

## 한반도에서 발생 가능한 최대지진에 대하여

### On the Maximum Probable Earthquakes in the Korean Peninsula

김성균\*                      이정모\*\*                      김준경\*\*\*  
Kim, Sung Kyun              Lee, Jung Mo                  Kim, Jun Kyoung

---

#### ABSTRACT

For earthquake hazard estimation, the data containing large historical events and recent complete observations with various uncertainty should be used together. The traditional maximum likelihood method is not adequate for this kind work. The maximum probable earthquakes in the Korean Peninsula are estimated by the method of an extended maximum likelihood estimation. The method can handle data with various uncertainty. The maximum probable earthquake in the Korean Peninsula is appeared to be  $7.14 \pm 0.34$  in magnitude.

---

#### 1. 서 론

지진학을 연구하는 실용적인 목적중의 하나는 지진재해의 경감이다. 지진재해 경감을 위해서는 적절한 대책이 필요하며, 또한 대책수립을 위해서는 어떤 지역에서 발생가능한 지진동의 크기가 결정론적 또는 확률론 적으로 예측되어야 한다. 이러한 예측의 예로서 한반도를 대상으로 주어진 재현주기에 대하여 기대되는 지진동의 크기를 등치선의 형태로 나타낸 지진재해도를 들 수 있으며, 국내에서 이와 관련된 몇몇의 연구<sup>(1),(2)</sup>가 수행되었다. 이러한 지진재해도의 계산은 통상 대상 지역을 격자망으로 구성하여 각 격자점에서 확률론 적으로 기대되는 최대지반가속도를 구하게 된다. 따라서 이 계산에는 지진활동 특성에 따라 여러 지점에서 발생한 지진이 각 격자점까지 전달 되는 과정 중에 발생하는 감쇠현상을 포함하게 된다. 한편 이보다 단순히 한반도 전체 또는 지체

---

\* 전남대학교 교수, 정회원  
\* 경북대학교 교수, 정회원  
\* 세명대학교 교수, 정회원

구조구별로 발생한 지진을 어떤 확률분포로 가정하여 기대되는 최대지진동의 크기를 예측한 연구<sup>(3),(4)</sup>를 들 수 있으며, 지진동의 크기의 척도로서는 MM진도 또는 지진규모를 채택하고 있다.

김성균등<sup>(3)</sup>은 극한치이론을 적용하여 계산할 때 한반도에서 100년, 1000년, 4000년 동안에 발생 가능한 최대잠재지진의 규모는 각각 6.3, 7.2, 7.8정도가 된다고 보고하였다. 한편 이기화등<sup>(4)</sup>은 Kijko and Sellevoll<sup>(5)</sup>의 방법을 한반도의 지진자료에 적용하여 주요 지체구조구별로 지진위험요소를 계산하였다. 여기서 최대 가능지진은 Kijko and Desokey<sup>(6)</sup>의 방법을 사용하여 추정하였는데, 그 값은 사용한 모델과 지체구조에 따라 MM진도 = 9.18 ~ 9.88범위내의 값이 얻어졌다. 또한 한반도 전체에 대해서는 모델 I과 II의 경우, 각각 MM진도 =  $10.17 \pm 0.97$ ,  $10.32 \pm 0.82$ 로 나타났다.

본 연구에서 가능한 최대지진의 규모 추정을 위해서 사용한 방법은 근본적으로 이기화등<sup>(4)</sup>의 방법과 동일하다. 그러나 사용한 자료와 입력변수에 차이가 있으며, 추정치를 MM진도가 아닌 규모로 제시한다는 점에서 다르다고 할 수 있다.

## 2. 자료 및 방법

본 연구에서 발생가능한 최대지진의 추정에는 위에서 언급한대로 Kijko and Sellevoll<sup>(5)</sup>의 방법이 사용되었다. 이하에서 이 방법에 대하여 간단히 설명하기로 한다. 지진의 발생이 발생률  $\lambda$ 와 Gutenberg-Richter의 지진규모  $x$ 에 대한 발생빈도분포  $F(x)$ 에 따르는 Poisson과정이라 할 때 다음의 관계가 성립된다.

$$F(x) = \Pr(X \leq x) = \frac{A_1 - A(x)}{A_1 - A_2}, \quad m_{min} \leq x \leq m_{max} \quad (1)$$

