

## 지진위험도해석기법과 설계지진결정 연구

Development of Seismic Hazard Analysis Technique  
and the Determination of Design Earthquake

오병환\* · 강영진\*\*

Oh, Byung Hwan · Kang, Young Jin

## Abstract

Presented is a study on the development of seismic hazard analysis techniques to determine a reasonable design earthquake. To this end, the methods of seismic hazard analysis are first derived and the earthquake occurrence models are established. The present method yields the appropriate level of seismic hazard for any specific site. The characteristics of each hazard model are compared. The seismic hazards for several important sites where some nuclear power plants were installed are evaluated on the basis of the present models. The present study allows more realistic determination of design earthquakes at any specific sites for the design of major structures.

## 要 旨

본 논문에서는 구조물 설계시에 필요한 설계지진값을 도출하기 위하여 지진위험도 해석기법에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위하여, 우선적으로 지진위험도 해석방법을 유도하여 정립하고, 우리나라의 지진자료를 이용하여 지진발생을 모델하였다. 본 연구의 방법은 우리나라의 임의 특정 부지에서의 지진위험도를 산출할 수 있도록 유도되었으며, 각 방법의 특징을 비교 분석하였다. 본 논문에서는 원자력발전소와 같은 주요 구조물 가능 부지에 대한 지진위험도를 도출하였으며, 이러한 연구결과는 앞으로 주요 구조물 설계에 아주 중요한 토대를 제공할 것으로 사료된다.

## 1. 서 론

인간의 삶의 터전을 제공해주고 모든 산업의 근간이 되는 구조물은 그 안전성과 사용성을 만족하도록 설계되어야 한다. 이러한 안전성을 확보하기 위해서는 구조물이 작용하는 모든 하중에 적절히

저항할 수 있어야 하며 이들 하중은 사하중을 비롯하여 활하중, 풍하중, 지진하중 등 구조물에 작용할 수 있는 모든 하중을 포함한다. 이들 하중 가운데서도 지진하중은 그로 인한 피해정도가 심각하게 보고되고 있으며 구조물의 안전도에 치명적인 역할을 가하게 된다.

최근에 발생한 멕시코의 대지진을 비롯하여 샌프란시스코의 지진 등에서 각종 건물과 교량구조물의 붕괴 등 막대한 구조물 파손과 인명피해를 일으켰던

\* 정희원 · 서울대학교 공과대학 토목공학과 부교수

\*\* 정희원 · 서울대학교 공과대학 토목공학과 교수

사실을 상기할 필요가 있다. 한반도에서는 지진에 의한 피해가 근세에 들어와서 적었던 관계로 지진이 일반의 관심이 되지 못하였다. 그러나 이는 세계적인 추세로 18세기 중엽부터 지진활동이 휴지기 상태에 있었기 때문이라고 볼 수 있다. 그러나 20세기가 시작되면서 세계 각지에서 지진에 의한 피해가 자주 보도되고, 우리나라에서도 1936년에 일어난 지리산의 쌍계사 지진(M=5.3), 1978년의 속리산 지진(M=5.2), 그리고 같은 해의 홍성 지진(M=5.0) 등은 상당한 재산피해를 준 지진이라고 할 수 있다. 그리고 최근의 지진발생 보고에 따르면 지진이 발생하지 않은 지역에서도 커다란 지진이 발생할 수 있음을 지적하고 있다. 그러한 예로써 근 100만의 인명피해를 준 중국의 당산지진과 미국 동북부의 지진 및 영국 북부의 지진 등을 들 수 있다. 따라서 지진위험도가 크지 않은 우리나라에서도 지진발생시 재산과 인명피해를 최소화하기 위하여 지진의 위험성을 반드시 고려해야 하며 구조물 설계에 반영시켜야 한다.

본 연구에서는 우리나라의 지진위험도를 분석하여 구조물 설계시에 필요한 설계지진값을 도출하는 연구를 수행하고자 한다. 이를 위하여 우선적으로 지진위험도 해석기법을 유도하여 정립하고, 우리나라의 지진자료를 이용하여 지진발생 모델링을 함으로써 우리나라 지역별 지진위험도를 도출하고자 한다. 이러한 지진위험도는 구조물 설계시 설계지진값을 결정하는 중요한 기초자료가 되며, 이러한 설계지진은 우리나라의 지진자료를 사용하여 합리적인 해석방법에 의해 도출된 것이므로 구조물의 합리적인 안전도를 확보할 수 있게 된다.

## 2. 지진발생의 모델화

### 2.1 지진발생의 시간적 모델화

시간적인 지진발생 가능성을 모델하기 위하여 여러가지 연구가 수행되어 왔다. 가장 보편적으로 적용되고 있는 모델에는 Poisson 모델과 지진의 도달시간을 확률변수로 하는 재생모델(renewal model) 그리고 이들과 유사한 모델들이 있다. Poisson 모델은 그 개념과 응용의 간편성 때문에 지진 위험도 연구시 광범위하게 이용되어 왔다.<sup>(3,4)</sup> 그러나 이 모

델은 상대적으로 균일한 지진활동(seismic activity)을 갖는 지역에 잘 응용될 수 있지만 긴 휴지기간을 가진 후 강진을 일으키는 지역 등에서 이러한 추계학적 모델을 사용하는 것은 지각의 변형에너지 축적현상을 잘 설명하기 어렵다는 특징을 가지고 있다.

#### 2.1.1 Poisson 모델

지진발생에 대한 Poisson 모델은 다음 사항을 기본 가정으로 한다.

(1) 지진은 시간적으로 불규칙하게 발생하며 임의의 시간에서 발생할 수 있다.

(2) 주어진 시간간격에서 지진발생 횟수는 겹치지지 않은 다른 시간간격에서의 지진발생과 무관하다.

(3) 작은 시간간격  $\Delta t$ 에서 지진의 발생확률은  $\Delta t$ 에 비례하고  $\lambda \Delta t$ 와 같다. 여기서  $\lambda$ 는 지진의 평균발생률으로써 상수로 가정하며,  $\Delta t$ 에서 두번 이상의 발생확률은 무시한다.

Poisson 프로세스의 확률분포는 다음과 같다.

$$P[N=n | \lambda, t] = \frac{\exp(-\lambda t)(\lambda t)^n}{n!} \quad (1)$$

여기서, N은 시간간격 (0, t)에서의 지진발생 횟수이며,  $\lambda$ 는 지진의 평균발생률이다.

#### 2.1.2 재생모델

연달아 발생하는 지진의 도달시간이 독립이며 동일하게 분포한다면, 이러한 도달시간을 변수로 하는 재생 프로세스(renewal process)를 형성하게 된다. 지진발생의 시간적인 모델링을 위한 이 방법에서 여러가지 분포가 사용될 수 있으나, 본 연구에서는 Weibull 분포함수를 적용한다. 이 모델에서는 가장 최근에 발생한 지진 이후의 경과시간에 따라 위험률이 증가하게 되는데, 이는 지진이 발생했을 때 그 지진원(source)에서 축적된 변형에너지가 방출되기 때문에 다시 에너지가 축적될 때까지 다른 지진의 발생확률은 상대적으로 감소하게 된다는 지진발생에 대한 "Elastic Rebound Theory"와 일치하게 된다.

