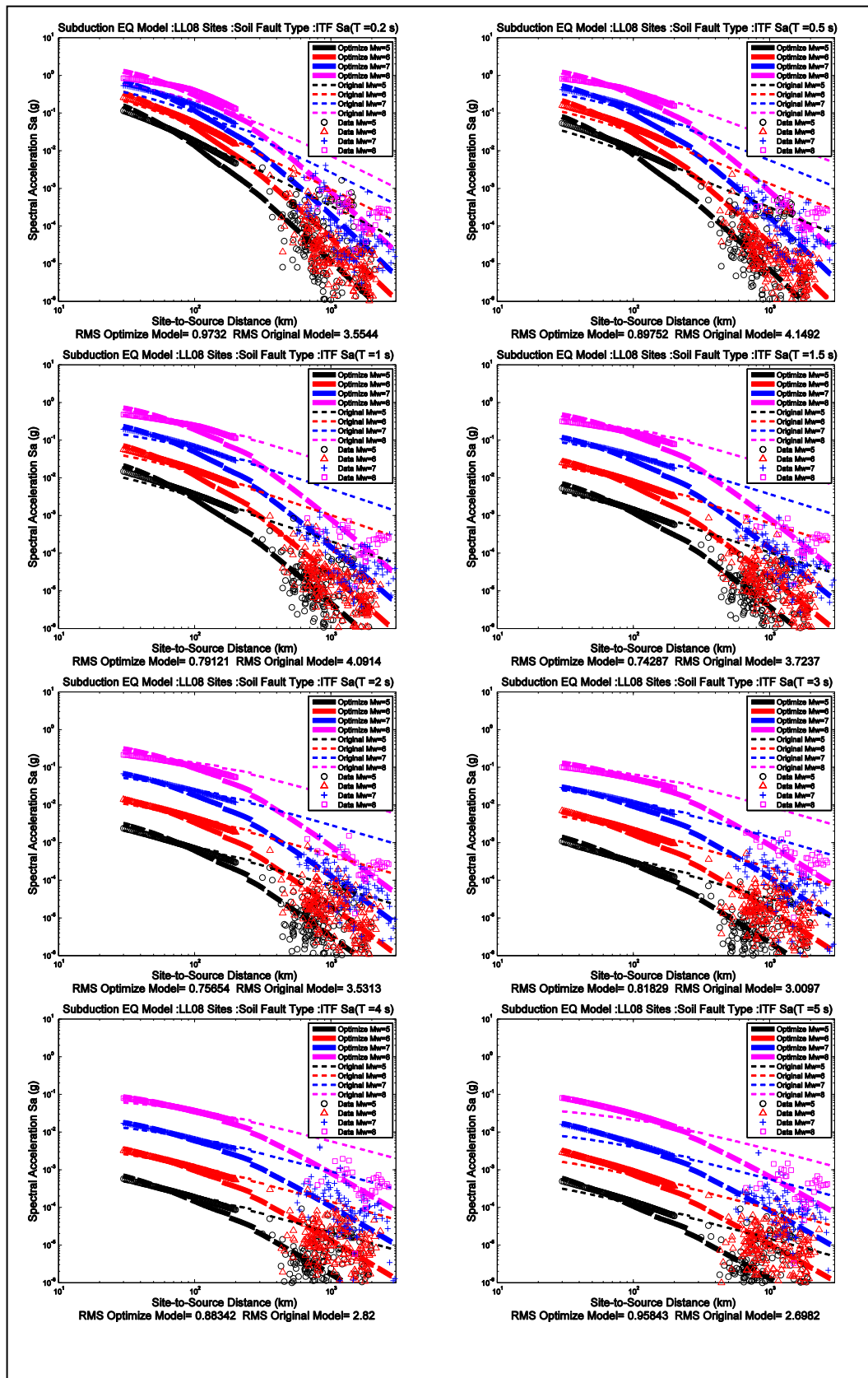
T (s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	2.925	1.624	-3.567	2.023	0.494	0.003	1.185
0.1	-0.178	1.013	-2.868	-2.433	-0.780	0.017	0.834
0.2	2.941	1.549	-3.699	2.846	0.437	0.008	1.956
0.5	2.557	1.695	-3.774	8.791	0.304	0.009	1.497
1	5.662	1.798	-3.467	13.182	0.239	0.004	-3.693
1.5	11.107	1.869	-3.239	22.161	0.165	-0.046	-1.204
2	12.533	1.918	-3.029	30.518	0.119	-0.069	0.176
3	-9.253	1.859	-2.047	2.837	-1.556	0.002	0.893
4	-7.251	2.168	-2.427	6.641	0.322	-0.002	0.264
5	-14.180	2.130	-2.242	3.879	0.373	0.026	0.391



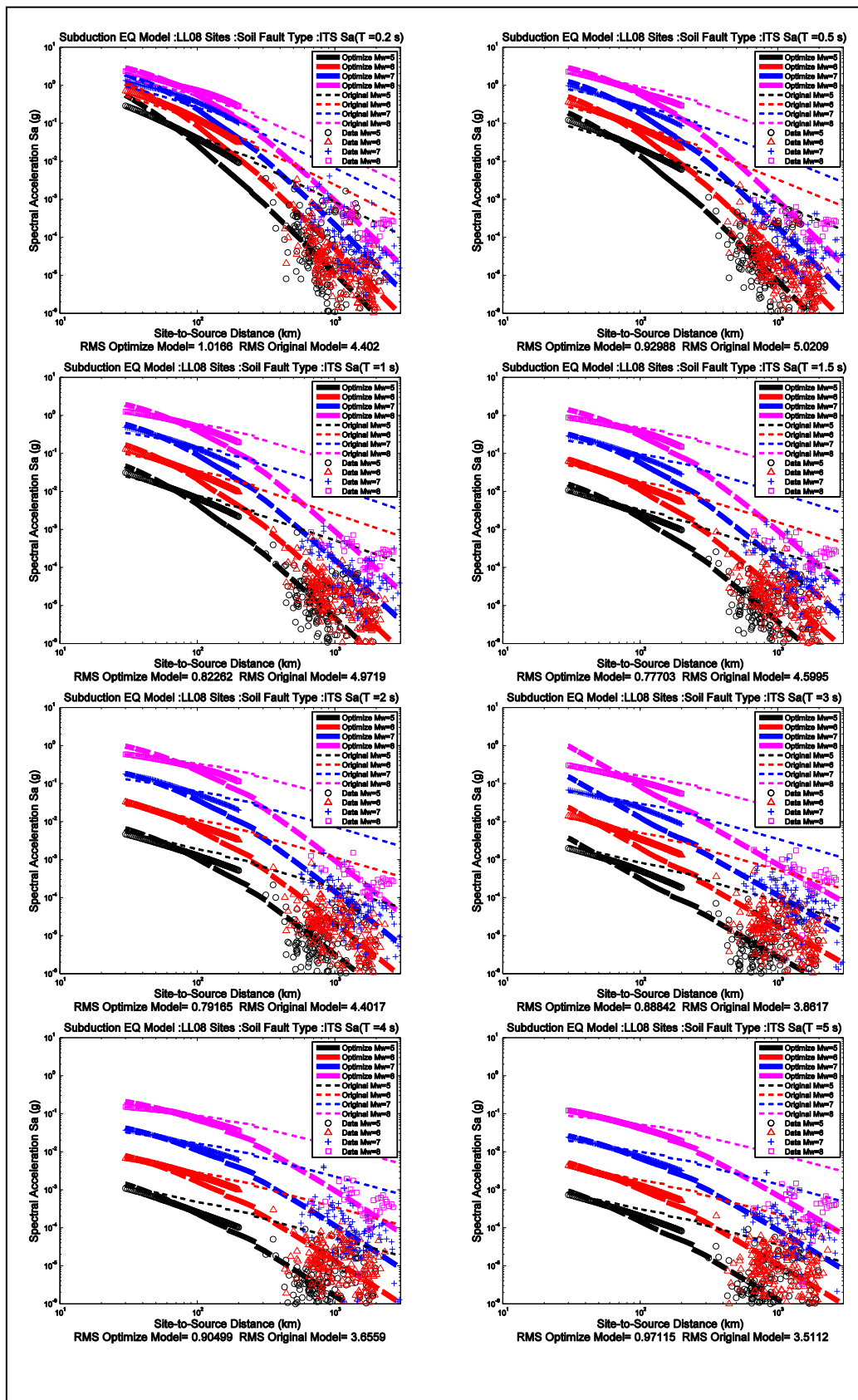
รูปที่ 5.30 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานที่ที่ตั้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ผิวสัมผัส



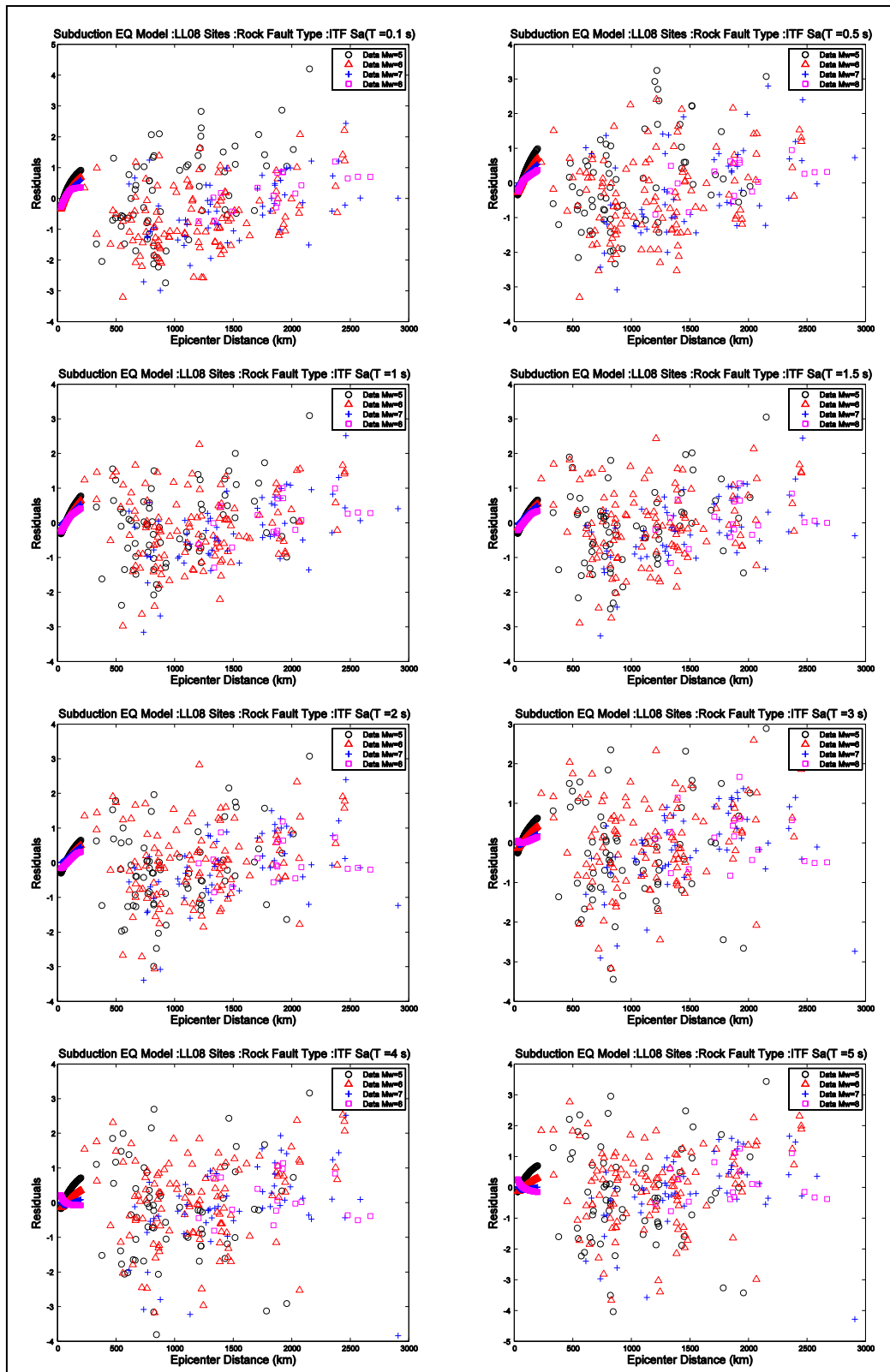
รูปที่ 5.31 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น



