

고주파 에너지 방사지속시간을 이용한 지진규모산정법 : 지역지진에의 적용

윤원영* · 박순천 · 전영수

기상청 국립기상연구소

Estimation of Earthquake Magnitude Using High-Frequency Energy Radiation Duration: Application to Regional Earthquakes

Won Young Yun*, Sun-Cheon Park, and Young Soo Jeon

National Institute of Meteorological Research, Korea Meteorological Administration

요약: 일본 주변에서 발생하는 대규모 지진의 규모를 신속하게 결정하기 위해 고주파에너지 방사지속시간을 이용한 규모산정법에 대하여 연구하였다. 이 방법을 지역지진 자료인 기상청 지진관측 자료에 적용하여 일본 주변에서 발생한 규모 6.0이상 14개 지진의 규모를 산정하였다. 관측된 속도 지진파형 자료에 2~4 Hz의 대역필터를 적용하여 고주파 에너지 지속시간을 계산한 다음 이를 이용하여 규모를 결정하였다. 그 결과, 규모가 커질수록 지진의 지속시간도 길어지는 경향을 보였으며, 지역지진자료를 사용하여 분석한 규모 값이 원거리지진자료로 얻은 규모와 적은 오차를 나타내었다. 이번 연구결과 일본 근해에서 발생한 대규모 지진에 대해서 기상청 지진자료를 이용하여 신속하게 규모를 산정하고 지진해일 유발가능성을 판단하는 것이 가능함을 알 수 있었다.

주요어: 대규모지진, 고주파 에너지 방사지속시간, 지진해일, 지역지진

Abstract: We studied magnitude determination method using high-frequency energy radiation duration to calculate rapidly magnitude of large earthquakes that occurred around Japan. Fourteen earthquakes were analyzed using Korea Meteorological Administration (KMA) data. We calculated duration of high-frequency energy radiation with 2~4 Hz band pass filter at each data and estimated magnitude. As a result, duration becomes longer as magnitude becomes larger and the magnitude estimated using regional earthquake data are similar to that using teleseismic data. Therefore when an earthquake occurs around Japan we will be able to estimate the magnitude in a relatively short time using KMA data and it may be possible to determine if the earthquake is large enough to produce tsunami.

Keywords: large earthquake, high-frequency energy radiation duration, tsunami, regional earthquake

서론

2011년 3월 11일 일본 동북부에서 발생한 대지진에 대하여 일본기상청은 초기에 규모를 7.9로 발표한 후, 관측소 추가 및 파형역산 등을 통해 8.4, 8.8로 수정하였으며, 지진 발생 후 이틀 만에 9.0으로 최종 수정하였다. 2004년 인도네시아 수마트라지진 발생 시에도 최종 규모(9.1)가 결정되기까지 수 일이 걸렸다. 이와 같이 지진의 초기정보는 정확성이 떨어지며, 더욱이 대규모 지진의 경우 초기에 규모가 과소평가되어 지진발생 후의 피해예측이나 지진해일 예측 정확도가 떨어질 수 있

다. 따라서 신속하면서도 정확한 규모를 결정하는 것은 지진이나 지진해일의 피해를 예측하고 적절하게 대응하기 위하여 매우 중요하다 할 것이다.

대규모 지진은 단층이 매우 크고 지진 에너지 방출시간도 길어지게 된다. 많이 사용되는 국지지진 규모식의 경우 지진파의 최대진폭을 이용하여 규모를 계산하게 되는데, 대규모지진의 경우에는 최대진폭 도달 시각까지 오랜 시간이 걸려 규모산정이 늦어지는 단점이 있다(황의홍 외, 2007). 이러한 대규모 지진의 규모를 조기 결정하는 방법으로 S파가 도달하기 이전에 P파만을 이용하여 규모를 계산하는 연구가 활발하게 진행되고 있다(Tsuboi *et al.*, 1995; Tsuboi *et al.*, 1999; Tsuboi, 2000; Lomax, 2005; Hara, 2007a; Hara, 2007b). 예를 들어, Tsuboi (1995)는 초기 P파를 이용하여 모멘트 규모를 결정하는 방법을 제안하였고, Tsuboi (2000)에서는 P파의 진원지속시간과 지진 모멘트(M_w)를 이용하여 지진해일을 유발할 가능성이 있는 지진인지를 판단하였다. 또한, Lomax (2005)는 대규

2011년 7월 29일 접수; 2011년 8월 16일 수정; 2011년 8월 22일 채택
*Corresponding author

E-mail: wyyun@korea.kr

Address: Global Environment System Research Lab,
National Institute of Meteorological Research,
45 Gisaengcheong-gil, Dongjak-gu, Seoul 156-720, Korea

모 지진의 단주기 P파 분석을 통하여 신속하게 파괴면적을 추정할 수 있음을 보였으며, Hara (2007a)는 P파를 이용하여 고주파 에너지 방사지속시간을 산정하고, 이를 통해 규모를 조기에 산출하는 방법을 제안하였다.