도달시간(arrival time)을 무작위 변수(random variable)로 한 Weibull 분포함수는 다음과 같다.

$$R_T(t) = 1 - \exp\left[-\left\{\frac{(t-\delta)}{(\alpha-\delta)}\right\}^k\right] \quad (t \geq \delta) \quad (2)$$

여기서,  $T$ 는 규모  $m$ 이상의 지진의 도달시간이며,  $k$ 는 형상 매개변수,  $\alpha$ 는 축적 매개변수(characteristic time),  $\delta$ 는 위치 매개변수(최소 도달시간)이다. 위의 식에서 최소의 도달시간( $\delta$ )를 0으로 할 때, 이 분포함수는 두개의 매개변수를 갖게 되며, 식 (4)는 다음과 같이 전환된다.

$$R_T(t) = 1 - \exp[-(t/\alpha)^k] \quad (t \geq 0) \quad (3)$$

윗 식으로부터 도달시간  $T$ 에 대한 확률밀도함수(PDF)는 다음과 같다.

$$r_T(t) = (k/\alpha)(t/\alpha)^{k-1} \exp[-(t/\alpha)^k] \quad (t \geq 0) \quad (4)$$

## 2.2 극치분포함수의 유도

점근극치분포함수는 지진의 통계적 예측과 지진 공학에서의 지진위험도 평가에 자주 이용된다. Ye-gulalp와 Kuo(1974)는 지진발생의 일반적 현상이 미래에도 유용하며, 관측된 지진규모의 최대치는 상호 독립이라는 가정 아래 최초로 Gumbel의 제1·제삼점근 극치분포함수를 지진위험도 해석에 적용시켰다.

### 2.2.1 GR Law에 의한 유도

지진지역의 지진성 및 지각구조상의 거동은 지진구의 규모-빈도 관계식에 의하여 평가될 수 있다. 지진규모에 대한 재현 모델링은 Gutenberg와 Richter<sup>(8)</sup>에 의하여 최초로 형성되었으며, 규모와 빈도 사이의 선형적 대수관계를 제안했다. 이에 따라 지진규모의 확률적 분포는 Gutenberg-Richter law(GR law)에 의하여 결정되며, 지각의 어떤 영역에서 주어진 기간 동안 각 규모수준에서의 지진발생가능성은 다음 식에 따라 접근할 수 있다.

$$\log_{10} N(m) = a - bm \quad (5)$$

여기서,  $N(m)$ 은 임의의 지역에서 규정된 시간 동안에 발생한 규모  $m$ 이상의 지진수이며,  $m$ 은 지진의 리히터 규모(Richter magnitude)이고,  $a$ 와  $b$ 는 지역상수이다. 지역상수  $a$ 는 자료의 관측기간과 지역적 지진성(seismicity)에 의하는 값으로서 규모값  $m$ 이상의 총 지진발생 횟수는  $10^a$ 이 된다.  $b$ 값은 그래프( $\log_{10} N(m)$  versus  $m$ )의 기울기로서 하한규모의 선택에 따라 변하게 되며, 지역에 따라 차이가 난다.

### 2.2.2 Gumbel의 극치분포함수

Gumbel은 상이한 재현주기(return period) 아래서 형태를 유지하는 세 종류의 점근 극치분포함수를 제시했다(1958). 제일점근함수와 제삼점근함수는 규모값이나 진양진도값에 적용될 수 있고, 제이점근함수는 최대지반운동(maximum ground motion)에 적용되며 다음과 같은 형태를 갖는다.

$$G_1(x) = \exp[-e^{-\alpha(x-u)}] \quad (6)$$

$$G_2(x) = \exp[-(u/x)^k] \quad (7)$$

$$G_3(x) = \exp[-\{(w-x)/(w-u)\}^k] \quad (x \leq w) \quad (8)$$

여기서,  $\alpha$ 는 축적 매개변수(extremal intensity function),  $k$ 는 형상 매개변수,  $u$ 는 위치 매개변수(characteristic largest value of  $x$ ),  $w$ 는 지진규모의 상한치이다. 이러한 세 가지 점근함수를 Gumbel 확률지에 도시할 때, 제일점근함수는 선형의 분포를 갖기 때문에 높은 확률값  $G(x)$ 에서 무한대로 발산하는 규모치를 갖는다. 그러나 제삼점근함수는 최대잠재 지진규모의 상한값을 갖고 있으므로 Gumbel 확률지의 그래프는 아래로 볼록한 곡선을 그리게 된다.

Chen과 Lin(1973)은 이 두 함수의 특성을 동시에 만족시킬 수 있는 수정제일점근함수를 제시하고 있다. 이 함수는 임의의 지진 지역에서 규모값은 상한값을 갖는다는 가정 아래 유도된다. 수정제일점근함수는 다음과 같다.

$$G(x) = \exp\left[-e^{\alpha u} \frac{e^{-\alpha x} - e^{-\alpha v}}{1 - e^{-\alpha v}}\right] \quad (\alpha > 0, v > u > 0) \quad (9)$$

여기서,  $v$ 는 임의의 지진 지역에 발생하는 지진규모의 상한값이다. 위의 식에서  $e^{-\alpha v}$ 값은 거의 0에 가깝게 되므로 분모의  $e^{-\alpha v}$ 항을 무시한다면, 식을 다음과 같이 간단하게 나타낼 수 있다.

$$G(x) = \exp\{-[e^{-\alpha(x-u)}][1 - e^{-\alpha(v-x)}]\} \quad (10)$$

본 연구에서는 각 함수의 특성을 고려하여 제삼점근함수와 수정제일점근함수를 이용하여 위험도해석에 적용한다.

## 2.3 지진발생의 공간적 모델화

지진발생의 공간적 분포를 모델링할 때 가장 중

요한 요소는 지진원(source)의 제반특성을 정의하는 것이다. 지진원의 기하학적 모델화에서 지진발생시 에너지 방출이 한점에 집중되어 발생함을 가정하는 점진원(Point Source)은 지진규모가 작은 경우이거나, 강진이라도 진앙거리가 비교적 큰 부지의 위험도 평가에서 타당하게 적용될 수 있다. 그러나 이 모델은 진앙점에서 먼 부지라도 강진 발생시 부지중심 부위를 fault break가 통과하면서 부지가 에너지 방출 지역에 가깝게 위치할 수 있는 가능성을 무시하게 된다. 다음으로 선-파단지원(Line-Rupture Source)은 지진이 진원점에서 시작하고 지각붕괴시 파단지역(ruptured zone)에 위치하는 일련의 간헐적인 활동(slips)을 따라 전파됨을 가정한다. 면적-파단지원(Area-Rupture Source)은 지진원의 이상적인 모델로써 2차원적 파괴면을 갖는다.

본 연구에서는 지진규모에 따른 파단면적이나 파단길이 등의 상관관계가 미비하기 때문에, 가장 현실적인 방법으로써 각 지진구에서 점진원을 가정하여 위험도 해석을 수행한다. 본 연구자가 선택한 부지중에서 고리지역을 제외한 나머지 지역은 모든 지진구의 유한진원점에서 비교적 먼 거리에 위치하고 있으며, 지진자료에 따르면 강진의 발생비율이 현저히 작기 때문에 점진원의 무차원적 모델링이 가능하게 된다.

## 2.4 지반운동의 감쇠모델

지진발생시 부지의 지반운동정도를 표시하는 수치로 진도(intensity)를 사용한다. 본 연구에 사용되는 진도의 평가방법은 수정된 메르칼리 진도 수치(Modified Mercalli Intensity scale : MMI scale)에 의한다.

진원으로부터의 거리에 따라 진도가 감소한다는 사실은 지진위험도 평가에 매우 중요한 요인으로 작용한다. 이러한 감쇠현상은 일반적으로 지진에너지의 기하학적인 감쇠와 에너지의 흡수에 의하여 발생하는데, 전자는 파원(wave front)에 대한 단층의 기하학적 함수이며 후자는 매질의 내부적 damping에 의존하여 진동수에 따라 선형적으로 증가하는 경향이 있다. 지진파의 감쇠식을 구성하는 주요 변수는 지진의 규모와 진앙거리를 비롯하여 단층의 균열방향, 균열전파속도, 단층의 형태, 파동의 진동수

및 변형에너지 감소비율 등이 있다. 그러나 본 연구에서는 진앙진도와 거리의 함수로써 지진위험도 해석에 일반적으로 사용되는 다음과 같은 형태의 진도감쇠식(intensity attenuation relationship)을 이용한다.

$$I = I_c - b_1 \ln(R/h) - b_2(R-h) \\ R^2 = \Delta^2 + h^2, \quad m = 1 + 2I_c/3 \quad (11)$$

여기서, R은 진원거리(hypocentral distance)이며, h는 진원깊이(focal depth),  $\Delta$ 는 진앙거리(epicentral distance),  $I_c$ 는 진앙에서의 진도, I는 부지에서의 진도이고,  $b_1$ 과  $b_2$ 는 지역상수이다. 이기화 교수는 한반도에서 진도의 거리에 대한 감쇠율인  $b_1$ 과  $b_2$ 를 결정하기 위하여 1936년과 1978년에 쌍계사와 홍성에서 발생한 지진들의 진도자료를 분석하여 동진도도를 작성했으며, 최소사승법에 의하여 식 (17)의  $b_1$ ,  $b_2$ 를 각각 0.8341과 0.0068로 평가했다. 여기서 흡수율 0.0068/km은 세계 다른 지역의 값들과 비교할 때 합리적으로 볼 수 있다.

