

## 확률론적 지진재해도 분석을 위한 지진원 모델의 민감도 분석

# Sensitivity Analysis of Seismic Source Models for Probabilistic Seismic Hazard Analysis

김연중\*

전정윤\*\*

김태균\*\*\*

Kim, Yun Joong Jeon, Jeong Yoon Kim, Tae Gyun

---

### ABSTRACT

Sensitivity analyses for several seismic source models were studied. For the area sources, the hazard is steeply decreasing with the source-to-site distance. Hazard is decreasing when the area of the source is increasing with fixed annual rate. For the fault sources, the fault length, distance from a site and dip angle of near fault show very sensitive effect to seismic hazard. But the various magnitude-rupture length relationships show effect to seismic hazard slightly. For the fault source with small magnitude, the exponential model is preferred rather than the characteristic model to the magnitude-recurrence law.

---

### 1. 서 론

지진재해도 분석에 있어 결정론적 방법과 확률론적 방법이 병행되는 것이 일반적이었으나, 최근에 와서는 확률론적 방법이 선호되는 추세에 있다. 이는 지진현상이 지진발생기구, 전파경로의 영향 및 부지 효과 등에 근본적으로 많은 불확실성을 내포하고 있으며, 이러한 불확실한 요소를 분석과정에 효과적으로 반영할 수 있는 것이 확률론적 방법이기 때문이다. 이러한 불확실한 자료로부터 계산된 지진의 위험도 역시 필연적으로 불확실성을 수반할 수밖에 없다. 그러므로 지진의 위험도 계산에 있어, 자료의 불확실성이 지진의 위험도에 미치는 영향의 정도 또는 자료의 불확실성에 대한 지진 위험도의 민감도 분석은 매우 중요한 작업이다. 지진재해도 분석시 가장 초기 단계는 지진원을 결정하는 것이며 지진원에 대한 정보의 신뢰도에 따라 면적지진원 및 단층지진원 등으로 정의하게 된다. 본 연구에서는 지진원의 기하학적 모델에 의한 재해도의 민감도를 분석하였다. 이는 지진원의 형태가 지진재해도에 어떠한 영향을 미치는가를 살펴보고, 이 결과를 토대로 앞으로 수행될 관련분야의 연구에 참고자료로 활용하기 위함이다.

---

\* 정회원 · 한국전력기술(주) 토목기술처, 주임기술원

\*\* 정회원 · 한국전력기술(주) 토목기술처, 선임기술원

\*\*\* 정회원 · 한국수력원자력(주) 사업기술처, 과장

## 2. 면적지진원의 민감도

### 2.1 지진원과 부지와와의 거리의 민감도

지진원이 부지에서의 지반진동 준위에 미치는 영향을 계산하기 위하여 지진원의 재해도를 일정 거리증분별로 계산하여 적분하게 된다. 이때 거리에 따른 지반진동의 감쇠는 지진동 감쇠식에 의해 통제된다. 민감도 분석을 통해 지진원과 부지와와의 거리가 재해도에 미치는 영향을 정량적으로 평가하였다. 한반도 남부를 기준으로 위도 0.8도 및 경도 0.8도를 차지하는(가로 약 72km, 세로 약 89km) 직사각형의 면적지진원을 정의하고 부지가 지진원의 중앙에 위치한 지점으로부터 경도 0.2도(약 18km)씩 거리를 떨어뜨리며 재해도를 평가하였다. 지진원의 면적은 약 6,400km<sup>2</sup>로 협소하며 모식도는 그림 1의 (a)와 같다. 지진원1과 지진원2는 부지를 포함하고 있으며 지진원3은 지진원 경계부에 부지가 위치하고 그 이후부터는 부지가 지진원 외부에 위치한다. 이런 방식으로 144km 떨어진 지진원11까지의 재해도를 계산하였다. 이때, 가정된 지진원 변수는 최대규모(M<sub>max</sub>)=6.5, 최소규모(M<sub>min</sub>)=5.0, Richter b값=0.8, 연발생율(ν)=0.02, 진원깊이(D<sub>F</sub>)=10km이며 적용된 감쇠식은 Toro *et al.*(1997)<sup>[1]</sup>의 공식이며 식(1)과 같다.

$$\ln PGA = 2.07 + 1.2(M-6) - 1.28 \ln R - 0.0018R + 0.05 \max\left[\ln\left(\frac{R}{100}\right), 0\right] \quad (1)$$