이번 연구에서는 일본 주변에서 발생한 지진(14개)에 대하여 Hara (2007a)의 방법으로 규모를 산정하였다. 대규모지진의 지속시간이나 규모를 분석하기 위해서는 진앙거리 $30^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 의 원거리 지진자료를 이용하는 것이 일반적이지만, 이번 연구에서는 한반도 주변지역(특히 일본 주변)에서 발생하는 대규모지진을 기상청 관측 자료를 이용하여 분석하고자 한다. 일본 주변에서 발생하는 지진에 대해 기상청 관측망은 지역지진거리($5^{\circ} \sim 15^{\circ}$)에 위치하며, Hara (2007a)의 규모산정 방법이 지역지진자료에 적용가능한지를 검토하였다. 고주파 에너지 방사지속시간을 이용한 규모산정법이 지역지진 분석에 적용 가능할 경우, 일본 주변 해역에서 발생하는 대규모지진에 대해 기상청 관측소 지진자료를 이용하여 신속하게 비교적 정확한 규모를 결정할 수 있을 것으로 기대된다.

자료처리방법

지진 규모 산출을 위하여 Hara (2007a)가 제안한 고주파 에너지 방사지속시간을 이용한 규모산정법을 사용하였다. 수집한 속도지진파형 자료에 대해 선형기울기에 의한 효과와 평균값을 제거하였으며, 수동으로 P파 초동을 검출하였다. 여기서 P파가 뚜렷하게 보이는 파형만을 분석에 사용하였다. 장주기 성분을 제거하고 P파 지속시간만을 추출하기 위하여 2~4 Hz의 대역필터를 적용한 다음 제곱을 취하였다. P파 도달 시각 이후 최대진폭시점까지의 $1/n$ 값을 시간창으로 사용하여, 시간을 이동하면서 각 시간창의 평균값을 구하는 방식으로 평활화(smoothing)하였다. P파 도달시각(Fig. 1의 T1)부터 최대진폭의 15%가 되는 시점(Fig. 1의 T3)까지의 시간을 고주파 에너지 방사지속시간으로 결정하였다. 여기서 n 값을 작게 설정하면 파형이 많이 평활화되어 정확한 방사지속시간을 나타내지 못하고, n 값을 크게 설정하게 되면 예상되는 P파 지속시간 종료시점에 도달하기 전에 최대진폭의 15% 이하로 진폭이 작아지는 경우가 발생함을 알 수 있었다. 따라서 지진의 특성에 따라 n 값을 다르게 적용하면서 적절한 방사지속시간을 나타내는 n 값을 구하였으며, 이번 연구에서 분석한 일본 주변 지진에 대해서는 $n=4$ 를 사용하였다.

각 관측소별로 고주파 에너지 방사지속시간의 범위 안에서 최대진폭 값을 각각 결정하였다. 이렇게 산출된 고주파 에너지 방사지속시간과 최대진폭을 식 (1) (Hara, 2007a)에 대입하여 규모를 계산하였다.

$$M = 0.79 \log A + 0.83 \log \Delta + 0.69 \log T + 6.47 \quad (1)$$

여기서 A 는 최대변위진폭(m), Δ 는 진앙거리(km), T 는 고주

파 에너지 방사지속시간(s)을 나타낸다. Hara (2007a)에서는 먼저 전 관측소 고주파 에너지 방사지속시간의 평균값을 계산하고 이것을 모든 관측소에 적용하여 규모를 계산하는데, 고주파 에너지 방사지속시간의 평균값을 구하는 과정과 그 시간동안의 최대진폭을 구하여 규모를 계산하는 과정으로 나누어지므로 자료처리가 두 단계로 이루어지게 된다. 반면, 이번 연구에서는 각각의 관측소에 대하여 고주파 에너지 방사지속시간과 규모를 계산한 후 그 평균값을 지진의 규모로 결정하였다. 이는 Hara (2007a)에 비해 실시간 자료처리 시에 좀 더 효율적일 것으로 판단된다.