여기서  $A_1 = \exp(-\beta m_{min})$ ,  $A_2 = \exp(-\beta m_{max})$ ,  $A(x) = \exp(\beta x)$ 이고  $\beta$ 는 상수이다. 또한  $m_{min}$ 과  $m_{max}$ 는 각각 지진의 최저, 최대규모를 나타낸다. 위의 가정은  $x$ 보다 큰 규모 지진의 평균발생률은  $\lambda[1 - F(x)]$ 로 나타낼 수 있음을 의미한다. 따라서 어떤 기간  $t$ 년 동안에 가장 큰 지진의 규모  $X$ 가 특정 지진의 규모  $x$ 보다 작을 확률은

$$G(x | t) = \Pr(X \leq x) = \exp[-\nu_0 t \left( \frac{A_2 - A(x)}{A_2 - A_{10}} \right)] \quad (2)$$

이고, 여기서  $\nu_0 = \lambda[1 - F(m_0)]$ ,  $A_{10} = \exp(-\beta m_0)$ ,  $m_0$ 는 최저 한계의 규모를 나타낸다. 주어진 지진목록으로부터 결정해야 될 지진활동 상수를  $\Theta = (\beta, \lambda)$  and  $m_{max}$ 라 할 때, 식 (2)로  $\Theta$ 의 최우도함수(likelihood function)는 다음 식으로 주어진다.

$$L_0(\Theta | X_0) = \prod_{i=1}^{n_0} g(X_{0i}, t_i | \Theta) \quad (3)$$

$$\ln g(x, t | \Theta) = \frac{A_2 - A(x)}{A_{10} - A_2} + \ln \frac{\nu_0 \beta t}{A_{10} - A_2} - \beta x$$

여기서  $X_0 = (X_{01}, X_{02}, \dots, X_{0n})$ 는 지진목록에서 기간  $t = (t_1, t_2, \dots, t_n)$  동안의 최대지진의 규모를 나타낸다.

Kijko and Sellevoll<sup>(5)</sup>은 그림 1과 같이 어떤 기간내의 최대지진만 기록된 불완전한 지진자료 (extreme catalogue)와 자료의 질이 다른 완전한 지진자료(complete catalogue)들을 혼합하여 위에서 설명한 최우도법으로 지진활동을, Gutenberg-Richter 규모-누적빈도 곡선의 기울기 및 최대지진의 규모를 추정하는 기법을 제시하였다. 본 연구에서는 한반도에서 발생가능한 최대지진의 규모를 추정하는 데에 이 기법이 사용되었다.

본 연구에서 사용한 지진자료는 내진설계기준연구<sup>(2)</sup>에서 제 1~6 연구자가 이용한 역사지진자료와 계기지진자료에 1997년부터 1999년까지의 기상청 지진자료를 추가한 것이다. 이 자료중 삼국 시대부터 1904년까지의 역사지진자료는 진도를 규모로 전환하여 사용하였으며, 진도-규모 전환에는 널리 사용되고 있는 Gutenberg and Richter<sup>(7)</sup>의 식을 사용하였다. 또한 계기지진자료는 1913년부터 1999년까지의 자료중 경도 124° - 130°, 위도 34° - 42°의 4각형 지역내의 지진자료를 대상으로 하였다.

### 3. 결과 및 토론

전항에서 설명한 방법에 한반도에서의 지진발생률, Gutenberg-Richter 규모-누적빈도 곡선의 기울기 및 발생가능한 최대지진의 규모를 추정하였다. 주지의 사실이지만 한반도의 역사지진자료는 시대에 따라 서술적인 자료의 질에 차이가 크며 고대로 갈수록 불확실의 정도가 크다고 알려져 있다. 또한 이 자료로부터 진앙지, 진도 등을 결정하는데 있어서도 해석하는 사람에 따라 결과가 달라질 수 있다. 계기지진자료도 마찬가지로 지진관측망의 변화와 관련하여 관측 가능한 최저 규모 지진 및 규모결정의 불확실성등 자료의 질의 차가 있음은 잘 알려져 있다<sup>(8)</sup>.

위와 같은 한반도의 지진자료의 특성을 감안하여 표 1과 같이 여러 경우에 대하여 발생 가능한 최대지진의 규모를 추정하였으며, 그 결과를 표 2에 나타낸다. 먼저 Case I은 역사지진자료를 조선시대 이전과 이후로 나누어, 이전의 자료는 불완전한 자료로 이후의 자료는 완전한 자료로 취급하였다. 또한 지진규모의 표준편차는 조선시대 이전과 이후에 각각 0.65, 0.3을 부여하였다. 여기서 0.65는 진도-규모 전환에 Gutenberg and Richter<sup>(7)</sup>의 식을 채용하는 경우, 대략 진도 1만큼의 차를 의미한다. 이러한 입력자료에 대하여 추정된 최대지진의 규모는  $7.06 \pm 0.70$ 으로 나타난다. 다음으로 Case II는 계기지진목록을 완전한 자료로 취급하여, 규모의 표준편차에 0.3을 부여하였다. 그

