

## 한반도의 확률론적 지진위험분포 A Probabilistic Seismic Risk of the Korean Peninsula

---

김 성 균 (Kim, Sung Kyun)  
송 미 정 (Song, Mi Jung)

전남대학교 지질학과  
전남대학교 지질학과

---

### 요약/Abstract

한반도의 계기지진 자료를 이용하여 확률론적 지진위험분포를 계산하였다. 이 목적을 위하여 여러 자료를 수집, 검토하여 통일성과 균질성을 갖도록 지진요소들을 재조정된 1905년 이래의 계기지진 목록을 작성하였다. 한반도에서 100년, 1000년, 4000년 동안에 발생가능한 최대 잠재지진의 규모는 극한치 이론을 적용하여 계산할 때 각각 6.3, 7.2, 7.8로 나타난다. 한편 100년, 1000년에 기대되는 최대지반가속도를 재래주기법으로 계산하여, 등치선도를 작성, 제시하였다. 또한 수개의 인구밀집지역에 대해서는 최대 가속도가 발생확률의 함수로 나타나는 지진재해예상곡선이 작성되었다.

A probabilistic seismic risk in the Korean Peninsula is calculated from the instrumental earthquake data. For the purpose, an instrumental earthquake catalogue since 1905 in which parameters are readjusted to have uniformity and homogeneity in description is compiled through the review of all available data. The maximum potential earthquake expected in the Korean Peninsula for 100, 1000, and 4000 years are estimated to be 6.3, 7.2 and 7.8 in magnitude, respectively, from Gumbel's extreme value theory. In addition, contour maps representing the maximum ground acceleration expected for 100 and 1000 years are prepared using the return period method. Seismic hazard curves in which maximum ground acceleration expressed in terms of probability of occurrence are also presented for the major populated areas.

## 서 언

한반도의 지진위험분포에 관한 연구는 내진설계에 대한 기초자료를 제공할 목적으로 정부출연연구기관과 소수의 대학연구자들을 중심으로 수행되어 왔다(Kim and Kim, 1982; 한국동력자원연구소, 1983; Lee et al., 1985; KAERI, 1986). 어떤 지역에 대한 지진위험분포는 통상 최대잠재지진에 의하여 기대되는 지진의 규모나 가속도를 결정론적으로 나타내거나, 또는 일정기간내에 기대되는 지진 규모 또는 가속도를 확률론적으로 표현하게 된다. 지진위험분포 즉 기대되는 가속도 산출을 위해서는 장기간에 걸친 지진활동의 기록이 필요하며, 지진활동에 대한 적절한 분석기법이 요구된다.

지진목록으로부터 지진활동을 분석하여, 어떤 지역내에서 기대되는 가속도를 확률적으로 산출하기 위해서는 진도-규모-가속도 사이의 전환식과 진도 또는 가속도의 거리에 따른 감쇠식이 필요하다. 그러나 현재까지의 연구에서 사용한 지진목록은 지진규모와 같은 지진요소 기술 방식에 있어서 통일성과 균질성이 결여되어 있으며, 또한 충분한 검토없이 다른 지역에서 얻어진 식들을 사용하여 왔다. 따라서 지진목록의 재검토, 지진위험분포계산에 관한 기법의 평가를 비롯하여 사용되는 수식의 적절성 검토를 통한, 좀 더 한반도에 적절한 지진위험분포의 계산이 필요하다.

위와같은 관점에서 본 연구는 일관성과 객관성을 가진 한반도의 계기지진목록을 작성한 후, 극한치 이론을 이용한 최대지진을 계산하여 제시하며, 재래주기법에 의하여 지

진활동도 및 확률론적인 지진위험분포도를 작성하는 것을 목적으로 한다. 지진위험분포도는 경도  $\frac{1}{2}^{\circ}$   $\times$  위도  $\frac{1}{2}^{\circ}$  에 대하여 100, 1000년에 기대되는 가속도를 등치선의 형태로 나타내었다. 또한 서울을 비롯한 인구밀집지역에 대한 지진위험분포 즉 가속도가 발생확률로 표현되는 도형(seismic hazard curve)으로 작성하였다.

## 계기지진목록

한반도에는 약 2000여년에 걸친 역사지진 기록과 1905년 이래의 계기지진기록이 존재한다. 역사지진기록은 과거의 역사문헌속에서 지진에 관한 진동현상과 재해에 대하여 서술적으로 기록하고 있다. 이 서술적인 기록으로 부터 진앙지, 진도 또는 규모를 결정하는 데에는 해석자에 따라 주관성이 개입되기 쉽다. 계기지진기록 역시 자료출처에 따라 진앙지, 규모, 발생일시 등에 대한 기록이 상이하거나 누락된 경우가 많다.

이러한 원인으로 현재 작성되어 있는 지진목록(예를 들면 한국동력자원연구소, 1983)은 연구자와 기관에 따라 다르며, 특히 계기지진의 경우, 자료의 누락 또는 중복, 오기가 허다하여 지진목록 그 자체에 대한 재작성이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 객관성을 가진 계기지진목록을 작성하기 위하여 기상청(1992), ISC(International Seismological Center), USGS(United States of Geological Survey), JMA(Japan Meteorological Agency), WDC(World Data Center)의 목록과, 북한에서 발간된 조선지진목록(조선지진연구소, 1987)을 광범위하게 수집하였다.