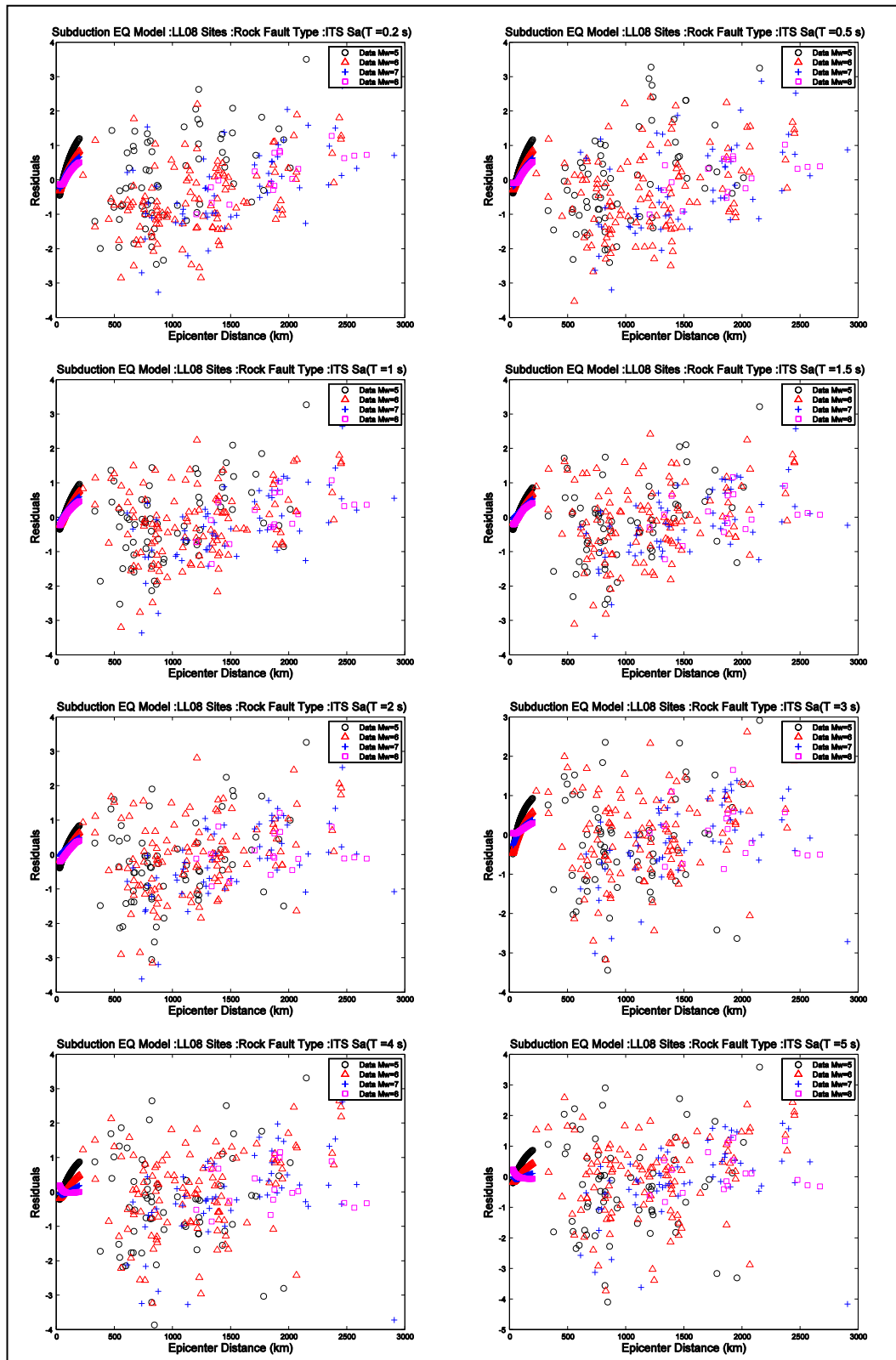
รูปที่ 5.32 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานที่ที่ตั้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์นิวซีแลนด์



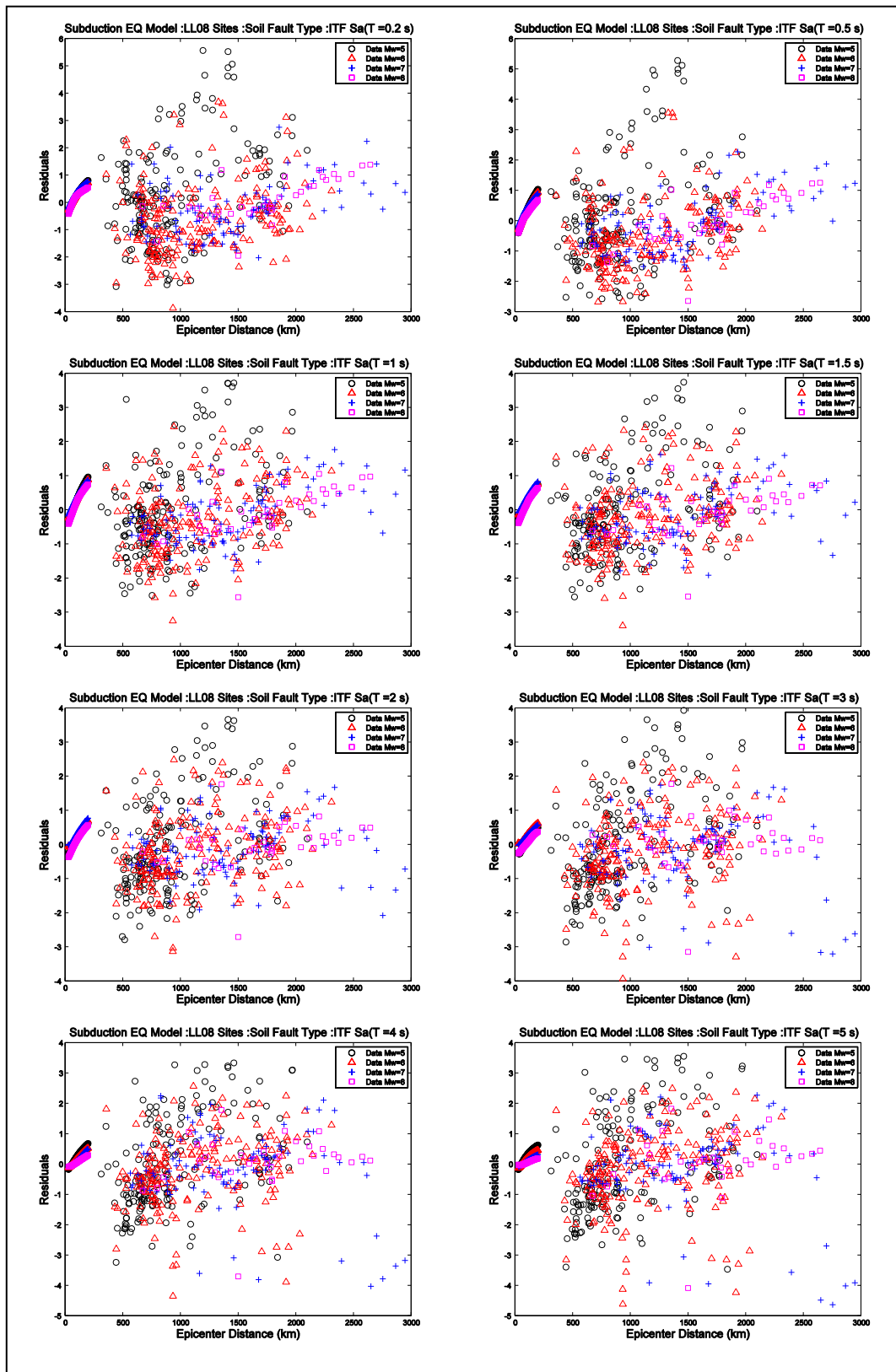
รูปที่ 5.33 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น



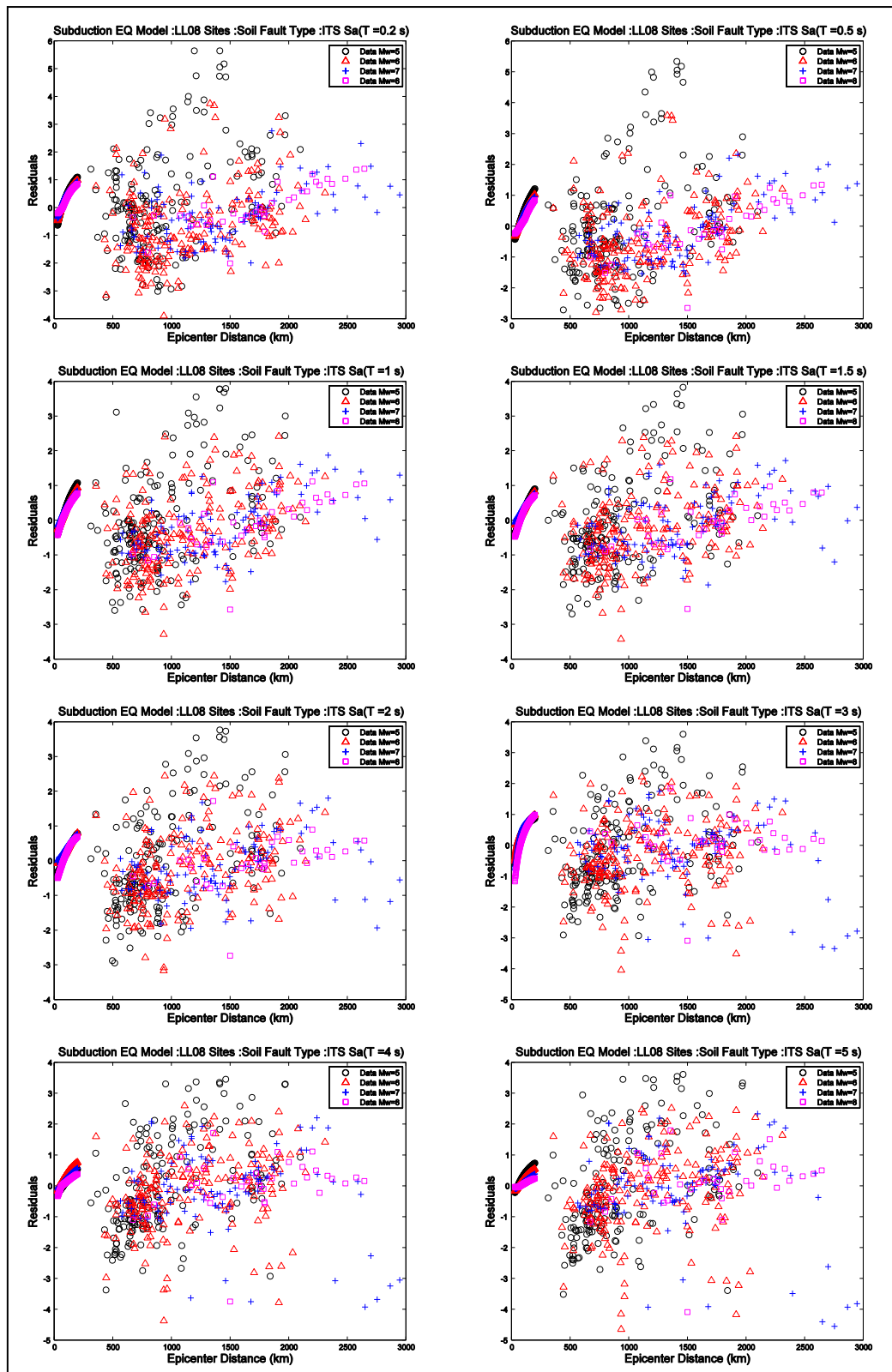
รูปที่ 5.34 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก
สถานที่ที่ต้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส



รูปที่ 5.35 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก
สถานที่ตั้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น



รูปที่ 5.36 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก
สถานที่ที่ต้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส



รูปที่ 5.37 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก
สถานที่ที่ตั้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น

5.2.3 รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร็วสูงสุดของพื้นดิน

การศึกษานี้เลือกพิจารณาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศทั้งหมด 3 สมการ ได้แก่ Akkar และ Bommer (2010) , Campbell (1997) สมการสำหรับบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง และสมการของ Kanno และคณะ (2006) สมการสำหรับบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังและสำหรับบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก

การศึกษานี้เลือกใช้ข้อมูลเสริมในระยะทางไกลๆ สำหรับบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังเลือกใช้ค่าเฉลี่ยของความเร็วสูงสุดของพื้นดิน ตั้งแต่ ระยะทางที่ 1 ถึง 100 กิโลเมตร สำหรับที่ระยะทางไกลๆ ใช้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยเพื่อพิจารณารูปแบบของสมการลดทอนของต่างประเทศ ที่มีค่าพารามิเตอร์สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทยและข้อมูลเสริมในระยะทางไกล

จากการประมาณค่าพารามิเตอร์เพื่อหารูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร็วสูงสุดของพื้นดินพบว่า รูปแบบสมการบริเวณการแปรสัณฐาน สมการของ Akkar และ Bommer (2010) มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทยที่ระยะทางไกล และมีความสอดคล้องกับข้อมูลจากค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศที่ช่วงระยะทางไกลแต่ให้ค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดินที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของสมการลดทอนของต่างประเทศที่ช่วงระยะทาง 50 ถึง 100 กิโลเมตร ทั้งสถานที่ตั้งบนหินและบนดิน แสดงดังรูปที่ 5.38 และ 5.39

รูปแบบสมการของ Campbell (1997) มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทยที่ระยะทางไกล และมีความสอดคล้องกับข้อมูลจากค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศที่ช่วงระยะทางไกลเฉพาะสถานที่ตั้งบนหิน รอยเลื่อนแนวระดับ นอกจากนั้นรูปแบบสมการยังไม่มีมีความสอดคล้องกับข้อมูลระยะทางไกลและระยะทางไกลเท่าที่ควร สำหรับสถานที่ตั้งบนหิน รอยเลื่อนย้อน และสถานที่ตั้งบนดิน ทั้งรอยเลื่อนแนวระดับและรอยเลื่อนย้อน แสดงดังรูปที่ 5.40 ถึง 5.43

รูปแบบสมการของ Kanno และคณะ (2006) สำหรับที่ตั้งสถานีนบนหินและบนดิน สมการการประมาณค่าได้ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศที่ช่วงระยะทางไกลที่ขนาดโมเมนต์ 5 และ 6 ที่ระยะทาง 1 ถึง 100 กิโลเมตร ที่ขนาดโมเมนต์ 7 ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศ และที่ขนาดโมเมนต์ 8 ให้ค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศ แสดงดังรูปที่ 5.40 ถึง 5.43

รูปแบบสมการลดทอนที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร็วสูงสุดของพื้นดินทั้งสถานที่ตั้งบนหินและบนดิน ได้แก่ รูปแบบสมการของ Akkar และ Bommer (2010) สมการที่ 5.8 โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ตั้งบนหินและบนดินได้แก่ ตารางที่ 5.14 และ 5.15

$$\log(PGV) = c_1 + c_2 M_w - c_3 M_w^2 + (c_4 - c_5 M_w) \log \sqrt{R_{jb}^2 + c_6^2} + c_7 S_s + c_8 S_A - c_9 F_N + c_{10} F_R \quad (5.8)$$

โดย

PGV = ความเร็ว (เซนติเมตร/วินาที)

M_w = ขนาดโมเมนต์

R_{jb} = ระยะทางในแนวราบที่สั้นที่สุดถึงบริเวณภาพฉายบนผิวดินของระนาบ
แตกร้าว (Joyner-Boore distance) (กิโลเมตร)

S_s = 1 สำหรับที่ตั้งชั้นดินอ่อน และ 0 สำหรับที่ตั้งแบบอื่น ($V_{s30} < 360$)

S_A = 1 สำหรับที่ตั้งชั้นดินแข็ง และ 0 สำหรับที่ตั้งแบบอื่น ($360 < V_{s30} \leq 760$)

