

# 한반도 및 인근 지역 계기지진의 지진모멘트 환산(I): $m_b$ 또는 $M_S$ 에서 $M_0$ 로

노명현 · 이상국 · 최강룡  
한국원자력안전기술원

## 요 약

한반도를 중심으로 32 ~ 44°N, 123 ~ 133°E 사이에서 발생한 지진 중  $M_0$ 와 함께  $m_b$  또는  $M_S$ 가 결정된 50 개의 계기지진을 이용하여 실체파( $m_b$ ), 표면파( $M_S$ ), 또는 둘 다로부터 지진 모멘트( $M_0$ )를 계산하는 환산식을 개발하였다. 진원깊이 70 km 이상은 심발지진으로, 이하는 천발지진으로 분류하였으며,  $M_0$ 의 단위는 dyne-cm이다. 표면파규모의 경우 심발지진이 천발지진보다 큰 지진모멘트를 갖는 것으로 나타났다. 심발지진과 천발지진 환산식에 수반된 표준편차는 모멘트 규모로 각각 0.25 과 0.16 이며 그 관계식은 각각 다음과 같다.

$$\log M_0 = 15.13 + 2.709M_S - 0.1512M_S^2 \text{ (심발지진)}$$

$$\log M_0 = 31.40 - 3.611M_S + 0.4222M_S^2 \text{ (천발지진)}.$$

실체파규모의 경우 환산식은 진원깊이에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 환산식에 수반된 표준편차는 모멘트 규모로 0.28 이며 그 관계식은 다음과 같다.

$$\log M_0 = 32.34 - 4.365m_b + 0.5422m_b^2$$

실체파와 표면파가 동시에 결정된 경우 새로운 규모  $M_u = (m_b + 2M_S)/3$  을 정의하여 별도의 환산식을 구했다. 천발지진만이 분석에 이용되었으며, 환산식에 수반된 표준편차는 모멘트 규모로 0.14 이고 그 관계식은 다음과 같다.

$$\log M_0 = 31.42 - 3.774M_u + 0.4540M_u^2$$

이상의 분석결과는 한반도 및 인근 지역의 지진 크기를 하나의 지진규모, 즉 모멘트 규모로 통일하는 데 이용될 수 있다.

**주요어:** 실체파규모, 표면파 규모, 모멘트 규모, 환산식

**Myunghyun Noh, Sangkook Lee and Kangryong Choi, 2001, Seismic Moment Conversion of instrumented Earthquakes in and around the Korean Peninsula (I): from  $m_b$  or  $M_S$  to  $M_0$ . Journal of the Korean Geophysical Society, v. 4, n. 1, p. 47-55**

**ABSTRACT:** Conversion equations to calculate seismic moment( $M_0$ ) from body-wave magnitude( $m_b$ ), surface-wave magnitude( $M_S$ ), or both were derived by using 50 earthquakes occurred within 32 ~ 44°N and 123 ~ 133°E whose  $M_0$  were determined together with  $m_b$  or  $M_S$ . We divided those earthquakes into the deeper and the shallower ones based on the reference focal depth of 70 km. The unit of  $M_0$  is dyne-cm. In case of  $M_S$ , the deeper earthquakes exhibit the higher seismic moment than the shallower ones. Standard deviations associated with conversion equations for deeper and shallower earthquakes are 0.25 and 0.16, respectively, in moment magnitude.

$$\log M_0 = 15.13 + 2.709M_S - 0.1512M_S^2, \text{ for deeper earthquakes}$$

$$\log M_0 = 31.40 - 3.611M_S + 0.4222M_S^2, \text{ for shallower earthquakes.}$$

In case of  $m_b$ , the dependence of conversion equation on focal depth is not clearly observed. Associated standard deviation is 0.28 in moment magnitude.

$$\log M_0 = 32.34 - 4.365m_b + 0.5422m_b^2$$

In case that both  $m_b$  and  $M_S$  were determined, a new magnitude,  $M_u = (m_b + 2M_S)/3$ , were defined for shallower earthquakes to derive a more stable conversion equation. Associated standard deviation is 0.14 in moment magnitude.

$$\log M_0 = 31.42 - 3.774M_u + 0.4540M_u^2 .$$

Conversion equations above can be used to unify the earthquake size into a single magnitude type, i.e., moment magnitude, in and around the Korea Peninsula.

**Key words:** body-wave magnitude, surface-wave magnitude, moment magnitude, conversion equation.

(Myunghyun Noh, Sangkook Lee and Kangryong Choi, Korea Institute of Nuclear Safety, Gusong-Dong 19 Taejon Korea, 305-600; e-mail: k343nmh@kins.re.kr)

## 1. 서 론

최근까지 지진연구에 대한 사회적 인식의 결여, 연구비 및 지진관측장비의 부족 등 열악한 연구 환경에도 불구하고 지진학자들의 선구자적인 연구를 기반으로 국내 지진학은 어느 정도 기틀을 잡아가고 있다. 이러한 시점에서 새로운 분야에 대한 심도 있는 연구도 중요하지만, 이와 병행해서 지진연구의 기초자료를 재검토하여 정리할 필요가 있다.