- 결과 최대규모는  $7.45 \pm 0.88$ 로 나타났으며, 역사지진자료만을 고려한 경우에 비하여 훨씬 큰 값이 얻어졌다. CaseⅢ은 Case I 과 Ⅱ를 혼합한 경우로서 추정된 최대지진의 규모는  $7.16 \pm 0.75$ 가 된다. 여기서 추정된 지진규모의 표준편차는 입력지진규모의 표준편차와 관측된 최대지진의 오차범위에 관련되며, 특히 후자에 더욱 민감하다. 따라서 최대지진의 오차범위를 적절히 평가함이 중요하다.

위에서 지적한 바와 같이 계기지진자료의 정밀도는 지진관측망의 밀도와 관측계기에 따라 크게 달라진다. 이러한 점을 반영하기 위하여 Case IV의 경우는 계기지진목록을 4시기로 나누어 각각 다른 표준편차를 부여하였다. 먼저 1913년부터 1944년까지는 조선총독부에 의하여 관측망이 운영된 시대이며, 지진의 규모척도가 도입되기 이전으로서 규모의 불확실성이 크다고 생각되어 그 표준편차로서 0.5를 부여하였다. 또한 1945년부터 1960년까지는 한반도에 지진관측망이 운영되지 않은 시기로 큰 규모 지진외에 관측자료가 없다. 따라서 이 시기의 지진자료를 최대치만 존재하는 불완전한 자료로 취급하여 그 표준편차로 0.5를 부여하였다. 다음으로 지진관측이 재개되기 시작한 1960년부터 1977년까지와 기상청의 지진목록이 작성되기 시작한 1978년부터 1999년까지의 자료의 질을 구별하였다. 이러한 입력에 대하여 얻어진 최대지진의 규모는  $6.97 \pm 0.41$ 로 나타난다. 끝으로 CaseⅢ과 IV를 조합한 Case V는 최대지진의 규모가  $7.14 \pm 0.34$ 로 나타난다. 한편 규모-누적빈도곡선의 기울기를 나타내는 b값은 역사지진만의 경우 0.6이 얻어졌으며, 계기지진을 혼합한 경우는 0.7정도로 나타난다.

#### 4. 결 론

전항에서 입력자료의 변화에 따라 5가지 경우에 대하여 한반도에서 발생 가능한 최대지진의 규모를 추정하였다. 그 결과 최대지진의 규모는 7.0~7.4로 나타났다. 이들 중 입력지진목록을 여러 시기로 나누어 각각 다른 특성을 현실적으로 부여한 Case V에 대하여 추정된  $7.14 \pm 0.34$ 를 최대지진규모의 대표치로서 추천할 수 있다. 이 경우에 대하여 100년, 500년, 1000년 동안에 기대되는 최대 가능지진의 규모는 각각 6.3, 6.8, 7.0정도가 되며, 결과를 그림 2에 도시하였다.

끝으로 본 연구에서 사용한 컴퓨터 프로그램을 제공하여 주신 Kijko박사에게 감사드린다. 이 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가연구개발사업의 하나인 자연재해방재기술개발사업의 일환으로 수행된 것이다.

## 참고문헌

1. 한국동력자원연구소, "한반도의 지진위험도", 한국동력자원연구소, 1983.
2. 건설교통부, "내진설계 기준연구", 건설교통부, 1997.
3. 김성균, 송미정, "한반도의 확률론적 지진위험 분포", 지질공학, 5(1), 45-58, 1995.
4. 이기화, 김정기, "한반도 주요 지체구조구별 지진학적 특성", 한국지진공학회 1999년도 추계학술대회 논문집, 64-71.
5. Kijko, A. and M.A. Sellevoll, "Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part II Incorporation of magnitude heterogeneity", Bull. Seis. Soc. Am., 82(1), 120-134, 1992.
6. Kijko, A. and M.M. Dessokey, "Application of the extreme magnitude distributions to incomplete earthquake files", Bull. Seis. Soc. Am., 77(4), 1429-1436, 1987.
7. Gutenberg, B. and C.F. Richter, "Seismicity of the earth and associated phenomena", Princeton University Press, New Jersey, 1954.
8. 김성균, "한반도의 지진활동: 과거, 현재, 미래", 콘크리트학회지, 9(1), 4-12, 1997.

Table 1. Summary of various cases in estimating seismic hazard parameters.