Trifunac과 Brady는 미국 서부지역의 accelerograms을 사용하여 진도와 지반운동과의 상관관계를 평가했다. 이에 따르면 진도와 지반가속도는 다음의 관계식을 갖는다.

$$\log_{10} a_v = -0.18 + 0.30 I \\ \log_{10} a_h = 0.014 + 0.30 I \quad (IV \leq I \leq X) \quad (12)$$

여기서,  $a_v$ 는 최대지반가속도의 수직성분(gal)이며,  $a_h$ 는 최대지반가속도의 수평성분(gal)이고, I는 부지에서의 진도(MMI scale)이다. 지진위험도 평가시 감쇠된 최대진도값에 의하여 식 (18)에 따라 부지에서의 수평최대지반가속도(PGA)를 평가할 수 있다.

## 3. 한반도 지진자료 분석

### 3.1 지진자료의 분석

한반도 지진활동의 역사적 기록은 A.D. 2년부터 나타나고 계기에 의한 기록은 1905년부터 시작되었다. 이러한 역사지진과 계기지진에 의한 한반도의 지진발생 횟수는 1985년 6월까지 총 2729회에 달하고 있으며,<sup>(10)</sup> MMI 5이상의 지진만도 905회에 이른다.<sup>(7)</sup> 본 연구에서는 한반도의 지진위험도 해석

을 위하여 이기화 교수가 평가한 진도자료를 이용한다.<sup>(6)</sup> 쌍계사지진의 진원깊이는 대략 10 km이며, 홍성지진은 10 km 이하이므로 본 연구에서 사용되는 진원깊이는 10 km로 가정하고, 한반도 전체에 걸쳐 지진관측이 가능하였다고 생각할 수 있는 조선시대 이후의 자료를 사용한다.

### 3.2 지진구의 결정

지진구(Seismic Source Province)는 일반적으로 지질구조적 형상의 균일성과 지진발생의 동질성 및 진원 메카니즘의 일관성에 의하여 구획된다. 본 연구에 사용되는 지진구는 한반도의 지진 및 지질자료를 이용하여 결정한 Lee<sup>(7)</sup>의 7개의 지진지역을 사용한다. 각 지진구의 특성을 요약하면, 먼저 제1 지진구는 평안분지의 서부에 해당되며, 탁월방향은 N 50°-70°W 방향으로써 강진들의 진앙이 이 방향으로 발달한 단층에 매우 잘 부합한다. 제2지진구는 경기단층지괴의 남서부 지역으로서 일반적으로 높은 지진위험도를 가지며, 특히 홍천 단층의 남서지역에서 높은 지진성을 갖는다. 이 지진구에서 진앙점과 단층방향은 서로 높은 상관관계를 가지며, 특히 추가령 단층계에서 그러한 현상이 나타난다. 제3지진구는 경기단층지괴와 옥천지역 사이에 위치하는 비교적 높은 지진활동도를 갖는 지역이다. 이 지진구의 남서부가 북동부보다 높은 지진성을 갖는데, 이 현상은 옥천지역이 衡上단층(thrust fault)에 의해 북쪽은 비변성(non-metamorphosed) 태백산 지역으로, 남쪽은 변성 옥천지역으로 나누어지는 지질적인 이유로 본다. 제4지진구는 옥천지역과 영남단층지괴 사이를 따라 경계를 이룬다. 이 지진구의 남서부는 지각구조지도상의 단층을 이루며 북동부보다 높은 지진성을 갖는다. 제5지진구는 영남단층지괴와 경상분지 사이를 경계로 하는 지역이다. 일반적 단층 방향은 NE-SW 방향이며, 영남단층지괴의 내부에 비하여 높은 지진 활동도를 갖는다. 경상분지의 내부인 제6지진구는 비교적 낮은 지진성을 가지며, 제7지진구는 NE 방향의 야산단층계를 따라 높은 미세지진 활동도(microearthquake activity)를 갖는다.

이와 같이 구획된 한반도의 7개 지진구를 지도상에 표시하면 그림 1과 같다. 이 지진구들은 MMI

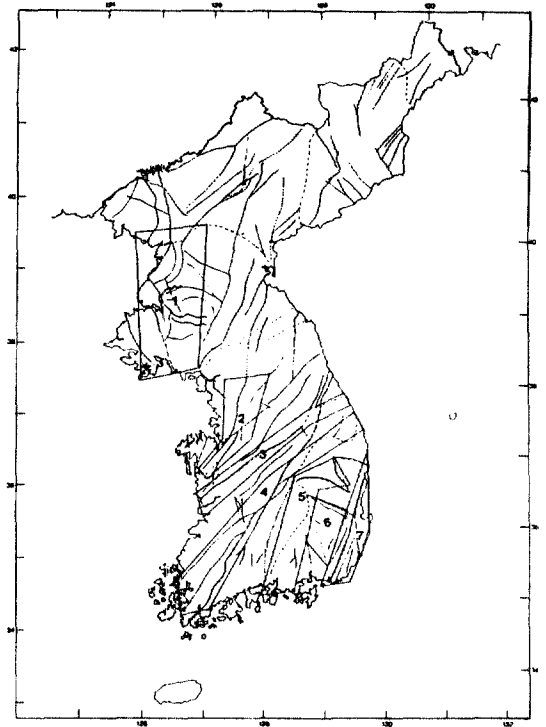


그림 1. 한반도의 지진구

5 이상인 지진진앙점의 70%를 포함하며, MMI 7 이상의 지진은 거의 대부분 이 지역내에 위치한다.

## 4. 한반도의 지진위험도 해석

### 4.1 Poisson Process에 의한 지진위험도 해석

#### 4.1.1 GR Law에 의한 해석

##### (1) 위험도 해석 절차

지진의 규모값(Richter magnitude,  $M$ )과 진앙진도(epicentral intensity,  $I_e$ ) 사이에는 선형의 관계식 ( $M=1+2I_e/3$ )을 갖기 때문에 GR law에 따라 진앙진도와 지진발생빈도는 식 (5)와 같은 형태를 갖는다.

$$\log_{10}N(I_e) = a - bI_e \quad (13)$$

여기서 매개변수  $b$ 의 평가를 위해 진앙진도 자료를 각 구간별로 나누어 정리한 다음 최우추정법(maximum likelihood estimation, MLE)을 사용하면 다음 식과 같다.

$$b = \frac{\sum f_j}{\sum I_j f_j - \sum f_{j_0}} \cdot \log_{10} e \quad (e=2.718\cdots) \quad (14)$$

여기서,  $I_j$ 는  $j$ 번째 진도구간의 대표값이며,  $f_j$ 는 그 구간에 속한 지진의 발생빈도이다. 위험도 해석을 위한 첫번째 기본가정에 따라 진도값의 극치분포함수를 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$G(x) = \exp[-\lambda t \cdot \exp\{-\beta(x - i_0)\}] \quad (x \geq i_0) \quad (15)$$

위의 식에 따라 고려하고자 하는 시간  $t$ 년 동안 임의의 초과확률  $P_t$ 를 갖는 최대진양진도값  $V_t$ 는 다음과 같다.

