

## 최대지진가속도를 리용한 최대지진세기평가

정송수, 정준혁, 리두일

본문에서는 최대지진가속도를 리용하여  $M$ 지구의 최대지진세기를 평가하였다.

먼저 최대가능한 지진크기( $M_{\text{최대}}$ )를 계산하자.

최대가능한 지진크기의 계산은 대상지역의 지진위험성을 평가하는데서 중요한 문제들중의 하나이다. 크기가 최대에 가까운 지진은 한 장소에서 대단히 드물게 일어나며 그것들의 평균반복주기는 보통 수백~수천년이므로 직접 지진자료를 리용하여  $M_{\text{최대}}$ 를 결정하는것은 보통 현실적으로 불가능하며 역사자료와 고지진-지질학적자료들을 포함시킨다 하여도 불가능하다. 때문에  $M_{\text{최대}}$ 는 상관적으로 결합될수 있는 그 어떤 간접적인 자료들에 의하여 결정한다.[3, 4]

상관평가방법의 본질은  $M_{\text{최대}}$ 와 다른 요인들 즉 지진활동성, 지진활동층의 두께, 활동단렬의 길이, 지구물리적, 지질학적, 측량학적특성 등 각이한 인자들과의 관계에 따라 얻으려는 량을 직접 결정하는것이다.

지진활동도  $A$ 는  $M_{\text{최대}}$ 와 관련되는 중요한 인자들중의 하나이다.

그러면  $A$ 와  $M_{\text{최대}}$ 는 어떤 관계가 있는가에 대하여 보자.[2]

단위시간동안에 단위공간 혹은 평면의 어떤 점근방에서 일어난 일정한 지진크기구간에서의 평균지진수를 그 점에서의 지진활동도( $A$ )라고 한다. 이제 고찰지역의 지진활동도는 단위시간을 1년으로, 단위면적을  $1\,000\text{km}^2$ 로 하고 지진크기  $M_L=3.3$ 에 대응한 지수로서  $A_{3.3}$ 을 고찰하자.

활동도  $A_{3.3}$ 의 값은 다음과 같이 주어진다.

$$A_{3.3} = \frac{1-10^{-b}}{10^{-b}(M_{\text{최대}}-3.3)} \cdot \frac{N \cdot 10^{-3}}{S \cdot T}$$

여기서  $b$ 는 지진빈도그래프의 경사도이고  $M_{\text{최대}}$ 는 계산에 리용하는 최대지진크기이며  $N$ 은 최소지진크기이상의 지진수이다. 그리고  $T$ 는 고찰기간이다.

역사지진자료가 비교적 많고 지진파라미터결정이 비교적 정확히 진행된 서부지구에서 500년간 일어난  $M_S \geq 4$ 인 지진들과 해당하는  $A_{3.3}$ 을 상관시킨 결과는 다음과 같다.

$$M_{\text{최대}} = 0.61 \lg A_{3.3} + 6.91$$

다음으로 단렬대의 길이에 의하여 최대지진크기를 평가하는 방법을 보자.

최근의 물리탐사결과와 연구결과에 의하면 이 지역에는 주향이  $320 \sim 330^\circ$ 이고 길이가  $300\text{km}$ 에 달하는 백두산단렬대가 발달하고있으나 지표는 부석층이 덮여있어 지질도상에서는 나타나지 않았다. 이 단렬대는 심부까지 뻗은것으로 알려져있으며 단렬대의 평균너비는  $2 \sim 3\text{km}$ 로 보고있다.

단렬대의 규모와 발생가능한 최대지진크기사이의 경험관계식은 다음과 같다.

$$M_S = 1.4 \times \lg L + 1.8$$

웃식에  $L=300$ 을 대입하면  $M_S \approx 5.3$ 이 나온다.

이 값은 단렬대전체가 지진시에 동시에 움직인 경우에 해당하는 크기이며 실제로 실현될수 없는 극단의 경우이다.

따라서 단렬대상에서 발생할수 있는 최대예상지진크기를 5라고 평가할수 있다.  
그러면 최대지진세기는 얼마이겠는가?  
그것을 평가하기 위하여 표 1을 보자.