$$R = \sqrt{R_{epi}^2 + 9.3^2} \quad R_{epi} : \text{Epicentral distance [km]}$$

$$PGA : \text{Peak ground acceleration [gal]} \quad M : \text{Magnitude}$$

위의 11개 지진원에 대한 지진재해도 곡선은 그림 2와 같다. 부지가 지진원에 속해 있을 경우 그 차이는 미미하지만 중앙부에 위치할수록 재해도가 다소 높아지며 경계부에 부지가 위치하는 지점으로부터 거리가 멀어질수록 재해도가 현저히 감소한다. 부지를 포함하는 지진원1과 지진원2가 전체 지진원에 의한 재해도의 약 70% 이상을 차지하며 부지가 지진원의 경계에 위치한 지진원3이 약 20%를 차지한다. 부지를 포함하지 않는 지진원4부터 지진원11까지의 재해도를 다 합해도 전체 재해도의 20% 이내이며 높은 지반가속도 준위에 대해서는 5%에도 미치지 않는다. 다른 조건이 유사하다고 할 때 부지가 가장 큰 재해도를 미치는 지진원은 부지를 포함하고 있는 지진원이며 그 외의 지진원은 상대적으로 매우 낮은 영향을 미친다. 이는 부지 인근의 지진원 결정과 부지를 포함하는 지진원의 지진활동변수 산정에 있어 매우 세심한 주의가 필요하다는 것을 의미한다. 미 서부의 경우 부지로부터의 거리가 300km 이상인 지진원은 고려될 필요가 없으며 부지로부터 100km 이내의 지진원에 대해서는 자세한 지진원의 정의가 필요하다고 보고하고 있다(LLNL, 1995)<sup>[2]</sup>. 표 1은 지진원-부지간의 거리에 대한 지진원 결정 및 인지의 정밀도에 대한 LLNL의 제안으로 단층의 유무에 따라 제안 거리에 차이가 있다.

표 1. 상세 지진원 특성 조사 및 지진원 인지를 위한 지진원-부지 거리

		지진원-부지 거리	
		미 서부	미 중동부
지진원 특성화를 위한 최대 거리		300km	500km
상세 지진원 특성화를 위한 거리	부지반경 50km 이내에 단층 존재	100km	200km
	부지반경 50km 이내에 단층 부재	150km	300km

## 2.2 지진원 크기의 민감도

지진원 결정시 지진원의 위치와 함께 고려되어야 할 사항이 지진원의 크기이다. 지진원이 넓어질수록 한 지진원 내에서 지진활동성의 공간적 변화가 발생하게 되며 비활동성인 부분까지도 포함되므로 재해도가 낮아질 것으로 예측된다. 먼저 한반도 남부에 대해 가로로 경도 0.2도(약 18km) 및 세로로 위도 0.2도(약 22km)를 차지하는 작은 면적지진원의 중앙에 부지가 있는 경우를 시작으로 해서 지진원의 면적을 두 배씩 증가시키며 재해도의 변화를 살펴보았다. 그림 1의 (b)와 같이 아홉 개의 지진원을 생성했으며 지진원9의 면적은  $102,240\text{km}^2$ 에 달하며 이는 경도 및 위도 3.2도씩에 해당한다. 이때, 가정된 입력자료들은 2.1절에서와 같다. 재해도 계산 결과 그림 3의 (a)와 같이 면적이 배가할수록 재해도가 비교적 일정한 간격으로 감소하였다. 200gal에 대해 지진원1에서 지진원2로의 감소비는 0.78이고 지진원6에서 지진원7로의 감소비는 0.51로 지진원의 면적이 넓어질수록 감소비가 작아지지만, 그 이상의 면적증가에 대해서는 감소비가 0.5로 수렴하였다. 이와 같이 지진원의 면적이 넓어질수록 재해도가 작아지는 이유는 모든 지진원의 연발생율( $\nu$ )을 동일하게 적용했기 때문이다. 지진원의 면적이 커질수록 연발생율도 증가하는 것이 타당하지만 그 값을 동일하게 함으로써 넓은 지진원의 지진발생빈도가 상대적으로 낮게 평가되었다. 이것을 보상하기 위해 지진원의 면적이 두 배 증가함에 따라 연발생율을 두 배 증가하였을 때의 재해도의 변화를 살펴보았다. 이 경우 재해도는 그림 3의 (b)와 같이 지진원의 면적이 증가할수록 증가하지만 어느 한계로 수렴하였다. 이것은 지진원의 면적증가에 대해 연발생율을 보상함으로써 재해도가 일정하게 유지되리라는 예상과는 다른 것으로 지진원의 면적과 연발생율 외의 다른 지진활동변수에 의해 영향을 받는 것으로 사료된다. 면적이 증가한다고 하여 연발생율이 선형적으로 증가할 경우 그만큼 활동성 지진원의 면적이 커지는 것이므로 재해도가 높아지는 것은 타당한 결과일 수 있다. 지진원의 면적이 넓어질수록 연발생율이 증가해야 하지만 재해도를 동일하게 하였을 때 면적과 연발생율이 정비례하지는 않음을 알 수 있다.

## 3. 단층지진원의 민감도

단층지진원에 대한 여러 가지 모델을 설정하고 재해도를 분석함으로써 소규모 단층의 기하학적 특성과 다양한 입력변수가 재해도에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 단층지진원이 면적지진원과 다른 점은 단층면을 따라 발생하는 지진발생 기구를 가지며 단층의 기하학적 형태와 종류가 다양하고 지진활동과의 뚜렷한 관련성을 보인다는 것이다. 특히 단층의 기하학적 형태는 진원과 부지와와의 거리를 다양하게 정의할 수 있도록 하며 이는 감쇠식의 변수가 되므로 재해도 분석시 영향을 미친다.