Case	Used Earthquake Catalogue	Time Period	SD of Magnitde	Remark
I	Pre - Chosun Dynasty	2 - 1391	0.65	Extreme
	Chosun Dynasty	1392 - 1810	0.3	Complete
II	Instrumental Catalogue	1905 - 1999	0.3	Extreme
III	Pre - Chosun Dynasty	2 - 1391	0.65	Extreme
	Chosun Dynasty	1392 - 1810	0.3	Extreme
	Instrumental Catalogue	1905 - 1999	0.3	Extreme
IV	Instrumental Catalogue	1913 - 1944	0.5	Complete
	Instrumental Catalogue	1945 - 1959	0.5	Extreme
	Instrumental Catalogue	1960 - 1977	0.4	Complete
	Instrumental Catalogue	1978 - 1999	0.25	Complete
V	Pre - Chosun Dynasty	2 - 1391	0.65	Extreme
	Chosun Dynasty	1392 - 1810	0.3	Extreme
	Instrumental Catalogue	1913 - 1944	0.5	Complete
	Instrumental Catalogue	1945 - 1959	0.5	Extreme
	Instrumental Catalogue	1960 - 1977	0.4	Complete
	Instrumental Catalogue	1978 - 1999	0.25	Complete

Table 2. The maginitude(  $M_{max}$  ) of maximim probable earthquakes and the slope(  $b$  value) of Gutenberg and Richter curve estimated in the present study.

Case	$M_{max} \pm SD$	$b \pm SD$
I	$7.06 \pm 0.70$	$0.59 \pm 0.03$
II	$7.45 \pm 0.88$	$0.70 \pm 0.04$
III	$7.16 \pm 0.75$	$0.70 \pm 0.02$
IV	$6.97 \pm 0.41$	$0.66 \pm 0.03$
V	$7.14 \pm 0.34$	$0.67 \pm 0.34$

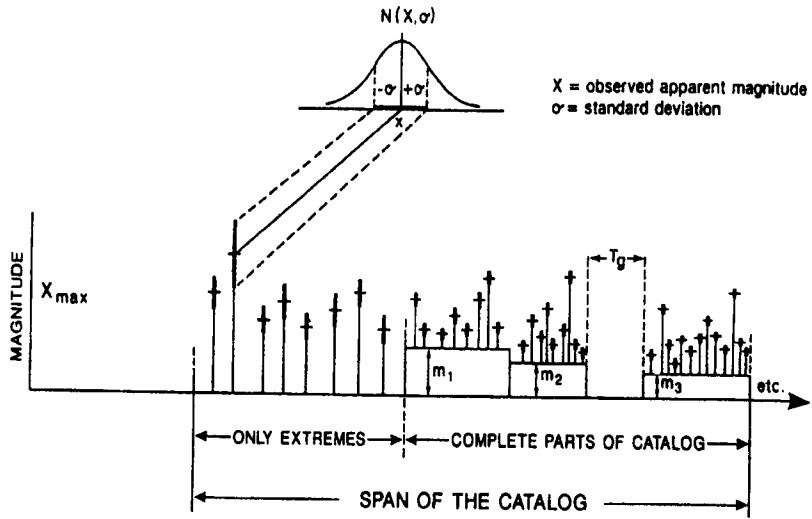


Fig. 1 An illustration of input data to be extended to the case of mixed data containing extremes and complete part of catalogues(after Kijko and Sollevoll, 1992).

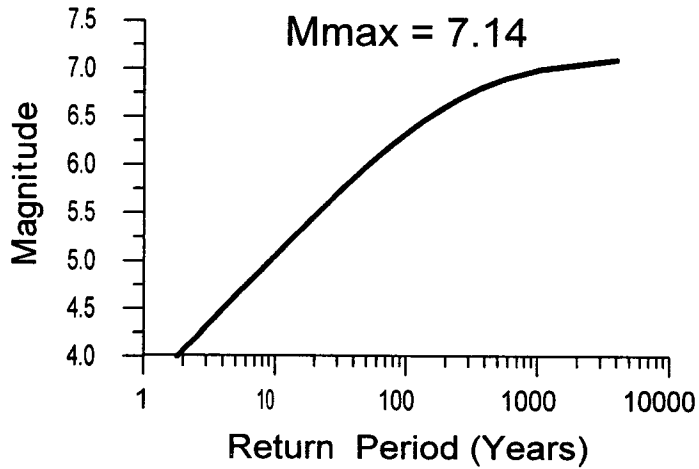


Fig. 2 Return period as a function of the magnitude.