표 1. 지진의 크기와 진원깊이에 따르는 지진세기(bar)

$M$	$h/\text{km}$				
	5	10	15	20	25
2	3.5	2.5	2.0	1.5	1.0
3	5.0	4.0	3.5	3.0	2.5
4	6.5	5.5	5.0	4.5	4.0
5	8.0	7.0	6.5	6.0	5.5
6	9.5	8.5	8.0	7.5	7.0
7	11.0	10.0	9.5	9.0	8.5
8	12.0	11.5	11.0	10.5	10.0

크기 5에 해당하는 세기는 진원깊이가 5km일 때 8bar, 10km일 때 7bar, 15km일 때 6.5bar, 20km일 때 6bar, 25km일 때 5.5bar이다.

현재까지 량강도지방에서 일어난 진원의 깊이를 조사해보면 진원깊이가 10km이하는 전혀 없고 20km이상에 분포되어있다. 이로부터 제일 얇은 20km 깊이에서 지진이 발생하였다고 하여도 지진세기는 6bar정도로 된다.

지질학적조사에 따른 최대크기평가는 현재까지의 다른 선행방법에 의하여 얻은 결과와도 일치한다.

지체구조도에서  $\lambda$ 지구에서 지진의 최대크기는 5.5이며 지진활동도에 의한 최대크기도 5.2~5.4로 평가되었다.

또한 최대지진세기값도 국가내진설계규범[1]에 밝혀진 세기값 6bar와 일치한다.

이제 최대지진가속도를 리용하여 최대지진세기를 평가하자.

$\lambda$ 지구의 지진관측소를 중심으로 하여 반경 300km에서 발생한 구조지진들을 리용하여  $\lambda$ 지구의 최대지진세기를 평가하였다.

우리 나라 력사기록에 있는 지진들과 지진계로 기록한 지진들의 지진목록에서 크기 4이상의 지진(55건)을 선택하였다.

표 2에 이 지진들에 대한 파라메터를 보여주었다.

표 2. 55개 지진의 파라메터

번호	년	월	일	시	분	초	위도/(°)	경도/(°)	진원깊이/km	지진크기	진중거리/km	진원거리/km
1	1501	3	19				41	126.6		4	169.7	
2	1532	10	12				41.3	128		4.3	62.9	
3	1564	2	25				41	126.6		4.8	169.7	
4	1597	10	7				41.3	128		5	62.9	
5	1604	3	19				40.8	125.8		4	239.0	
6	1665	2	1				41.6	129.6		4	109.3	
7	1684	4	18				40.5	125.2		4	299.6	
8	1693	4	1				39.8	127.4		4	236.7	