단층지진원의 재해도 분석시 단층의 파열길이(Rupture Length)와 단층길이(Fault Length)가 구분되어야 한다. 파열길이는 지진이 발생했을 때 동시에 변위가 일어나는 구간의 길이이다. 하나의 지진이 발생했을 때 그 파열길이는 불확실하며 파열길이의 분포는 지진의 규모와 함수관계를 가지는 정규분포로 가정된다. 규모-파열길이 관계식은 규모에 대한 파열면의 분포를 정의한다. 파열면의 위치는 단층 위의 어느 곳에서도 동일하게 발생할 수 있는 것으로 가정된다. 계산상으로, 에너지의 중심은 파열선상의 양 끝의 가운데 지점으로 정의되며 그 위치는 단층의 끝에서부터 파열길이 $\times 1/2$  만큼의 거리 이내를 제외하고 단층상의 어느 지점이든 균등하게 분포한다고 가정된다. 이러한 가정은 단층의 파열이 단층의 끝부분을 넘어서지 않도록 제한한다. 이 분석에서 Campbell(1997)<sup>[3]</sup>의 감쇠식을 이용하였으며 거리척도는  $r_{\text{seis}}$ 로 이는 단층의 지진발생파열면(Seismogenic Rupture Surface)에서부터 부지까지의 최단거리로 정의된다. 규모-재발주기 모델은 특성모델이 이용되었고 10km의 진원깊이이과 5.0의 최소규모가 공통적으로 적용되었다.

### 3.1 단층 길이의 민감도

부지와 단층의 거리를 10km로 고정시키고 기타 변수들을 고정시킨 상태에서 단층의 길이만을 변화시키며 재해도의 변화를 살펴보았다. 이 모델을 그림 4에 도시하였다. 단층의 길이가 증가할수록 최대규모도 증가해야 하지만 그 관계성에 불확실성이 개입되므로 최대규모는 6.0으로 고정하였다. 단, 지진활동을 대표하는 변수중 연발생률( $\nu$ )은 100km 단층에 대해 0.2(규모 5.0 이상의 지진이 5년에 1회 발생)를 적용하였고 단층의 길이가 짧아질수록 반비례적으로 연발생율이 감소하여 500m에서는 0.001이 되도록 하였다. 단층의 경사는 수직이며 주향이동단층으로 가정되었으며 단층의 중심부가 부지와 법선상에 위치한다. 규모-파열길이 관계식은 Wells and Coppersmith(1994)<sup>[4]</sup>의 주향이동단층에 대한 식(2)가 이용되었다.

$$\log(SRL) = -3.55 + 0.74M \quad \sigma=0.23 \quad (2)$$

$SRL$  : Surface rupture length       $M$  : Magnitude       $\sigma$  : Standard deviation

위 입력자료를 이용하여 재해도를 계산한 결과는 그림 6과 같다. 단층의 길이가 20km 이상이 되면 재해도가 거의 동일하게 나타나며 20km 보다 작아지게 되면 재해도가 현저하게 작아진다. 계산 수행시 규모-파열길이 관계식에 의한 규모 구간별 단층파열의 길이와 단층길이를 비교하게 된다. 이때, 표준편차 구간(+2 $\sigma$ )을 고려한 단층파열의 길이가 단층길이보다 작을 경우 이 파열길이에 대한 확률이 계산되고 초과할 경우 단층파열 길이는 단층길이와 동일하게 간주되어 계산된다. 단층길이가 10km 이하인 경우에 대해서는 단층파열의 길이가 단층길이를 초과하는 경우가 발생하였다. 길이 10km 이하인 단층의 재해도가 낮은 것이 실제로 재해도가 낮아서인지 단층파열 길이가 제한되어서인지는 면밀히 검토해 보아야 할 것이다.

### 3.2 단층과의 거리의 민감도

부지와 단층과의 거리에 따른 재해도의 변화를 파악하고자 하였다. 파열길이가 단층길이에 의해 제한되지 않으면서 가끔씩 짧은 단층을 이용하기 위해 단층의 길이를 20km로 결정하였다. 단층의 중심부로부터 부지와 법선상의 거리만을 변화시키고 나머지 다른 변수들은 앞에서 이용된 값을 그대로 이용하였다. 연발생률( $\nu$ )은 길이 20km 단층에 적용되었던 0.04를 적용하였으며 이는 단층에 의해 규모 5.0 이상의 지진이 약 25년마다 발생하는 것에 해당된다. 단층과 부지와와의 거리는 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50km를 적용하였으며 그림 5와 같다. 계산결과는 그림 7과 같으며 10km 밖에 존재하는 단층들은 거리에 따라 재해도가 비교적 일정하게 감소한다. 10km 이내에서는 거리가 좁혀질수록 재해도의 증가폭이 감소하는데 이는 재해도가 진원깊이에 의해 영향을 받기 때문이다. 단층과의 거리가 가까워진다고 해도 진원깊이가 10km로 고정되어 있으므로 단층이 근거리에 위치할수록 진원거리의 감소폭이 작아진다.