우리 나라 지진자료는 약 2000년간의 역사지진 자료와 1900년대 초 지진계의 등장과 함께 시작된 계기지진자료로 구성된다. 잘 알려진 바와 같이, 역사지진자료는 계기지진자료에 비해 관측기간이 길어 지진활동의 중·장기 특성 분석에 유용한 정보를 제공하나, 정량적인 해석을 위해서는 아직도 많은 연구가 필요하다. 우리나라에 최초로 지진계가 설치된 것은 1905년이며, 국내 지진계측을 통하여 정리된 지진목록은 1978년 이후부터 존재한다(기상청, 2001). 1978년 이전의 지진자료는 국내·외의 다양한 자료로부터 구할 수 있다. 이들 자료에서 주의할 점은 기상청 지진목록에서는 Tsuboi 규모(기상청, 1992)를, 그 밖의 지진목록에서는 실체파규모( $m_b$ ), 표면파규모( $M_S$ ), Richter 지역규모( $M_L$ ) 등을 사용하고 있다는 것이다.

다양한 종류의 규모로 기술된 지진자료를 보정하지 않고 그대로 사용할 경우 왜곡된 해석이 나올 수 있다. 예를 들어 Nuttli(1983, 1985)는 대규모 판내지진(mid-plate earthquake)으로부터 magnitude-stress drop 관계를 분석하여 'increasing stress

drop'이라는 결론을 도출했으나, Boore and Atkinson(1987)는 이 결과가 상이한 종류의 규모( $m_b, m_{Lg}$ )를 보정하지 않고 사용했기 때문에 왜곡된 것으로서, 보정할 경우 'increasing stress drop'의 증거는 명확하지 않다고 지적하였다. 상이한 규모의 혼용은 Richter- $b$ ,  $M_{max}$  등 지진활동 매개변수(seismicity parameter)에 대해서도 왜곡된 결과로 이어질 수 있으며, 이는 지진재해도 등 관련 연구에도 영향을 준다.

만일 지진의 규모를 한 종류로 통일한다면, 그 규모는 모멘트규모(moment magnitude)가 가장 적합하다. 이러한 관점에서 Dziewonski and Woodhouse(1983)와 Ekström and Dziewonski(1988)는 판 경계지역 지진에 대하여  $\log M_0 - M_S$  관계식을 개발했으며, Johnston(1994)은 안정대륙 지역(stable continental region) 지진에 대한 관계식을 개발하였다. 이 논문에서는 한반도 및 인근지역 지진에 대하여  $m_b$  또는  $M_S$  또는 둘 다로부터  $M_0$ 를 계산할 수 있는 변환식을 개발하였으며, 이 결과를 안정대륙지역(stable continental region)에 대한 결과(Johnston, 1994)와 비교하였다.

## 2. 지진자료

한반도를 중심으로 32 ~ 44°N, 123 ~ 133°E 사이에서 발생한 지진을 검색하여  $m_b$  또는  $M_S$ 가 결정된 지진 중  $M_0$ 도 계산된 지진만을 선택한 결과 모두 50 개의 지진이 취합되었다(Table 1). 취합된 자료에서  $M_L$ 이 결정된 지진의 경우  $m_b$  또는  $M_S$

역시 결정된 것으로 나타나  $M_L$  자료는 분석에서 제외하였다. 이들 지진은 International Seismological Centre의 On-line Bulletin(ISC, 2001), U.S. Geological Survey National Earthquake Information Center의 Preliminary Determination of Epicenters (NEIC, 2001), Harvard Centroid Moment Tensor Catalog(Harvard University 2001), Seismicity of the Earth(Gutenberg and Richter, 1954)에서 검색되었다. 서로 다른 지진목록에 기재된 지진원 요소를 개개의 지진별로 비교한 결과, ISC(2001) 지진목록은 자체적으로 결정한 지진원 요소뿐만 아니라 다른 지진목록의 지진원 요소도 기술하고 있음이 확인되었다. 따라서, 진앙위치에 의한 지진자료 검색과정에서 ISC 목록의 진앙위치뿐만 아니라 다른 목록의 진앙위치도 함께 검토하여, 하나라도 검색구간( $32 \sim 44^\circ\text{N}$ ,  $123 \sim 133^\circ\text{E}$ )에

포함되면 채택하였다. 그러므로 Table 1에서 일부 지진은 진앙 검색구간 밖에 위치하는 경우도 있다.

동일한 지진의 지진원 요소는 평가주체에 따라 다소 다를 수 있다. Table 1의 지진원 요소는 ISC 결정 값을 따랐다. ISC 결정 값을 따른 이유는 첫째, 가장 많은 관측소에서 관측된 지진정보를 이용하므로 신뢰성이 높으며, 둘째, 가장 많은 지진에 대하여 지진원 요소를 결정·제시하고 있으므로 자료의 일관성이 높기 때문이다. ISC의 표면파규모가 제시되지 않은 9개의 지진에 대해서는 다른 기관의 평가결과를 이용했다. 한편, ISC는 지진모멘트를 평가하지 않으므로, Harvard University(2001)의 평가결과를 이용했다.