F_N = 1 สำหรับการเลื่อนแบบปกติ (normal slip) และ 0 สำหรับการเลื่อนแบบอื่น

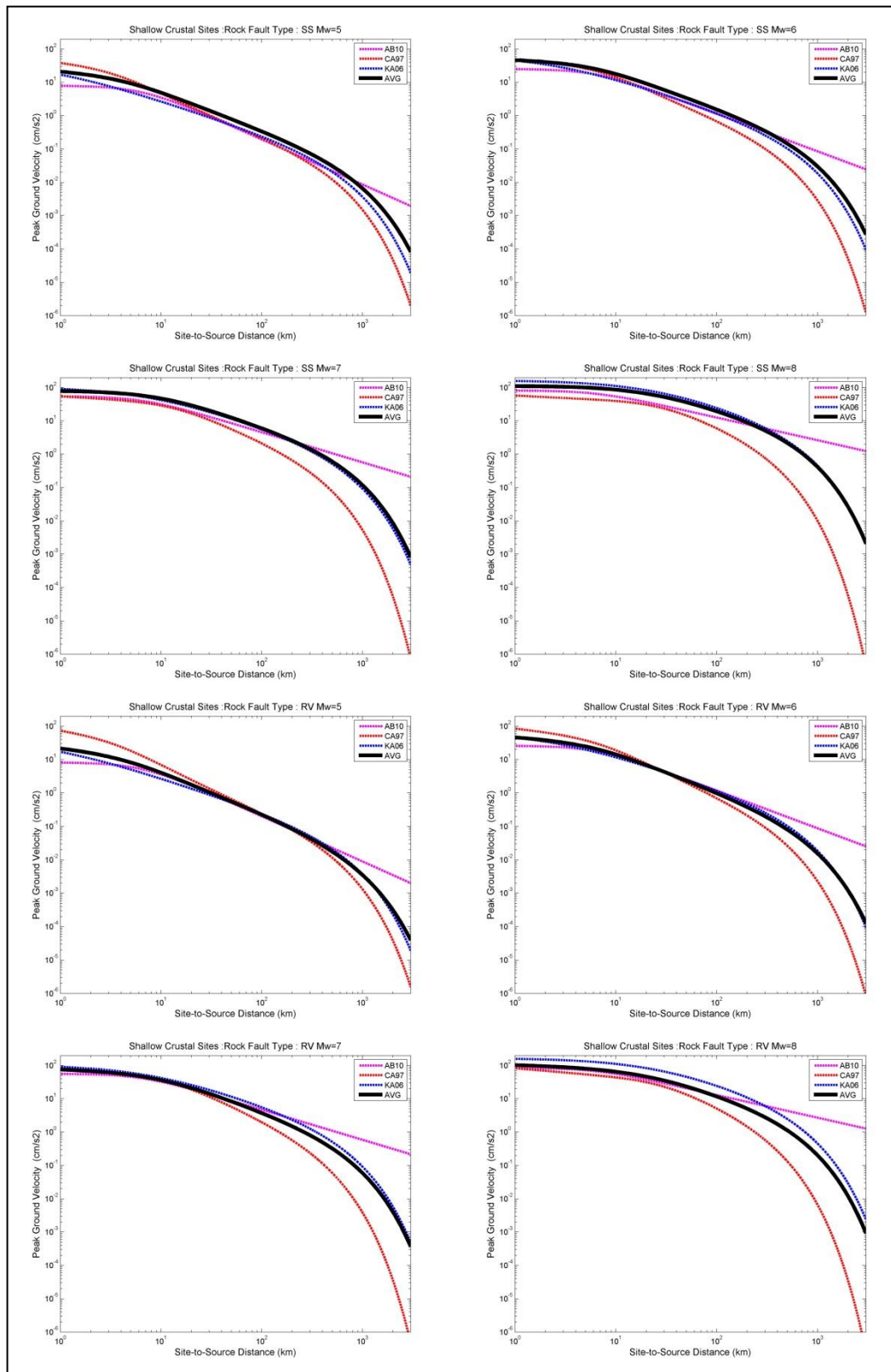
F_R = 1 สำหรับการเลื่อนแบบย้อน (reverse) และ 0 สำหรับการเลื่อนแบบอื่น

ตารางที่ 5.14 ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Akkar และ Bommer (2010) ที่เหมาะสมสำหรับ
ข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานที่ตั้งบนหิน

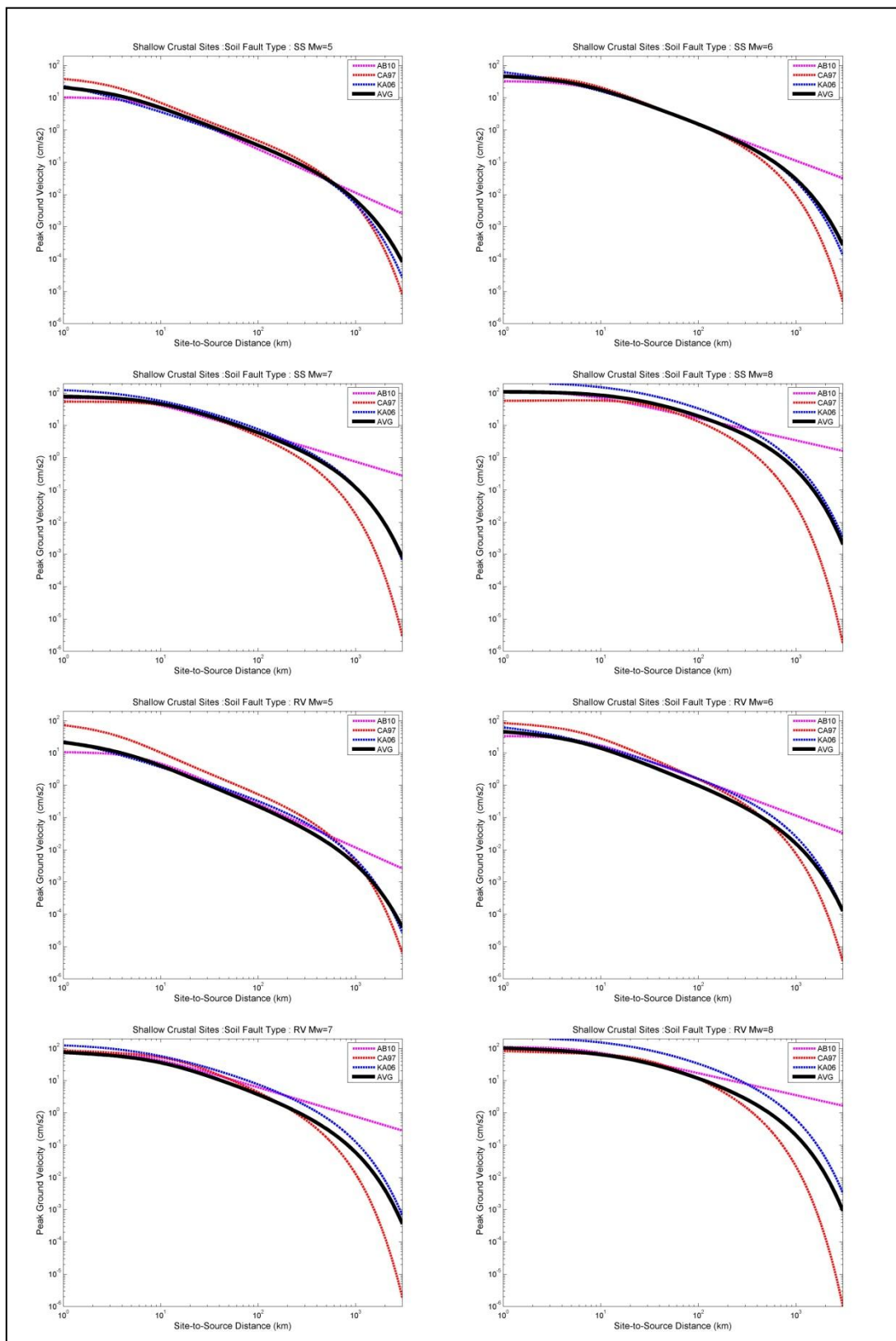
Parameters	SS	RV
c1	4.473	4.597
c2	0.755	0.756
c3	-0.068	-0.067
c4	-4.180	-4.170
c5	0.378	0.377
c6	12.072	10.842
c7	2.939	0.580
c8	-0.125	0.117
c9	0.288	-0.512
c10	-0.017	-0.147

ตารางที่ 5.15 ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Akkar และ Bommer (2010) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานที่ตั้งบนดิน

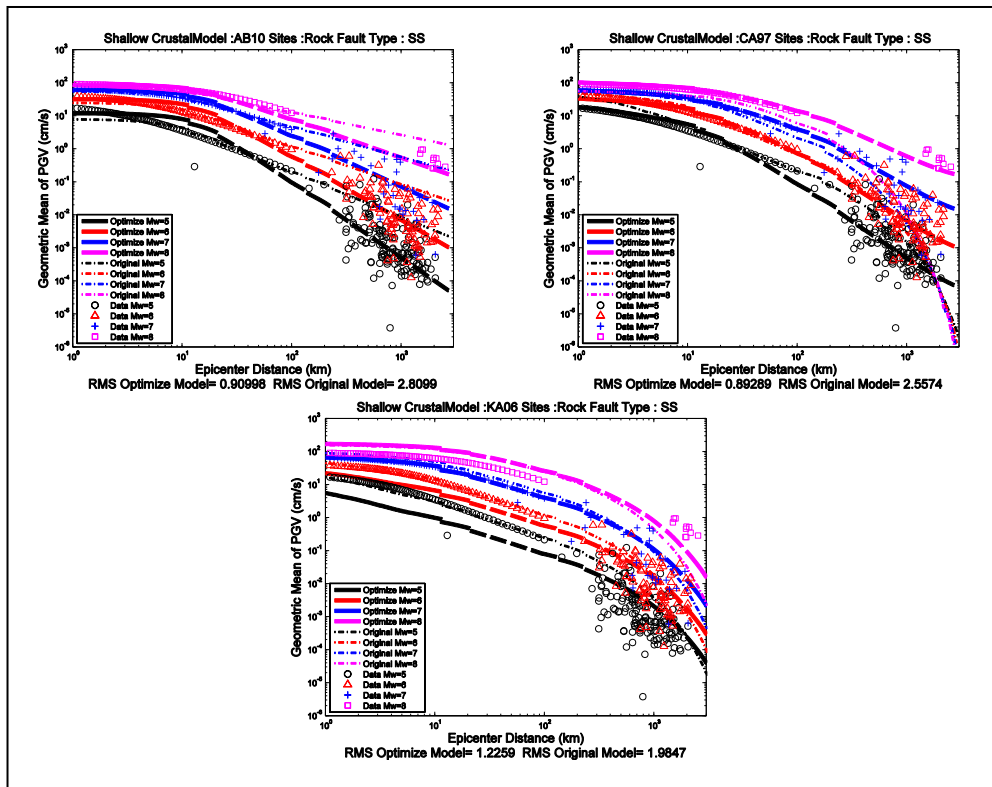
Parameters	SS	RV
c1	3.415	3.083
c2	0.857	0.899
c3	-0.072	-0.073
c4	-4.089	-3.909
c5	0.371	0.358
c6	9.106	7.011
c7	0.466	0.242
c8	0.775	0.050
c9	-0.641	-0.115
c10	-0.156	0.024



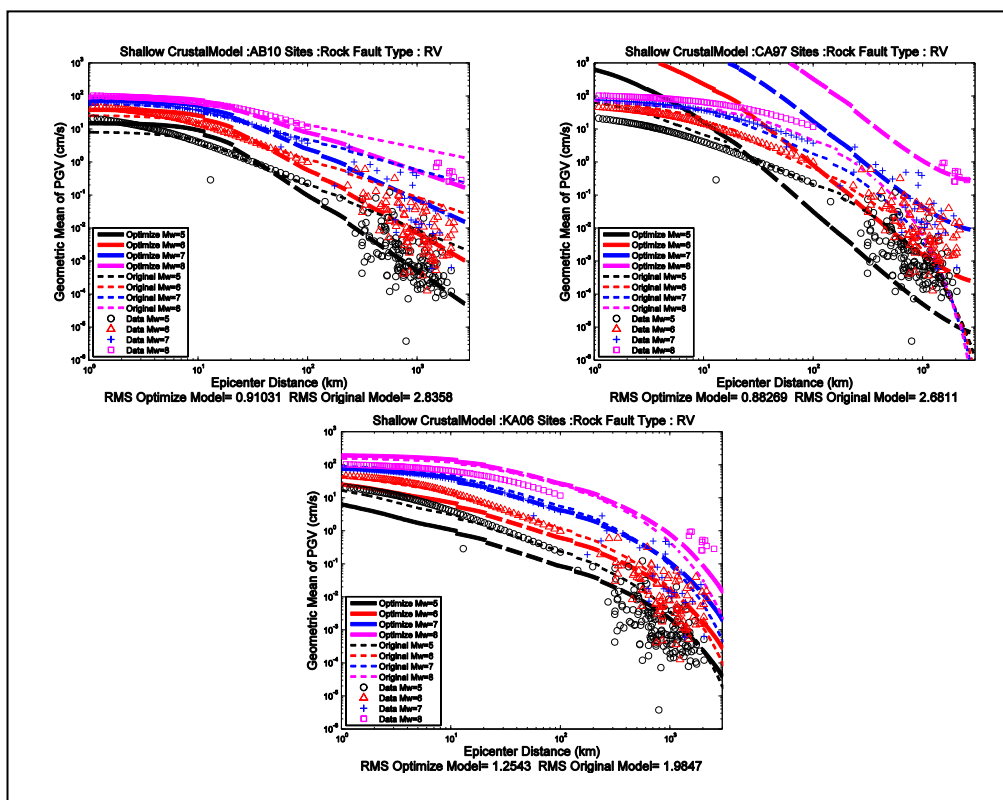
รูปที่ 5.38 กราฟเปรียบเทียบผลการลดทอนของต่างประเทศสำหรับประมาณค่าความเร็วสูงสุดของ
พื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานที่ที่ตั้งบนหิน