수집된 목록을 검토하여 보면, 동일지진에 대한 진앙지, 발생시각, 규모 등에 차이가 있음을 알 수 있다. 이 경우 발생시각의 차가 10초 이내이고, 진앙지가 20km 이내인 지진들을 동일지진으로 간주하였다. 이러한 동일지진들 중 1개를 선택하는 기준으로서는 진앙지의 위치분포 중 중심에 위치하는 자료를 채택하였으며, 한국기상청의 관측망이 비교적 충실하게 운영된 1980년 이후에는 기상청의 자료를 우선적으로 채택하였다. 또한 지진규모 기술에 있어서는  $M_L$ ,  $M_s$ ,  $m_b$  등의 다양한 척도가 사용되고 있어, 통일된 규모 척도로의 전환이 필요하다. 한국기상청에서 사용되는 지진규모(기상청규모)는 지진규모-최대변위의 절대치 사이의 관계에 의한 Tsubi (1954)의 경험식으로 부터 결정된 규모를 채택하고 있다. 이 경험식은 Gutenberg의 지진규모  $M_L$ 에 맞도록 초기에 조정되었으나, 실제로는 ISC결정의  $M_L$ 과  $\pm 0.5$ 만큼의 차를 가지고 있다. 그러나 본 연구에서는 기상청 규모와  $M_L$ 과의 관계가 불분명 하기 때문에, 기상청 규모를  $M_L$ 과 동일한 척도로 간주하였으며, 동일지진에 대한  $M_L - M_s$ ,  $M_L - m_b$  사이의 회귀식으로부터 다른 규모척도를  $M_L$ 로 전환하였다. 특히 조선지진목록에 기술된 규모는 한국기상청의 규모에 비하여 일반적으로 큰 값을 보여주고 있어, 이들 사이의 회귀식을 추출하여 북한의 규모를 기상청 규모로 전환하였다. 그림 1에 나타낸 바와 같이 기상청 규모  $M$ 과 북한의 규모  $M_n$  사이에 다음의 회귀식을 얻을 수 있다.

$$M = 1.02M_n - 0.21 \quad (1)$$

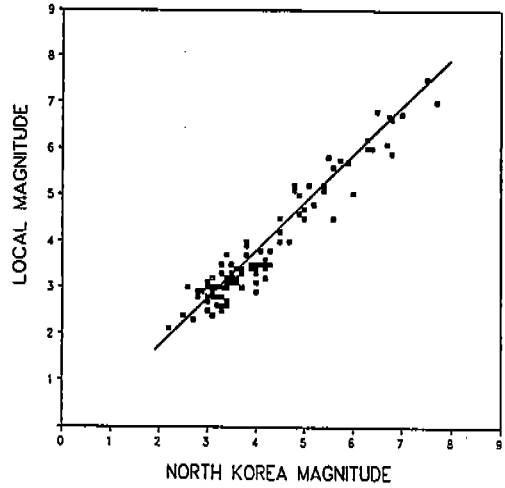


Fig. 1. Relation between North Korea magnitude and local magnitude.

위의 방법으로 1905년부터 1992년까지의 기간중, 경도  $124^\circ \sim 130^\circ$  E, 위도  $34^\circ \sim 42^\circ$  N의 범위내에 발생한 지진 총 1011개에 대한 목록을 작성하였다. 목록내용은 발생년월일, 발생시각, 진앙지(위도, 경도), 진원깊이, 규모, 출처로 구성된다. 그림 2에 재작성된 지진목록을 이용한 1905-1992년의 진앙분포도를 제시하였다. 본 연구에서 작성된 계기 지진목록은 자료누락 또는 중복을 피하도록 하였으나, 자료 자체가 갖고 있는 본질적인 오차가 어느 정도 개입되어 있음을 인정하지 않을 수 없다.

## 극한치 이론에 의한 최대잠재지진

### 방법

Gumbel의 극한치이론은 다수의 연구자 (Milne and Davenport, 1969; Shakal and Willis, 1972)에 의하여 최대지진의 발생확률