Fig. 1은 Table 1에 열거된 지진의 진앙분포도이다. 서로 다른 판구조 환경에 속하는 지진이 혼

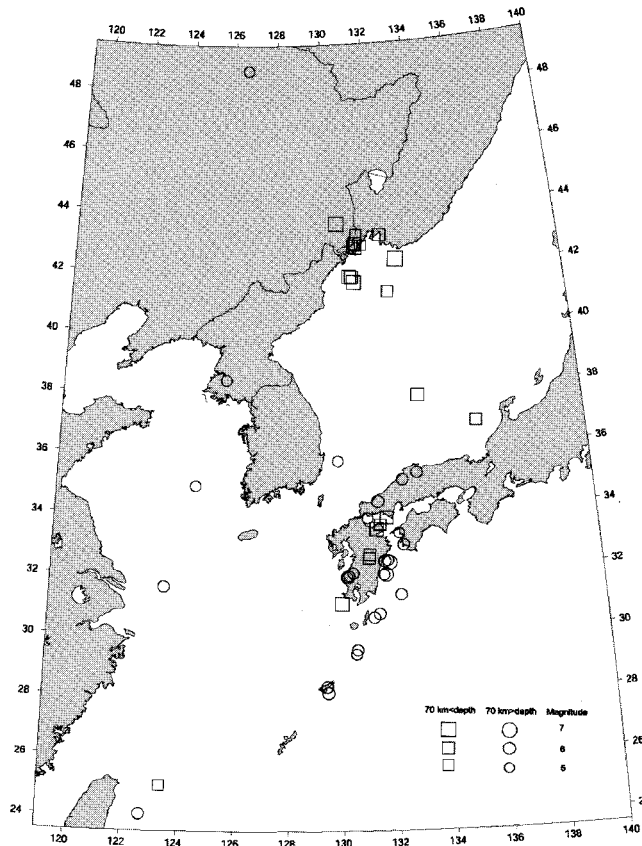


Fig. 1. Epicenter distribution of the earthquakes analyzed in this study (Table 1).

**Table 1.** List of earthquakes used in this study. Hypocentral parameters are those of ISC(2001) except ones marked with superscripts (1) and (2).