$$V_t = \left[ -\frac{1}{\beta} \ln \left\{ \frac{-\ln(1 - P_t)}{\lambda t} \right\} \right] + i_0 \quad (16)$$

고려되는 지진지역내에서 독립적인 지진구(1, 2, ..., n)들이 존재할 때, 지진지역 전체의 극치함수는 각 지진구에서 구한 극치함수의 곱으로 나타낼 수 있고, 주어진 시간간격  $t$ 에서 진도의 최대값이  $x$ 를 초과하는 지진이 최소한 한번 발생할 확률인 최대진도  $x$ 의 초과확률(probability of exceedance, POE)을 다음 식에서 구할 수 있다.

$$P(x) = 1 - \prod_{j=1}^n G_j(x) \quad (17)$$

### (2) 특정 부지에서의 지진위험도

GR law에 의한 한반도의 지진위험도 해석은 1988년에 이기화 교수가 한반도 전체를  $0.20^\circ \times 0.25^\circ$ 의 지리적 기준점으로 나누어 최대진도의 지진위험지도(seismic hazard maps)를 작성한 바 있다.<sup>(7)</sup> 이 위험도 해석에서는 각 재현기간(50, 100, 200, 1000년)에서 90%의 초과확률을 갖는 최대진도를 평가하여 등진선(isoseismal contours)을 그은 것으로써 본 연구에서는 다른 위험도 해석방법과 비교하기 위해 매개변수값을 동일하게 사용하여 특정 부지의 지진위험도 곡선(seismic hazard curves)을 작성한다.

표 1은 한반도 전체에 걸쳐 지진관측이 가능하였다고 생각할 수 있는 조선시대 이후(1392-1982년)의 지진자료에서 진양진도 5 이상( $i_0=5$ )을 사용한 경우에 각 지진구(Seismic Province)에서의 매개변수 평가결과이다.

특정 부지에서의 지진위험도를 평가하기 위해서는

표 1. GR 식과 극치분포함수의 매개변수 평가결과

Seismic Province No.	a	b	$\beta$	$\lambda$
1	6.41	0.86	1.9802	0.2180
2	5.52	0.72	1.6579	0.1407
3	4.79	0.57	1.3125	0.1474
4	4.69	0.53	1.2204	0.1855
5	5.35	0.67	1.5427	0.1692
6	4.24	0.53	1.2204	0.0658
7	4.06	0.50	1.1513	0.0614

표 2. 각 지진구의 유한진원점

Seismic Province No.	Lat.	Long.	$\lambda_i/\lambda^*$
1	39.2	127.4	0.0169
	40.1	126.1	0.0678
	37.8	126.5	0.1695
	39.0	124.0	0.1864
	38.2	126.1	0.2203
2	39.0	125.5	0.3390
	37.6	127.0	0.7179
3	36.6	126.7	0.2821
	37.4	128.7	0.3125
4	36.5	127.4	0.6875
	37.7	129.6	0.2353
	35.3	127.2	0.5490
5	35.8	127.2	0.2157
	35.6	128.2	0.6667
6	35.2	128.3	0.3333
	36.0	128.7	1.0000
7	35.8	129.2	0.4000
	35.9	129.5	0.2000
	35.9	130.1	0.2000
	37.2	129.8	0.2000

\*지진구의 각 유한진원점의 지진발생비율

지진의 공간적 분포를 가정해야 한다. 본 연구에서는 2.3절에서 설명한 바와 같이 점진원 모델을 사용하며, 진원깊이는 앞 절에서 설명한 바와 같이 모든 지진원에서 10 km로 가정한다. 또한 각 지진구에서 과거의 지진피해가 특히 심한 지역을 유한진원점( $i_0$

nite seismic source point)으로 간주하여, 식 (11)의 감쇠모델에 따라 진앙지에서의 진도를 부지에서에서의 진도로 평가한다. 이 진도값들은 식 (12)에 의하여 지반가속도로 환산되며, 이 중에서 최대값을 최대 지반가속도로 하고 이에 대한 단위년당 초과확률을 식 (17)에 의하여 산정한다. 이에 따라 울진과 고리 및 영광지역에서 각기 다른 PGA level을 단위년당 초과확률의 값으로 나타낸 지진위험도곡선의 결과는 그림 2와 같이 계산되어 나타나 있다.

#### 4.1.2 Gumbel의 극치분포함수에 의한 해석

##### (1) 위험도 해석 절차

지진학적 측면에서 최대치 해석은 임의의 지역내에서의 규모값이나 특정지역에서 측정되는 진도값 중에서 일련의 시간간격에 대한 극치에 적용될 수 있다. 즉, 고려되는 시간을 등간격으로 나누고, 각 구간에서 최대치를 발췌하여 얻어지는 일련의 극치에 확률값을 부여하게 된다. 이 때 관측된 최대치는 서로 독립되어 있다는 가정 아래에서 적용된다. 최대치를 발췌하기 위한 시간간격은 임의로 선택될 수 있으며, 일반적으로 지진다발지역에서는 단위년간 최대치를 사용한다. 그러나 본 연구에서는 한반도의 낮은 지진성을 고려하여 매 십년에 대한 최대진앙 진도값(decadal extreme)에 대한 지진위험도 해석을 수행한다.

진앙진도  $x$ 에 대한 자료의 분포값  $G^*(x)$ 의 평가는  $N$ 개의 극치들을 오름차순으로 배열한 다음,  $j$ 번째 최대치에  $G^*(x_j)$ 의 확률값을 주게 된다.

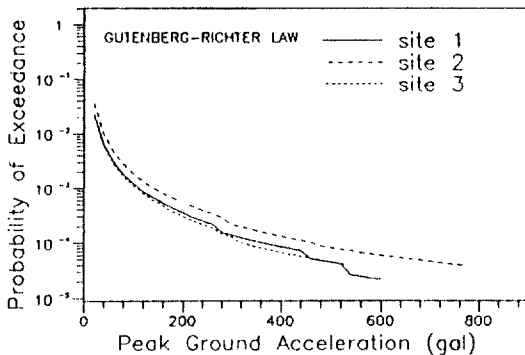


그림 2. 각 부지의 GR Law에 의한 단위년당 지진위험도곡선(site 1: 울진지역, site 2: 고리지역, site 3: 영광지역)

$$G^*(x_j) = \frac{j}{(N+1)} \quad (j=1,2,\dots,N) \quad (18)$$

그러나  $n$ 회의 시간간격 동안 지진이 발생하지 않았거나, 최소진앙진도 이하의 지진만이 발생했을 때는 이용가능한 자료기간을  $(N-n)$ 회로 가정한다. 이 경우는 Gumbel의 확률지에  $x_n, x_{n+1}, \dots, x_N$ 만을 도시하게 된다. 이에 따라  $G^*(x_j)$ 값은 다음과 같이 평가된다.

$$G^*(x_j) = \frac{(j+n)}{(N+1)} \quad (j=1,2,\dots, N-n) \quad (19)$$

여기서,  $N$ 은 지진자료의 총 기간에 대하여 최대치를 구하는 시간간격의 총 수이다. 매  $t$ 년에 대한 최대치를 사용할 경우,  $x$ 값 이상의 재현주기는 다음과 같다.

$$T(x) = t / (1 - G(x)) \quad (20)$$

각 지진구에서  $t$ 년 동안  $x$ 이상의 진앙진도가 발생할 초과확률은 다음과 같다.

$$P_i(I_e \geq x) = 1 - \exp[-t/T(x)] \quad (21)$$

식 (9)에 따라  $t$ 년 동안  $P_i$ 의 초과확률을 갖는 최대진앙진도값은 수정제일점근함수(M-Type I)에서 다음 식과 같다.

$$V_i = -(1/a) \cdot \ln[\exp(-av) + \exp(z-au) - \exp(-av)\exp(z-au)] \quad (22)$$

여기서,  $z = \ln[-\ln\{1 + (1/t)\ln(1 - P_i)\}]$ 이며, 식 (8)의 제삼점근함수(Type III)에서는 다음과 같다.

$$V_i = w - (w - u)\exp(z/k) \quad (23)$$

##### (2) 매개변수의 평가

극치분포함수의 매개변수를 평가하는 방법에 있어 여러 연구자(e.g., Kim, 1983; Dessokey, 1983; Kijko, 1985; Knopoff and Kagan, 1977; Weichert and Miline, 1979)에 의해 제안된 최소자승법(least square method)의 알고리즘을 제시한다. 즉, 비선형 점근함수식을 Taylor expansion method를 사용하여 연립선형식으로 바꾸어 해를 구한다.