번호	년	월	일	시	분	초	위도/(°)	경도/(°)	진원깊이/km	지진크기	진중거리/km	진원거리/km
9	1710	5	26				40.4	125.9		4.8	256.7	
10	1727	6	20				39.9	127.5		6	223.5	
11	1810	2	19				41.8	129.8		6.5	123.2	
12	1913	3	27				40.2	129.6		6.5	209.2	
13	1917	7	31				42.5	131	460	7.5	234.4	516.3
14	1923	7	27				43	130	430	5.7	191.1	470.6
15	1936	12	18				41.3	128		4	62.9	
16	1941	12	23				41.8	126.9		4	117.8	
17	1945	8	21				41.5	130.5	540	7	185.1	570.8
18	1949	4	5				42	131	600	6.8	223.5	640.3
19	1954	11	19				41.2	131.8	600	6.5	298.6	670.2
20	1960	7	2	21	44	30	42	131.5	600	5.6	264.8	655.8
21	1960	10	8	14	53	6	39.5	130	650	6.8	293.7	713.3
22	1960	12	25	20	8	32	40.87	127.33		4.3	133.5	
23	1962	9	5	19	48	21	40.27	130.3		4.8	239.1	
24	1965	5	30	22	50	58	41.5	127		4.2	115.2	
25	1965	8	7	3	15	9	42.5	131.33		5.5	260.3	
26	1969	4	10	23	53	45	42.17	130.9	500	5.6	217.6	545.3
27	1969	6	27	0	46	19	42.6	131	500	4.5	238.1	553.8
28	1973	9	10	16	43	19	42.5	130.9	550	6.4	226.6	594.8
29	1973	9	29	9	43	38	41.9	130.9	600	7.7	214.6	637.2
30	1977	3	9	23	28	4	41.6	131.1	600	6.8	232.8	643.6
31	1977	4	24	9	0	3	40.7	128.2	10	4.2	124.1	124.5
32	1979	1	31	21	36	24	42.8	131.2	536	5.5	261.6	596.4
33	1979	8	17	6	31	24	41.82	130.88	566	5.8	212.9	604.7
34	1979	9	30	23	14	19	42.97	131.4	558	4	284.4	626.3
35	1980	6	19	0	31	28	40.78	127.43		4.4	136.8	
36	1980	12	1	13	39	52	40.73	127.2		4	152.5	
37	1981	11	20	1	3	12	40.42	127.53		4	168.4	
38	1985	4	20	21	36	43	40.67	127.1		4	163.0	
39	1988	4	15	15	44	1	40.18	126.9		4.2	217.2	
40	1990	10	21	15	40	15	43.23	125.65		4.5	269.8	
41	1993	2	12	10	39	9	42.02	125.65		4.1	222.5	
42	1994	1	25	17	51	38	42.23	127.12		4.5	109.5	
43	1999	3	5	23	41	44	40.27	127.68		4.4	179.7	
44	1999	4	2	6	35	14	42.9	130.8	20	4.4	237.4	238.2
45	2002	3	8	2	31	2	42.27	125.48		4.2	240.4	
46	2002	4	17	7	52	41	40.65	128.53	22	4.5	130.5	132.3
47	2004	12	17	3	59	14	41.9	128.05		4.3	24.2	
48	2005	4	15	15	34	10	41.83	128.02		4.2	24.8	

표계속												
번호	년	월	일	시	분	초	위도/(°)	경도/(°)	진원깊이/km	지진크기	진중거리/km	진원거리/km
49	2009	8	5	21	8	11	42.31	127.08		4.5	116.3	
50	2010	2	18	10	13	18	42.84	130.7	540	6.5	227.0	585.8
51	2010	10	9	14	45	13	42.22	128.37		4.4	45.3	
52	2013	4	5	22	0	4	42.7	131	540	6.2	242.2	591.8
53	2013	4	6	9	29	58	42.4	131.3	540	5.7	255.1	597.2
54	2013	10	30	5	17	47	43.2	131.1	603	5.5	275.6	663.0
55	2016	1	2	12	52	30	44.07	129.98		6.5	285.0	

표 2에서 보는바와 같이 지진크기 4이상의 지진이 9건이며 지진세기가 가장 큰것은 1810년 2월 19일에 발생한 크기 6.5의 지진이다.

스지구로부터 가장 가까이에서 발생한 지진은 2004년 12월 17일에 발생한 크기 4.3의 지진이다.(진앙거리 25km)

일반적으로 기반암우에 진흙층을 비롯한 연약한 지층이 10m이상 퇴적되어있는 곳에서는 국부적인 지진세기증가가 나타나며 그 증가량은 퇴적층의 종류와 두께에 관계되는 데 1~2bar정도 더 증가하게 된다.

스지구에 덮인 부석층의 두께가 2~3m정도라는것을 고려하면 이 지구에서는 지진세기증가를 1bar정도로 주면 충분하다.

일반적으로 관측지점에서의 지진가속도의 최대진폭은 진앙거리에 따라 달라진다.

진앙거리에 따르는 가속도진폭감쇠관계가 여러가지 형태로 주어진다. 그것들을 보면 다음과 같다.

$$\lg Am = 0.42M - 1.06\lg \Delta + 0.73 \quad (1)$$

$$\lg Ap = 0.4678 + 0.4709M + 0.9808\lg R \quad (2)$$

$$Ap = 384e^{1.061M} (\Delta + 20)^{-2.04} \quad (3)$$

표 2의 자료들에 대하여 식 (1), (2), (3)을 적용한 결과를 표 3에 보여주었다.