### 3.3 단층의 경사의 민감도

부지와 근거리에 위치한 단층의 경우 그 단층의 지하로의 연장성 파악은 중요하다. 단층과의 거리가 10km 이내일 경우 그 단층은 3차원적으로 고려되어야 한다. 이 경우 진원깊이와 단층의 경사가 면밀히 검토되어 입력되어야 하며 여기서는 진원깊이를 10km로 가정하였다. 또한, 감쇠식에 이용되는 거리의 정의가 확인되어야 하는데 Campbell(1997)<sup>[3]</sup> 공식의 경우 단층의 지진발생 파괴구역에서부터 부지까지의 거리가 이용된다. 단층의 길이는 20km로 가정되었으며 연발생률은 0.04이고 그 외의 다른 변수들은 위에서 이용된 것과 동일하다. 단층의 경사만을 45, 60, 90, 120, 135도로 변화시키면서 재해도를 계산하였다. 경사는

지하에서의 변화를 고려하여 두 값을 입력할 수 있으나 경사의 변화가 없는 것으로 가정하였다(그림 8). 그림 9에서 보는 바와 같이 근거리 단층의 경사가 재해도에 큰 영향을 미치는 것이 확인되었다. 경사가 부지쪽을 향할수록 파열면(진원)과 부지와의 거리가 가까워지므로 재해도가 증가하는데 그 영향이 상당히 큰 것으로 나타난다. 이는 근거리 단층에 대해 3차원 모델화의 중요성을 보여준다.

### 3.4 단층의 규모-파열길이 관계식의 민감도

규모-파열길이 관계식은 여러 가지가 있으며 관계식이 유도된 지역의 특성에 따라 관계식의 양상도 달라진다. 단층의 종류(주향이동단층, 역단층, 정단층)에 따라 관계식이 구분되기도 한다. 먼저, 여러 가지 규모-파열길이 관계식에 의한 재해도의 차이를 살펴보았다. 여기에 이용된 관계식은 4개이며 다음과 같다.

$$\log L = - 7.99 + 1.32M \quad \text{Iida (1959)}^{[5]} \quad (3)$$

$$\log L = - 5.72 + 1.02M \quad \text{Tocher (1958)}^{[6]} \quad (4)$$

$$\log L = - 2.9 + 0.6M \quad \text{Matsuda (1975)}^{[7]} \quad (5)$$

$$\log(SRL) = - 3.22 + 0.69M \quad \text{Wells and Coppersmith (1994)}^{[4]} \quad (6)$$

$L, SRL$  : Surface rupture length                       $M$  : Magnitude

식(3)는 전세계 활성단층으로부터, 식(4)는 미서부의 활성단층으로부터, 식(5)는 일본의 활성단층으로부터 유도되었으며 식(6)은 모든 단층에 대해 적용되는 관계식이다. 표준편차가 주어진 공식의 경우 그 표준편차( $\sigma$ )가 이용되었지만 그렇지 않은 경우 0.3을 적용하였다. 위 관계식들은 그 양상이 매우 다르게 나타난다. 위 단층-파열길이 관계식에 의한 재해도는 그림 10의 (a)와 같이 나타나며 관계식의 큰 차이에도 불구하고 재해도는 거의 동일한 결과를 보이고 있어 매우 둔감함을 알 수 있다. 두 번째로, 단층의 종류에 따라 구분되는 관계식에 의한 재해도의 차이를 살펴보았다. 여기에 이용된 관계식은 Wells and Coppersmith(1994)<sup>[4]</sup>의 공식이며 규모-지표파열길이 관계식을 이용하였다. 그림 10의 (b)에서 보듯이 단층의 종류에 따라 관계식을 다르게 적용해도 재해도는 거의 동일하게 나타나 매우 둔감함을 알 수 있다.

$$\log(SRL) = - 3.55 + 0.74M, \sigma=0.23 \quad \text{주향이동단층} \quad (7)$$

$$\log(SRL) = - 2.86 + 0.63M, \sigma=0.20 \quad \text{역단층} \quad (8)$$

$$\log(SRL) = - 2.01 + 0.50M, \sigma=0.21 \quad \text{정단층} \quad (9)$$

$$\log(SRL) = - 3.22 + 0.69M, \sigma=0.22 \quad \text{모든 단층} \quad (10)$$

### 3.5 단층의 최대규모의 민감도

단층의 최대규모에 의한 재해도의 변화를 파악하기 위해 부지로부터 10km 떨어진 길이 20km의 수직 단층에 대해 최대규모를 점차 증가시키면서 재해도를 계산하였다. 입력변수들은 앞에서 이용한 것과 동일하며, 최대규모만을 5.1, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0으로 증가시켰다. 최대규모에 대해서는 특성모델과 지수모델을 각각 적용하여 비교하였는데 이 두 모델의 차이가 최대규모에 의해 뚜렷하게 드러나기 때문이다. 그림 11에서 보듯이 다른 변수들이 동일할 경우 특성모델에 의한 재해도가 지수모델에 의한 재해도에 비해 더 크게 나타나지만, 최대규모(5.1)가 최소규모(5.0)와 매우 근사할 경우는 더 작게 나타난다. 이는 특성모델에서 최대규모가 일정 구간을 차지해야 하는데 최소규모와의 차이가 너무 작기 때문인 것으로 추정된

다. 이러한 결과는 단층을 모델화할 경우 규모-빈도 모델의 선택에 있어 신중해야 함을 의미하며 특성모델은 규모 5.5 이상의 대규모 지진을 일으킬 수 있는 큰 단층에 적용되는 것이 바람직한 것으로 보인다. 작은 규모의 지진을 발생하는 소규모 단층에 대해서는 특성모델보다 지수모델이 더 적합할 수 있다.