No	Origin Time		Location		$M_0^{(1)}$ (dyne-cm)	Magnitude		Depth (km)
	Date	Time	Lat.	Lon.		mb	Ms	
01	1977/02/03	21:31:50.16	42.8960	131.0705	$7.24 \times 10^{23}$	4.9		520
02	1977/03/09	14:27:56.21	41.6603	131.0507	$2.69 \times 10^{26}$	5.9		556
03	1977/09/09	02:35:02.02	42.8811	131.4290	$7.76 \times 10^{23}$	4.8		530
04	1978/05/23	07:50:28.28	31.0657	130.1012	$1.24 \times 10^{26}$	6.2	6.2	160
05	1978/06/03	20:03:54.89	35.1184	132.6078	$3.64 \times 10^{24}$	5.2	5.7	16
06	1978/07/04	02:40:54.77	32.6701	131.2164	$6.17 \times 10^{24}$	5.7	5.3	125
07	1979/01/31	12:36:24.19	42.7858	131.2079	$7.11 \times 10^{24}$	5.5	4.8	536
08	1979/07/13	08:10:12.39	33.8741	131.9130	$1.77 \times 10^{25}$	5.8	5.7	74
09	1979/08/16	21:31:24.87	41.8544	130.8649	$1.15 \times 10^{26}$	5.8	6.0	566
10	1979/09/14	14:50:59.23	30.5913	131.3039	$4.02 \times 10^{24}$	5.5	5.6	43
11	1979/12/25	03:36:52.32	43.2317	131.2562	$8.84 \times 10^{23}$	4.9		524
12	1980/01/18	22:10:15.21	37.8559	133.4317	$2.69 \times 10^{25}$	5.4	5.4	425
13	1980/02/21	23:53:01.23	31.3335	132.3473	$1.87 \times 10^{24}$	5.0	5.9	25
14	1980/02/27	06:24:38.98	29.3753	130.5997	$1.15 \times 10^{24}$	5.0	5.6	47
15	1980/12/11	23:10:02.24	32.4443	131.7752	$4.80 \times 10^{24}$	5.7	5.6	52
16	1981/02/24	06:45:11.21	28.3120	129.4850	$3.22 \times 10^{24}$	5.7	5.8	56
17	1981/04/15	02:46:58.18	35.7829	130.0996	$7.64 \times 10^{23}$	5.1	4.5	18
18	1981/08/12	05:10:59.76	29.5237	130.6455	$1.97 \times 10^{24}$	5.5	5.5	41
19	1981/11/27	17:21:44.34	42.9336	131.1879	$2.04 \times 10^{25}$	5.7	5.0 <sup>(2)</sup>	525
20	1982/02/03	20:42:45.27	36.9118	135.6934	$2.61 \times 10^{24}$	5.3	4.5 <sup>(2)</sup>	345
21	1982/02/14	14:37:33.43	38.4638	125.6547	$4.45 \times 10^{23}$	5.1	5.2	50
22	1982/03/06	10:16:35.10	31.9933	131.7290	$1.03 \times 10^{24}$	5.2	5.4	45
23	1983/08/25	20:23:33.42	33.5082	131.5066	$6.52 \times 10^{25}$	6.2	6.3 <sup>(2)</sup>	128
24	1983/09/28	07:59:12.67	41.3120	132.4813	$1.96 \times 10^{24}$	5.1		501
25	1983/12/05	01:53:38.80	32.4662	131.8933	$1.67 \times 10^{24}$	5.0	5.4	52
26	1984/04/15	07:34:11.07	42.8705	131.1977	$6.11 \times 10^{23}$	5.0		528
27	1984/07/19	23:25:12.05	28.1086	129.5218	$7.15 \times 10^{24}$	6.0	5.8	41
28	1984/08/06	19:06:38.14	32.3906	131.9639	$2.90 \times 10^{26}$	6.2	6.9	45
29	1985/01/26	21:36:11.04	32.5498	131.1850	$3.64 \times 10^{24}$	5.8	5.0 <sup>(2)</sup>	123
30	1985/05/13	10:41:00.09	32.9784	132.5216	$2.55 \times 10^{24}$	5.7	5.4	45
31	1986/08/15	20:20:37.80	48.6759	126.5592	$3.35 \times 10^{23}$	5.1	5.1	33
32	1987/02/11	17:42:50.13	43.1942	132.2772	$1.60 \times 10^{25}$	5.5	5.1 <sup>(2)</sup>	488
33	1987/03/18	03:36:28.25	32.0010	131.8100	$1.17 \times 10^{26}$	6.4	6.6	36
34	1987/03/28	11:26:36.95	30.7097	131.5119	$4.43 \times 10^{24}$	5.1	5.7	27
35	1989/04/04	20:10:51.62	25.0027	123.3611	$1.15 \times 10^{24}$	5.0	4.4 <sup>(2)</sup>	138
36	1990/05/11	13:10:19.49	41.8350	130.9631	$2.64 \times 10^{25}$	5.7	5.4 <sup>(2)</sup>	567
37	1991/08/28	01:29:02.68	35.3292	133.1889	$1.95 \times 10^{24}$	5.1	5.4	14
38	1991/10/28	01:09:12.94	33.8689	131.1784	$7.48 \times 10^{23}$	5.0	5.1	28
39	1994/02/12	17:06:58.85	32.0653	130.5639	$1.48 \times 10^{24}$	4.7	5.4	36

Table 1. Continued.

No	Origin Time		Location		$M_0^{(1)}$ (dyne-cm)	Magnitude		Depth (km)
	Date	Time	Lat.	Lon.		$m_b$	$M_s$	
40	1994/07/21	18:36:30.82	42.3668	132.9135	$1.10 \times 10^{27}$	6.3		459
41	1994/07/25	17:41:52.46	34.9787	124.4730	$7.14 \times 10^{23}$	5.0	5.1	21
42	1996/08/10	06:23:08.39	24.0436	122.6745	$3.42 \times 10^{24}$	5.3	5.4	43
43	1996/11/09	13:56:08.64	31.6311	123.3463	$2.69 \times 10^{24}$	5.2	5.5	35
44	1997/03/26	08:31:46.81	31.9526	130.3705	$1.76 \times 10^{25}$	5.5	6.1	7
45	1997/04/02	19:33:22.69	31.9348	130.3119	$1.83 \times 10^{24}$	5.1	5.1	13
46	1997/04/02	21:47:32.02	33.3636	132.3774	$5.46 \times 10^{23}$	4.8	4.5	54
47	1997/04/05	04:24:50.94	31.9667	130.4079	$5.07 \times 10^{23}$	4.4	4.8	26
48	1997/06/25	09:50:13.40	34.4187	131.6036	$6.71 \times 10^{24}$	5.4	5.8	13
49	1998/05/22	19:49:34.88	33.6534	131.6545	$2.09 \times 10^{24}$	5.2	4.8 <sup>(2)</sup>	90
50	1999/04/08	13:10:34.13	43.6090	130.4130	$5.10 \times 10^{26}$	6.4	6.0 <sup>(2)</sup>	564

(1) Harvard University(2001).

(2) Determined by organizations other than ISC(2001).

재함을 알 수 있다. 이후의 분석과정에서 상이한 판구조 환경에 의한 영향을 검토해 보았으나, 주목할만한 차이를 보이지 않았다. 이는 상이한 판구조 환경에 의한 영향이 자료 자체의 산포도에 비해 크지 않은 것으로 해석된다.

### 3. 자료분석

이 연구에 이용된 지진의 지진원 요소는 Table 1에 정리되어 있다. Table 1의 자료에 대하여 규모-지진모멘트 관계를 선형-대수 축 상에서 2차다항식 회귀모델을 적용하여(Fig. 2 참조) 분석했다.