지역지진에의 적용

위의 규모산정법을 지역지진에 적용하기에 앞서, 원거리 지

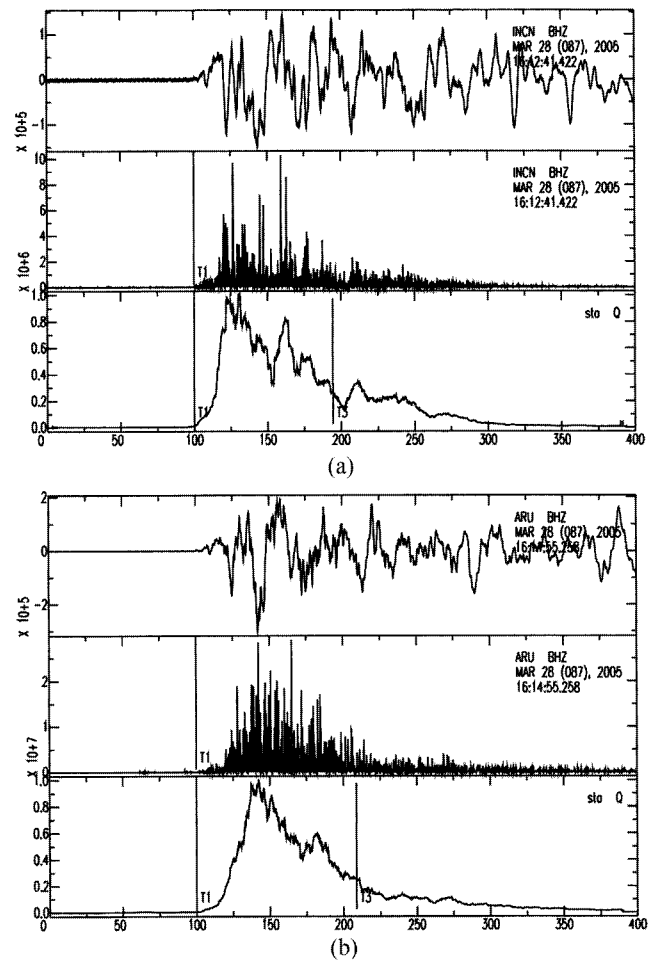


Fig. 1. Examples of the measurement of high frequency energy radiation for the 2005 Nias earthquake. Data are from (a) INCN station at the epicentral distance of 49° and (b) ARU station at the epicentral distance of 69° , respectively. The top, middle and bottom figures in (a) and (b) are raw data, squared waveforms and smoothed data, respectively. T1 and T3 indicate the start and end time of high frequency energy radiation, respectively.

진자료를 이용하여 대규모 지진의 규모를 분석하고 기존 연구 결과의 규모와 비교하였다. 분석한 지진은 2005년 3월 28일 16:09:35 (UTC)에 발생한 규모 8.6의 니아스지진이며, IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) 관측망 중 진앙거리 30°~90°에 위치한 원거리 관측소의 지진자료를 이용하였다. 2장에서 설명한 평활화를 위한 시간창에는 $n=6$ 값을 사용하였고, 고주파 에너지 방사지속시간을 결정하기 위하여 최대진폭의 25%되는 시점을 고주파 에너지 방사 종료시각으로 사용하였다. Fig. 1은 니아스지진의 지진파형예시를 보여준다. 진앙거리가 49°와 69°에 위치한 INCN관측소(a)와 ARU 관측소(b) 파형이다. Fig. 1(a)와 (b) 각각의 위로부터 관측된 파형, 2~4 Hz의 고주파대역필터를 적용한 뒤 제곱을 취한 파형, 평활화 실행 후의 파형을 나타내며, 여기서 고주파 에너지 방사지속시간($T3-T1$)을 계산한다. 그 결과, 고주파 에너지 방사지속시간은 90~110초로 평균 100.9초를 보였으며, 규모는 8.4로 산출되었다. 이 결과는 Global CMT (Centroid Moment Tensor) catalog에 발표된(Centroid Time - Origin Time) $\times 2$ 의 값인 110초와 유사하였다. 이 외에 2004년 12월 26일 00:58:53 (UTC)에 발생한 규모 9.0의 수마트라 지진과, 2006년 7월 17일 08:19:28 (UTC)에 발생한 규모 7.7의 자바 지진에 대해서도 위의 방법을 적용하였다. 그 결과 규모 9.0, 7.5를 보이며 발표된 규모값과 유사하게 산정되었다(국립기상연구소, 2009). 또한, 2009년 이후 발생한 주요 대규모 지진(11개)에 대하여 원거리 자료를 이용해 규모를 산정한 결과도 발표된 규모값과 평균 약 0.2의 오차를 나타내었다. 이를 통해 원거리 지진자료에 대해서 규모 약 0.2의 오차를 보여 비교적 정확한 규모산출이 가능한 것을 알 수 있었다.

다음으로, 진앙거리가 비교적 가까운 지역지진에 대하여 고주파 에너지 방사지속시간을 이용한 규모산정법의 적용가능성

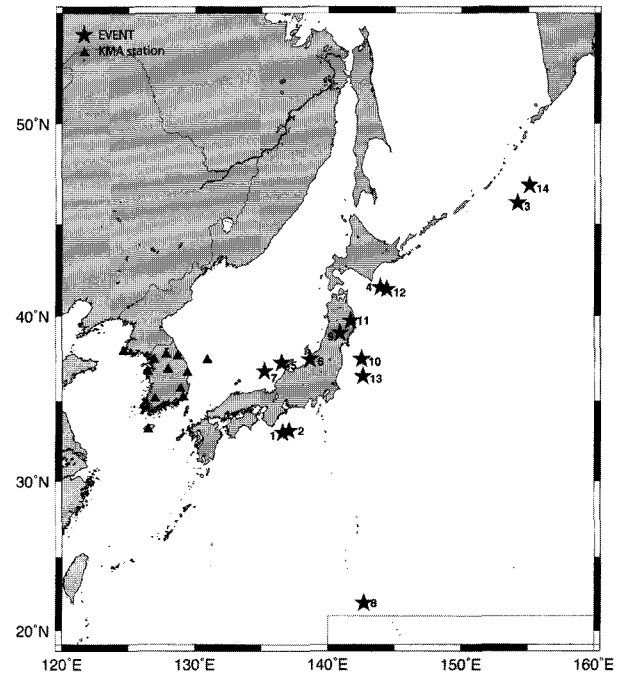


Fig. 2. Locations of earthquakes around Japan (star) and broadband stations of KMA (triangle).