먼저 제삼점근함수의 매개변수 평가를 위해 식 (8)에 대수를 두번 취하여 다음과 같은 식을 얻는다.

$$y_j = -\ln[-\ln G(x_j)] \\ = -k \cdot \ln\{(w - x_j)/(w - u)\} \quad (24)$$

초기가정에 의한 ( $k_0$ ,  $u_0$ ,  $w_0$ )점에 대하여, 식 (24)의 Taylor 전개식에서 일차항만을 취한다.

$$y_j - f_{j0} = \left. \frac{\partial f}{\partial k} \right|_0 (\Delta k) + \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_0 (\Delta u) + \left. \frac{\partial f}{\partial w} \right|_0 (\Delta w) \quad (25)$$

where,

$$y_j = -\ln\left[-\ln \frac{j+n}{N+1}\right], f_{j0} = -k_0 \ln\left[\frac{w_0 - x_j}{w_0 - u_0}\right]$$

(3) 특정 부지에서의 지진위험도

본 연구에서는 3장의 한반도 지진자료에 수정제 일점근함수와 제삼점근함수를 적용시켜서, 최대잠재 지진의 진앙진도값을 산정하며, 특정 부지에서의 지진위험도곡선을 유도한다. 여진의 가능성을 줄이며 구조물에 손상을 줄수 있는 지진을 고려하기 위하여, 최소진앙진도값을 MMI 7.0으로 취하고 그 이상의 모든 지진을 전산처리하여 통계분석을 하였

표 3. 각 지진구의 최대진앙진도 자료

Seismic Province Number						
1	2	3	4	5	6	7
decadal extreme						
7.0	7.0	7.0 7.0	7.0 7.0	7.0	7.0	7.0
7.0	7.0	7.0 8.0	7.0 7.0	7.0	7.0	7.0
7.0	7.0	7.0 8.0	7.0 7.0	7.0	7.0	7.0
8.0	7.0	7.0 8.0	7.0 8.0	7.0	7.0	7.0
8.0	8.0	7.0 9.0	7.0 8.0	8.0	7.0	7.0
8.0	8.0	7.0 9.0	7.0 9.0	8.0	7.0	8.0
8.0	8.0	7.0	7.0 9.0	8.0	7.0	9.0
8.0	8.0	7.0	7.0 9.0	8.0	7.0	9.0
9.0	9.0	7.0	7.0	8.0	7.0	10.0
9.0	9.0	7.0	7.0	9.0	7.0	
9.0	9.0	7.0	7.0		7.0	
9.0	9.0	7.0	7.0		8.0	
9.0	9.0	7.0	7.0			

다. 표 3은 한반도 7개의 지진구에 해당되는 최대 진앙진도자료를 각 시간간격에 대하여 으뜸차순으로 정리한 것이며, 표 4는 각 점근함수의 매개변수를

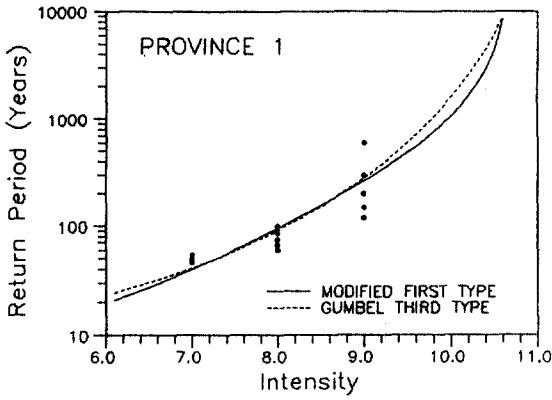
표 4. 제삼점근함수 및 수정제일점근함수의 매개변수 평가결과

Seismic Province No.	function type*	parameters				
		k	w	$\alpha$	u	v
1	Type III	3.53	11.57		5.00	
	M-Type I			0.90	5.65	10.72
2	Type III	3.33	11.46		4.83	
	M-Type I			0.88	5.60	10.61
3	Type III	2.37	10.20		4.02	
	M-Type I			0.61	4.43	9.73
4	Type III	2.36	10.17		4.44	
	M-Type I			0.51	4.32	9.69
5	Type III	2.58	10.56		3.01	
	M-Type I			0.85	4.95	9.93
6	Type III	2.42	8.98		3.67	
	M-Type I			1.15	4.75	9.86
7	Type III	2.71	12.00		2.56	
	M-Type I			0.31	1.00	10.95

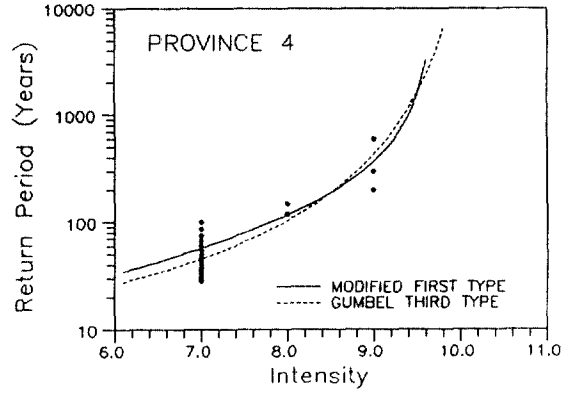
\*Type III is the third asymptotic function