표 3. 55개 지진의 최대가속도계산값과 해당한 지진세기

지진번호	지진크기	진앙거리/km	식 (1)	식 (2)	식 (3)	해당한 세기 (최대)/bar
			$Am/(cm \cdot s^{-2})$	$Ap/(cm \cdot s^{-2})$	$Ap/(cm \cdot s^{-2})$	
1	4.000 0	169.700 0	1.113 1	1.390 9	0.602 9	<4
2	4.300 0	62.900 0	4.260 2	5.097 5	4.486 0	<4
3	4.800 0	169.700 0	2.412 9	3.311 3	1.408 8	<4
4	5.000 0	62.900 0	8.383 6	10.888 9	9.427 8	<4
5	4.000 0	239.000 0	0.774 3	0.994 1	0.319 4	<4
6	4.000 0	109.300 0	1.774 4	2.141 4	1.317 7	<4
7	4.000 0	299.600 0	0.609 3	0.796 4	0.208 0	<4
8	4.000 0	236.700 0	0.782 3	1.003 5	0.325 3	<4
9	4.800 0	256.700 0	1.556 0	2.206 5	0.652 2	<4
10	6.000 0	223.500 0	5.751 3	9.284 8	3.024 1	<4
11	6.500 0	123.200 0	17.536 9	28.638 5	15.181 7	<4
12	6.500 0	209.200 0	10.004 7	17.036 9	5.815 7	<4
13	7.500 0	234.400 0	23.326 3	45.064 9	13.582 3	5
14	5.700 0	191.100 0	5.080 0	7.820 3	2.943 5	<4

지진번호	지진크기	진앙거리/km	식 (1)	식 (2)	식 (3)	해당한 세기 (최대)/bar
			$Am/(cm \cdot s^{-2})$	$Ap/(cm \cdot s^{-2})$	$Ap/(cm \cdot s^{-2})$	
15	4.000 0	62.900 0	3.187 4	3.682 0	3.263 1	<4
16	4.000 0	117.800 0	1.639 0	1.989 7	1.157 2	<4
17	7.000 0	185.100 0	18.473 5	33.035 5	12.400 1	5
18	6.800 0	223.500 0	12.467 1	22.105 2	7.066 8	5
19	6.500 0	298.600 0	6.861 3	12.017 5	2.970 4	<4
20	5.600 0	264.800 0	3.263 7	5.095 4	1.437 1	<4
21	6.800 0	293.700 0	9.333 0	16.909 6	4.214 9	<4
22	4.300 0	133.500 0	1.918 6	2.436 5	1.276 6	<4
23	4.800 0	239.100 0	1.677 7	2.365 7	0.745 8	<4
24	4.200 0	115.200 0	2.036 4	2.526 3	1.487 4	<4
25	5.500 0	260.300 0	3.017 2	4.649 3	1.335 1	<4
26	5.600 0	217.600 0	4.018 7	6.177 5	2.079 7	<4
27	4.500 0	238.100 0	1.260 8	1.715 8	0.546 8	<4
28	6.400 0	226.600 0	8.345 0	14.134 0	4.505 0	<4
29	7.700 0	214.600 0	31.079 4	61.040 0	19.811 5	6
30	6.800 0	232.800 0	11.939 8	21.238 6	6.546 6	5
31	4.200 0	124.100 0	1.881 9	2.348 4	1.306 0	<4
32	5.500 0	261.600 0	3.001 3	4.626 7	1.322 5	<4
33	5.800 0	212.900 0	4.990 4	7.839 6	2.678 3	<4
34	4.000 0	284.400 0	0.643 9	0.838 1	0.229 7	<4
35	4.400 0	136.800 0	2.059 4	2.651 3	1.359 2	<4
36	4.000 0	152.500 0	1.246 6	1.544 6	0.731 9	<4
37	4.000 0	168.400 0	1.122 2	1.401 4	0.611 4	<4
38	4.000 0	163.000 0	1.161 7	1.446 9	0.648 7	<4
39	4.200 0	217.200 0	1.039 7	1.356 2	0.472 5	<4
40	4.500 0	269.800 0	1.104 3	1.517 8	0.431 7	<4
41	4.100 0	222.500 0	0.920 1	1.188 4	0.406 2	<4
42	4.500 0	109.500 0	2.872 2	3.675 9	2.232 7	<4
43	4.400 0	179.700 0	1.542 3	2.028 9	0.829 9	<4
44	4.400 0	237.400 0	1.148 1	1.543 9	0.494 5	<4
45	4.200 0	240.400 0	0.933 7	1.227 7	0.390 6	<4
46	4.500 0	130.500 0	2.384 8	3.094 8	1.643 2	<4
47	4.300 0	24.200 0	11.726 2	13.009 6	16.182 7	<4
48	4.200 0	24.800 0	10.372 4	11.395 7	14.158 8	<4
49	4.500 0	116.300 0	2.694 5	3.465 0	2.011 4	<4
50	6.500 0	227.000 0	9.175 1	15.725 5	4.992 8	<4
51	4.400 0	45.300 0	6.645 6	7.839 2	8.116 5	<4
52	6.200 0	242.200 0	6.408 8	10.659 2	3.215 1	<4
53	5.700 0	255.100 0	3.740 1	5.890 7	1.715 0	<4
54	5.500 0	275.600 0	2.839 9	4.396 0	1.197 9	<4
55	6.500 0	285.000 0	7.208 8	12.579 8	3.246 9	<4