#### 4. 결 론

- 가. 지진원과 부지와와의 거리가 멀어질수록 재해도가 큰 폭으로 감소한다. 지진원이 부지를 포함하고 있더라도 부지가 지진원의 중심부에서 외곽으로 갈수록 재해도가 감소한다. 부지를 포함하고 있는 지진원의 재해도가 전체 재해도에 지배적인 영향을 미치므로 지진원의 변수를 결정할 때 특히 부지를 포함하고 있는 지진원에 대해 세심한 주의가 필요하다.
- 나. 지진원 변수들을 고정시키고 지진원의 크기만을 변화시켰을 때 지진원의 면적이 증가함에 따라 재해도가 감소한다. 지진원이 작을수록 면적의 변화에 따른 재해도의 변화폭이 작으며 지진원이 클 경우 면적이 배가할수록 재해도는 반감하였다. 면적이 증가함에 따라 연발생율을 증가시켜 재해도를 보상하고자 했으나 면적과 연발생율과는 선형적인 비례 관계를 보이지 않는 것으로 나타났다.
- 다. 재해도 분석을 위한 단층의 길이는 10km 이상이 되어야 일관된 경향을 보이며 10km 이하의 단층은 재해도가 현저히 감소되어 나타난다.
- 라. 부지로부터 10km 밖에 존재하는 단층들은 거리에 따라 재해도가 비교적 일정하게 감소하는 양상을 보인다. 10km 이내에서는 거리가 좁혀질수록 재해도의 증가폭이 감소하는데 이는 진원깊이에 의해 영향을 받기 때문이다.
- 마. 근거리 단층의 경사는 재해도에 큰 영향을 미친다. 경사가 부지쪽을 향할수록 재해도가 증가하는데 이는 근거리 단층에 대한 3차원 모델의 중요성을 보여준다.
- 바. 여러 가지 단층-파열길이 관계식에 의한 재해도 및 단층의 종류에 따른 관계식에 의한 재해도는 거의 동일하게 나타나 단층-파열길이 관계식에 대해 재해도는 매우 둔감하게 나타난다.
- 사. 특성모델에 의한 재해도가 지수모델에 의한 재해도에 비해 더 크게 나타난다. 그러나 작은 지진을 발생시키는 소규모 단층에 대해서는 특성모델이 부적합할 수도 있다. 특성모델은 규모 5.5 이상의 대규모 지진을 일으킬 수 있는 큰 단층에 적용되는 것이 바람직한 것으로 보이며 작은 규모의 지진을 발생하는 소규모 단층에 대해서는 지수모델이 더 적합할 수 있다.

#### 5. 감사의 글

본 연구는 한국수력원자력(주)의 '원전의 개선된 내진해석 기술개발' 과제 중 세부과제 지진원 모델화 연구의 일환으로 수행된 것으로 한국수력원자력(주)에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Toro, G., Abrahamson, N. A., and Schneider, J. F., 1997, Model of Strong Ground Motions from Earthquakes in Central and Eastern North America : Best Estimate and Uncertainties, Seismological Research Letters, Vol.68, No.1, January/February.
2. LLNL, 1995, Recommendation for Probabilistic Seismic Hazard Analysis : Guidance on Uncertainty and Use of Experts, SSHAC, Sept.
3. Campbell, K.W., 1997, Empirical Near-Source Attenuation Relationships for Horizontal and

Vertical Components of Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Pseudo-Absolute Acceleration Response Spectra, Seismological Research Letters, Vol.68, No.1, p.154-179.

4. Wells, D.L. and K.J. Coppersmith., 1994, "New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement." Bull. Seism. Soc. Am. Vol.84, No.4, p.974-1002.
5. Iida, K., 1959, Earthquake Energy and Earthquake Fault. Nagoya University, J. Earth Sci. Vol.7, p.98-107.
6. Tocher, D., 1958, Earthquake Energy and Ground Breakage, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.48, No.2, p.147-153.
7. Matsuda, T., 1975, Magnitude and Recurrence Interval of Earthquakes from a Fault, Zishin, Vol.28, No.3.