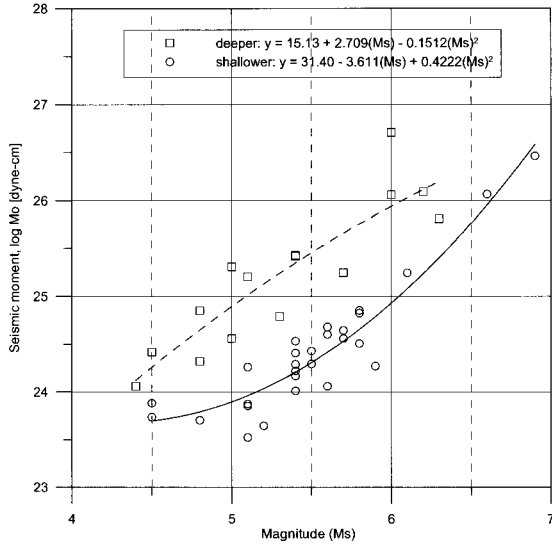
Fig. 2는 표면파 분석결과를 나타낸다. 표면파는 진원깊이(focal depth)가 얇을수록 잘 발달하므로 표면파 규모는 진원깊이에 따라 분산될 수 있다. 이 연구에서는 진원깊이 70 km를 기준으로 2개의 군집으로 나누었으나, 자료가 충분한 경우 좀 더 많은 군집으로 세분하는 것도 가능할 것이다. Fig. 2에서 2개의 지진군집이 잘 분리되어 있음을 알 수 있다. 편의상 진원깊이 70 km 이상인

지진은 심발지진(deeper earthquake), 이하는 천발지진(shallower earthquake)으로 구분하였다. 이는 단지 회귀분석을 위한 구분으로서 통상적인 심발지진(deep earthquake), 중발지진(intermediate earthquake) 및 천발(shallow earthquake)과 구별된다. 이에 대한 회귀분석 결과는 다음과 같다.

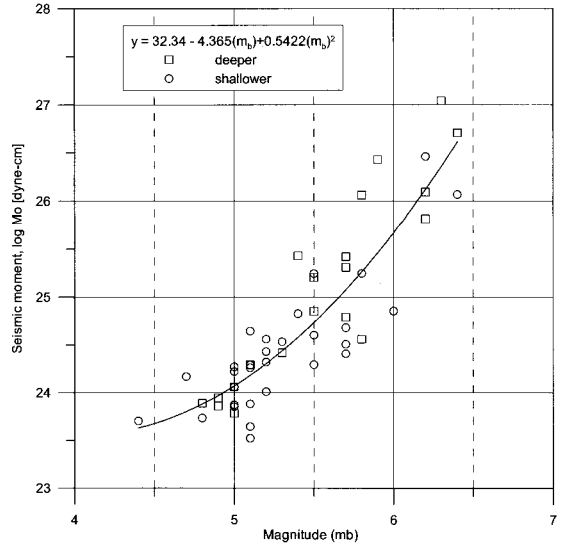
$$\log M_0 = 15.13 + 2.709M_s - 0.1512M_s^2 \quad (\text{심발지진}) \quad (1-1)$$

$$\log M_0 = 31.40 - 3.611M_s + 0.4222M_s^2 \quad (\text{천발지진}) \quad (1-2)$$

위에서  $M_0$ 의 단위는 dyne-cm이다. 천발지진에 대한 지진모멘트 환산식은 아래로 볼록한 형태를 보이는데, 이러한 특징은 다른 연구결과와 일치한다(예를 들면, Ekström and Dziewonski, 1988; Johnston, 1994). 같은 크기의  $M_s$ 에 대하여 심발지진이 천발지진보다 큰  $M_0$ 를 갖는데, 이는 진원깊이가 깊을수록 표면파가 잘 발달하지 않음을 의미한다.



**Fig. 2.** Surface-wave magnitude data set and regression curves. A reference focal depth of 70 km was applied for grouping deeper(squares and dotted line) and shallower(circles and solid line) earthquakes.



**Fig. 3.** Body-wave magnitude data set and regression curve. The regression curve applies to both deeper(squares) and shallower(circles) earthquakes.

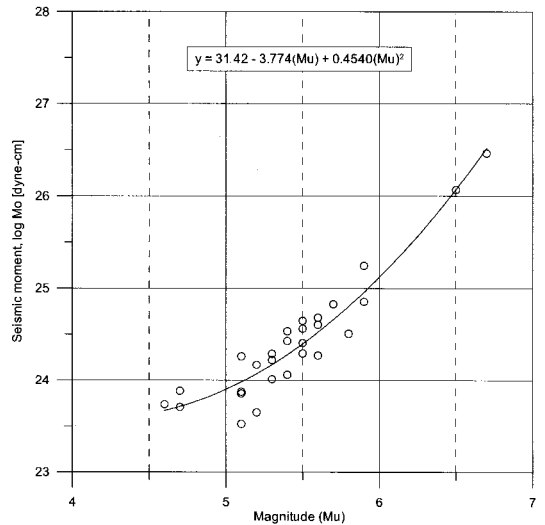
Fig. 3은 실체파 규모에 대한 분석결과를 보여 준다. 실체파규모에 대한 지진모멘트 환산식은 진원깊이에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 따라서 심발지진과 천발지진으로 구분하지 않았으며, 회귀분석 결과는 다음과 같다.

$$\log M_0 = 32.34 - 4.365m_b + 0.5422m_b^2 \quad (2)$$

표면파의 경우와 마찬가지로 환산식은 아래로 볼록한 형태를 보이며, 이는 Johnston(1994)의 결과와 일치한다.