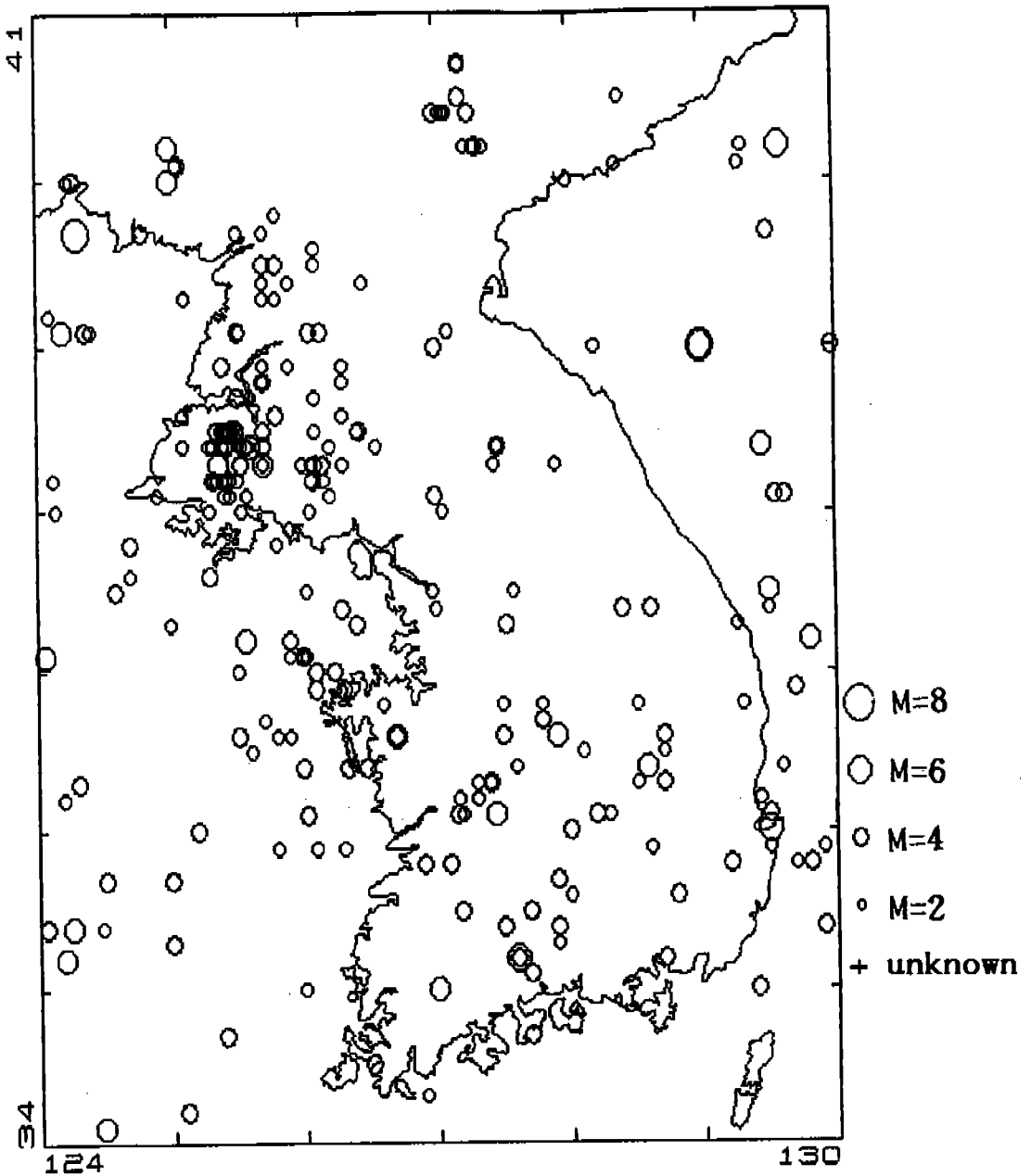


Fig. 2. Epicenters of instrumental earthquakes (1905-1992).

과 재래주기의 계산에 응용되었다. 극한치이론은 지수함수적인 분포를 갖는 모집단으로부터 단위기간  $n$ 년 동안의 최대치를 추출

하여 얻은  $N$ 개의 독립된 최대치(극한치)에 대하여 적용된다. 즉 지진목록을 모집단으로 하여 단위기간을  $n=1$ 년으로 할때, 100년간

의 자료로 부터는  $N=100$ 개의 극한치를 얻을 수 있다.  $N$ 과  $n$ 이 충분히 클때 극한치의 누적확률  $G(y)$ 는 다음 식으로 주어진다(Shakal and Willis, 1972).

$$G(y) = P_r\{Y < y\} = e^{-\alpha(y-u)} \quad (2)$$

단,  $P_r\{Y < y\}$ : 극한치  $Y$ 가 특정의 값  $y$ 보다 작을 확률

$\beta, u$ : 분포상수

식 (2)에  $\ln \alpha = \beta u$ 를 대입하여 양변에 자연대수를 취하면

$$\ln [-\ln G(y)] = \ln \alpha - \beta y \quad (3)$$

가 된다. 극한치  $Y$ 가 특정의 값  $y$ 이상인 되는 평균재래주기  $T(y)$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$T(y) = \frac{1}{P_r\{Y \geq y\}} = \frac{1}{1-G(y)} \quad (4)$$

따라서 식 (4)에서 평균재래주기  $T(y)$ 에 대한 극한치의 누적확률  $G(y)$ 를 얻을 수 있으며, 식 (3)으로 부터 지진자료를 만족하는 분포상수  $\alpha, \beta, u$ 를 계산할수 있다.

위와 같은 방법으로 분포상수가 결정되면, 평균재래주기  $T(y)$ 기간 동안에 발생할 수 있는 잠재적인 최대치  $U_n$ 을 다음 식으로 부터 결정할 수 있다.

$$U_n = u - \frac{1}{\beta} \ln [ \ln ( \frac{N}{N-1} ) ] \quad (5)$$

또한  $y$ 이상의 극한치가  $k$ 번째 단위기간까지 발생할 누적확률  $W_y(k)$ 는 다음과 같다.

$$W_y(k) = 1 - G(y)^k = 1 - e^{-\alpha k y} \quad (6)$$

평균재래주기  $T(y)$ 기간 동안의 누적확률, 즉  $k = T$ 일때의 누적확률은 식 (6)으로 부터  $1 - 1/e = 0.632$  정도가 된다.

한편 식 (3)으로 부터 특정의 값  $y$ 에 대한 누적확률을 계산할수 있으며, 식 (4)에서  $y$ 값에 대한 평균재래주기를 계산할 수도 있다.

### 계산과정 및 결과

위에서 설명한 방법에 따라 한반도의 계기지진자료에 극한치 이론을 적용하였다. 시대별 지진활동을 분석하여 계기지진자료가 관측기간의 공백없이 어느 정도 완전성을 갖는 1960년부터 1992년까지 33년간의 자료를 대상으로 하였다. 지진발생에 통계학적 이론을 적용하는 경우, 지진은 상호 독립적으로 발생하며 지진발생시간 간격은 통상 Poisson 분포로 가정하게 된다(Utsu, 1988). 따라서 동해의 심발지진과 여진으로 인정되는 지진은 대상에서 제외시켰다.

구체적인 계산과정은 이하와 같다. 먼저 매 단위기간을 1년으로 하여 1960년부터 1992년까지의 지진자료중 각 단위기간내에 최대규모의 지진을 선정하여, 이를 크기 순으로 나열하였다. 다음 크기순으로 나열된 지진의 누적확률분포  $G(y)$ 를 계산하여 그