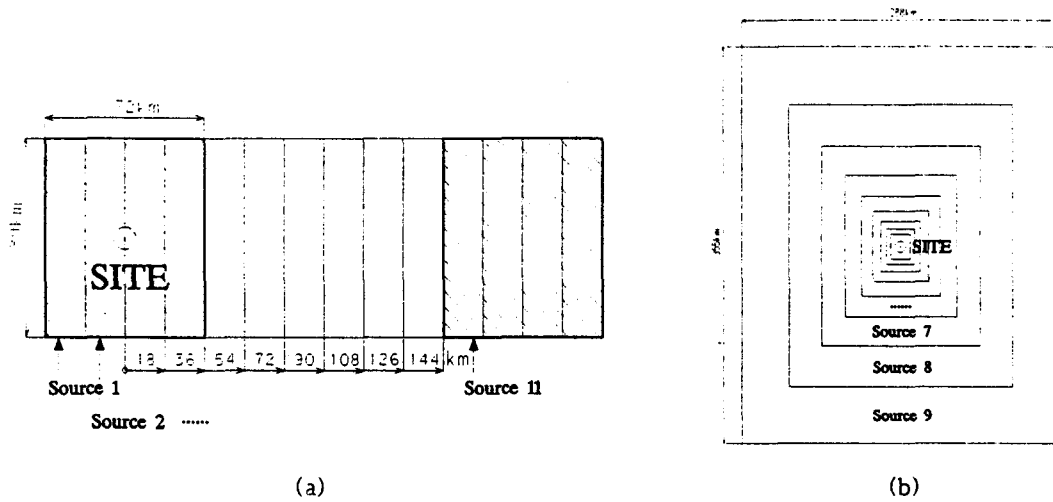


그림 1. 거리 및 면적에 의한 민감도 분석에 이용된 지진원 모델

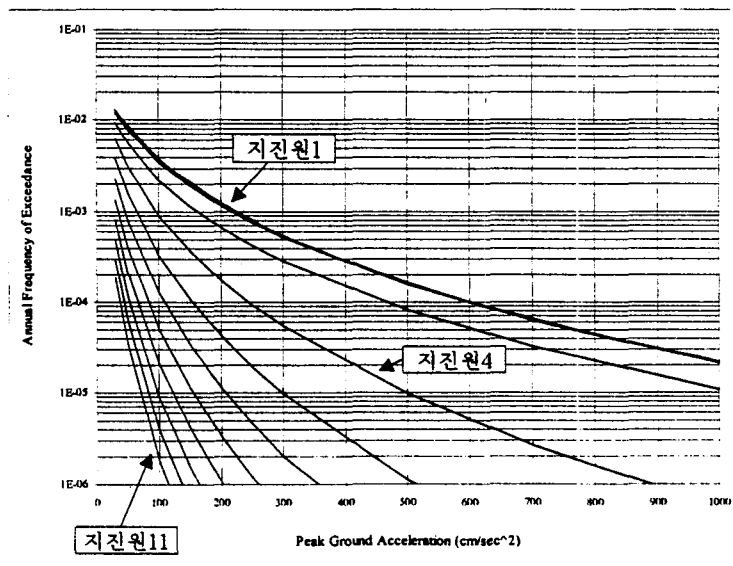
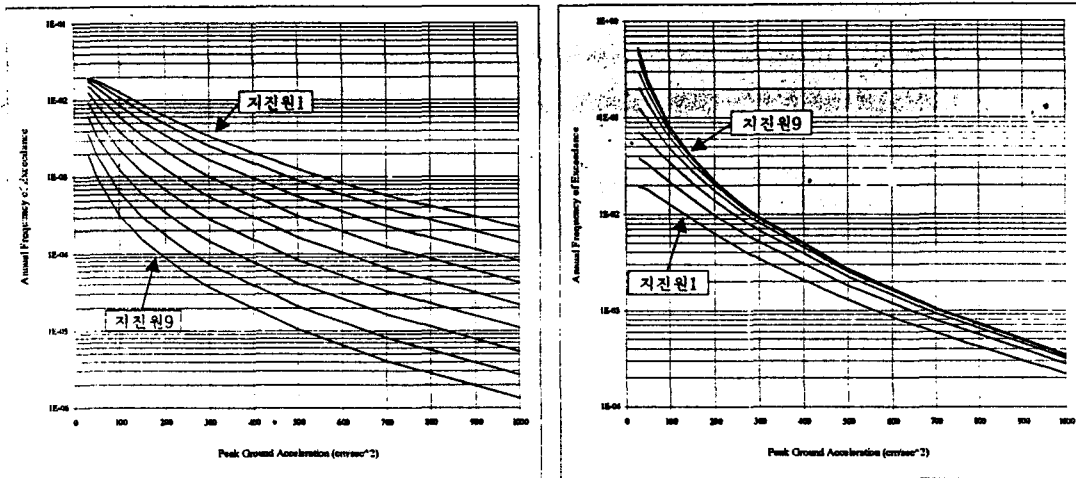