여부를 확인하였다. 일본 주변에서 발생한 대규모 지역지진의 규모를 산정하기 위하여, 2004년 9월 5일에 발생한 두 번의 지진과 2007년과 2009년 사이 발생한 규모 6.0이상 12개 지진에 대해서 분석을 수행하였다. 분석에 사용된 자료로는 IRIS의 II, IU, IC, G 네 개의 관측망 중 진앙거리 5°~90°에 위치한 관측소의 20 Hz 속도자료 수직성분파형을 수집하였으며, 진앙거리 5°~15°에 위치한 12개 기상청 광대역 관측소의 100 Hz 속도자료 수직성분파형을 이용하였다. IRIS 지진자료는 진앙

Table 1. Earthquake parameters of regional earthquakes around Japan used in this study. Origin time, depth, and epicenter are from the JMA. Magnitudes (M) are from USGS and Global CMT catalogues.

Event No.	Date	Origin time (UTC)	Depth (km)	LAT (°)	LON (°)	M (USGS)	M (CMT)
1	2004.09.05	10:07:07	14.0	33.06 N	136.60 E	7.2	7.2
2	2004.09.05	14:57:18	10.0	33.18 N	137.07 E	7.4	7.4
3	2007.01.13	04:24:00	10.0	46.10 N	154.20 E	8.1	8.1
4	2007.02.17	00:03:00	38.2	41.60 N	143.90 E	6.0	6.0
5	2007.03.25	00:42:00	5.0	37.30 N	136.50 E	6.7	6.7
6	2007.07.16	01:13:00	10.0	37.50 N	138.60 E	6.6	6.6
7	2007.07.16	23:18:00	349.0	36.80 N	135.20 E	6.8	6.8
8	2007.09.28	22:41:00	261.3	21.90 N	142.70 E	7.5	7.5
9	2008.06.14	23:43:00	10.0	39.00 N	140.90 E	6.9	6.9
10	2008.07.19	02:39:00	22.0	37.50 N	142.50 E	7.0	6.9
11	2008.07.24	15:26:00	108.0	39.70 N	141.70 E	6.8	6.8
12	2008.09.11	00:21:00	35.0	41.50 N	144.40 E	6.8	6.8
13	2008.12.20	10:29:00	10.0	36.50 N	142.60 E	6.3	6.3
14	2009.01.16	17:49:40	36.0	46.99 N	155.11 E	7.4	7.4

Table 2. Magnitudes (M) calculated with IRIS stations at different epicentral distances and KMA stations.

Event No.	Date	M (IRIS_5°~90°)	M (IRIS_5°~30°)	M (IRIS_30°~90°)	M (KMA_data)
1	2004.09.05	7.35	7.32	7.36	6.92
2	2004.09.05	7.41	7.36	7.43	7.38
3	2007.01.13	8.05	8.19	8.01	8.26
4	2007.02.17	6.06	5.98	6.10	6.56
5	2007.03.25	7.50	7.59	7.45	7.46
6	2007.07.16	6.39	6.70	6.32	6.60
7	2007.07.16	6.19	6.31	6.16	6.26
8	2007.09.28	7.20	7.17	7.21	7.22
9	2008.06.14	6.74	6.84	6.71	7.22
10	2008.07.19	6.99	6.98	6.99	7.30
11	2008.07.24	6.62	6.64	6.61	7.08
12	2008.09.11	6.89	6.87	6.90	7.34
13	2008.12.20	6.79	6.91	6.76	6.64
14	2009.01.16	8.05	8.29	8.01	7.82

거리 5°~30°, 30°~90°, 5°~90°로 나누어 분석을 수행하였는데, 30°~90° 자료는 원거리지진자료 분석에 이용되었고, 5°~30° 자료는 지역지진자료로 분류하여 분석하였다. 일반적으로 진앙거리가 100 km ≤ Δ ≤ 1400 km (1° ≤ Δ ≤ 13°)인 경우를 지역지진으로 정의하는데(Lay and Wallace, 1995), 기상청 광대역 관측소는 진앙거리가 주로 5°~15°에 분포하는데 비해 IRIS 관측소는 상대적으로 진앙거리 5°~15°에 분포하는 관측소의 수가 매우 적기 때문에 5°~30°까지 분석을 수행하였다. Fig. 2는 이번 연구에 사용된 지진의 발생위치를 나타낸다. 삼각형은 기상청 광대역 지진관측소 위치를 나타내며, 별표는 14개 지진의 진앙을 나타낸다. 각 지진에 쓰여진 번호순으로, 각 지진의 발생시각, 깊이, 위도와 경도, USGS (U.S. Geological Survey) 및 Global CMT catalog에 발표된 규모 값을 Table 1에 정리하였다.

총 14개의 일본 주변 지진에 대하여 고주파 에너지 방사지속시간을 이용하여 규모를 산정한 결과를 Table 2에 나타내었으며, IRIS 자료로 분석한 규모 결과보다 기상청 자료를 분석한 규모 값이 조금 크게 산출되는 경향을 보였다. 수집한 IRIS 자료를 진앙거리별 분류 없이 모두 사용하여 분석한 결과 (IRIS_5°~90°)는 USGS에서 발표한 규모 값(Table 1)에 비해 평균 0.26의 오차를 보였으며, 진앙거리 5°~30° (IRIS_5°~30°), 30°~90° (IRIS_30°~90°)에 위치하는 IRIS 자료로 분석한 결과는 모두 평균 0.27의 오차를 보였다. 진앙거리 5°~15°에 위치한 기상청 지진자료를 이용한 분석결과 (KMA_data)는 USGS에서 발표한 값과 평균 0.34의 차이를 보이면서 IRIS 자료 분석결과보다 조금 큰 오차를 나타내었다.