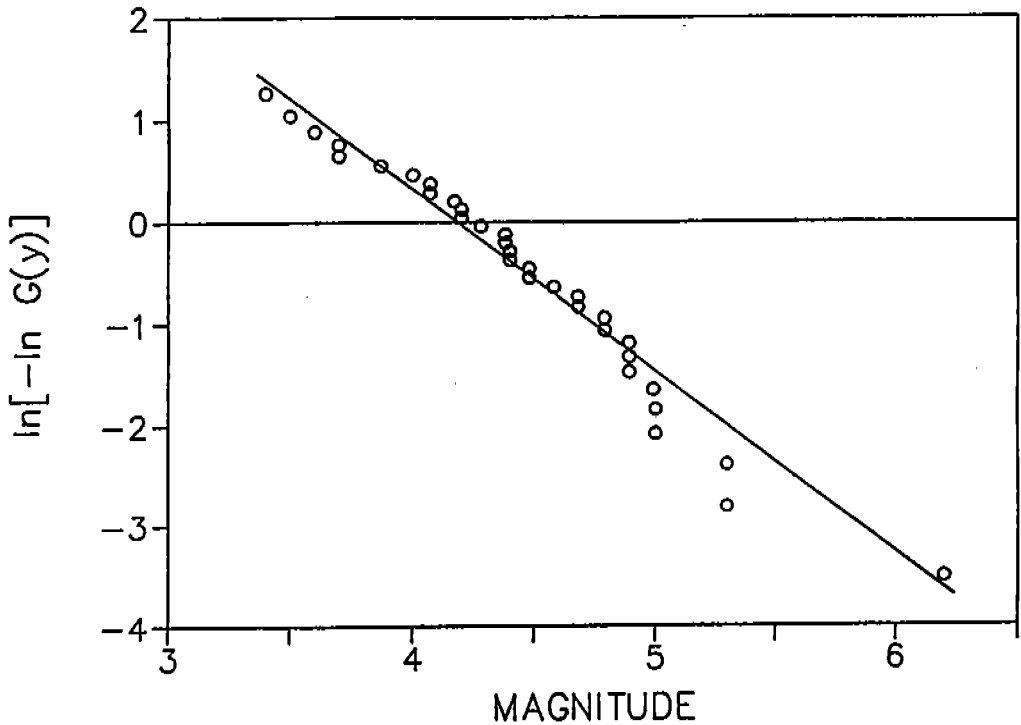


Fig. 3. Extreme probability versus magnitude for the largest earthquakes of Korea.

림 3에 누적확률분포  $G(y)$ 와 지진규모 사이의 관계를 나타내었으며, 이 자료들을 만족하는 식 (3)의 계수  $\alpha, \beta$ 를 최소자승법으로 결정하였다. 이와같이 결정된 계수를 식 (5)에 대입하여 주어진 평균재래주기에 대한 최대지진을 얻게 된다. 본 연구에서는 평균재래주기 100년, 1000년, 4000년에 대한 최대잠재지진을 계산하여, 규모 6.3, 7.2, 7.8이 각각 얻어졌다(표 1참조).

위에서 얻은 평균재래주기 100년에 대한 규모는 중요도가 상대적으로 낮은 구조물에, 1000년과 4000년에 대한 규모는 중요도가 높은 구조물의 최대잠재지진의 결정론적 예측에 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

위에서 최대잠재지진의 예측에 사용된

Table 1. Magnitudes of maximum potential earthquakes expected in the mean return period of 100, 1000 and 1000 years.

MEAN RETURN PERIOD	MAGNITUDE
100 YEAR	6.3
1000 YEAR	7.2
4000 YEAR	7.8

1960년부터 1992년까지의 지진자료는 장기간의 최대치를 예측하는데에 충분하지는 않다. 그러나 이것은 한반도 지진자료의 특성상 피할 수 없으며, 본 연구에서 얻어진 결과의 타당성은 30여년간의 지진활동이 장기간의 활

동을 반영하는가 그렇지 않은가에 의존할 것이다.

## 지진위험분포계산

### 방법

본 연구에서 지진위험분포를 계산하기 위하여 채택한 방법은 Algermissen and Perkins(1976)가 제안한 방법을 한반도에 맞도록 개량한 것이다. 이 방법은 먼저 대상지역을 적절한 크기의 격자로 나누어 각 격자에서 일정기간에 기대되는 최대가속도를 구하여 등치선도를 작성하게 된다. 이 방법은 먼저 지진활동이 유사한 몇개의 지진구조구를 설정하여, 각각의 구조구에 대한 지진활동특성(지진규모-누적빈도의 관계)을 과거의 지진활동으로부터 추출한다. 이와같이 추출된 특성에 따라 지진이 발생하여 각 격자점에 도달했을 때 예상되는 가속도의 크기별 빈도분포로부터 주어진 기간에 대한 최대지반가속도를 확률적으로 계산한다.

지진 발생에 있어서 전후의 지진이 상호 독립적으로 발생하며, 발생시간 간격이 Poisson 분포에 따른다고 가정할 때, 기간  $t$ 년 동안에 어떤 격자점에서의 가속도의 최대치  $A$ 가 특정의 가속도  $a$ 와 같거나 더 클 초과확률  $F(a) = P[A \geq a]$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다(Algermissen and Perkins, 1976).

$$\ln[1 - F(a)] = \frac{-t}{R_y(a)} \quad (7)$$

여기서  $R_y(a)$ 는  $a$ 보다 큰 가속도의

평균재래기간이며, 주어진 기간  $t$ 년 동안의 초과확률  $F(a)$ 에 대한  $R_y(a)$ 를 계산할 수 있다. 예를 들면, 위 식에서 50년간에 가속도가 특정의 값  $a$ 를 초과할 확률을 10%로 할 때, 평균재래기간은 약 475년이 된다. 또한  $t = R_y(a)$ 인 경우, 즉 평균재래기간 동안에 가속도가  $a$ 를 초과할 확률은 약 63%가 되며, 평균재래기간의 2배인 기간동안의 초과확률은 대략 86%가 된다.

### 계산과정 및 결과

본 연구에서는 먼저 한반도를 경도  $1/2^\circ \times$  위도  $1/2^\circ$ 의 격자망으로 나누어, 각 격자점에서의 지진위험분포를 계산하였다. 사용한 지진자료는 1960년부터 1992년까지의 계기지진자료이다. 위의 방법을 적용하기 위해서는 지진구조구 구분이 필요하나, 한반도에서 현재의 지진활동을 반영하는 적절한 구조구 구분이 쉽지 않기 때문에 구조구를 설정하지 않았다. 즉 구조구와 같은 평면적인 지진원(areal source) 대신에, 과거에 발생한 지진의 진앙지를 점지진원(point source)으로 하여 계산하였다. 구체적인 계산과정은 다음과 같다.

- 점 지진원의 규모를 진앙지 진도로 전환
- 이 지진이 각 격자점에 도달하였을 때의 감쇠된 격자점의 진도 계산
- 각 격자점에서의 진도 크기별 분포 산출
- 진도 크기별 분포로부터 평균재래기간 동안에 기대되는 진도 계산
- 진도를 가속도로 전환

· 각 격자점에서 계산된 가속도치를 이용하여 등치선도 작성

규모-진도 사이의 전환식으로서는 Gutenberg and Richter(1956)가 사용한 다음 식을 이용하였다.

$$I_o = 1.5 (M_L - 1) \quad (8)$$

단,  $I_o$ : 진앙지 진도 (MM진도)

$M_L$ : 지진규모

윗 식에서 전환된 진도를 가진 지진이 어떤 격자점까지 감쇠되어 왔을 때의 감쇠식으로서 김성균(1986)이 제안한 다음의 감쇠식을 사용하였다.

$$I_s = I_o, \quad R \leq 5 \text{ km}$$

$$I_s = 1.89 + I_o - 0.0078 R - 0.89 \ln R, \quad R > 5 \text{ km} \quad (9)$$

단  $R$ : 진앙거리

$I_s$ : 격자점에서의 감쇠된 진도

또한 격자점의 진도-가속도 사이의 전환식에 대해서는 한국동력자원연구소(1986)가 충분히 검토하여 추천한 Murphy and O'Brien (1977)의 식을 사용하였다.