그림 2. 거리변화에 의한 11개 지진원의 재해도 곡선



(a)  $\nu$  값 고정

(b)  $\nu$  값 2배 증가

그림 3. 면적변화에 의한 9개 지진원의 재해도곡선

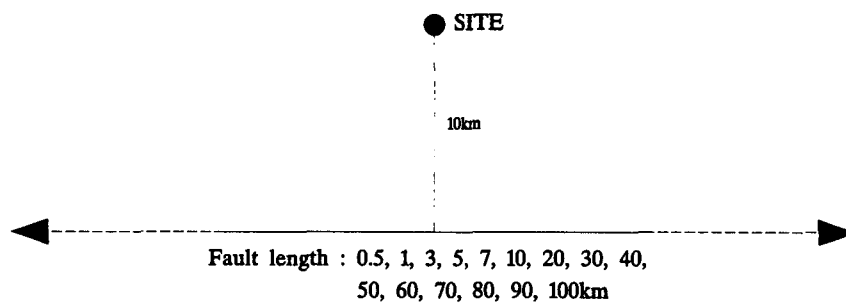


그림 4. 단층의 길이에 의한 민감도 분석 모델

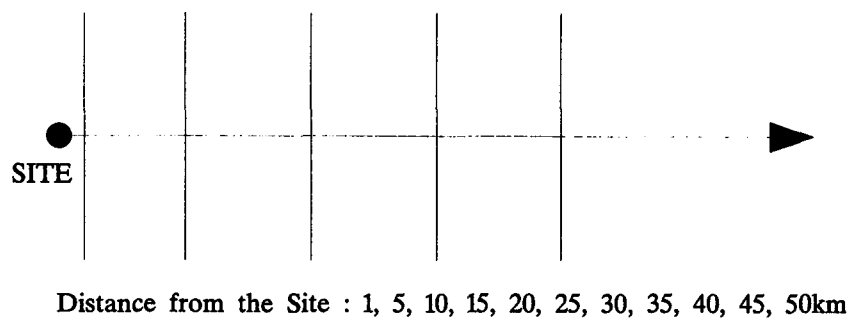


그림 5. 단층과의 거리에 의한 민감도 분석 모델



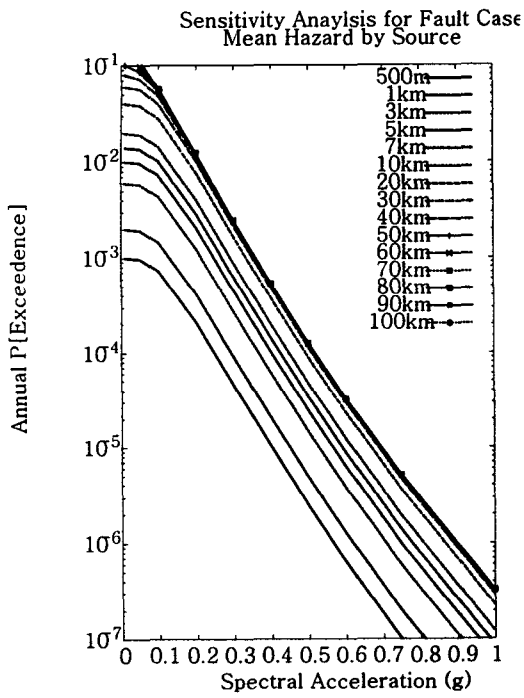


그림 6. 단층의 길이변화에 따른 재해도