진앙거리 5°~30°(지역지진자료), 30°~90°(원거리지진자료)의 IRIS 자료를 이용한 규모 산정 결과를 Fig. 3에 도시하여 진앙거리에 따른 규모 차이를 비교하였다. 삼각형은 기상청 지

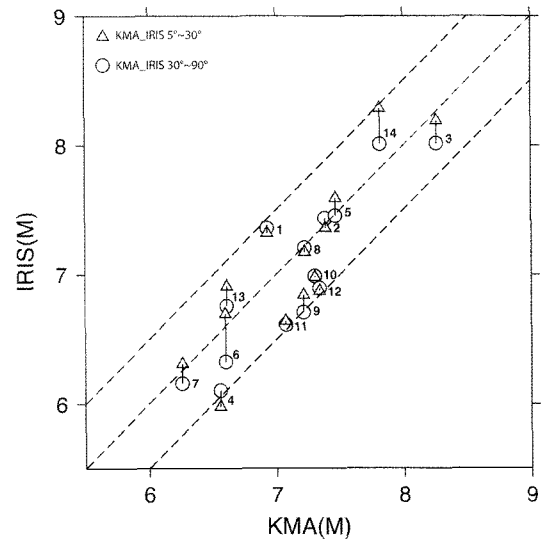


Fig. 3. Comparison of calculated magnitudes. Triangle and circle indicate the magnitudes calculated with KMA data comparing those with IRIS data at the epicentral distance of 5°~30° and 30°~90°, respectively. Dotted lines show error range of ±0.5.

진자료와 IRIS 관측소 중 진앙거리가 5°~30°인 지진자료에 대한 규모를 비교한 결과이고, 원형은 기상청 지진자료와 IRIS 관측소 중 진앙거리가 30°~90°인 지진자료에 대한 규모를 비교한 것이다. 대체적으로 규모가 클수록 지역지진자료와 원거리지진자료의 규모 계산결과 오차가 0.1 미만으로 작게 나타나고, 규모가 작을수록 오차가 0.2이상 나타났으나, 예외적으로 2009.1.16지진(14번)은 규모가 7.4로 큰 규모임에도 불구하고 0.28의 비교적 큰 오차를 보였다. 2007.7.16지진(6번)은 지역지진자료와 원거리지진자료의 규모 계산결과 오차가 0.37로 가장 큰 오차범위를 보였다. 전반적으로 계산결과 간에 뚜렷한 경향성은 없는 것으로 나타났고, 각 진앙거리별 규모산정 값의

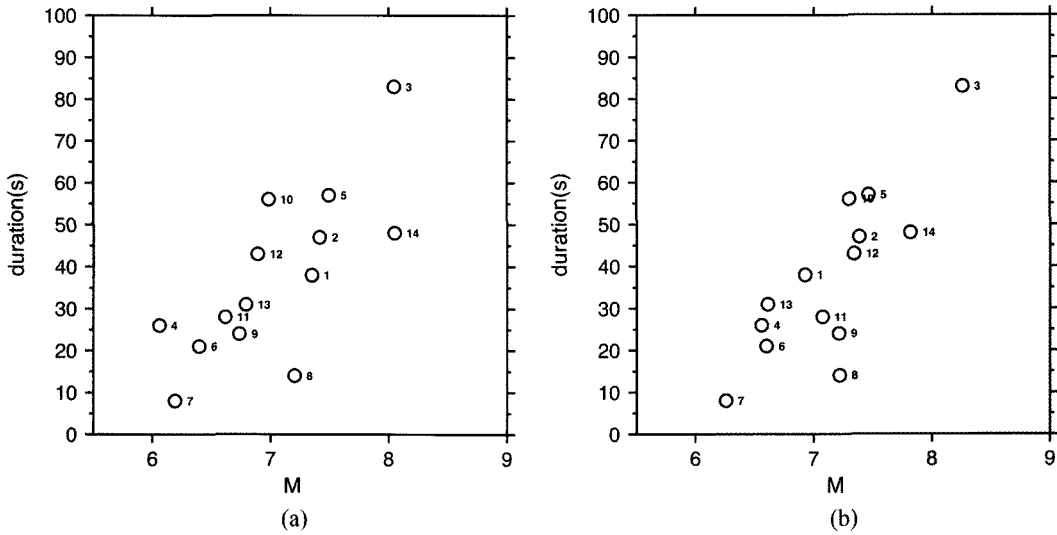


Fig. 4. Duration of high frequency energy radiation as a function of magnitude for (a) teleseismic and (b) regional earthquakes.

차이가 모두 오차범위 ± 0.5 를 벗어나지 않아 서로 큰 차이를 보이지 않았다.