M-Type I is the modified first asymptotic function

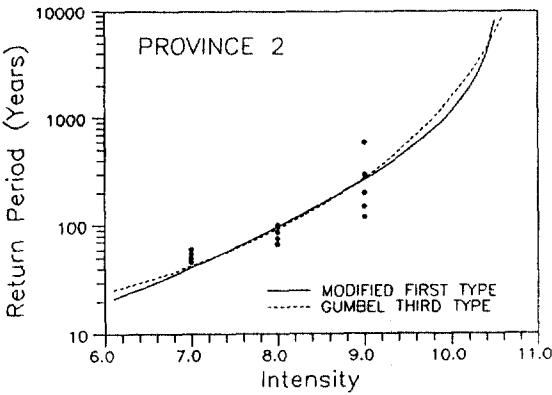




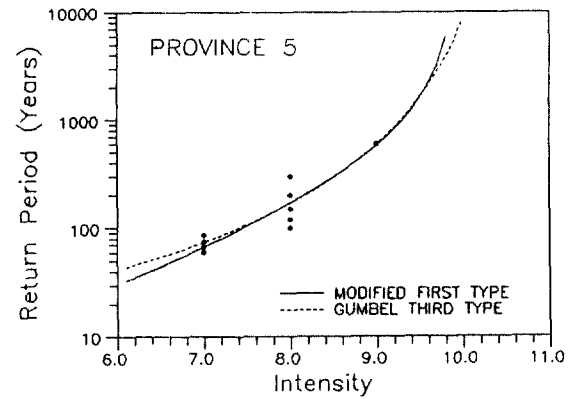
(a) 제1지진구



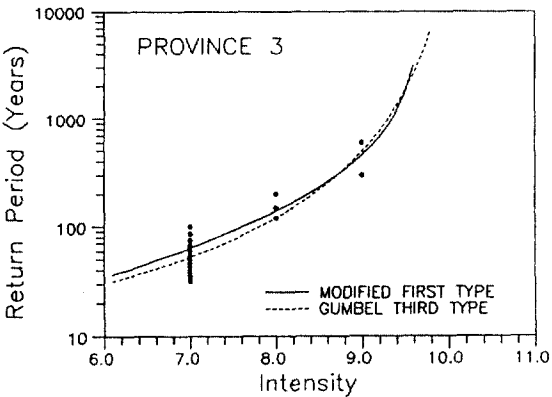
(d) 제4지진구



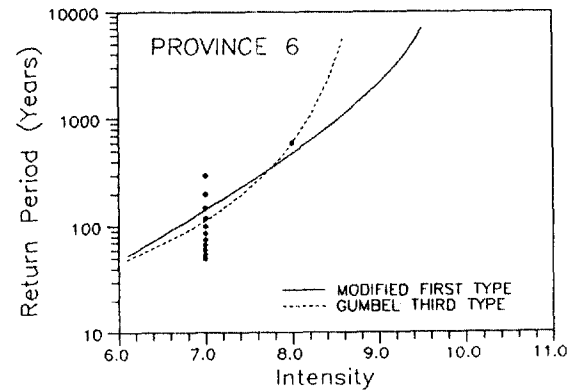
(b) 제2지진구



(e) 제5지진구

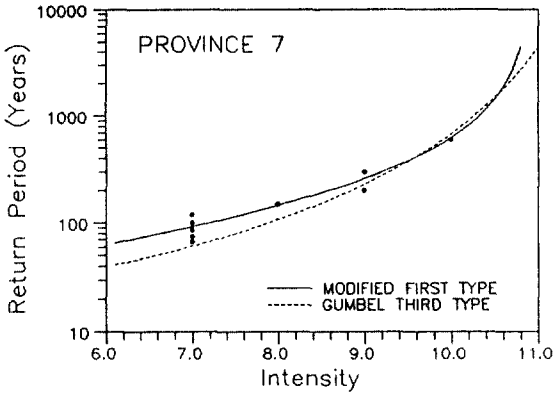


(c) 제3지진구



(f) 제6지진구

그림 3. 매 10년 간격의 최대진앙진도자료 분포와 각 점근함수의 비교



(g) 제7지진구

그림 3. (계속)

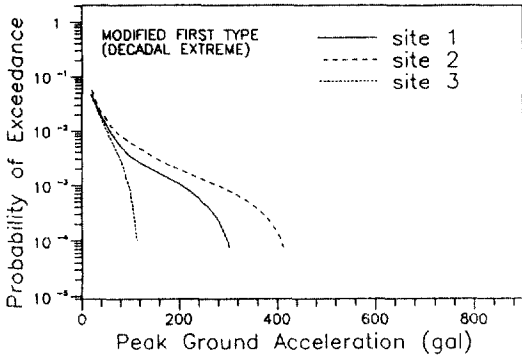


그림 4. 각 부지의 수정제일점근함수에 의한 단위년당 지진위험도곡선(site 1: 울진지역, site 2: 고리지역, site 3: 영광지역)

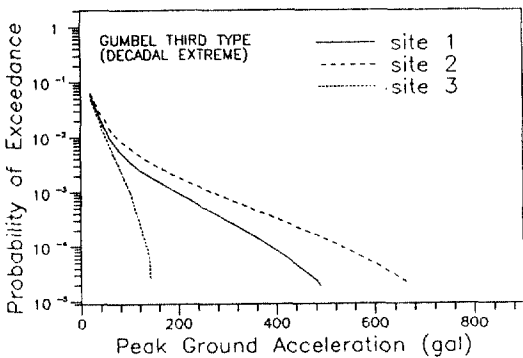


그림 5. 각 부지의 제삼점근함수에 의한 단위년당 지진위험도곡선(site 1: 울진지역, site 2: 고리지역, site 3: 영광지역)

앞의 평가방법에 의하여 평가한 결과이다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 각 지진구에서의 최대 잠재 지진의 진앙진도값은 수정제일점근함수와 제삼점근 함수에서 각각 그 평균값이 MMI 10.2와 MMI 10.7 으로 평가되었다. 이와 같이 제삼점근분포에 의한 최대잠재지진의 진앙진도값은 비교적 높은 수치로 결정되기 때문에 현실적으로 수증하기가 어렵다. 또한 수정제일점근함수가 변수의 수렴을 위한 계산 시간이 더욱 짧게 필요로 했다. 결과적으로 지진예 측을 위한 통계변수의 계산에서 수정제일점근함수를 사용하는 것이 효과적이라고 볼 수 있다. 그림 3은 각 지진구에서 지진자료의 분포  $G^*(x)$ 값과 제삼점 근함수(파선으로 표시) 및 수정제일점근함수(실선으 로 표시)를 도식화한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 대부분의 지진구에서 제삼점근함수가 높 은 진도영역에서 자료의 분포를 광대평가하고 있다.

4.1.1 결과 같은 방법으로 각 부지에서 수정제일점 근함수에 의한 지진위험도곡선의 결과는 그림 4와 같이 계산되어 나타나 있으며, 제삼점근함수에 의한 결과는 그림 5와 같다.

## 4.2 재생모델에 의한 해석

### (1) 매개변수의 평가

Weibull 분포함수의 매개변수 평가방법에 있어, 먼저 최우추정법(maximum likelihood estimation, MLE)에 따른 알고리즘을 제시한다. 식 (4)의 우도 함수(likelihood function)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 L(\alpha, k \mid t_1, t_2, \dots, t_n) &= \prod_{i=1}^n r_T(t_i \mid \alpha, k) \\
 &= (k/\alpha)^n (t_1 t_2 \dots t_n / \alpha^n)^{k-1} \exp\left[-\sum_{i=1}^n (t_i/\alpha)^k\right] \quad (26)
 \end{aligned}$$

여기서,  $n$ 은 고려되는 진앙진도  $I_e$  이상의 지진자료를 연대순으로 나열한 후 각 지진의 도달시간의 총 갯수이며,  $t_i$ 는 같은 지진자료에서 도달시간을 오름 차순으로 배열하였을 때  $i$ 번째 도달시간이다. 이 우도함수의 양변에 대수를 취하면 다음과 같다.

$$\ln(L) = n(\ln k - k \ln \alpha) + (k-1) \sum_{i=1}^n \ln t_i - \sum_{i=1}^n (t_i/\alpha)^k \quad (27)$$

식 (27)을 각 매개변수로 편미분한 두 식을 零으로 둔 다음, 식을 정리하면 아래의 식을 얻게 된다.

$$\alpha = g(k) = \left[ \sum_{i=1}^n (t_i^k/n) \right]^{1/k} \quad (28)$$

$$f(k) = (n/k) + \sum_{i=1}^n \ln t_i [1 - (t_i/\alpha)^k] \quad (29)$$

식 (28)의  $\alpha$ 를 식 (29)에 대입하면, 형상 매개변수  $k$ 에 대한 비선형식을 얻을 수 있다. 식 (29)의 해를 구하기 위해 "Newton-Raphson iteration procedure"를 사용한다. 이에 따라  $j+1$ 번째 반복시행 후의  $k$ 값은 다음과 같다.

$$k_{j+1} = k_j - f(k_j)/f'(k_j) \quad (30)$$

여기서,  $f'(k)$ 는 식 (29)를  $k$ 로 편미분하여 얻는다.

도식법(Graphical estimation)에 따른 매개변수의 평가방법은 먼저 도식적인 평가를 편리하게 하기 위해 식 (3)을 선형식으로 전환한다. 즉, 양변에 대수를 두번 취함으로써 다음과 같은 식을 얻는다.

$$\ln[\ln\{1/(1-R_T(t))\}] = k \ln t - k \ln \alpha \quad (31)$$

$t_i$ 에 대한  $R_T(t_i)$ 의 평가는  $n$ 개의 도달시간들을 크기 순으로 배열한 다음,  $i$ 번째 도달시간에 다음의 확률값을 주게 된다.

$$\text{Gumbell Method(GGM)} : R_T(t_i) = i/(n+1) \quad (32)$$

$$\text{Hazen Method(GHM)} : R_T(t_i) = (2i-1)/2n \quad (33)$$

(X, Y) graph인 Weibull 확률용지에 각 지진 자료를 도시하면  $Y = (1/k)X + A$ 의 선형 관계를 이루게 된다. 이 직선식에 대한 기울기의 역수값이 형상 매개변수 ( $k$ )값이 되며,  $R_T(t) = 0.632$ 에 대응하는  $t$ 값이 축적 매개변수( $\alpha$ )가 된다.