한편 평균재래기간동안에 기대되는 진도의 계산은 다음과 같은 방법으로 이루어졌다. 어떤 지역내의 지진의 규모(M)와 누적빈도(N)가  $\log N = a - bM$ 과 같은 직선관계로 근사될때, 진도-규모 관계가 식 (8)과 같은 1차식으로 표현된다면 진도의 누적빈도

역시 다음 식으로 나타낼 수 있을 것이다.

$$\log N_y = c - dI_s \quad (10)$$

여기서  $I_s$ : 격자점의 진도

$N_y$ : 진도  $I_s$  이상의 연간 누적빈도

$c, d$ : 상수

윗 식의 계수  $c, d$ 를 각 격자점에서 최소자승법으로 결정하게 된다. 결국 평균재래기간  $R_y$ 동안에 격자점에서 기대되는 최대진도는  $N_y = 1 / R_y$ 을 윗 식에 대입하여 계산할 수 있다.

위와 같은 방법으로 평균재래주기 100년, 1000년동안에 각 격자점에서 기대되는 가속도를 계산하여 등치선도의 형태로 각각 그림 4, 5에 나타낸다. 여기서 평균재래기간동안에 가속도가 그림에 나타난 값을 초과할 확률은 63%정도가 되며, 평균재래기간의 1/10기간 즉 10년, 100년동안에 초과되지 않을 확률은 90%정도가 된다.

그림 4, 5는 각각 100년, 1000년동안에 기대되는 최대 지반가속도를  $\text{gal}(\text{cm}/\text{sec}^2)$ 단위로 나타낸 것으로 두 그림의 경향은 대체로 비슷하다. 일반적으로 중부 서해안쪽이 동해안쪽보다 큰 값을 나타내며, 특히 웅진반도와 홍성부근의 서해안쪽의 가속도가 크게 나타난다.

한편 인구밀집지역인 서울, 광주, 대구에서의 기대되는 가속도를 확률로 표현한 지진재해예상 곡선을 그림 6, 7, 8에 각각 도시하였다. 예를 들면 서울에서 100년, 1000년, 4000년에 기대되는 가속도는 각각 0.041g, 0.125g, 0.245g가 되며, 광주에서는 각각



한반도의 동해안 지역 지진위험분포

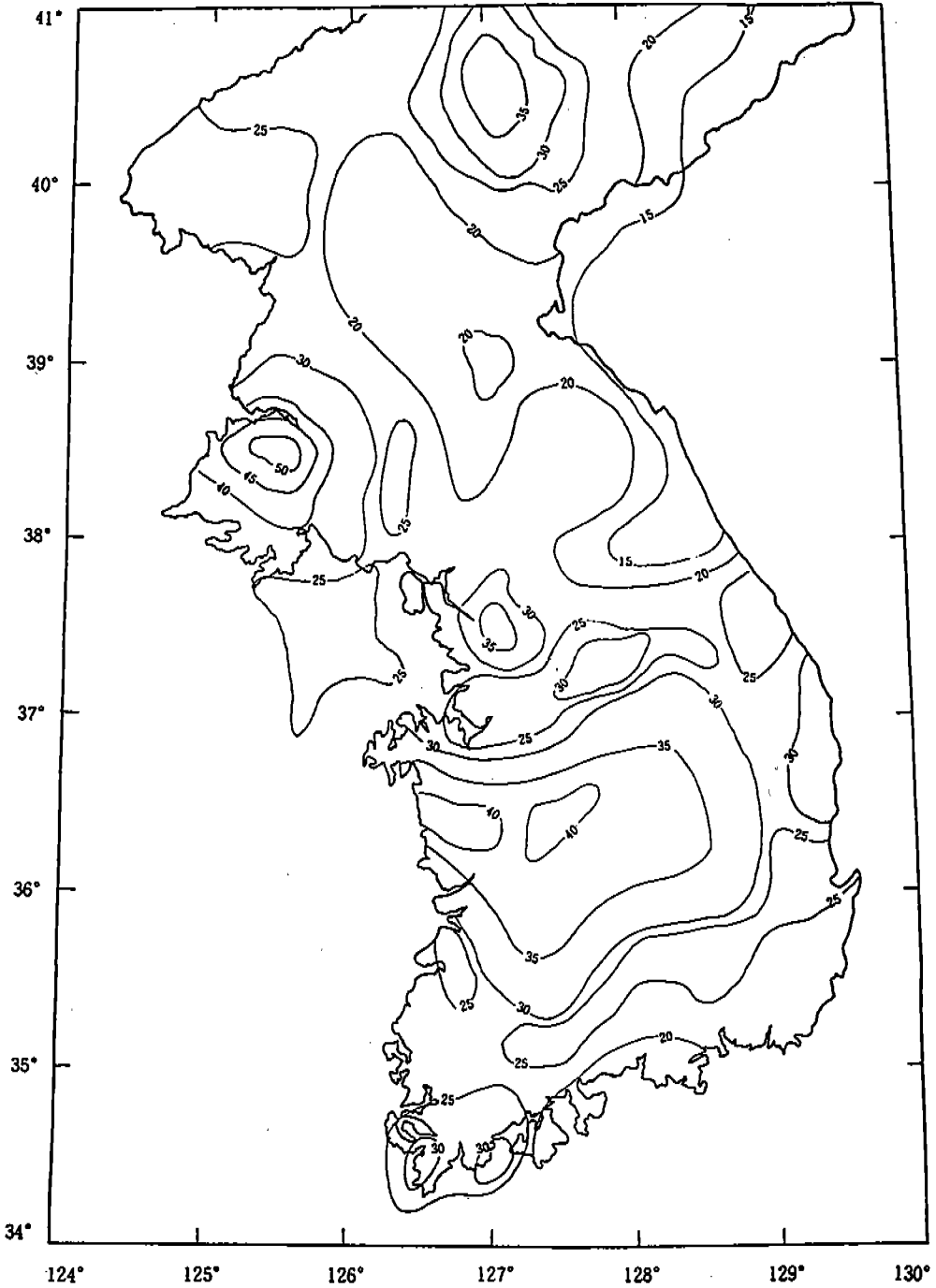


Fig. 4. Seismic risk map constructed from recurrence rate of instrumental earthquakes. The contours in the map indicate maximum horizontal accelerations in gal for 100 years of mean return period.