표 3을 보면 지진세기가 5bar이상인 지진은 13, 17, 18, 29, 30번지진들이다. 특히 29번 지진의 세기는 6bar로 평가되었다. 위에서 고려되지 못한것은 진원깊이이다. 그러면 그 영향을 구체적으로 따져보자.

29번지진은 1973년 9월 29일 조선동해 북쪽에서 일어난 지진으로서 크기는 7.7이고

진앙거리  $\Delta=214.6\text{km}$  그리고 진원깊이  $h=600\text{km}$ 로서 진원깊이가 진앙거리에 비하여 2.5배보다 크다. 그러므로 최대가속도평가에서 진앙거리만 가지고는 부족하며 반드시 진원깊이를 고려하여야 한다.

진원깊이와 관련된 가속도관계식

$$\lg Ap = 0.9563 + 0.39156M_S - 0.96384 \cdot \lg \sqrt{\Delta^2 + h^2} \quad (4)$$

에 29번지진의 해당한 값들을 대입하면  $\lg Ap=1.2684$  따라서  $Ap=18.5584(\text{cm/s}^2)$ 의 값을 얻는다. 이 값에 해당한 세기는 4bar정도이다.

가속도감쇠법칙에 따라 우의 지진들을 고찰하면 지진세기가 5bar보다 큰 지진은 없다.

스지구의 지반조건으로 보아 세기증분을 1bar로 볼 때 최대지진세기를 6bar로 정하면 충분하다.

## 맺 는 말

지진가속도감쇠법칙을 리용하여 지진의 최대세기를 결정하는 방법을 제기하고 그에 기초하여 스지구에서 최대지진세기를 결정하였다.

스지구의 최대지진세기는 6bar로 결정할수 있다.

지진지체구조적인 연구와 지진활동도에 기초한 방법 그리고 단층의 조사결과와 지진가속도감쇠법칙을 리용하여 얻은 최대세기값은 일치한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 정송수 등; 지진파의 전파리론과 그 응용, 과학백과사전출판사, 23~58, 주체108(2019).
- [2] V. Schenk; Engineering Geology, 24, 1, 107, 1984.
- [3] J. B. Scott et al.; BSSA, 97, 1068, 2007.
- [4] 刘斌; 地震学原理与应用, 中国科学技术大学出版社, 10~167, 2009.

주체108(2019)년 12월 5일 원고접수

## Estimation of Maximum Earthquake Intensity by Using Maximum Seismic Acceleration

*Jong Song Su, Jong Jun Hyok and Ri Tu Il*

In this paper we estimated the maximum earthquake intensity in the 스 area by using maximum seismic acceleration.

Keywords: maximum earthquake intensity, maximum seismic acceleration