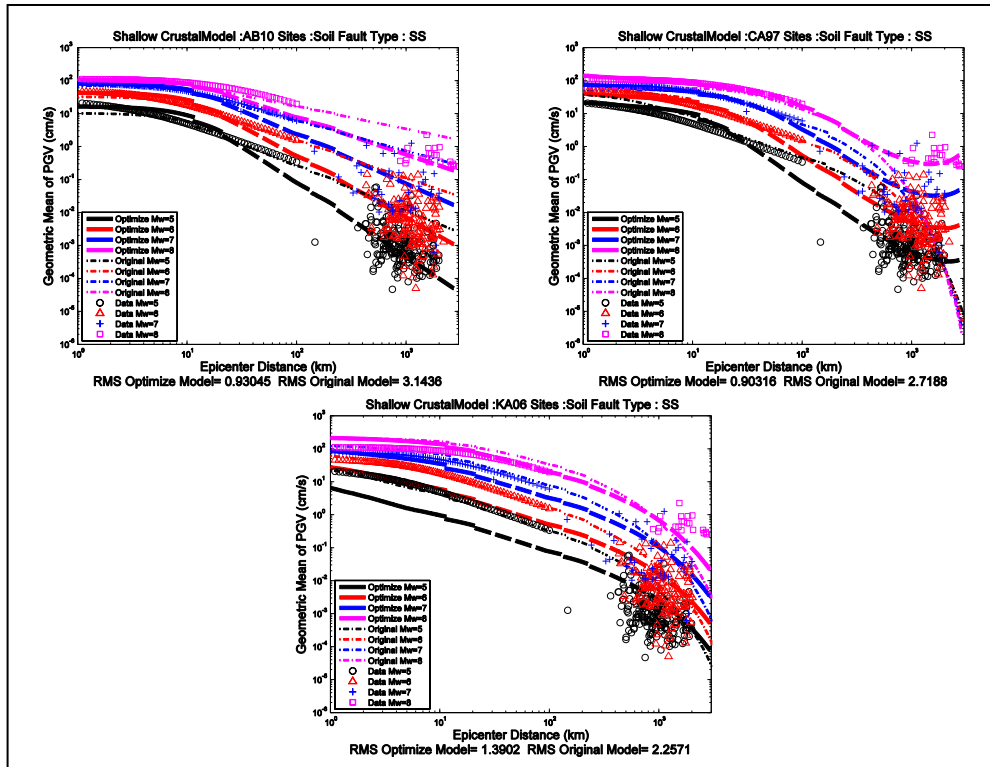
รูปที่ 5.39 กราฟเปรียบเทียบผลการลดทอนของต่างประเทศสำหรับประมาณค่าความเร็วสูงสุดของ
พื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานที่ที่ตั้งบนดิน



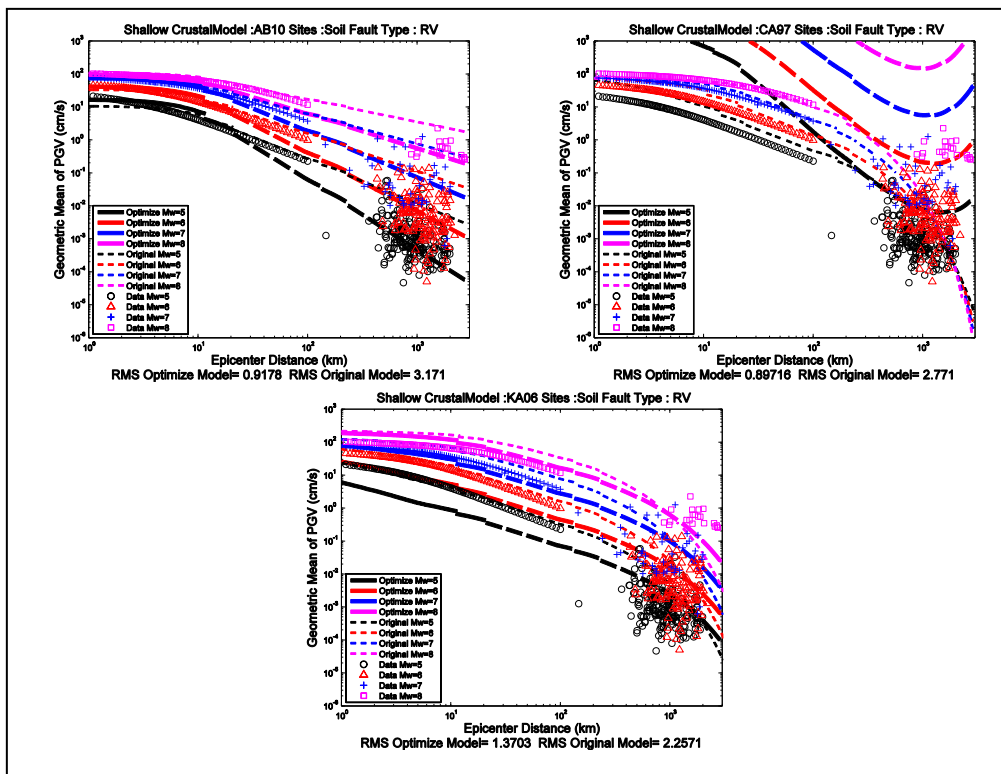
รูปที่ 5.40 กราฟการลดทอนของความเร็วสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังสถานี
ที่ตั้งบนหิน รอยเลื่อนแนวระดับ



รูปที่ 5.41 กราฟการลดทอนของความเร็วสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังสถานี
ที่ตั้งบนหิน รอยเลื่อนย้อน



รูปที่ 5.42 กราฟการลดทอนของความเร็วสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังสถานีที่ตั้งบนดิน รอยเลื่อนแนวระดับ



รูปที่ 5.43 กราฟการลดทอนของความเร็วสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังสถานีที่ตั้งบนดิน รอยเลื่อนย้อน

5.2.4 สมการลดทอนสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน

การศึกษานี้พิจารณาหารูปแบบสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดินที่มีค่าพารามิเตอร์สอดคล้องเฉพาะกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทยในระยะทางไกล เนื่องจากยังไม่มีสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดินเพียงพอต่อการนำมาเป็นข้อมูลเสริมในช่วงระยะทางไกล

การสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดินนั้นใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุนาม (multiple regression analysis) สำหรับการลดทอนการกระจัดสูงสุดของพื้นดินตามระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดและขนาดโมเมนต์ โดยพิจารณารูปแบบสมการอย่างง่ายดังสมการที่ 5.9

$$\ln(PGD) = C_0 + C_1 \ln(Dis) + C_2 \ln(M_w) \quad (5.9)$$

โดย

PGD = การกระจัดสูงสุดของพื้นดิน (เซนติเมตร)

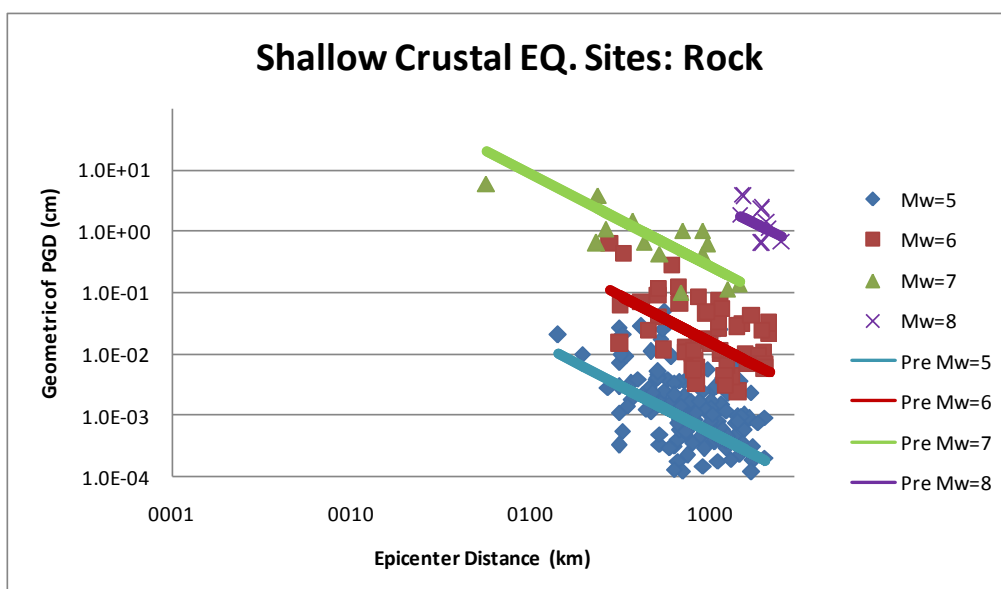
Dis = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด (กิโลเมตร)

M_w = ขนาดโมเมนต์

ผลการวิเคราะห์รูปแบบสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว และกราฟการลดทอนสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดินบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังบนที่ตั้งหินและที่ตั้งดิน แสดงดังตารางที่ 5.16, 5.17 และรูปที่ 5.44, 5.45 สำหรับบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลกบนที่ตั้งหินและที่ตั้งดิน แสดงดังตารางที่ 5.18, 5.19 และรูปที่ 5.46, 5.47

ตารางที่ 5.16 ผลการวิเคราะห์สมการลดทอนสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังบนที่ตั้งหิน

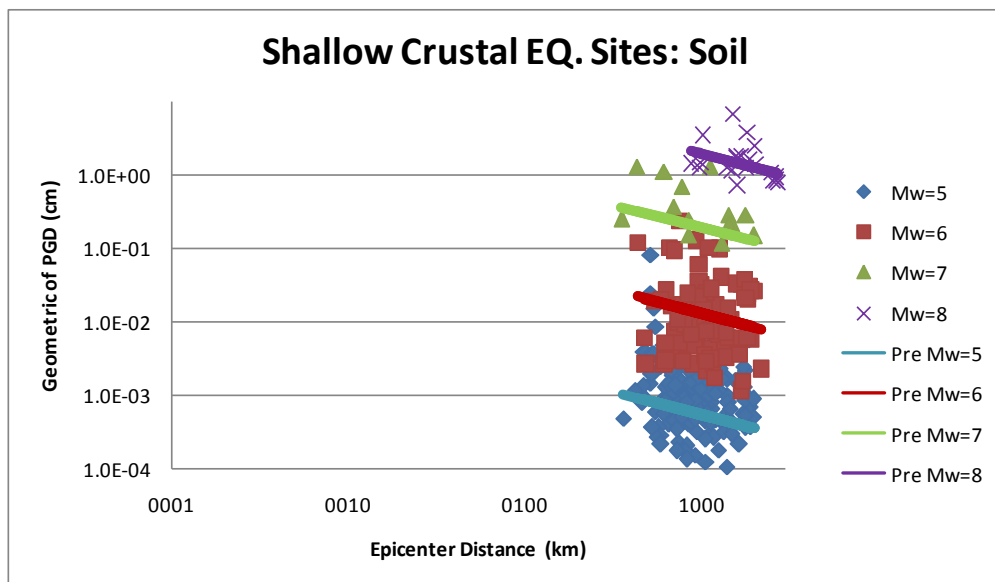
Model 1: OLS, using observations 1-202				
Dependent variable: ln_PGD_				
	coefficient	std. error	t-ratio	p-value
const	-26.90526	1.197657964	-22.4649	1.76E-56
ln_Dis_	-1.497374	0.131498915	-11.38697	1.86E-23
ln_Mw_	18.47815	0.61463701	30.06351	6.33E-76
Mean dependent var -5.105708 S.D. dependent var 2.530371				
Sum squared resid 229.07 S.E. of regression 1.072896				
R-squared 0.822007 Adjusted R-square 0.820218				



รูปที่ 5.44 กราฟการลดทอนของการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานที่ที่ตั้งบนหิน

ตารางที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์สมการลดทอนสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังบนที่ตั้งดิน

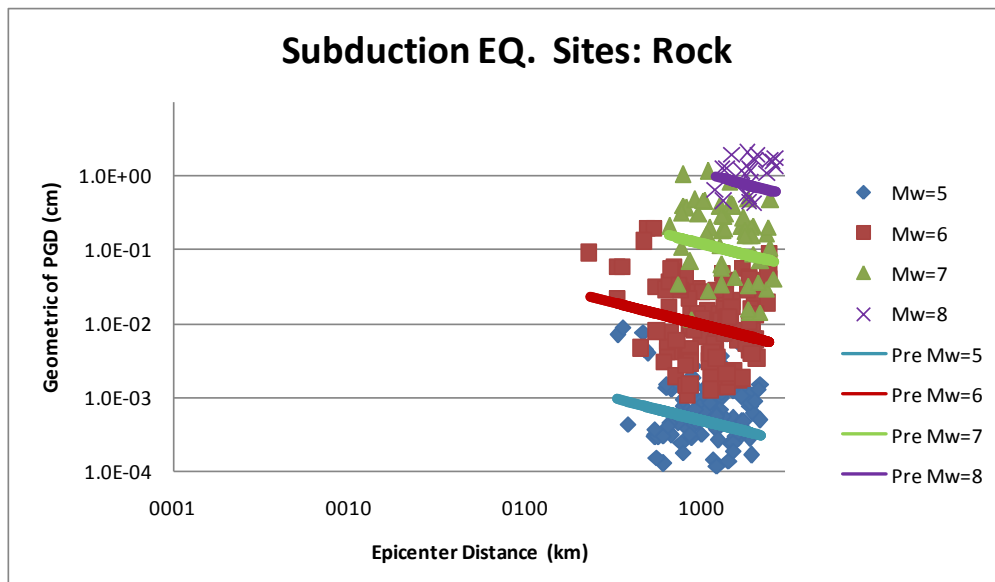
Model 1: OLS, using observations 1-302				
Dependent variable: ln_PGD_				
	coefficient	std. error	t-ratio	p-value
const	-31.24137	1.063761007	-29.36879	4.16E-90
ln_Dis_	-0.630004	0.148355398	-4.246589	2.90E-05
ln_Mw_	17.45094	0.469484675	37.17042	4.08E-114
Mean dependent var -5.327551 S.D. dependent var 2.402377				
Sum squared resid	293.73	S.E. of regression	0.991148	
R-squared	0.830917	Adjusted R-squared	0.829786	
F(2, 299)	734.6818	P-value(F)	3.99E-116	