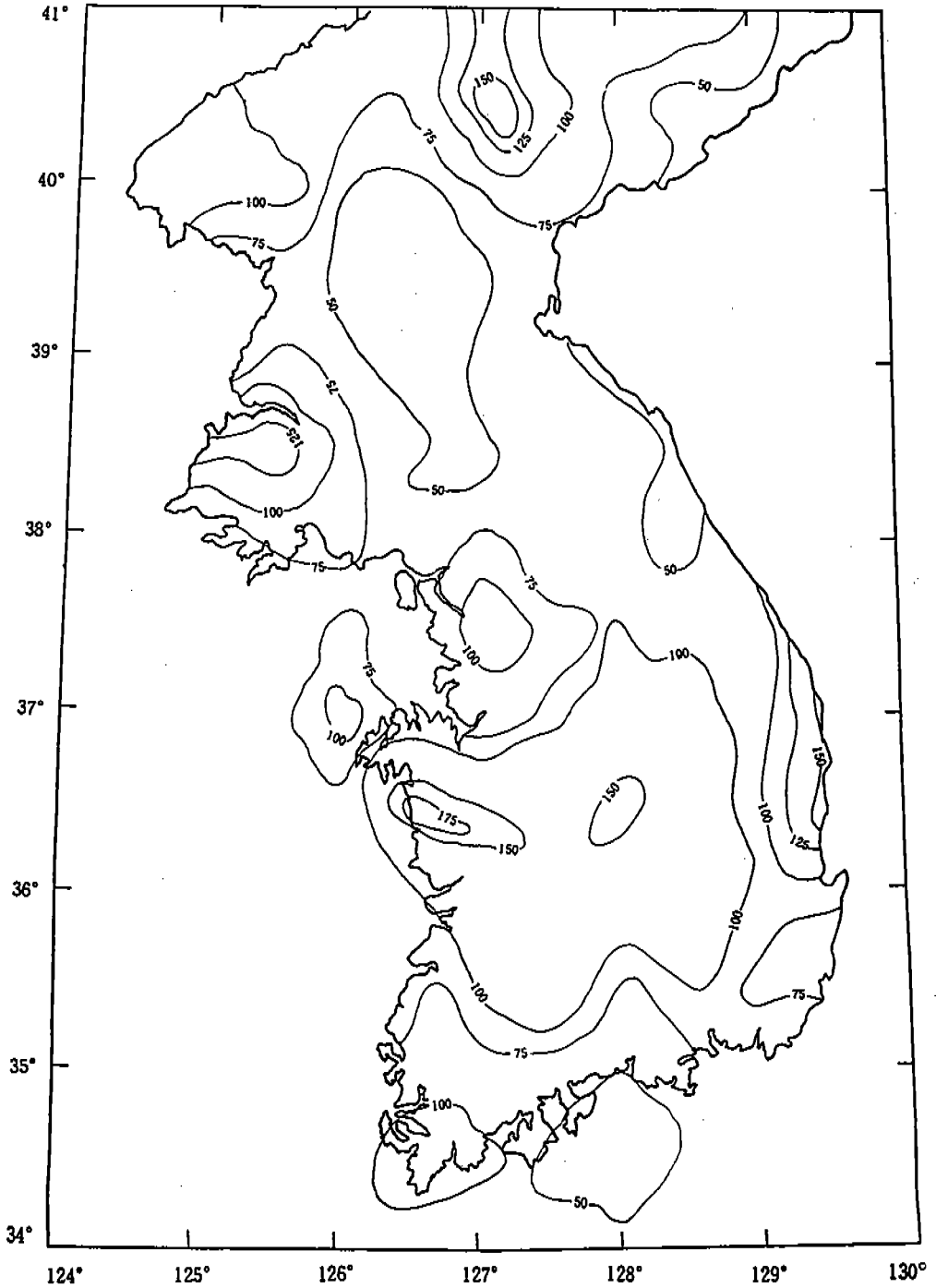


Fig. 5. Seismic risk map constructed from recurrence rate of instrumental earthquakes. The contours in the map indicate maximum horizontal accelerations in gal for 1000 years of mean return period.