실체파와 표면파가 동시에 결정된 경우 새로운 규모  $M_u = (m_b + 2M_S)/3$ 을 정의하여 별도의 환산식을 구했다.  $M_S$ 에 더 큰 가중치를 부여한 것은  $m_b$ 에 비하여  $M_S$ 가 결정되는 지진파형의 주기가  $M_0$ 가 정의되는 주기에 더 가깝기 때문이다.

그러나 표면파에 대한 가중치를 얼마나 크게 할 것인가는 지진에 따라 변할 수 있으므로, 하나의 기준을 제시하는 것은 불가능하다. 위에서 2배의 가중치를 표면파에 부여한 것은 Johnston(1994)의 연구를 참조한 것이다. 표면파 심발지진의 경우  $M_0$  환산식의 특성이 표면파 천발지진이나 실



**Fig. 4.** Regression curve for the combined magnitude data set. The combined magnitude is defined by  $M_u = (m_b + 2M_S)/3$ . The regression curve applies to the shallower earthquakes only.

체파의 환산식과 차이를 보이므로, 표면파 천발지진만이 분석에 이용되었다. 분석결과는 식 (3) 및 Fig. 4와 같다.

$$\log M_0 = 31.42 - 3.774M_u + 0.4540M_u^2 \quad (3)$$

Fig. 5는 이들 식에 대한 잔차(residual)의 분포를 나타낸다. 잔차의 분포가 일정한 추세를 보이지 않으므로, 분석에 사용된 2차 다항식은 자료분석 모델로서 적합하다고 할 수 있다.

이상 식 (1), (2), (3)에 대한 회귀분석 결과를 Table 2에 요약하였다. Table 2에서  $\Delta M$ 은  $\log M_0$

에 대한 표준편차(s.d.)를 모멘트규모(moment magnitude) 규모로 환산한 값으로서 모멘트규모의 정의  $M = \frac{2}{3} \log M_0 - 10.7$ 로부터 계산되었다. 대체적으로 실제와 규모보다 표면과 규모의 경우에 더 좋은 회귀분석 결과가 얻어진다. 단, 표면과 규모에서 심발지진은 자료의 수가 작아 통계적 비교가 어렵다.  $M_u$ 의 경우  $m_b$ 나  $M_s$ 만을 이용했을 경우에 비하여 표준편차(s.d.) 또는