รูปที่ 5.45 กราฟการลดทอนของการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานที่ที่ตั้งบนดิน

ตารางที่ 5.18 ผลการวิเคราะห์สมการลดทอนสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลกบนที่ตั้งหิน

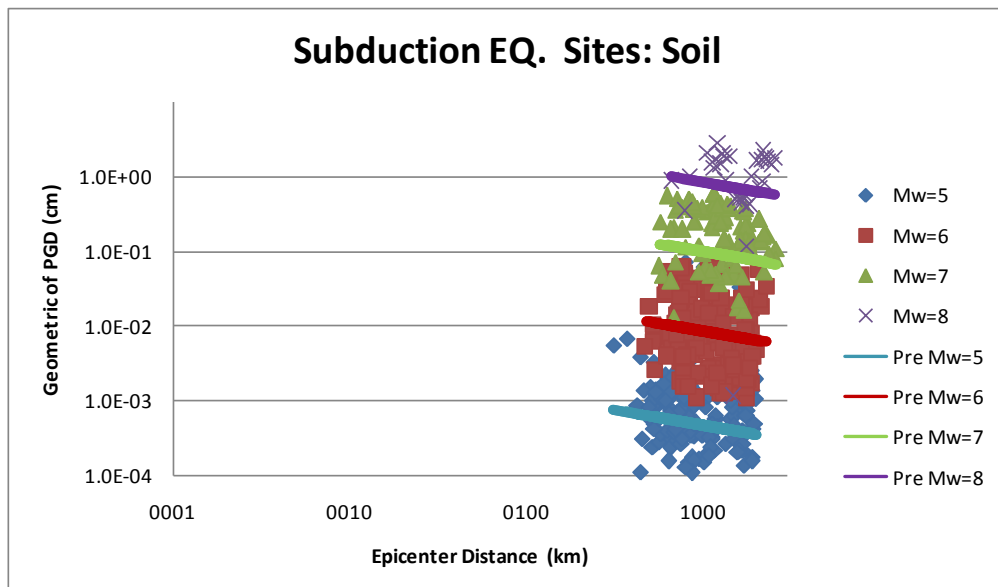
Model 1: OLS, using observations 1-294				
Dependent variable: ln_PGD_				
	coefficient	std. error	t-ratio	p-value
const	-29.91871	1.049494812	-28.50773	3.15E-86
ln_Dis_	-0.594211	0.145034057	-4.097043	5.43E-05
ln_Mw_	16.39309	0.459172802	35.70136	2.43E-108
Mean dependent var	-4.60684	S.D. dependent var	2.517287	
Sum squared resid	323.8016	S.E. of regression	1.054856	
R-squared	0.8256	Adjusted R-squared	0.824402	
F(2, 291)	688.7903	P-value(F)	4.41E-111	



รูปที่ 5.46 กราฟการลดทอนของการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานที่ตั้งบนหิน

ตารางที่ 5.19 ผลการวิเคราะห์สมการลดทอนสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลกบนที่ตั้งดิน

Model 1: OLS, using observations 1-475				
Dependent variable: ln_PGD_				
	coefficient	std. error	t-ratio	p-value
const	-30.50558	0.785263191	-38.84758	4.00E-149
ln_Dis_	-0.408343	0.114155415	-3.577084	0.000383
ln_Mw_	15.93977	0.331375191	48.10188	4.44E-184
Mean dependent var -4.753669 S.D. dependent var 2.477775				
Sum squared resid 448.3842 S.E. of regression 0.974662				
R-squared 0.845919 Adjusted R-square 0.845266				
F(2, 472) 1295.665 P-value(F) 2.04E-192				



รูปที่ 5.47 กราฟการลดทอนของการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานที่ที่ตั้งบนดิน

บทที่ 6

การสร้างฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ

6.1 บทนำ

สืบเนื่องจากกฎกระทรวงมหาดไทยโดยกรมโยธาธิการและผังเมืองว่าด้วยการกำหนดการรับน้ำหนักความต้านทานความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ได้กำหนดให้วิศวกรต้องทำการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอที่อยู่ใกล้รอยเลื่อนหรือที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ภายใต้ผลกระทบจากแผ่นดินไหวให้มีความสมจริงโดยใช้วิธีเชิงพลศาสตร์ ซึ่งในกรณีที่วิศวกรต้องการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์แบบประวัติเวลา วิศวกรจำเป็นต้องใช้ข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดินเนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหว แต่ทว่าในปัจจุบันวิศวกรในประเทศไทยยังไม่มีฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่สามารถนำไปใช้ได้โดยสะดวก จึงสมควรที่จะมีการจัดทำฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างอาคารในประเทศไทย งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อจัดเตรียมฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวให้วิศวกรสามารถนำไปใช้กระทำต่อโครงสร้างและวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์แบบประวัติเวลา โดยคัดเลือกข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวในรูปของอัตราเร่งของพื้นดินจากฐานข้อมูลของ Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) ที่สอดคล้องกับสถานการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยและทำการคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวตามวิธีการที่กำหนดในมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยพ.1302-52) ให้มีความรุนแรงตามระดับความเสี่ยงที่กำหนดในมาตรฐาน โดยมีข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดินทั้งสองทิศทางในแนวราบสำหรับพื้นที่อำเภอเมืองของจังหวัดต่างๆ ในภาคเหนือ กาญจนบุรี และกรุงเทพมหานคร ที่จำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบของแผ่นดินไหวตามข้อบังคับของกฎกระทรวงเพื่อให้วิศวกรสามารถนำไปใช้ได้โดยสะดวก

6.2 วัตถุประสงค์

- 6.2.1 เพื่อจัดเตรียมฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวสามารถนำไปใช้กระทำต่อโครงสร้างและวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์แบบประวัติเวลาในการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว

6.3 ระเบียบวิธีวิจัย

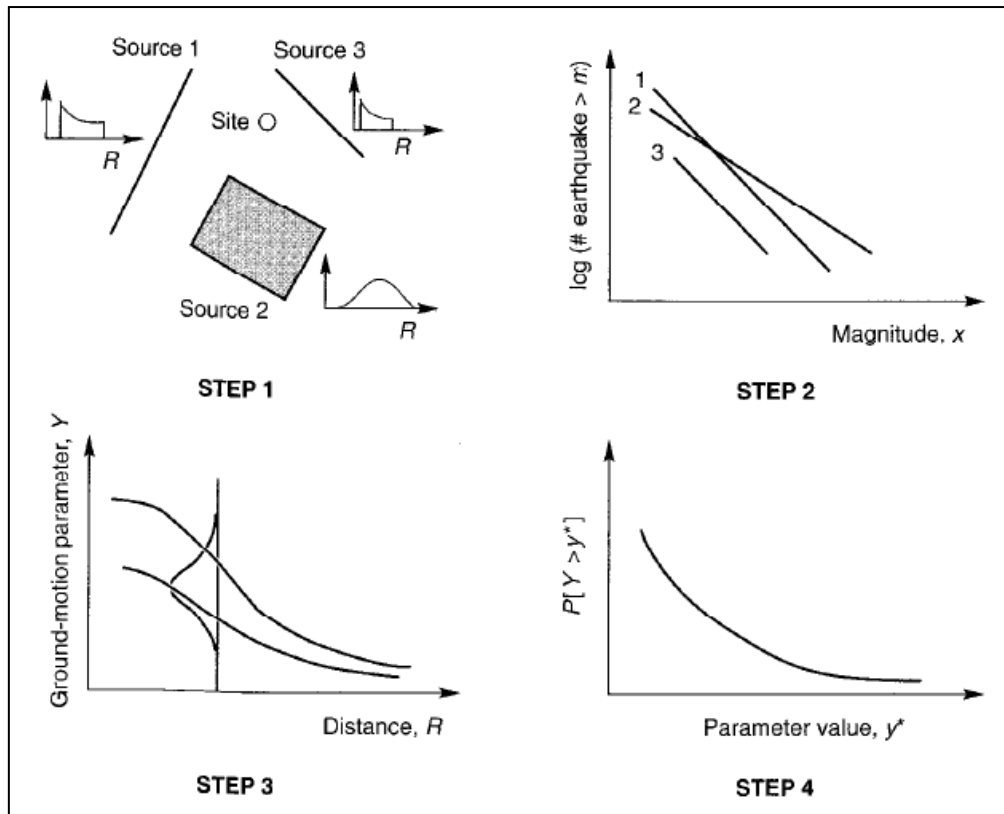
- 6.3.1 ทำการศึกษารายงานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวและบททวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือก และคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบอาคาร
- 6.3.2 รวบรวมและคัดกรองข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในบริเวณใกล้เคียงกับประเทศไทยและแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระยะไกลที่สามารถใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ทั้งข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว ความเร็ว และอัตราเร่งของพื้นดินที่บันทึกได้จากสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว เนื่องจากข้อมูลแผ่นดินไหวที่รวบรวมได้ในประเทศไทยยังไม่ครอบคลุมและเหมาะสมที่จะนำมาใช้จึงได้มีการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวจากต่างประเทศ

- 6.3.3 รวบรวมข้อมูลการศึกษาความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทย เช่น ข้อมูลที่ใช้สร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย เพื่อกำหนดลักษณะสถานการณ์แผ่นดินไหวที่มีผลกระทบในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นดินไหวและระยะห่างจากจุดกำเนิด
- 6.3.4 คัดเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลอัตราเร่งของคลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับสถานการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละพื้นที่ เช่น ในจังหวัดต่างๆ ที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว
- 6.3.5 ทำการคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวให้มีความรุนแรงตามระดับความเสี่ยงที่กำหนดในมาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อให้วิศวกรสามารถนำไปกระทำต่อโครงสร้างอาคารในการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยพ. 1302-52) โดยมีทั้ง 2 ทิศทางในแนวนอน
- 6.3.6 จัดทำฐานข้อมูลของคลื่นแผ่นดินไหวที่คูณปรับค่าให้เหมาะสมที่จะใช้วิเคราะห์และออกแบบอาคาร

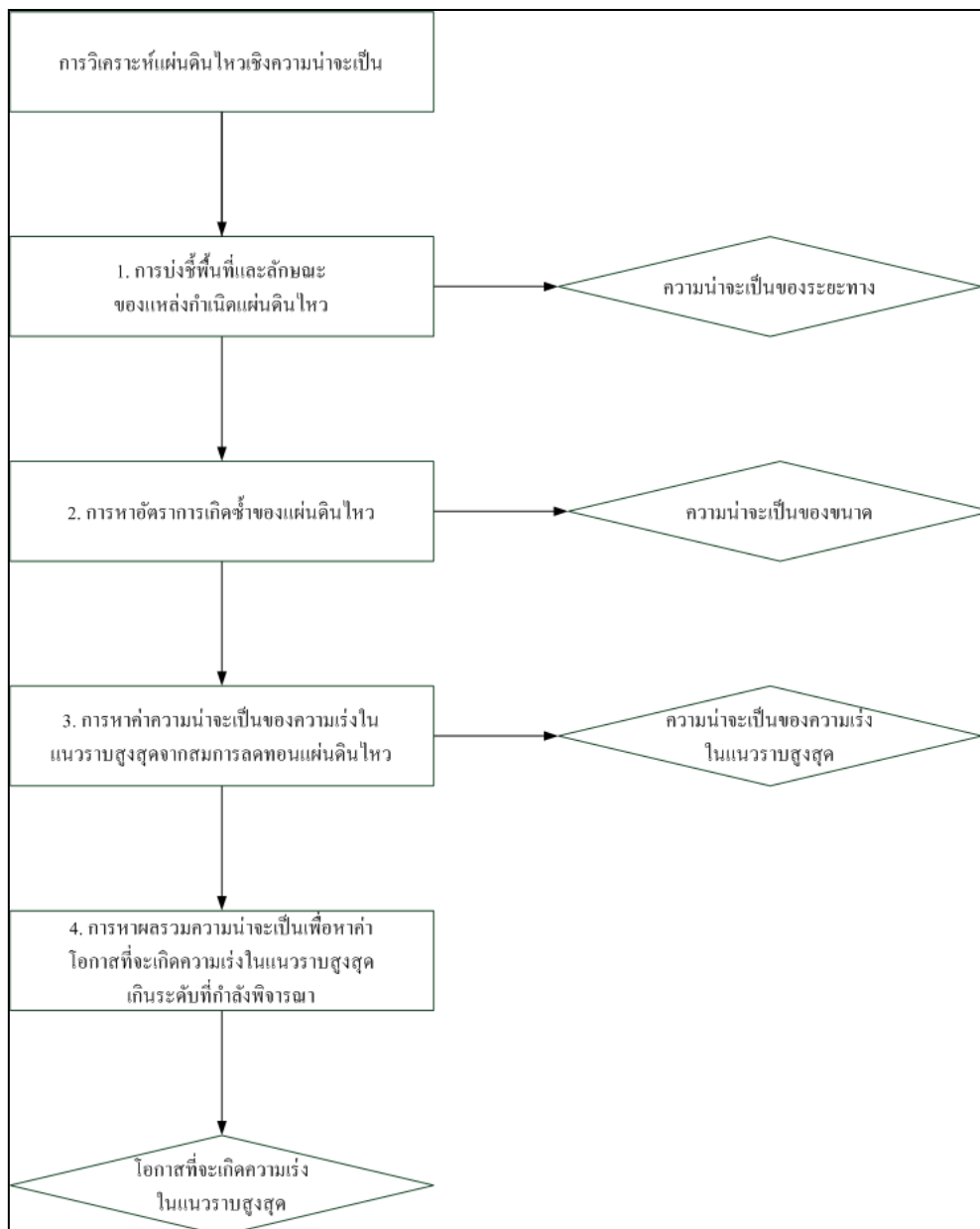
6.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