고주파 에너지 방사지속시간과 규모와의 관계도 분석하였는데 Fig. 4(a)는 진앙거리 $30^\circ \sim 90^\circ$ 인 원거리 지진자료(IRIS)를 이용한 결과이며, (b)는 진앙거리 $5^\circ \sim 15^\circ$ 인 지역지진자료(기상청)에 대한 것이다. 일반적으로 규모 8.5일 때 진원시간이 89초, 규모 9.0일 때 160초 정도를 보이는 것(Utsu *et al.*, 2001)과 같이 두 결과 모두 규모가 커짐에 따라 고주파 에너지 방사지속시간도 길게 산출되는 경향을 보였다.

토 의

고주파 에너지 방사지속시간을 이용한 규모산정을 위하여 고주파 대역필터($2 \sim 4$ Hz)를 사용하게 되는데, 이는 지진파형으로부터 장주기 성분을 제거하여 단층운동에 의한 고주파 방출 에너지만을 추출하기 위한 것이다. 일반적으로 대규모지진의 진원과정을 이해하기 위해서는 진앙거리 $30^\circ \sim 90^\circ$ 의 원거리 지진자료를 이용하는데 이는 상부맨틀 등 지구내부구조에 의한 산란효과를 최소화하기 위한 것이다. 이번 연구에서는 진앙거리 30° 이하의 가까운 거리에 위치한 관측소 자료를 이용하였기 때문에 이와 같은 산란효과 등에 의해 고주파 에너지 방사지속시간을 평가하는데 있어 오차가 커질 수 있다. 따라서 진앙거리가 상대적으로 가까운 지역지진자료와 진앙거리가 먼 원거리지진자료에 대하여 고주파 대역필터 적용에 따른 영향을 비교해 보았다. Fig. 5는 진앙거리가 가까운 기상청 관측소 자료와 진앙거리가 먼 IRIS 관측소 자료에 대하여 고주파 대역필터를 적용한 결과이다. (a)는 2007년 7월 16일에 발생한 규모 6.8 지진(Table 1, 7번 지진)이고, 진앙거리 5° 에 위치하는 기상청 BUS(좌)와 진앙거리 80° 에 위치하는 GRFO(우) 관측소 자료를 나타낸다. (b)는 2007년 1월 13일에 발생한 규모

8.1 지진(Table 1, 3번 지진)에 대한 (a)와 동일한 관측소의 자료이며, 진앙거리는 각각 21° 와 79° 이다. 고주파 대역필터 적용 결과 (a)의 BUS는 지속시간 20초를 보였고, GRFO는 지속시간 6초로 지역지진자료와 원거리 지진자료에 대한 결과가 크게 차이를 보였으나, (b)에서는 BUS, GRFO 각각 지속시간 78초, 79초로 비슷하게 결정되었다. 지역지진자료(기상청)에는 상대적으로 단주기 성분이 많이 포함되어 에너지 방사지속시간이 길게 추정되며, 원거리지진자료(IRIS)는 비교적 뚜렷한 진원시간함수를 보이며 지역지진자료를 이용한 경우보다 짧은 것을 알 수 있다. 이와 같은 고주파 에너지 방사지속시간의 차이는 (a)의 경우처럼 규모가 작을수록 더 커지는 경향이 있다. 그러나 (b)와 같이 규모가 클 경우 고주파 대역필터를 적용한 후에도 약간의 차이는 보이지만 지역지진자료와 원거리지진자료에 대하여 유사하게 결정되는 것을 알 수 있었다. 이를 통해 비교적 큰 규모에 대해서는 진앙거리가 크게 영향을 미치지 않으며 연구한 규모산정법이 적용 가능할 것으로 생각된다.

대규모지진은 단층길이가 길기 때문에 종종 방향에 따라 진원지속시간이 달라진다(Directivity 효과). 따라서 하나의 지진에 대한 고주파 에너지 방사지속시간과 규모가 관측소 위치에 따라 달라질 수 있다. Fig. 6에서 규모결정에 있어 관측소 위치에 따른 영향을 평가하였다. 붉은색 원은 기상청자료, 푸른색 원은 진앙거리 $5^\circ \sim 30^\circ$ 에 위치하는 IRIS 자료 분석결과를 나타내며, 이 중 큰 원은 평균값이다. 초록색 십자형은 진앙거리 $30^\circ \sim 90^\circ$ 에 위치하는 IRIS 자료를 이용하여 분석한 결과를 나타낸다. 각 지진마다 관측소의 규모분석 결과가 차이를 보이지만 각각의 평균값(큰 원)은 USGS 발표규모값(x축)과 ± 0.5 이내의 오차를 보였다. 유사한 거리에 있는 경우라 하더라도 기상청 자료와 IRIS 자료를 이용한 결과가 차이를 보이는 것은 단층의 파괴전파 방향에 따른 결과이다. 단층의 파괴전파 진행방향에 위치하는 관측소는 지속시간이 짧고 큰 진폭