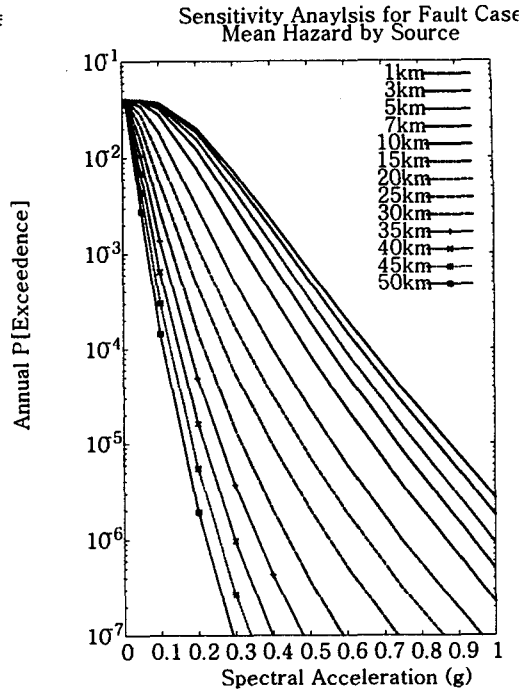


그림 7. 단층과의 거리변화에 의한 재해도

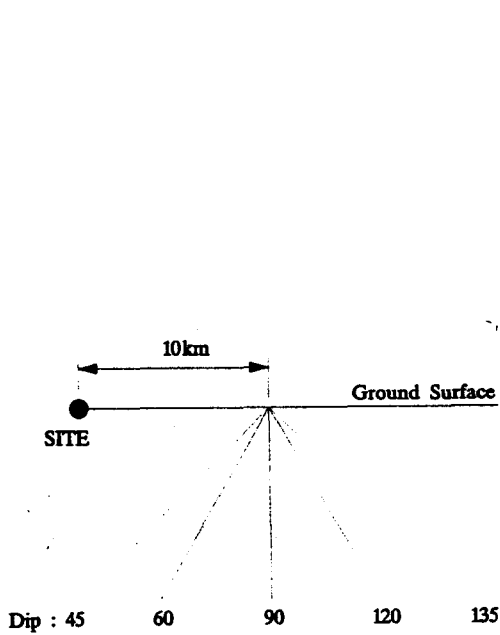


그림 8. 단층의 경사에 의한 민감도 분석 모델

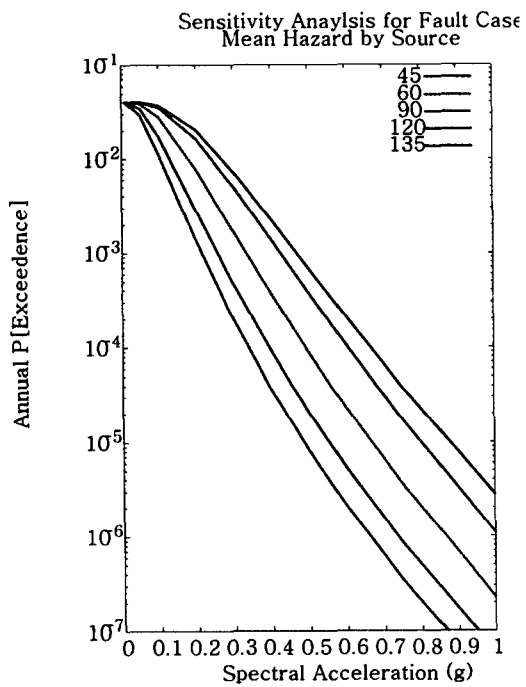


그림 9. 단층의 경사변화에 의한 재해도

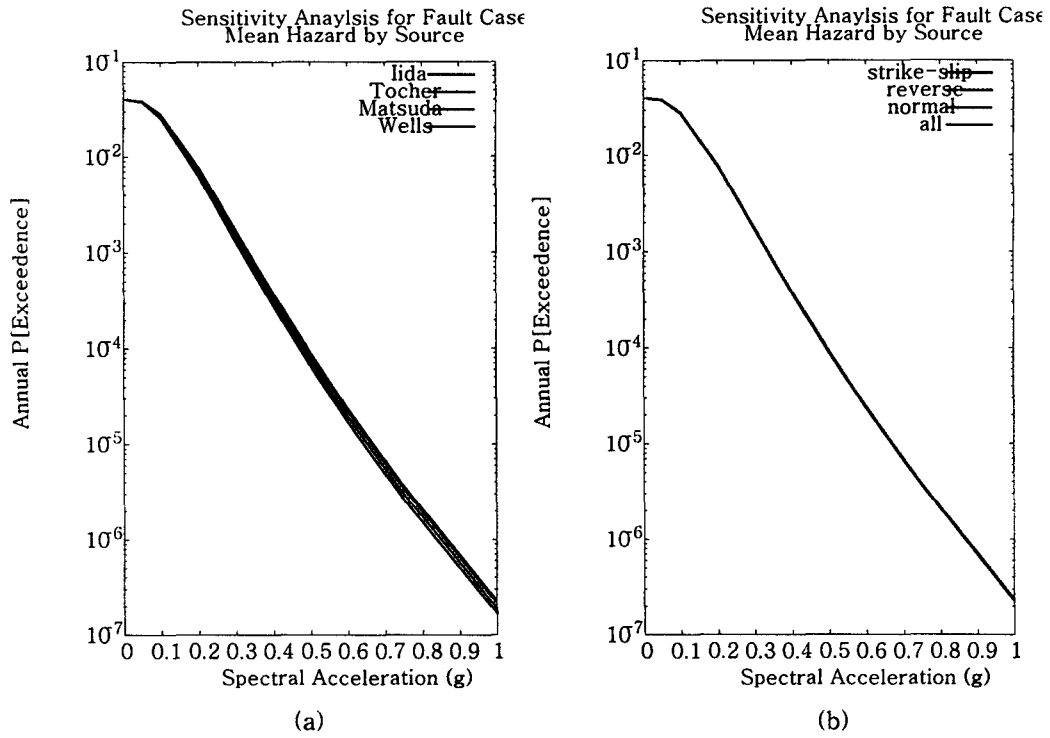


그림 10. 여러 가지 규모-파열길이 관계식에 의한 재해도

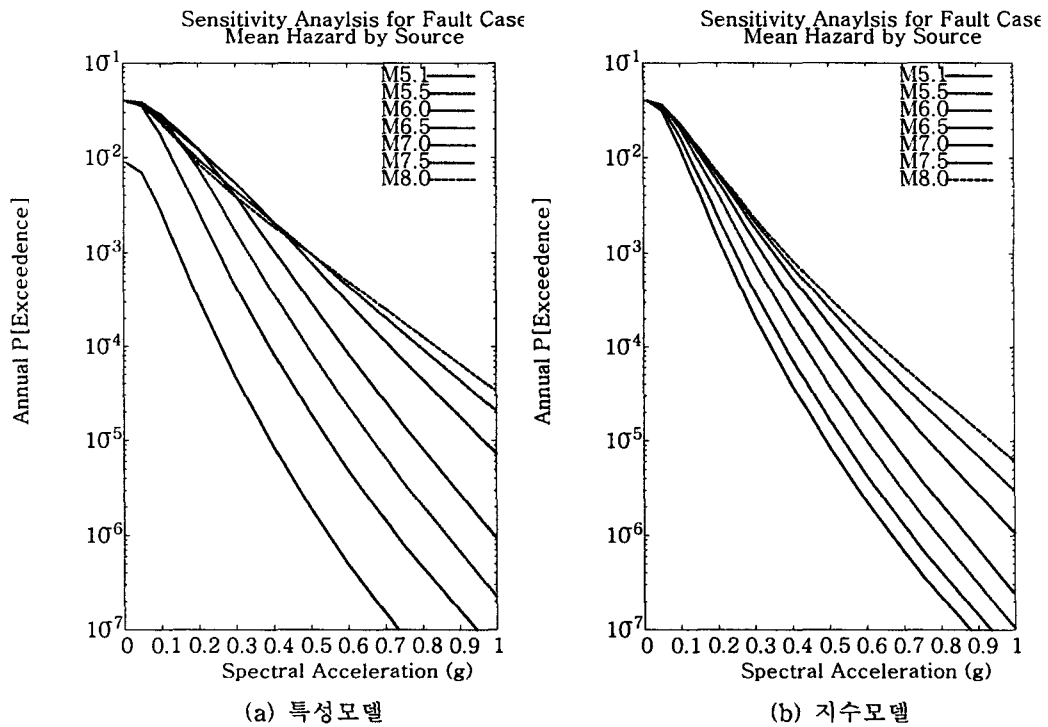


그림 11. 최대규모에 의한 재해도의 변화