6.4.1 การวิเคราะห์ภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น

การวิเคราะห์ภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีความน่าจะเป็น (probabilistic seismic hazard analysis) เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาโดย Cornell (1968) และ Algermissen และคณะ (1982) วิธีการวิเคราะห์สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน (Kramer, 1996) ได้แสดงในรูปที่ 6.1 และ 6.2 โดยมีขั้นตอนดังนี้ 1) การบ่งชี้พื้นที่และลักษณะของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 2) การหาอัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว 3) การหาค่าความน่าจะเป็นของความเร่งในแนวนอนสูงสุดจากสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว และ 4) การรวมผลของความน่าจะเป็นเพื่อหาค่าโอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวนอนสูงสุด จากวิธีดังกล่าวสามารถนำมาวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในประเทศไทยได้โดยหาระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดขึ้น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี หรือรอบของการเกิดประมาณ 2475 ปี



รูปที่ 6.1 การวิเคราะห์ภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีความน่าจะเป็นทั้ง 4 ขั้นตอน (Kramer, 1996)

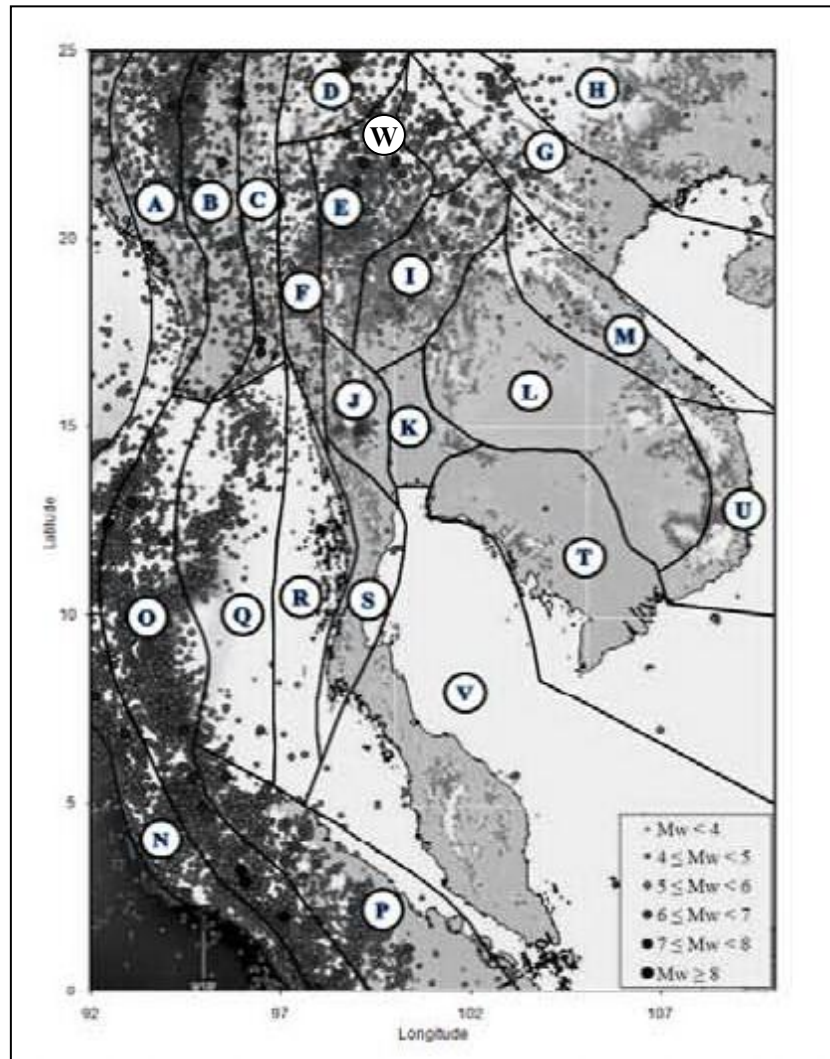


รูปที่ 6.2 การหาโอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุดตามขั้นตอนการวิเคราะห์แผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น

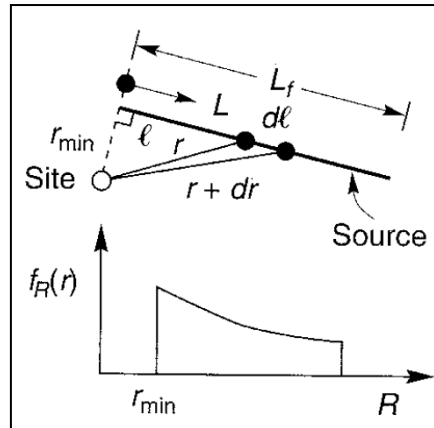
6.4.1.1 การบ่งชี้พื้นที่และลักษณะของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว

การบ่งชี้พื้นที่ลักษณะของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (earthquake source characterization) จะต้องมีการเตรียมข้อมูลแผ่นดินไหวประกอบด้วย ขนาด ความถี่ของการเกิด และพิกัด เมื่อได้รวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวครบถ้วนให้ทำการแบ่งแยกข้อมูลแผ่นดินไหวออกในแต่ละโซนของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวและจำแนกข้อมูลแผ่นดินไหว เพื่อใช้ในการหาค่าความน่าจะเป็นของระยะทางจากที่ตั้งอาคารที่กำลังพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว จากการพิจารณาระยะทางถึงตำแหน่งต่าง ๆ ในพื้นที่แหล่งกำเนิดได้ผลการวิเคราะห์อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function, PDF) ของระยะทางในแต่ละโซนที่มีอิทธิพลต่อตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร จากรูปที่ 6.1

ได้แสดงแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวชนิดรอยเลื่อน (Source 1 และ Source 3) และแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวชนิดพื้นที่ (Source 2) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวชนิดพื้นที่เท่านั้นโดยไม่ได้คำนึงถึงแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวชนิดรอยเลื่อนซึ่งพิจารณาแหล่งกำเนิด 17 พื้นที่ ได้แก่ A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, M, N, O, P, Q, R และ W แสดงดังรูปที่ 6.3 ตามการศึกษาของ Palasri และ Ruangrassamee (2010)



รูปที่ 6.3 แผนที่เขตกำเนิดแผ่นดินไหว (seismic source zones) ในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Saithong และคณะ, 2004)



รูปที่ 6.4 การหาค่าความน่าจะเป็นของระยะทางจากสถานีวัดถึงแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว
(Kramer, 1996)

จากรูปที่ 6.4 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวในแหล่งกำเนิดช่วง l ถึง $l+dl$ จะมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นที่ระยะ r ถึง $r+dr$

$$f_L(l)dl = f_R(r)dr \quad (6.1)$$

$$f_R(r) = f_L(l) \frac{dl}{dr} \quad (6.2)$$

$$l^2 = r^2 - r_{\min}^2 \quad (6.3)$$

$$f_R(r) = \frac{r}{L_f \sqrt{r^2 - r_{\min}^2}} \quad (6.4)$$

เมื่อ

$f_L(l)$ = ความน่าจะเป็นของระยะทางจากจุดที่เกิดแผ่นดินไหวถึงจุดบนแหล่งกำเนิดที่ไกลสถานีวัดที่สุด

$f_R(r)$ = ความน่าจะเป็นของระยะทางจากแหล่งกำเนิดที่จะเกิดแผ่นดินไหว

L_f = ความยาวของแหล่งกำเนิด

l = ระยะทางจากจุดที่เกิดแผ่นดินไหวถึงจุดบนแหล่งกำเนิดที่ไกลสถานีวัดที่สุด

r = ระยะทางจากสถานีวัดถึงแหล่งกำเนิด

6.4.1.2 การหาอัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว

จากการจำแนกข้อมูลแผ่นดินไหวตามความรุนแรงและความถี่ในการเกิดแผ่นดินไหวแล้วทำการหาอัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว (recurrence relationships) ที่นำเสนอโดย Gutenberg และ Richter (1944) ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหวดังสมการที่ 6.5 ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ a และ b ในแต่ละโซน จากข้อมูลที่ผ่านมาสังเกตได้ว่าแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มีอัตราการเกิดต่ำหรือเป็นศูนย์ดังนั้น McGuire และ Arabasz (1990) จึงได้เสนอสมการที่ 6.10 แทน

การหาความสัมพันธ์ในการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหวได้แบ่งออกเป็น 2 วิธีดังนี้ คือ วิธีแรกนำเสนอโดย Gutenberg และ Richter (1944) ส่วนอีกวิธีนำเสนอโดย McGuire และ Arabasz (1990)

6.4.1.2.1 Gutenberg – Richter (1944)

การหาความสัมพันธ์ในการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว (recurrence relationships) ในแต่ละเขตที่แบ่งไว้ โดย Gutenberg และ Richter (1944) ได้เสนอความสัมพันธ์คือ

$$\log \lambda_m = a - bm \quad (6.5)$$

เมื่อ

λ_m คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหว (mean of annual rates of exceedence) ที่มีขนาดเกินกว่า m ในโซนนั้นๆ

a และ b คือ ค่าคงที่ในสมการของ Gutenberg และ Richter (1944) ซึ่งมาจากข้อมูลทางสถิติของจำนวนครั้งที่เกิดแผ่นดินไหวในอดีต

m คือ ขนาดแผ่นดินไหว

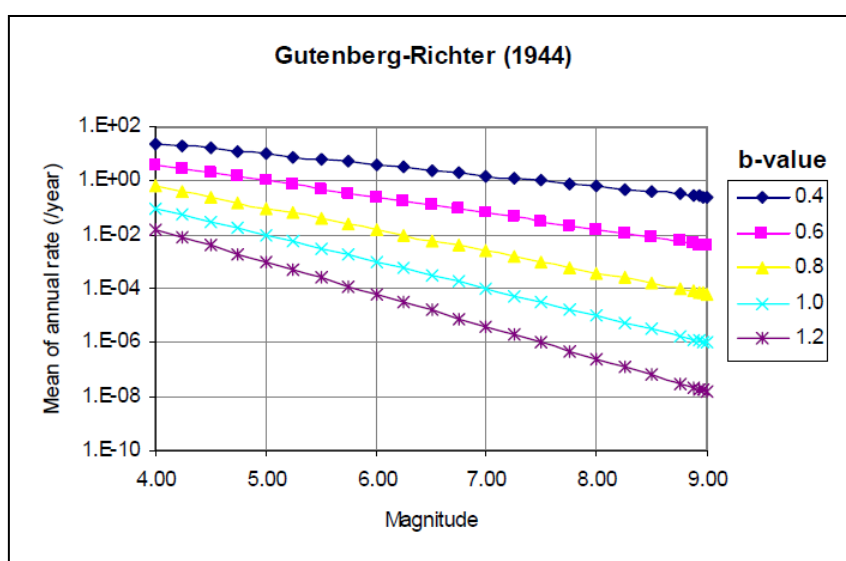
จากนั้นทำการหาค่าความน่าจะเป็นของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวดังนี้

$$\lambda_m = 10^{a-bm} = e^{\alpha-\beta m} \quad (6.6)$$

เมื่อ

$$\alpha = 2.303a \text{ และ } \beta = 2.303b \quad (6.7)$$

สามารถเขียนกราฟจากสมการที่ (6.6) ได้แสดงในรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหวตามสมการของ Gutenberg และ Richter (1944) โดยใช้ค่า a เท่ากับ 3 (จิตติ ปาลศรี, 2549)

ผลของความน่าจะเป็นตามกฎของ Gutenberg และ Richter (1944) สามารถจัดให้อยู่ในรูปของ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF) เป็น

$$F_M(m) = P[M < m | M > m_0] = \frac{\lambda_{m_0} - \lambda_m}{\lambda_{m_0}} = 1 - e^{-\beta(m-m_0)} \quad (6.8)$$

ความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด m (probability density function, PDF) เป็น

$$f_M(m) = \frac{d}{dm} F_M(m) = \beta e^{-\beta(m-m_0)} \quad (6.9)$$

เมื่อ m_0 คือ ขนาดของแผ่นดินไหวมีค่าต่ำสุดที่พิจารณา

6.4.1.2.2 McGuire – Arabasz (1990)

หากกำหนดให้ขนาดแผ่นดินไหวมีค่าต่ำสุดเป็น m_0 อัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว (recurrence relationships) จะเป็นไปตามสมการของ McGuire และ Arabasz (1990) คือ

$$\lambda_m = \nu e^{-\beta(m-m_0)} \quad (6.10)$$

$$\nu = e^{(\alpha-\beta m_0)} \quad (6.11)$$

เมื่อ $m_0 < m$

λ_m คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหว (mean of annual rates of exceedence) ที่มีขนาดเกินกว่า m ในโซนนั้นๆ

ν คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวทั้งหมด (ขนาดเกินกว่า ขนาดต่ำสุดที่พิจารณา) ในโซนนั้นๆ

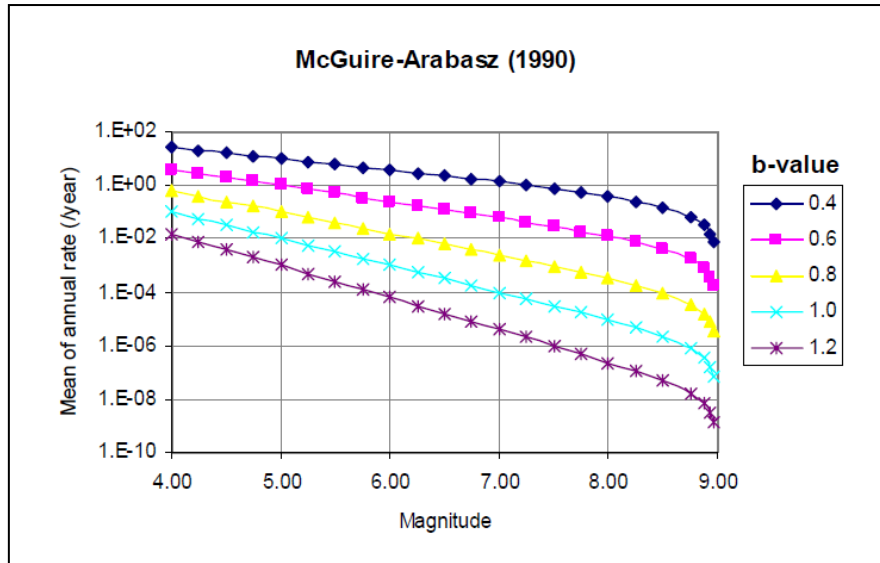
m_0 คือ ขนาดของแผ่นดินไหวมีค่าต่ำสุดที่พิจารณา