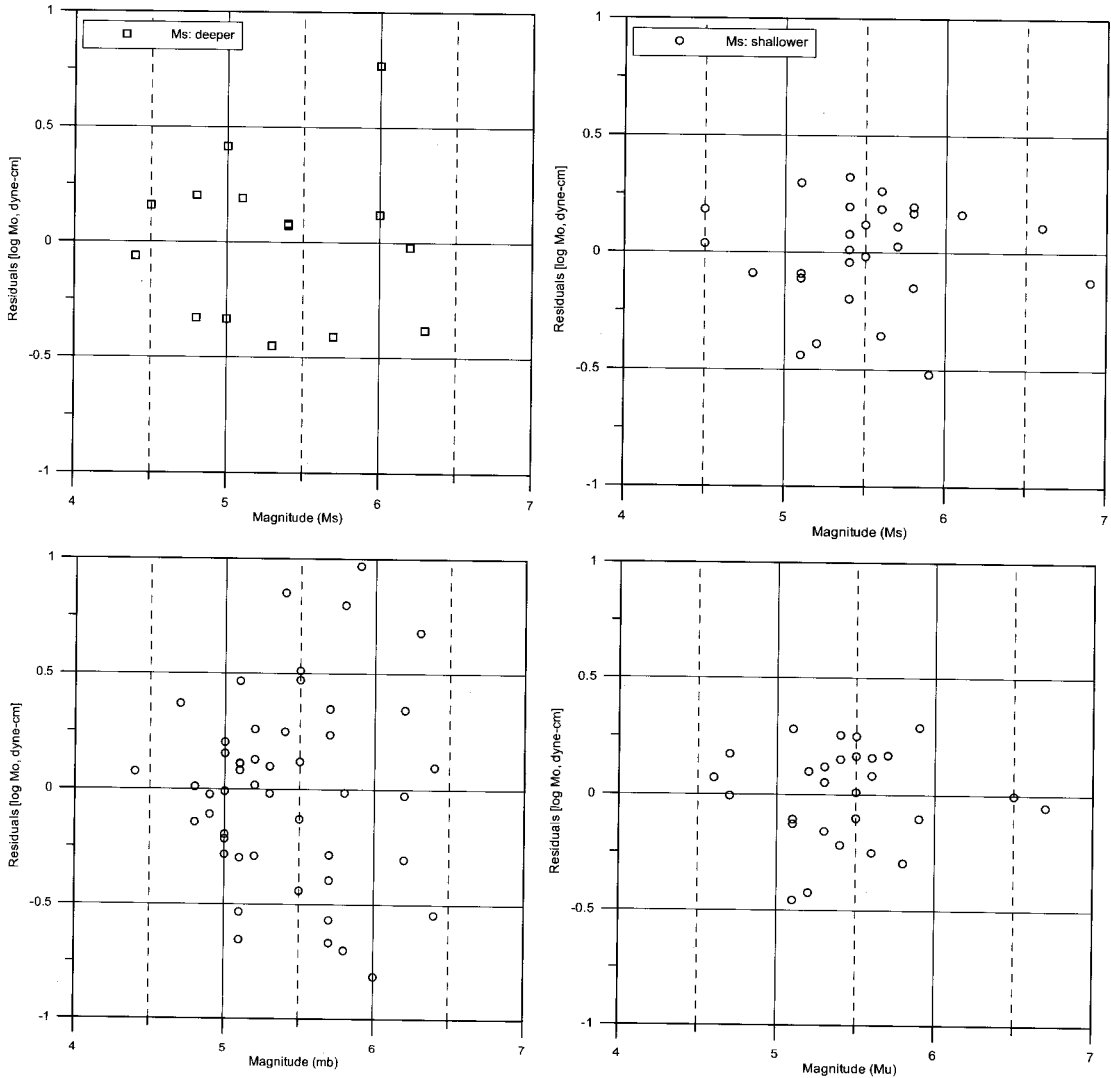


Fig. 5. Distribution of regression residuals. Top left: for surface-wave magnitude of shallower earthquakes, top right: for surface-wave magnitude of deeper earthquakes, bottom left: for body-wave magnitude, and bottom right: for combined magnitude.

**Table 2.** Summary of regression.

	$M_S$		$m_b$	$M_u^*$
	(Deep)	(Shallow)		
N <sup>1)</sup>	15	28	50	28
SRS <sup>2)</sup>	1.6312	1.3597	8.0189	1.1225
$R^2$ <sup>3)</sup>	0.7878	0.8855	0.7848	0.9055
S.D. <sup>4)</sup>	0.3687	0.2332	0.4131	0.2119
$\Delta M$ <sup>5)</sup>	0.2458	0.1555	0.2754	0.1413

\*  $M_u = (m_b + 2M_S)/3$

- 1) Number of data used, 2) Sum of residual squares, 3) Determination of coefficients, 4) S.D. =  $\sqrt{SRS/(N-3)}$ , 5) Moment magnitude corresponding to S.D.

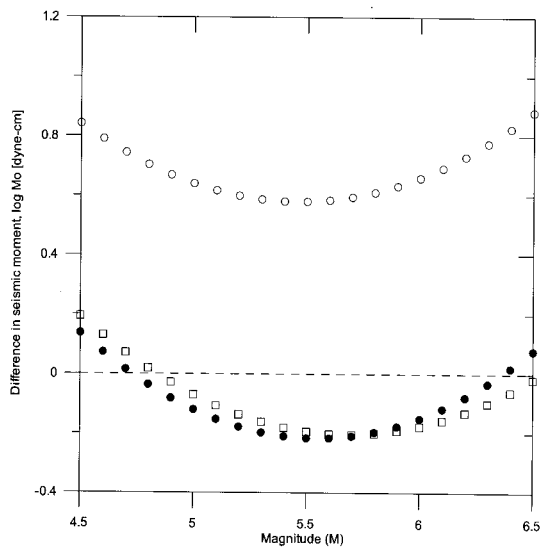
$\Delta M$ 이 감소할 뿐만 아니라  $R^2$  (determination of coefficients)도 상당히 높아짐을 알 수 있다.

#### 4. 기존연구와의 비교

Johnston(1994)는 미국 중·동부 지역의 지진 재해도를 안정적으로 평가하기 위하여 이 지역과 지진-지체구조적으로 유사한 안정대륙지역(stable continental region)을 확인하고, 이 지역에서 발생한 지진의 규모를 지진모멘트로 환산하는 관계식을 개발하였다. Johnston의 연구에서 한반도도 안정대륙지역에 포함되므로, Johnston의 연구결과와 이 연구결과를 비교하였다.

Fig. 6은 이 연구와 Johnston의 연구를 비교한 것이다. 수평축은 규모이며, 규모의 종류( $M_S$ ,  $m_b$  및  $M_u$ )는 심볼로 구별하였다. 수직축은  $\log M_0$ 의 차, 즉 이 연구의 환산식에서 Johnston의 환산식을 뺀 값이다.  $M_S$ 의 경우 천발지진에 대한 결과(식 1-2)를 이용하였다.