(2) 특정 부지에서의 지진위험도

Weibull 분포함수에 의한 지진위험도는 각 진앙진도값에 대한 식 (5)의 초과 확률값으로 유도된다.

$$R(I_e, t) = 1 - \exp[-(t/\alpha_e)^k] \quad (34)$$

여기서,  $R(I_e, t)$ 는 시간간격  $t$ 에서  $I_e$  이상의 진앙진도를 갖는 지진이 최소한 한번 발생할 확률이다. 각 지진구에서 최소진앙진도는 MMI 7로 하며, 진앙진도의 간격을 1.0단위로 하여 각 진앙진도 이상의

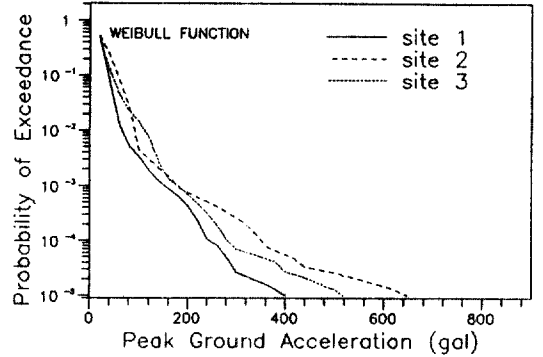


그림 6. 각 부지의 WEIBULL 분포함수에 의한 단위년당 지진위험도곡선(site 1 : 울진지역, site 2 : 고리지역, site 3 : 영광지역)

지진자료를 전산처리하여 통계분석한다. 매개변수 평가 방법중의 하나인 MLE에서  $k$ 의 초기값은 1로 했으며, 오차의 허용한계를 0.001로 했다. 이를 위한 반복시행의 수는 3-6정도를 필요로 했다. 그리고 각 지진구의 매개변수는 위의 네 가지 결과에서 평균을 취한 값으로 한다.

각 지진구의 지진 도달시간 자료에 의해 매개변수를 결정하였으며, 4.1.2절과 같은 유한진원점과 감쇠모델 및 진도-가속도 관계식을 사용하여 작성한 지진위험도곡선을 그림 6에 계산하여 나타내었다.

## 5. 해석결과와 고찰 및 설계지진값의 결정

Gutenberg-Richter law에 의한 지진위험도 해석에서 극치분포함수는 진앙진도와 지진발생빈도의 관계식에 의해 유도된다. 또한 이 함수는 최대잠재지진의 상한값을 포함하고 있지 않고, Gumbel 확률지에 도시할 때 선형의 분포를 형성하기 때문에 높은 확률값  $G(x)$ 에서 비현실적인 진앙진도값을 갖게 된다. 따라서 지진위험도곡선은 무한대의 최대지반가속도(PGA)값으로 발산하는 형태를 갖게 되며, 본 연구에서 선택한 부지에서 공통적으로 단위년당  $10^{-3}$  이상의 초과확률에서 가장 낮은 PGA값을 결정하며  $10^{-4}$  이하의 초과확률에서는 PGA값을 과대평가하고 있다. 지진위험도 해석기법 중에서 Gumbel의 제삼점근함수를 적용한 경우는 4.1.2절에서 설명한 바와 같이 최대잠재지진의 진앙진도값을 높

게 평가하기 때문에  $10^{-3}$  이하의 초과확률에 대한 PGA의 평가에서 다른 해석방법에 의한 결과보다 상당히 큰 값을 주고 있다. 따라서 제삼점근함수보다는 수정제일점근함수를 사용한 위험도해석이 지진활동이 비교적 낮은 한반도에 있어서 타당하다고 사료된다.

각 부지별 지진위험도에 대하여 기술하면 다음과 같다. 일반적으로 深部지진들이 분포하는 동해안 지진대에 속한 울진지역과 한반도 남서부에 위치하고 있는 영광지역은 서로 비슷한 지진위험도를 갖는다. 그러나 한반도에서 비교적 큰 지진성을 갖는 양산 단층계가 위치하고 있는 경상만의 고리지역은 다른 두 지역보다 상대적으로 매우 큰 지진위험도를 갖는 것으로 평가되었다. 본 연구에서는 지진규모에 따른 판단면적이나 파단길이 등의 상관관계가 미비하기 때문에 점진원을 가정했는데, 이 모델은 진앙 거리가 비교적 큰 부지의 위험도 평가에 효율적으로 적용될 수 있다. 그러나 고리지역은 제7지진구에서 가장 큰 지진발생률을 갖는 유한진원점에서 45 km의 진앙거리를 갖는 등 전반적으로 비교적 짧은 진앙 거리에 의해 지진위험도가 평가되기 때문에 각 초과확률에 대한 PGA값이 상대적으로 약간 크게 계산된 것으로 사료된다.

내진설계를 목적으로 각 부지의 설계지반가속도를 결정할 때 어느 기간 동안에 어느 정도의 발생확률을

갖는 최대지반가속도를 설계지진값으로 하는가는 매우 중요하다. 이에 대하여 일반구조물에서는 내진설계시 최대지반가속도를 30년 또는 50년 이내에 초과확률 10%를 갖는 값을 사용한다. 지진발생이 Poisson 프로세스를 따른다고 가정할 때 식 (16)과 식 (22) 및 식 (23)에 따라 위의 내진규정은 단위년당 초과확률  $3.5 \times 10^{-3}$ 과  $2.1 \times 10^{-3}$ 에 해당된다. 더욱 큰 안전성을 유지해야 하는 원자력발전소의 내진설계에서 SSE(Safe Shutdown Earthquake)에 대한 단위년당 발생확률은 정확하게 정의되어 있지 않다. 미국의 ANS(American Nuclear Society)에 의하면 임의 지역에서 SSE의 발생확률을 단위년당  $10^{-3} \sim 10^{-6}$ 의 초과확률로 제시하고 있으며, IAEA(International Atomic Energy Agency)는 초과확률을  $10^{-4}$ 으로 정의하고 있다.

본 연구에서 도출한 각 해석기법에 따른 지진위험도곡선을 부지별로 나타내면 그림 7에서 그림 9와 같으며, 이에 따라 울진, 고리, 영광지역에 위치한 구조물의 내진설계를 위한 최대지반가속도값은 표 5와 같이 산정되었다. 현재 우리나라에서 건설된 원자력발전소의 최대지반가속도는 200 gal(0.2g)로 설계되어 있는데, 표 5에서 알 수 있듯이 본 연구에 의한 결과는 각 해석기법에 따라 다소의 차이는 있지만, 대체로 현행의 설계지반가속도보다 큰 값으로 계산되어 나타났다.