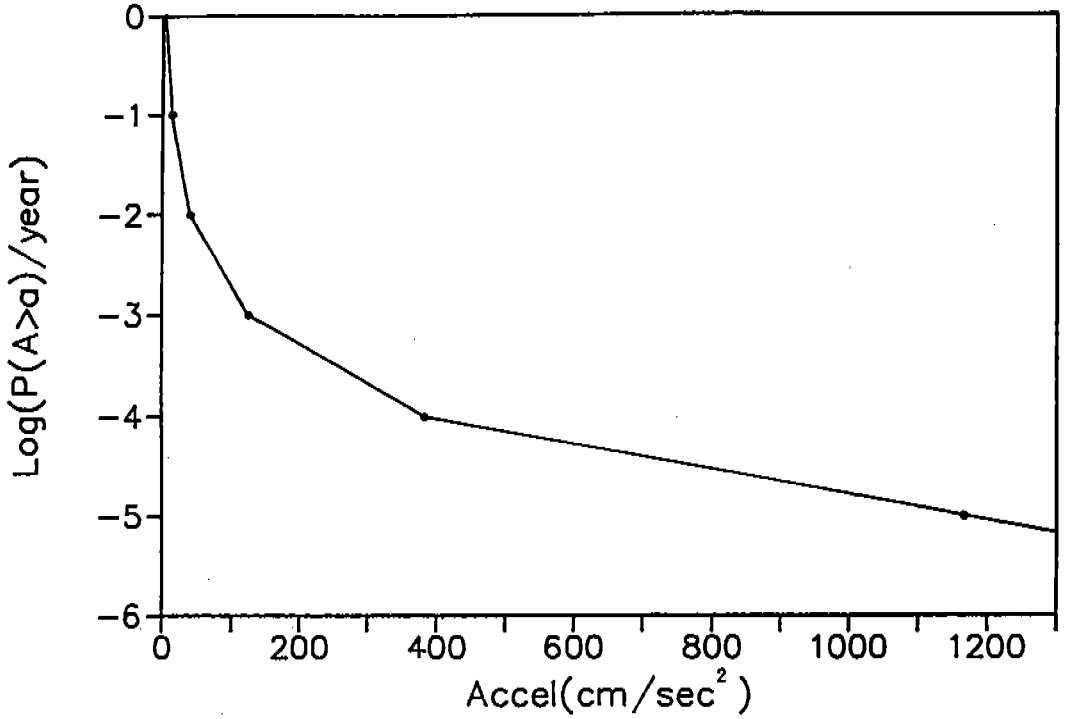


Fig. 6. Seismic hazard curve at Seoul.

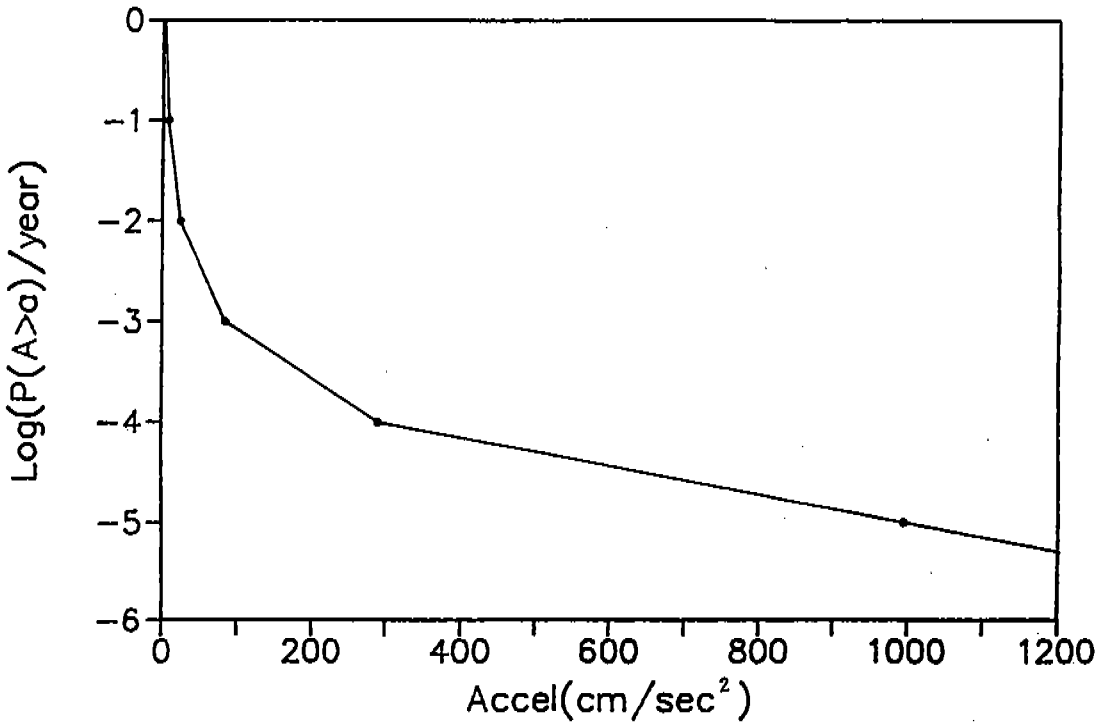


Fig. 7. Seismic hazard curve at Kwangju.

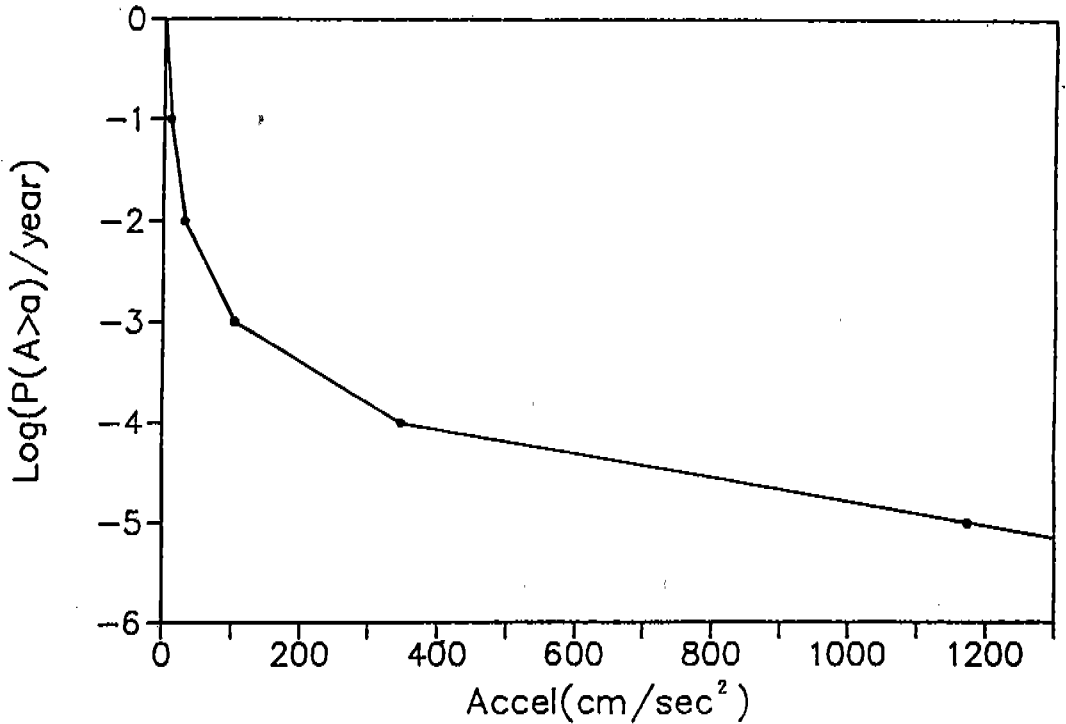


Fig. 8. Seismic hazard curve at Taegu.