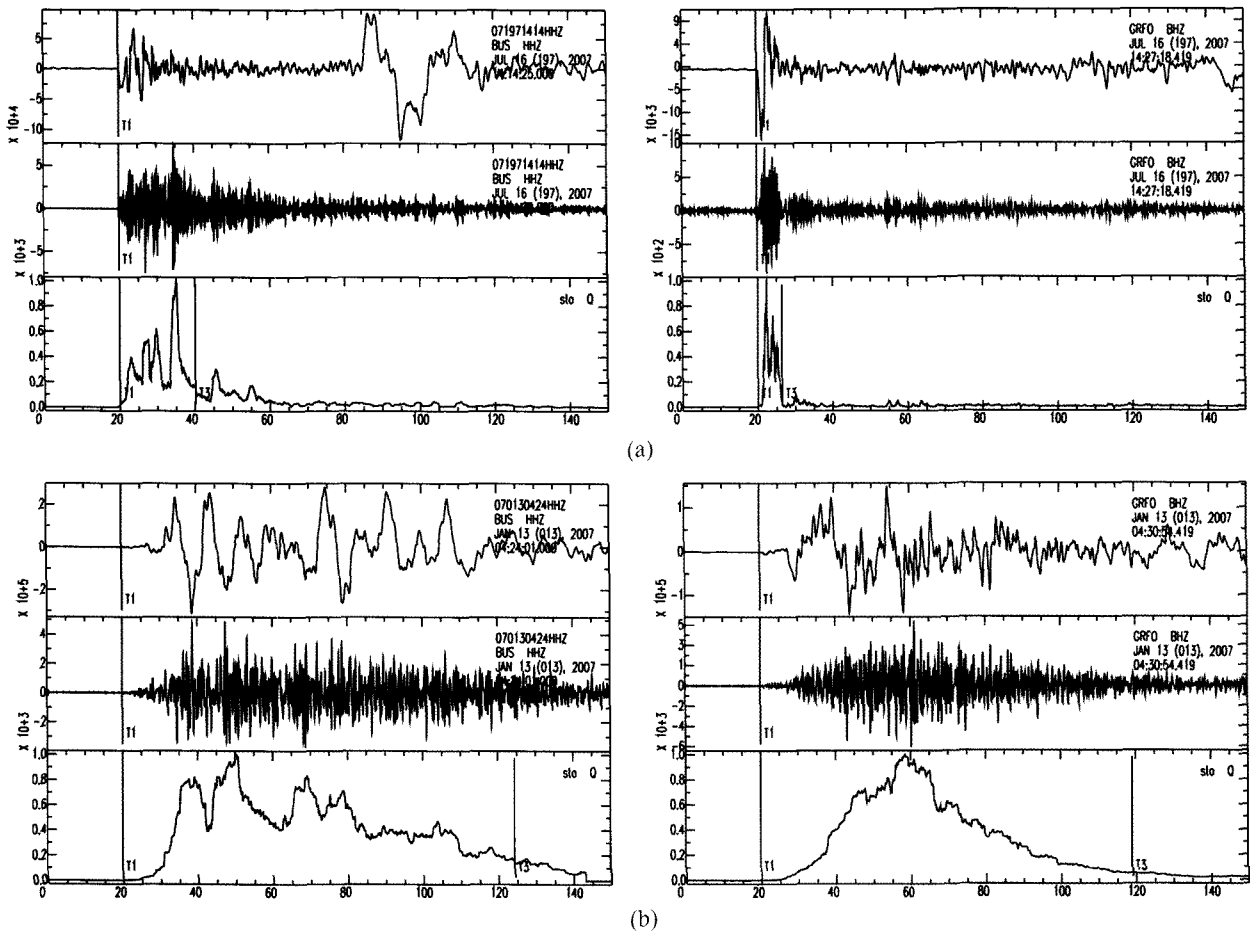


Fig. 5. Duration differences for regional waveforms (left) and teleseismic waveforms (right) for (a) the July 16, 2007 (Mw 6.8) and (b) Jan 13, 2007 (Mw 8.1) earthquakes. At each frame, top, middle and bottom traces show raw data, band-pass filtered at 2~4 Hz and smoothed time series.

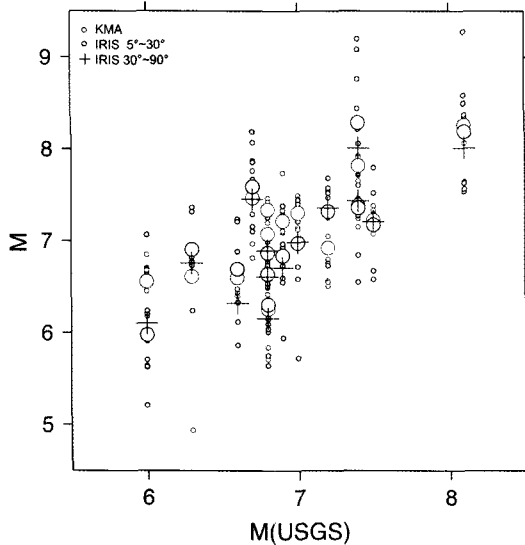


Fig. 6. Comparison of magnitude obtained in this study and by the USGS. Red circles represent magnitudes using regional distance data of KMA and Blue circles are those using data at the epicenter distance of 5°~30° from IRIS network. Large circles are the averages of estimated magnitude results. Crosses are the magnitudes calculated with IRIS stations at the epicentral distance of 30°~90°.