หรือหากกำหนดให้ขนาดแผ่นดินไหวมีค่าต่ำสุดเป็น m_0 และค่าสูงสุดเป็น $m_{\max}$ อัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว (recurrence relationships) จะเป็นไปตามสมการของ McGuire และ Arabasz (1990) คือ

$$\lambda_m = \nu \frac{e^{-\beta(m-m_0)} - e^{-\beta(m_{\max}-m_0)}}{1 - e^{-\beta(m_{\max}-m_0)}} \quad (6.12)$$

เมื่อ $m_0 < m < m_{\max}$

สามารถเขียนกราฟจากสมการที่ (6.12) ได้แสดงในรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหวตามสมการของ McGuire และ Arabasz (1990) โดยใช้ค่า a เท่ากับ 3 (จิตติ ปาลศรี, 2549)

จากรูปที่ 6.6 เห็นได้ว่าจากสมการของ McGuire และ Arabasz (1990) มีการปรับโค้งให้ลู่ลงช่วงปลายและมีขนาดที่สูงของแผ่นดินไหว โดยมีความใกล้เคียงกับแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริง

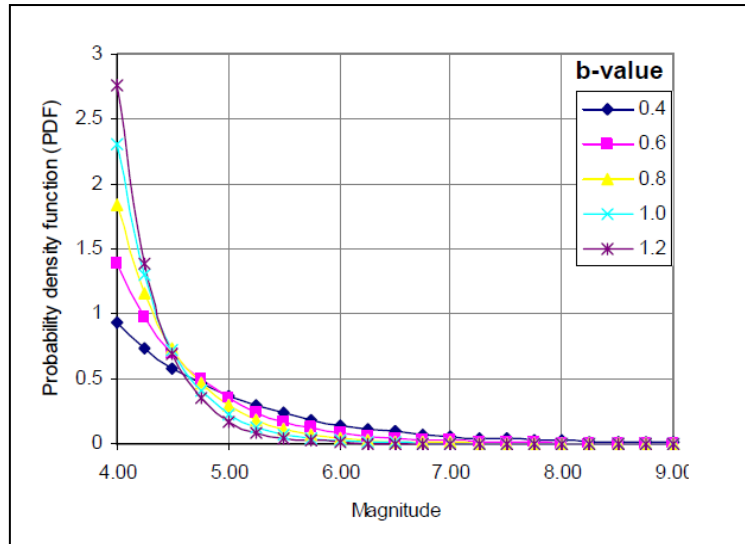
ผลของความน่าจะเป็นตามกฎของ McGuire และ Arabasz (1990) สามารถจัดให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF) เป็น

$$F_M(m) = P[M < m | m_0 \leq M \leq m_{\max}] = \frac{1 - e^{-\beta(m-m_0)}}{1 - e^{-\beta(m_{\max}-m_0)}} \quad (6.13)$$

ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด m (Probability Density Function, PDF) เป็น

$$f_M(m) = \frac{\beta e^{-\beta(m-m_0)}}{1 - e^{-\beta(m_{\max}-m_0)}} \quad (6.14)$$

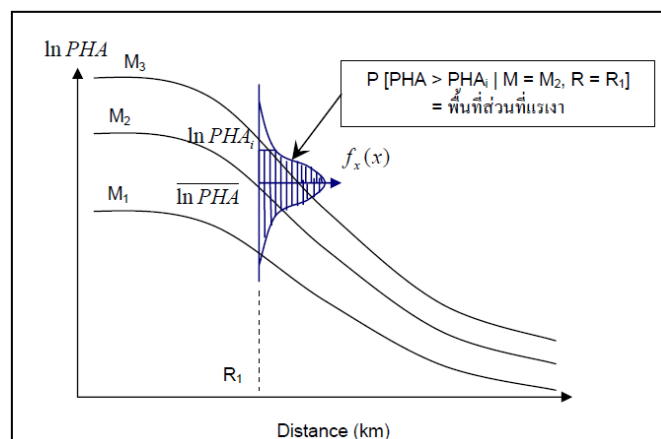
สามารถเขียนกราฟจากสมการที่ (6.14) ได้แสดงในรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหวตามสมการของ McGuire และ Arabasz (1990) โดยพื้นที่ใต้กราฟมีค่าเท่ากับ 1 (จิตติ ปาลศรี, 2549)

6.4.1.3 การหาค่าความน่าจะเป็นของความเร่งในแนวราบสูงสุดจากแบบจำลองการลดทอน

การหาค่าความน่าจะเป็น (probability) ของความเร่งในแนวราบสูงสุด (Peak Horizontal Acceleration, PHA) จากแบบจำลองการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว (attenuation model) ซึ่งในแต่ละแบบจำลองการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวจะแฝงความคลาดเคลื่อนไว้ ได้แสดงในรูปที่ 6.8 ดังนั้นจึงต้องหาค่าความน่าจะเป็นตามวิธีการทางสถิติแบบการแจกแจงปกติ (normal distribution) เพื่อนำความน่าจะเป็นที่ได้ไปรวมกับกรณีต่างๆ



รูปที่ 6.8 การหาค่าความน่าจะเป็นเนื่องจากสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุดจากแผ่นดินไหวขนาด M_2 ที่ระยะทาง R_1 (จิตติ ปาลศรี, 2549)

ค่าความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติ (normal distribution) ที่ตำแหน่ง $\ln x$ ของข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\overline{\ln x}$ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ σ_x หรือฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function, PDF) เป็นไปตามสมการ

$$f_x(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_x}\right)^2\right] \quad (6.15)$$

ความเร่งในแนวราบสูงสุดของพื้นดินสามารถประมาณค่าได้จากแบบจำลองการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว (Attenuation Model หรือ Ground Motion Prediction Equation, GMPE) ความเร่งของพื้นดินมีความไม่แน่นอนโดยมักจะถูกสมมุติให้มีการแจกแจงแบบล็อกปกติ (lognormal distribution) ค่ามัธยฐานและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวจะถูกนำไปใช้หาความน่าจะเป็นที่ความเร่งสูงสุดของพื้นดินจะมีค่าเกินระดับที่กำลังพิจารณาเมื่อกำหนดขนาดและระยะห่างของแผ่นดินไหว สำหรับแผ่นดินไหวในบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (subduction earthquakes) โซน A, N และ O การศึกษานี้ได้ใช้สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของ Youngs และคณะ (1997) ส่วนแผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก (shallow crustal earthquakes) โซน B, C, D, E, F, G, H, I, J, M, N, O, P, Q, R และ W ใช้สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว 2 สมการประกอบด้วย 1) สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของ Idriss (1993) และ 2) สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของ Sadigh และคณะ (1997)

6.4.1.4 การหาผลรวมความน่าจะเป็นเพื่อหาโอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุดเกินระดับที่กำลังพิจารณา

การหาค่าโอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุดเกินระดับที่กำลังพิจารณาโดยคำนึงถึงผลกระทบจากทุกๆ แหล่งกำเนิด จะต้องมีการหาผลรวมความน่าจะเป็นดังสมการที่ 6.16 ประกอบไปด้วยค่าความน่าจะเป็นของระยะทางจากที่ตั้งอาคารที่กำลังพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว $P[R=r_k]$ อัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว $\nu_i P[M=m_j]$ และค่าความน่าจะเป็นที่ความเร่งสูงสุดของพื้นดินจะมีค่าเกินระดับที่กำลังพิจารณาโดยใช้สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว เมื่อกำหนดขนาดและระยะห่างของแผ่นดินไหว $P[Y > y^* | m_j, r_k]$

$$\lambda_{y^*} = \sum_{i=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{N_M} \sum_{k=1}^{N_R} \nu_i P[M=m_j] P[Y > y^* | m_j, r_k] P[M=m_j] P[R=r_k] \quad (6.16)$$

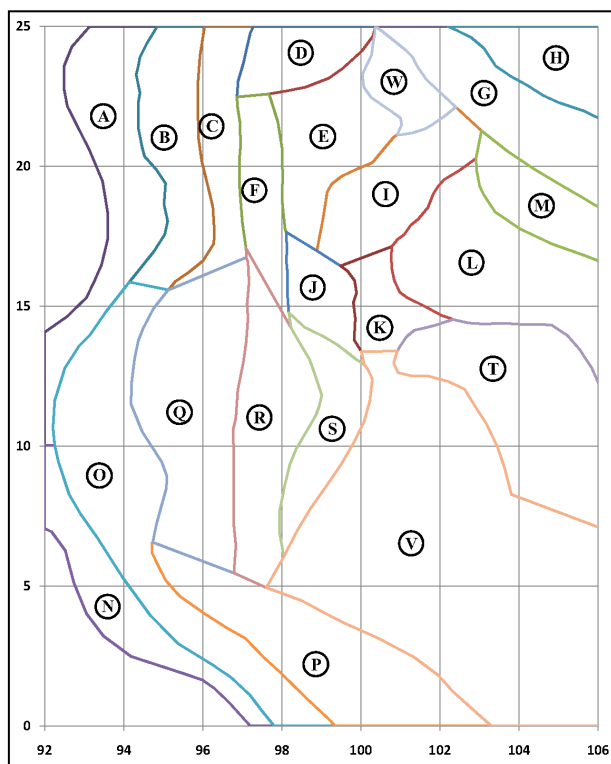
เมื่อ

λ_{y^*} คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่ทำให้มีความรุนแรงเกินระดับที่กำลังพิจารณาโดยคำนึงถึงผลกระทบจากแหล่งกำเนิดบริเวณต่างๆ มีหน่วยเป็นจำนวนครั้งต่อปี

6.4.2 แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณผืนแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

แผนที่แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณผืนแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2548) ได้จำแนกลักษณะของบริเวณแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (seismic source zones) ในแต่ละพื้นที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับข้อมูลทางธรณีแปรสัณฐานไหวสะเทือน (seismotectonic) หรือข้อมูลการไหวสะเทือนของบริเวณการเกิดการไหวสะเทือน (seismogenic structure or zone) โดยปรับปรุงจากปัญญา จารุศิริ และคณะ (2543) และภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2548) สามารถแบ่งพื้นที่บริเวณแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวครอบคลุมพื้นที่ระหว่างละติจูดตั้งแต่ 0 องศาเหนือ ถึง 25 องศาเหนือ ส่วนลองจิจูดตั้งแต่ 92 องศาตะวันออก ถึง 106 องศาตะวันออก ออกเป็น 24 บริเวณ จากสภาพทางธรณีวิทยาสามารถกำหนดชนิดของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ทำการวิเคราะห์ได้ 2 ชนิดคือ 1) บริเวณแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่เกิดจากรอยเลื่อนที่ยังมีการเคลื่อนตัวอยู่ (active tectonic regions) พบว่ามีค่าความลึกต่ำสุดของแผ่นดินไหวประมาณ 10 กิโลเมตร ได้แก่ โซน B, C, D, E, F, H, J, K, L, N, O, P, U, V, W และ X 2) บริเวณแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (subduction zones) พบว่ามีค่าความลึกต่ำสุดของแผ่นดินไหวประมาณ 33 กิโลเมตร ได้แก่ โซน A, M และ T

คุณลักษณะของเขตกำเนิดแผ่นดินไหว (seismic source zones) ในแต่ละพื้นที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับข้อมูลทางธรณีแปรสัณฐานไหวสะเทือน (seismotectonic) หรือข้อมูลการไหวสะเทือนของบริเวณการเกิดการไหวสะเทือน (seismogenic structure or zone) อ้างอิงตาม Saithong และคณะ (2004) โดยสามารถแบ่งพื้นที่บริเวณแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวครอบคลุมพื้นที่ระหว่างละติจูดตั้งแต่ 0 องศาเหนือ ถึง 25 องศาเหนือ และลองจิจูดตั้งแต่ 92 องศาตะวันออก ถึง 106 องศาตะวันออก ออกเป็น 23 บริเวณ



รูปที่ 6.9 แผนที่เขตกำเนิดแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษาบริเวณผืนแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

เนื่องจากข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มาจากแหล่งกำเนิดเหล่านี้มีน้อยมากและไม่เพียงพอที่จะนำไปคำนวณหาอัตราการเกิดแผ่นดินไหว งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาตาม Palasri และ Ruangrassamee (2010) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็นโดยพิจารณาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวเพียง 17 บริเวณ คือ โซน A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, M, N, O, P, Q, R และ W แสดงดังตารางที่ 6.1 โดยสมมุติว่าไม่มีเหตุการณ์แผ่นดินไหวในโซน K, L, S, T, U และ V เนื่องจากโซนดังกล่าวมีข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวน้อยหรือเป็นศูนย์

ตารางที่ 6.1 ผลการวิเคราะห์อัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหวในแต่ละแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Palasri และ Ruangrassamee, 2010)

แหล่งกำเนิด แผ่นดินไหว	ค่าคงที่ในสมการของ Gutenberg-Richter		ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด ที่เคยเกิด
	a	b	
Zone A	6.111	1.148	7.2
Zone B	3.430	0.616	7.4
Zone C	3.177	0.700	7.7
Zone D	2.745	0.616	7.0
Zone E	2.927	0.582	7.5
Zone F	5.178	1.159	7.9
Zone G	3.629	0.805	6.6
Zone H	4.294	0.961	6.7
Zone I	4.032	0.923	7.5
Zone J	2.892	0.752	7.5
Zone M	3.387	0.883	6.7
Zone N	2.771	0.439	7.5
Zone O	4.953	0.784	9.0
Zone P	5.512	0.982	7.4
Zone Q	5.112	0.981	6.5
Zone R	3.548	0.906	5.6
Zone W	3.775	0.825	6.7