0.024g, 0.084g, 0.177g, 대구에서는 각각 0.030g, 0.102g, 0.213g가 된다.

한국동력자원연구소(1983)는 본 연구와 유사한 방법으로 한반도의 지진위험분포를 재래기간 500년에 대하여 작성하였다. 그들은 각 격자점에서 가속도-누적빈도 관계를 1차식으로 가정하여 가속도를 계산하였다. 그러나 지진규모와 가속도의 관계가 1차식에 의한 직선관계가 아니기 때문에 가속도-누적빈도 관계를 1차식으로 표현함은 불합리하다. 또한 그들의 계산에는 북한지진자료가 충분히 반영되어 있지 않기 때문에 전반적으로 한반도 북부에서의 기대되는 가속도가 낮은 값을 보여준다.

위에서 얻은 결과는 구조물의 내진설계를 위한 확률론적 예측에 있어서 개략적인 값으

로 사용가능할 것으로 생각된다.

## 결 언

본 연구에서는 한반도의 계기지진 목록을 재작성하여 확률론적 지진위험분포를 계산하였다.

먼저 통일성과 균질성을 가진 목록을 작성하기 위하여, 한국기상청, 북한지진연구소, 일본기상청, USGS, ISC, WDC가 발간한 목록을 수집하여 재검토하였다. 각 목록사이에 중복되는 지진을 동정하여 진앙지, 발생시각, 발생깊이등을 결정하였으며, 상이한 규모 척도 사이의 전환식을 이용하여 통일된 규모를 채택하였다. 북한지진연구소가 발표한 규모

( $M_n$ )는 일반적으로 한국기상청규모( $M$ )보다 크며, 동일 지진에 대하여 이들 사이에 얻은 경험식은 다음과 같다.

$$M = 1.02 M_n - 0.21$$

작성된 계기지진 자료가 규모 3.0이상의 지진에 대하여 비교적 누락없이 완전성을 갖게 되는 것은 1960년 이후의 자료이며, 본 연구에서의 지진위험분포 계산에는 1960년 이후의 자료가 사용되었다.

Gumbel의 극한치이론을 적용하여 계산한 결과, 한반도에서 평균재래기간 100년, 1000년, 4000년동안에 기대되는 최대잠재지진의 규모는 각각 6.3, 7.2, 7.8로 나타났다. 한편 한반도를 경도  $1/2^\circ \times$  위도  $1/2^\circ$  의 격자망으로 나누어 각 격자점에서의 지진위험분포를 계산하였다. 이 계산에서는 특정의 구조구를 설정하지 않고 과거에 발생한 지진의 진앙지를 점지진원으로 하여, 각 격자점에서 기대되는 가속도를 계산하였다. 그 결과로 얻은 평균재래기간 100년, 1000년동안에 기대되는 최대가속도를 등치선의 형태로 나타낸 지진위험분포도를 제시하였다. 또한 인구 밀집지역인 서울, 대구, 광주에서의 기대되는 가속도를 확률로 표현한 지진재해예상곡선을 작성하였다. 이상의 결과는 한반도에서 구조물의 내진설계에 대한 기초자료로 사용할 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서 얻어진 결과는 현재 우리가 얻을 수 있는 자료를 이용한 잠정적인 결과에 지나지 않으며, 좀 더 실제에 가까운 지진위험분포를 얻기 위해서는 한반도의 지진학적 특성에 맞는 규모결정

법, 진도-가속도의 관계, 지진파감쇠에 관한 연구가 선행되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 기상청, 1992, 지진관측보고, pp.112.
- 김성균, 1986, 한반도내 주요 인공구조물의 적정 내진설계진도, 광산지질, 19, p.297-304.
- 조선지진연구소, 1987, 조선지진목록, 조선지진연구소, pp.150.
- 한국동력자원연구소, 1983, 한반도의 지진위험도, pp.295.
- 한국동력자원연구소, 1986, MRR부지의 지반진동, 한국동력자원연구소.
- Algermissen, S.T. and Perkins, D. M., 1976, A probabilistic estimate of maximum acceleration in rock in the contiguous United States, U.S.G.S. Open File Report 76-416.
- Gutenberg, B. and Richter, C. F., 1956, Earthquake magnitude, energy, intensity, and acceleration, Bull. Seis. Soc. Am., 46, p.105-145.
- KAERI, 1986, Seismic hazard analysis of nuclear power plant sites in Korea, KAERI, pp.72.
- Kim, S.G. and Kim, S.J., 1982, A seismic risk evaluation in Korea, Jour. Phys. Earth, 30, p.441-450.
- Lee, K., Lee, M.S., Kwon, B.D., and Yang, W.S., 1985, Studies on the seismic risk of the Korean Peninsula(I), Jour. Geol. Soc. Korea, 21, p.227-240.

- Milne, W.G. and Davenport, A.G., 1969, Distribution of earthquakes risk in Canada, Bull. Seis. Soc. Am., 59, p.729-754.
- Murphy, J.R. and O'Brien, L.J., 1977, The correlation of peak ground acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters, Bull. Seis. Soc. Am., 67, p.877 - 915.
- Shakal, A.F. and Willis, D.E., 1972, Estimated earthquake probability in the North Circum-Pacific area, Bull. Seis. Soc. Am., 62, p.1397-1410.
- Tsuboi, C., 1954, Determination of Gutenberg-Richter's magnitude of earthquakes occurring in and near Japan, Seis. Soc. Japan, 7, p.185-193.
- Utsu, T., 1988, Seismology, Kyoritsu-shuppan, pp.310.

---

김성균, 송미정

전남대학교 지질학과

광주 북구 용봉동 300, 500-757

TEL: (062) 520-7185

FAX: (062) 511-2135