표 5. 특정 지역에 대한 각 구조물의 최대지반가속도(gal)

				해석 기 법			평 균
				G-R LAW	M-TYPE I	WEIBULL	
단 위 년 당 초 과 확 률	울 진	일반	$3.5 \times 10^{-3}$	58	98	99	85
		구조	$2.1 \times 10^{-3}$	76	138	117	110
		원전	$10^{-3}$	113	204	153	157
	고 리	일반	$10^{-4}$	364	299	245	303
		구조	$3.5 \times 10^{-3}$	73	143	113	110
		원전	$2.1 \times 10^{-3}$	96	191	139	142
영 광	일반	$10^{-3}$	143	279	178	200	
	구조	$10^{-4}$	465	409	352	409	
	원전	$3.5 \times 10^{-3}$	56	77	137	90	
		$2.1 \times 10^{-3}$	73	88	149	103	
		$10^{-3}$	108	98	179	128	
		$10^{-4}$	320	114	282	239	

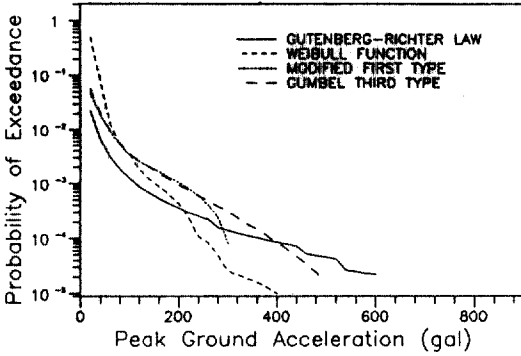


그림 7. 각 해석기법에 따른 울진지역의 단위년당 지진위험도곡선

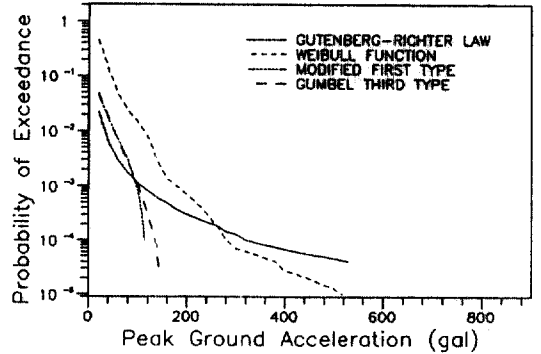


그림 9. 각 해석기법에 따른 영광지역의 단위년당 지진위험도곡선

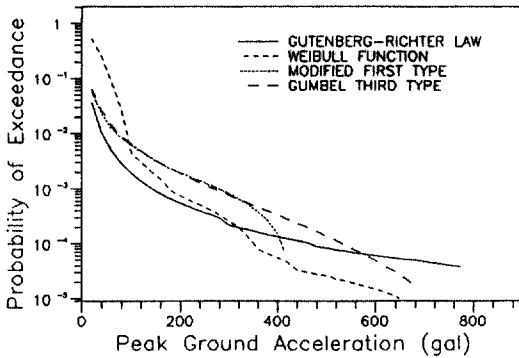


그림 8. 각 해석기법에 따른 고리지역의 단위년당 지진위험도곡선

MMI 6~MMI 7, 고리지역에서 MMI 7로 평가했다. 위의 확률값은 단위년당 초과확률  $2.3 \times 10^{-3}$ 에 해당되며, 식 (12)에 따라 MMI 6은 65 gal로, MMI 7은 PGA 130 gal에 해당된다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 구조물 설계시에 필요한 설계지진값을 합리적으로 평가하기 위하여 지진위험도 해석 기법에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 각 지진위험도 해석방법을 유도하여 정립하고, 한반도 전체에 걸쳐 지진관측이 가능하였다고 생각할 수 있는 조선시대 이후의 지진자료를 이용하여 지진발생을 모델링하였다. 본 연구의 방법은 우리나라의 임의 특정 부지에 대한 지진위험도를 산출할 수 있도록 유도되었으며, 각 방법의 특징을 비교분석하였다.

지진위험도를 도출하기 위하여 우선적으로 지진발생에 대한 모델을 Poisson 프로세스에 따른 모델과 지진의 도달시간에 근거를 둔 재생 프로세스로 구분하여 유도하였다. Poisson 모델에 기초한 지진위험도 해석에서는 수정제일점근함수를 적용한 방법이 적절한 것으로 평가되었으며, 재생모델에 기초한 Weibull 분포함수도 합리적인 결과를 주는 것으로 계산되어 나타났다. 아울러 본 연구에서는 수정제일점근함수와 제삼점근함수의 매개변수를 산정하기 위한 방법으로 최소자승법과 Weibull 분포함수에서는 최우추정법의 알고리즘을 제시하였다.

변형에너지 방출량과 지진발생진도-누적빈도 관계식에 따라 한반도의 지진위험지도를 작성한 유철수 교수님의 연구결과<sup>(10)</sup>에 따르면, 울진과 고리지역이 포함된 지진구역 3의 내진설계에서 일반구조물일 경우에는 최대지반가속도값이 200 gal로 평가되었으며, 원자력발전소의 경우는 IAEA 규정에서 280 gal로 산정되었다. 그리고 수정제일점근함수를 적용한 지진위험도 해석에 적용한 김소구 교수님의 연구결과<sup>(9)</sup>에 따르면, 시간간격 30년 동안 10%의 초과확률을 기대할 수 있는 최대지반가속도값이 울진지역에서 30~50 gal, 고리지역에서 200 gal 이상, 영광지역에서 30 gal 이하로 산정되었다. 다음으로 이기화 교수님은 G-R law에 의한 한반도의 지진위험도 해석<sup>(7)</sup>에서 시간간격 1000년 동안 90%의 초과확률을 갖는 최대진도값이 울진과 고리지역에서

본 연구에서는 유도된 지진위험도 해석기법에 따라 우리나라 주요부지에 대한 지진위험도 수준을 평가하였다. 이에 따르면 일반 구조물의 설계시 요구되는 설계지진값은 50년 이내에 초과확률이 10%인 최대지반가속도를 선택할 경우에 울진지역에서 0.12~0.14g, 고리지역에서 0.14~0.19g, 영광지역에서 0.09~0.15g로 산정되었다. 또한 원자력발전소와 같은 주요 구조물의 설계를 위해서는, 국제원자력기구(IAEA)에서 규정한 단위년당 초과확률  $10^{-4}$ 에 따라 경우 최대지반가속도값은 울진지역에서 0.25~0.30g, 그리고 영광지역에서 0.2g 정도로 평가되었다. 그러나 미국원자력학회(ANS)에 의하면 임의 지역에서 SSE의 발생확률을 단위년당  $10^{-3}$ ~ $10^{-6}$ 의 초과확률로 제시하고 있다.

본 논문은 우리나라의 임의 지역에서 구조물의 중요도에 따라 설계지진을 결정할 수 있는 합리적인 지진위험도 해석기법을 정립하였으며, 앞으로 설계지진 결정을 위한 중요한 토대를 제공할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

이 논문은 1990년도 문교부 학술연구조성비에 의한 자유공모과제로 선정되어 연구되었으므로 이에 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

1. Adeli, H., Mohammadi, J., "Seismic Risk Analysis Based on Weibull Distribution," *Proc. of the 8-th World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. I, Sanfrancisco, July 21-28, 1984, pp.191-198.
2. Benjamin, J.R., Cornell, C.A., "Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers," McGraw Hill Book Co., Inc., New York, 1970.
3. Cornell, C.A., "Engineering Seismic Risk Analysis," *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.58, No.5, pp.1583-1606, October 1968.
4. Der Kiureghian, A. & A. H-S. Ang, "A Fault-Rupture Model for Seismic Risk Analysis," *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.67, No. 4, pp.1173-1194, August 1977.
5. Kim, S.G., "On the estimation of parameters in the statistical prediction of earthquakes," *J. Phys. Earth.*, 31, pp.251-264, 1983.
6. Lee, K. & Lee, M.S., "Studies on the Seismic Risk of the Korean Peninsula(I)," *Journal of Geological Society of Korea*, Vol.21, No.4, pp.227-240, December 1985.
7. Lee, K. & Jin, Y.G., "A Probabilistic Analysis of the Seismic Risk in Korea(II)," *Journal of Geological Society of Korea*, Vol.24, No.1, pp.62-70, March 1989.
8. Lomnitz, J., Lomnitz, C., "A modified form of the Gutenberg-Richter magnitude-frequency relation," *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol.69, No.4, pp.1209-1214, August 1979.
9. 金昭九, "地振動의 最大地盤加速度 分布에 관해서," 대한토목학회지, 제 30권 제 1호, 1982.
10. 劉哲秀, "韓半島의 地震活動과 動的 解析을 위한 最大地盤加速度값의 算定," 대한토목학회논문집, 제 8권 제 1호, 1988.
11. 鄭凡碩, "極值 確率 理論을 응용한 地震危險度 解析 研究," 서울大學校 大學院 工學碩士學位論文, 1990. (接受: 1991. 9. 17)