Fig. 6에서 환산식 사이의 차는 모든 종류의 규모에 대하여 규모 약 5.5에서 꼭지점을 갖는 포물선 형태로서 환산식 사이의 차가 규모의 크기에 따라 변화함을 보인다. 절대값을 비교할 때,  $m_b$ 의 경우에는 꼭지점에서 가장 작으나,  $M_S$  및  $M_u$ 의 경우에는 가장 크다. 또한, 전반적으로  $m_b$ 의 경우가  $M_S$  및  $M_u$ 의 경우보다 더 큰 차이를 보인다. 이는  $m_b$ 를 결정하는데 이용되는 지진



**Fig. 6.** Differences between the seismic moments converted by this study and those by Johnston(1994) for  $M_S$  (open squares),  $m_b$  (open squares), and  $M_u$  (closed circles). In case of  $M_S$ , equation(1-2) for the shallower earthquakes is compared.

파의 파장이 짧아 한반도 및 인근지역의 지체구조적 특성이 강하게 반영된 결과로 해석된다. 규모별로 환산식 사이의 차를 모멘트 규모로 계산하면,  $m_b$ 의 경우에 0.39 ~ 0.59,  $M_S$ 의 경우에 -0.14 ~ 0.13, 그리고  $M_u$ 의 경우에 -0.14 ~ 0.09이다.



## 5. 요약 및 결론

여러 가지 종류의 지진규모를 혼용할 경우 지진특성이 왜곡될 수 있으므로 지진규모를 하나로 종류로 통일하여 작성할 필요가 있다. 지진규모의 종류를 하나로 통일한다면, 가장 적합한 규모는 모멘트규모일 것이다. 한반도 및 인근 지역에서 발생한 지진 중 지진모멘트가 결정된 지진의 표면과 규모 또는 실체과 규모를 이용하여 지진모멘트 환산식을 개발하였으며, 그 결과는 식 (1), (2) 및 (3)과 같다. 이 과정에서 환산식에 대한 2 차 다항식은 관측 자료를 충분히 설명할 수 있는 모델로 나타났다. 또한, 표면과 규모의 경우 같은 크기의 규모에 대응하는 지진모멘트가 진원깊이에 따라 큰 차이를 보이므로 진원깊이별로 다른 군집으로 분류할 필요가 있다. 실체과 규모와 표면과 규모가 함께 주어진 경우 이 2 가지 값을 조합하면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 마지막으로 이 연구에서 개발된 환산식을 한반도를 포함한 안정대륙지각에 대하여 개발된 환산식과 비교할 때 실체과 규모에 대하여 큰 차이를 보이는데, 이는 한반도 및 주변지역의 세부 지체구조적 특성이 반영된 것으로 해석된다.

## 사 사

이 연구는 과기부에서 한국원자력안전기술원에 지원한 기관고유사업 중 원전부지지진감시와 원자력 안전규제기술개발 과제 중 세부과제 구조 및 부지 안전성평가 규제기술 개발의 일환으로 수행되었다.

## 참고문헌

기상청, 1992, 지진관측보고. 기상청, 서울.

- 기상청, 2001, 지진관측보고. 기상청, 서울.
- Boore, D. M. and Atkinson, G. M., 1987, Stochastic prediction of ground motion and spectral response parameters at hard-rock sites in eastern North America, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 77, 440-467.
- Dziewonski, A. M. and Woodhouse, J. H., 1983, An experiment in systematic study of global seismicity: centroid-moment tensor solutions for 201 moderate and large earthquakes in 1981, *Journal of Geophysical Research*, 88, 3247-3271.
- Ekström, G. and A. M. Dziewonski, 1988, Evidence of bias in estimations of earthquake size, *Nature*, 332, 319-323.
- Gutenberg, B. and C. F. Richter, 1954, *Seismicity of the earth and associated phenomena*, 2nd Ed., Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Harvard University, 2001, Harvard centroid moment tensor catalog, <http://www.seismology.harvard.edu/projects/CMT>.
- International Seismological Centre (ISC), 2001, On-line bulletin, <http://www.isc.ac.uk/Bull.Internat.Seis.Cent.>, Thatcham, United Kingdom.
- Johnston, A. C., 1994, Seismotectonic interpretations and conclusions from the stable continental region seismicity database: in Schneider, J. F., Ed., *The earthquakes of stable continental regions, Volume 1: Assessment of large earthquake potential*. Electric Power Research Institute (EPRI).
- National Earthquake Information Center (NEIC), 2001, Preliminary determination of epicenters (PDE), <http://www.usgs.gov/neis/bulletin>. U.S. Geological Survey.
- Nuttli, O. W., 1983, Empirical magnitude and spectral scaling relation for mid-plate and plate-margin earthquakes, *Tectonophysics*, 93, 207-223.
- Nuttli, O. W., 1985, Average seismic source-parameter relations for plate-margin earthquakes, *Tectonophysics*, 118, 161-174.

---

2001년 1월 30일 원고접수

2001년 3월 26일 원고채택