을 보이며, 진행방향과 반대방향에 위치하는 관측소에서는 상대적으로 지속시간은 길고 진폭은 작아진다(Lay and Wallace, 1995). 본 연구의 규모 산정 방법에서는 진원지속시간과 최대 진폭, 진앙거리가 사용되므로 각 관측소 별로 다른 규모를 보이는 것으로 생각되며, IRIS 관측소의 경우 방향에 따라 규모 값의 차이가 큰 것으로 나타난다. 여기서 사용한 기상청 자료(진앙거리 5°~15°)와 IRIS 자료(진앙거리 5°~30°)를 이용하여 구한 규모(붉은색과 푸른색 큰원)를 진앙거리 30°~90°인 IRIS 자료 결과(십자형)와 각각 비교하였을 때 기상청 지진자료가 다소 큰 오차를 보이거나 ±0.5 이내의 오차를 나타내어 대규모 지진의 발생을 신속하게 판단하는데는 여전히 유용할 것으로 판단된다.

Hara (2007a)는 Shearer and Earle (2004)에서 제안한 상부 맨틀과 D" 구조에 의한 산란을 제거하기 위하여 진앙거리 30°~85°에 위치한 관측소 자료만 사용하였으나, 이번 연구에서 진앙거리가 가까운 지역지진자료(5°~15°)를 이용할 경우 비교적 정확하게 규모를 산출할 수 있음을 알 수 있었다. 지역 지진자료를 사용하여 규모를 산정할 때, 원거리 지진자료에 사용한 규모식을 동일하게 사용할 경우 지진파가 거치는 지구

내부 매질의 특성이 다르기 때문에 규모값의 오차가 커질 수 있다. 이번 연구에서는 고주파 에너지 방사지속시간을 이용한 규모산정법의 적용가능성에 초점을 두었으나, 지역지진자료에 맞는 규모식을 얻기 위해서는 추가연구가 필요할 것으로 생각된다.

결 론

지진에너지 방출시간이 긴 대규모지진의 규모를 신속하게 결정하기 위해 고주파 에너지 방사지속시간을 이용한 규모산정법에 대한 연구를 수행하였다. 먼저 대규모 원거리 지진에 대해 이 방법을 적용하여 상세분석을 통해 얻은 규모(USGS 및 CMT)와 ± 0.2 오차범위 내에서 규모를 산정할 수 있음을 확인하였다. 다음으로, 진앙거리가 가까운 지역지진에 대해 적용 가능한지 검토하기 위하여 일본 주변에서 발생한 규모 6.0 이상 14회 지진의 규모를 산정하였다. 이 방법을 지역지진자료에 적용하여 구한 고주파 에너지 방사지속시간은 규모가 클수록 길어져 원거리 지진자료에 적용한 것과 마찬가지로 결과를 얻었다. 규모는 원거리지진자료를 이용하여 구한 규모나 USGS발표 규모에 비해 ± 0.5 오차범위 내에서 산정됨을 알 수 있었다. 따라서 일본 주변에서 발생하는 대규모 지진에 대해 지역지진자료인 기상청 지진자료를 이용하여 비교적 정확하고 신속하게 규모를 산정할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 이 방법을 이용하여 일본 근해에서 발생하는 지진의 규모를 신속하게 결정하고, 지진해일을 유발할 수 있는 대규모지진인지 판단하는 것이 가능할 것으로 보인다.

사 사

본 연구는 기상청 국립기상연구소의 주요사업 “지진감시기술 지원 및 활용 연구” 과제의 일환으로 수행되었다. 본 연구

를 위하여 IRIS(Incorporated Research Institutions for Seismology) 관측망 지진자료와 기상청 광대역 지진자료를 이용하였다. 본 논문을 심사하고 유익한 조언을 해 주신 익명의 두 심사위원께 감사드린다.

참고문헌

- 국립기상연구소, 2009, 지진감시기술 지원 및 활용 연구(I).
 황의홍, 이우동, 조봉근, 조범준, 2007, 광대역 지진자료의 P파를 이용한 모멘트 규모 결정, *지질학회지*, **10**, p. 1-12.
 Hara, T., 2007a, Measurement of the duration of high-frequency energy radiation and its application to determination of the magnitudes of large shallow earthquakes, *Earth Planets Space*, **59**, p. 227-231.
 Hara, T., 2007b, Magnitude determination using duration of high frequency energy radiation and displacement amplitude: application to tsunami earthquakes, *Earth Planets Space*, **59**, p. 561-565.
 Lay, T. and Wallace, T. C., 1995, *Modern Global Seismology*, Academic Press, USA, p. 203.
 Lomax, A., 2005, Rapid estimate of rupture extent for large earthquake: Application to the 2004, M9 Sumatra-Andaman mega-thrust, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, doi:10.1029/2005GL022437.
 Shearer, P. M. and P. S. Earle, 2004, The global short-period wavefield modelled with Monte Carlo seismic phonon method, *Geophys. J. Int.*, **158**, 1103-1117.
 Tsuboi, S., K. Abe, K. Takano, and Y. Yamanaka, 1995, Rapid determination of Mw from broadband P Waveforms, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **85**, p. 606-613.
 Tsuboi, S., P. M. Whitmore, and T. J. Sokolowski, 1999, Application of Mwp to deep and teleseismic earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **89**, 1345-1351.
 Tsuboi, S., 2000, Application of Mwp to tsunami earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **27**(19), p. 3106-3108.
 Utsu, T. et al., 2001, *Encyclopedia of earthquakes*, Asakura shoten, p. 284.