6.4.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น

กรณีการวิเคราะห์ภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็นสำหรับกรุงเทพมหานคร โซน J โดยวิธีการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวสามารถแบ่งได้ 4 ขั้นตอน คือ 1) หาค่าความน่าจะเป็นของระยะทางจากตำแหน่งที่ตั้งอาคารถึงแหล่งกำเนิด 2) หาค่าความน่าจะเป็นของอัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว 3) หาค่าความน่าจะเป็นที่จะได้ค่าความเร่งสูงสุดในแนวราบจากสมการการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว 4) รวมผลของความน่าจะเป็นเพื่อหาค่าโอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุด

6.4.3.1 หาค่าความน่าจะเป็นของระยะทางจากตำแหน่งที่ตั้งอาคารถึงแหล่งกำเนิด

จากการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในประเทศไทย ได้ผลการวิเคราะห์หาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function, PDF) ของระยะทางในแต่ละโซน

สำหรับโซน J จะได้ค่าความน่าจะเป็นของระยะทางที่มีระยะทางประมาณ 70.58 กิโลเมตร หรือ $P_J (70.58-5.39 < R < 70.58+5.39) = 0.010821$

6.4.3.2 หาค่าความน่าจะเป็นของอัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว

เนื่องจากขนาดของแผ่นดินไหวขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ได้แก่ ค่า a และ b ในสมการของ Gutenberg-Richter ดังนั้น ในแผนที่แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวเดียวกัน จะมีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของขนาดแผ่นดินไหว ไม่ว่าจะวิเคราะห์จากจุดใดก็ตามบนแผนที่เดียวกันจะมีค่าเท่ากันในโซนเดียวกัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในประเทศไทย ได้ผลการวิเคราะห์หาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function, PDF) ของขนาดแผ่นดินไหวในแต่ละโซน

สำหรับโซน J จะได้ค่าความน่าจะเป็นของขนาดแผ่นดินไหวที่มีขนาดประมาณ 4.175 หรือ $P_J (4.175-0.175 < M < 4.175+0.175) = 0.448661$

6.4.3.3 หาค่าความน่าจะเป็นที่จะได้ค่าความเร่งในแนวราบสูงสุดจากสมการการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว

ในส่วนนี้เป็นการหาความน่าจะเป็นเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของสมการการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว ซึ่งมีลักษณะเป็นการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) โดยสามารถหาค่าความน่าจะเป็นของค่าความเร่งสูงสุดในแนวราบจากสมการการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว สำหรับโซน J ที่เป็นแหล่งกำเนิดที่เกิดจากแผ่นดินไหวต้นใต้แผ่นเปลือกโลกจะใช้สมการการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของ Idriss (1993) และ Sadigh และคณะ (1997) ในการคำนวณหาค่าความเร่งในแนวราบสูงสุด

ที่ระยะทาง 70.58 กิโลเมตร และแผ่นดินไหวขนาด 4.175 จะได้ค่าความเร่งในแนวราบสูงสุด (Peak Horizontal Acceleration, PHA) $\ln PHA = 1.1389$

เมื่อได้ค่าความเร่งในแนวราบสูงสุดแล้วนำไปหาค่าความน่าจะเป็นที่จะได้ค่าความเร่งสูงสุดในแนวราบ a มากกว่า 0.045g จากวิธีการแจกแจงปกติจะได้ $P_J (PHA > 0.045g | 4 < M < 4.35, 70.58-5.39 < R < 70.58+5.39) = 0.00001473$

$$z = \frac{\ln a - \ln PHA}{\sigma} = \frac{\ln(0.045 * 981) - (1.1389)}{0.8055} = 3.2881$$

$$\begin{aligned} P_J (PHA > 0.045g \mid 4 < M < 4.35, 65.19 < R < 75.97) &= P(z > 3.2881) \\ &= 1 - P(z < 3.2881) \\ &= 0.0005044 \end{aligned}$$

6.4.3.4 รวมผลของความน่าจะเป็นเพื่อหาค่าโอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุด
สำหรับโซน J โอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุดเกินกว่า 0.045g โดยมีแผ่นดินไหวขนาด 4.175 ที่ระยะห่าง 70.58 กิโลเมตร $\lambda_{J0.045g} = 0.000001875$

$$\begin{aligned} \lambda_{J0.045g} &= V_J * P_J (PHA > 0.045g \mid 4 < M < 4.35, 65.19 < R < 75.97) * P_J (4 < M < 4.35) * \\ &\quad P_J (65.19 < R < 75.97) \\ &= (0.76556) (0.0005044) (0.448661) (0.010821) = 0.000001875 \end{aligned}$$

6.4.4 การคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวตาม มยผ.1302-52

การวิเคราะห์จะต้องใช้ประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน (ground acceleration time histories) ที่เหมาะสมกระทำที่ฐานอาคารไม่น้อยกว่า 7 ชุด และวิเคราะห์หาการตอบสนองของอาคารต่อแผ่นดินไหวแต่ละชุด โดยการสั่นไหวของพื้นดินที่ใช้จะต้องสอดคล้องกับการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ

6.4.4.1 การวิเคราะห์แบบ 3 มิติ

ในการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ การสั่นไหวของพื้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์แต่ละชุดจะต้องประกอบด้วยคู่ของความเร่งของพื้นดินในแนวราบสองทิศทางที่ตั้งฉากกัน ซึ่งบันทึกได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวเดียวกันที่สถานีเดียวกัน โดยจะต้องเลือกการสั่นไหวของพื้นดินจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาด กลไกของแหล่งกำเนิด ระยะห่างจากจุดกำเนิด และระดับความรุนแรงของการสั่นไหว สอดคล้องกับแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา

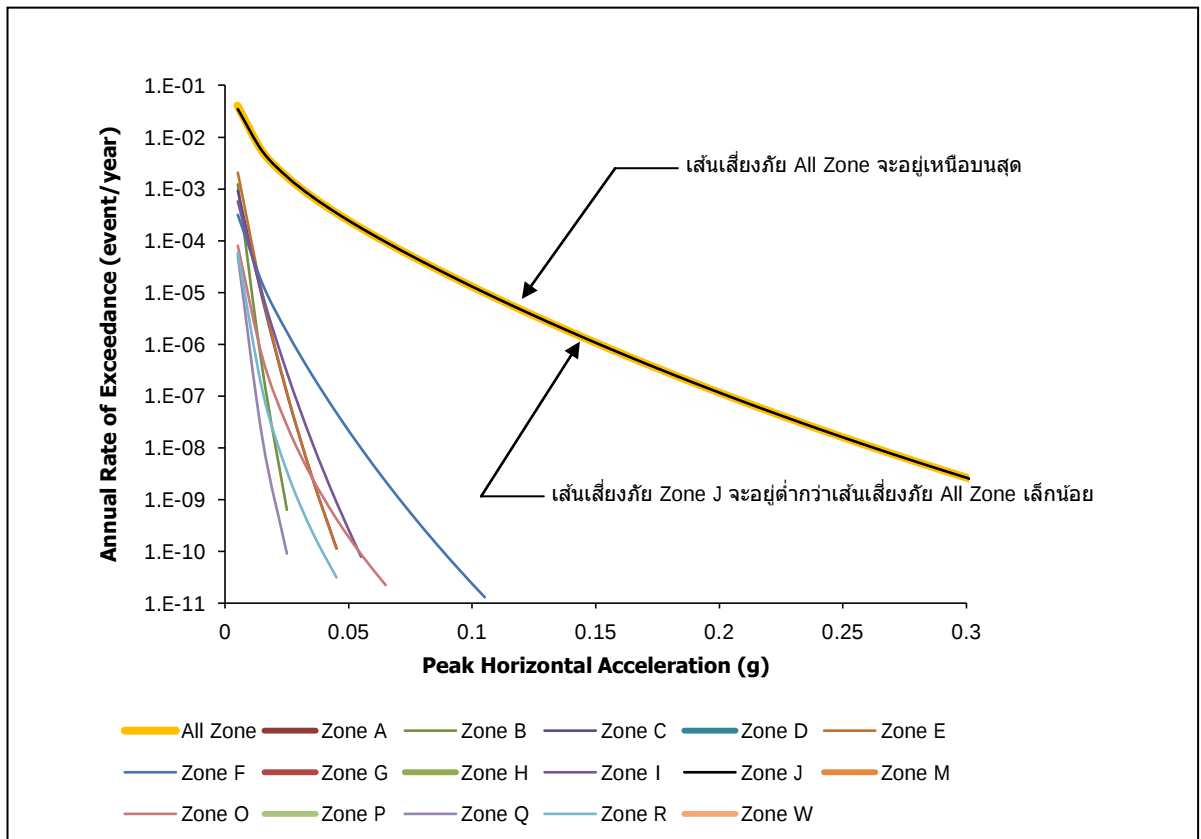
สำหรับแต่ละชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินซึ่งประกอบด้วยความเร่งของพื้นดินในแนวราบสองทิศทาง ให้คำนวณสเปกตรัม SRSS ซึ่งเป็นค่ารากที่สองของผลรวมของค่ายกกำลังสอง (square root of sum of squares) ของสเปกตรัมการตอบสนองสำหรับสองทิศทางนั้น สำหรับอัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 5% ความเร่งของพื้นดินทั้งสองทิศทางในแต่ละชุดต้องถูกคูณปรับค่าด้วยค่าคงที่เดียวกัน โดยการคูณปรับค่าจะต้องทำให้ค่าเฉลี่ยของสเปกตรัม SRSS มีค่าไม่น้อยกว่า 1.17 เท่าของสเปกตรัมสำหรับออกแบบ ที่ทุกคาบการสั่นระหว่าง $0.2T$ ถึง $1.5T$ โดยที่ T คือ คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างในทิศทางที่ทำการวิเคราะห์

6.5 การแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว

6.5.1 การแยกแยะความเสี่ยงภัยจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวลักษณะต่าง ๆ

ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีแบบประวัติเวลาตาม มยผ.1302-52 โครงสร้างจะต้องสามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้โดยมีการตอบสนองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมให้เมื่อโครงสร้างได้รับการสั่นสะเทือนจากคลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับลักษณะเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่อาคารตั้งอยู่ยกตัวอย่างเช่น ขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างระหว่างจุดกำเนิดและที่ตั้งอาคารอยู่ในกรณีที่มีความน่าจะเป็นที่มากที่สุด (most probable scenario) จากการวิเคราะห์ภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น

จากการศึกษาของ Palasri และ Ruangrassamee (2010) ได้มีการสร้างเส้นกราฟความเสี่ยงภัย (hazard curve) ตัวอย่างสำหรับพื้นที่ตั้งอาคารแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ดังรูปที่ 6.10 กราฟนี้แสดงให้เห็นทราบว่า พื้นที่ตั้งอาคารนั้นมีความน่าจะเป็นที่จะได้รับความสั่นสะเทือนจากแหล่งกำเนิดบริเวณต่างๆ มากแค่ไหนและความน่าจะเป็น (อัตราการเกิด) รวมที่จะเกิดความสั่นสะเทือนเกินกว่าระดับหนึ่งๆ เนื่องจากแหล่งกำเนิดใดก็ตามเป็นเท่าใด กราฟผลรวมความน่าจะเป็น (เส้นบนสุด) นี้จะเป็นกราฟที่นำไปใช้สร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว ยกตัวอย่าง เช่น ระดับความรุนแรง (PGA) ที่มีโอกาสเกิดขึ้นรุนแรงกว่านั้น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (รอบการเกิดซ้ำ 2475 ปี) จะสอดคล้องกับ $\lambda = 0.000404$ ซึ่ง $PGA = 0.043g$ ค่า $PGA = 0.043g$ จะเป็นค่าที่แสดงบนแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่มีความน่าจะเป็น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (Maximum Credible Earthquake, MCE) ในมาตรฐานการออกแบบ มยผ.1302-52 อย่างไรก็ตามถ้ากราฟผลรวม (เส้นบนสุด) ไม่สามารถบอกได้ว่าแหล่งกำเนิดใดที่มีอิทธิพลต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวที่ระดับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี มากที่สุดจึงจำเป็นต้องพิจารณาค่าของ hazard curve ที่แยกตามแหล่งกำเนิดต่างๆ ทั้งหมด จะเห็นได้ว่าที่โซน J (เส้นสีดำทับกับเส้นกราฟผลรวม) เป็นแหล่งกำเนิดที่ส่งผลกระทบมากที่สุด จึงควรตรวจสอบในรายละเอียดความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเนื่องจากโซน J โดยพิจารณาอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่ทำให้ PGA มีค่าเกินกว่า 0.043g เนื่องจากขนาดแผ่นดินไหวและระยะทางต่างๆ กัน ดังรูปที่ 6.11 และสังเกตได้ว่าอัตราการเกิดมีค่ามากที่สุดในกรณีของแผ่นดินไหวที่มีขนาดประมาณ 6.7 ถึง 7.0 และเกิดที่ระยะห่างจากอาคารประมาณ 81 ถึง 92 กิโลเมตร



รูปที่ 6.10 เส้นเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว (hazard curve) ของกรุงเทพมหานคร

รูปที่ 6.11 ถึง 6.55 เป็นการแยกแยะความเสี่ยงภัยที่เป็นผลเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างต่าง ๆ เรียกว่า hazard deaggregation analysis โดยทำให้ทราบลักษณะเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีโอกาสมากที่สุดที่จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ที่ตั้งอาคาร ก่อนที่วิศวกรจะสามารถเลือกคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบอาคาร การพิจารณาระดับความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหวอาจพิจารณาให้ความเร่งเชิงสเปกตรัมเป็นตัวบ่งชี้ระดับความรุนแรงแทนที่จะใช้ค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน รูปที่ 6.11 ถึง 6.24 แสดงผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยของกรุงเทพมหานคร จังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรี โดยพิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินตามลำดับ ส่วนรูปที่ 6.25 ถึง 6.38 แสดงผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยของกรุงเทพมหานคร จังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรี โดยพิจารณาความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 6.39 ถึง 6.55 แสดงผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยของกรุงเทพมหานคร จังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรีโดยพิจารณาความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที ตามลำดับ ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่ได้พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินและความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที และ 1 วินาที โดยพิจารณาความรุนแรงที่มีโอกาสเกิดขึ้น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี สรุปดังตารางที่ 6.2 6.3 และ 6.4