

2002 추계학술발표회 논문집

한국원자력학회

확률론적 지진재해도 결과를 이용한 시나리오 지진 설정방법에 대한 고찰

Review of Scenario Earthquake Developing Methods Based on the PSHA Results

최인길, 전영선, 서정문

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 유성우체국 사서함 105호

연관희

한국전력공사 전력연구원

대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

본 연구에서는 확률론적 지진재해도 결과를 이용한 시나리오지진 작성 방법으로 제시되어 있는 미국 NRC 방법과 일본 JAERI 방법에 대해 비교 검토하였다. 또한 기존의 지진재해도 분석 결과를 이용하여 월성 원전 부지에 대한 시나리오 지진을 미국 NRC에서 제시하고 있는 방법에 따라 설정하였다. 미국 NRC 방법에 비해 일본 JAERI의 방법이 개별 지진원 및 활성단층의 영향을 충분히 반영할 수 있으며, 복수의 지진동 파라메타를 동시에 평가하는 것이 가능한 개념으로 보다 합리적인 것으로 판단된다. 월성 원전 부지에 대한 시나리오 지진 작성 결과 규모 및 거리가 각각 (M6.4, 9km), (M6.2, 13km)의 비교적 유사한 규모 및 거리의 시나리오 지진이 도출되었다.

ABSTRACT

In this study, the two methods, US NRC and JAERI method, for the determination of scenario earthquakes for seismic design of nuclear power plants based on the probabilistic seismic hazard analysis were reviewed. The scenario earthquakes were developed for the Wolsung NPP site using the PSHA results based on the US NRC Regulatory Guide 1.165 procedures. It seems that the JAERI method is more appropriate to incorporate the effects of individual seismic sources and active faults, and to estimate the multiple ground motion parameters. The magnitude and distance bins of the scenario earthquakes for Wolsung NPP site were M6.4, 9km and M6.2, 13km.

1. 서론

우리나라 원전 구조물의 설계에는 US NRC에서 제시한 Regulatory Guide 1.60[1]의 표준응답 스펙트럼을 사용하여 왔다. 그러나 이 표준응답 스펙트럼은 미국 서부 지역에서 발생한 강진자료를 이용하여 작성된 것으로 지진동수 영역에서는 매우 보수적인 값을 제시하고 있으며 고진동수 영역에서는 비보수적인 값을 보여주고 있다[2]. 최근 미국 서부 및 동부 지역에 대한 지진재해도 평가와 이에 근거한 스펙트럼의 개발을 통해 표준응답 스펙트럼의 사용에 문제가 있음이 드러났다.

이러한 문제를 해결하기 위해 최근 미국에서는 지진에 대한 확률론적 안전성평가 방법(Seismic Probabilistic Risk Assessment; SPRA)을 구성하는 평가항목의 하나인 확률론적 지진 위험도 해석(Probabilistic Seismic Hazard Analysis; PSHA)을 확장하여 장래 부지에 영향을 미칠 가능성이 있는 지진의 제원(규모, 거리) 및 지진동을 평가하는 방법을 제안하였다[3]. 이 방법에서는 확률론적 지진위험도 곡선 상에서의 년 초과확률에 대응하는 지진동 크기 이상의 지진동을 발생시키는 지진의 집합으로부터 발생확률이 지배적인 지진의 제원(규모, 거리)을 설정한다. 여기서 설정된 지진을 시나리오 지진(Scenario Earthquake)이라고 부른다.

일본에는 일본 원자력연구소에서 확률론적 지진재해도 분석 결과를 이용한 시나리오 지진 작성법을 최근 개발 완료한 바 있다[4,5].

본 연구에서는 미국 및 일본에서 개발된 시나리오 지진 작성법에 대해 비교하여 기술하고 우리나라 월성 원전 부지의 지진재해도 분석 결과를 이용하여 미국 NRC의 방법에 따라 시나리오지진을 작성하였다. 또한 작성된 시나리오 지진에 대해 미국 서부 및 동부 지역에 대해 제시된 스펙트럼 형상 작성방법에 따라 스펙트럼을 작성하고 이를 비교하였다.

2. 시나리오 지진 설정법

2.1 미국 NRC 방법

미국 NRC의 방법에 의한 시나리오 지진의 설정방법은 Regulatory Guide 1.165[3]에 상세히 기술되어 있다. 여기에서는 이 방법의 절차를 간략히 기술하기로 한다.

- ▶ Step 1 : 임의 부지에 대해 PSHA 수행 : LLNL의 방법[6] 또는 EPRI[7]의 방법에 기초하여 확률론적 지진재해도 분석을 수행한다. 이 때 암반조건 또는 가상의 암반조건으로 하여 응답스펙트럼 (1, 2.5, 5, 10Hz) 및 지표에 있어서의 최대지반가속도 (PGA)에 관한 재해도곡선을 산출한다. 각각의 지진동 지표에 대하여 중앙값, 평균값, 85% 신뢰도 및 15% 신뢰도의 지진 재해도곡선을 구한다.
- ▶ Step 2 : 참조확률에 대응하는 지진동 크기의 산정 : Regulatory Guide 1.165[3]의 부록 B에서 정의되어 있는 참조확률(10^{-5} /년)을 이용하여 Step 1에서 구한 위험도곡선의 중앙치로부터 1, 2.5, 5 및 10Hz에서의 가속도 스펙트라에 대응한 지진동레벨

을 평가하고, 1Hz 및 2.5Hz의 스펙트럴 가속도의 평균치 및 5Hz와 10Hz의 스펙트럴 가속도의 평균치를 산정한다.

- ▶ Step 3 : 확률론적 지진위험도 해석결과의 분해(Deaggregation) : 지진 규모와 거리 구간의 각각의 조합에 대하여 확률론적 지진재해도 분석의 분해를 실시한다.
- ▶ Step 4 : 참조확률에 해당하는 지진동 수준의 평가 : Step 3의 결과를 재분배하고 각 지진 규모 구간에 대하여 Step 2 (a)에서의 1, 2.5, 5, 10Hz 각각의 스펙트럴 가속도에 대응하는 지진동 수준을 초과하는 년초과확률의 중앙값을 결정한다. 그 값을 H_{mdf} 로 나타낸다. H_{mdf} 를 이용하여 1Hz 및 2.5Hz의 평균으로 하는 지진위험도 곡선에 대한 각 지진 규모구간 및 거리구간의 기여율 $P(m, d)_1$ 을 다음의 식으로 계산한다.

$$P(m, d)_1 = \frac{\sum_{f=1,2} H_{mdf}}{2 \sum_m \sum_d \frac{\sum_{f=1,2} H_{mdf}}{2}} \quad (1)$$

여기서 $f=1$ 및 $f=2$ 는 각각 1Hz 및 2.5Hz에 대응하는 지표를 나타낸다. 5Hz 및 10Hz의 평균으로 하는 지진위험도곡선에 대응하는 각 규모 구간 및 거리구간의 기여율 $P(m, d)_2$ 는 다음의 식으로 계산한다.

$$P(m, d)_2 = \frac{\sum_{f=1,2} H_{mdf}}{2 \sum_m \sum_d \frac{\sum_{f=1,2} H_{mdf}}{2}} \quad (2)$$

여기서 $f=1$ 및 $f=2$ 는 각각 5Hz 및 10Hz에 대응하는 지표를 나타낸다.

- ▶ Step 5 : 원거리대지진의 영향 파악 : 100Km 이상 떨어진 원거리 대지진에 의한 지진 재해도곡선에의 기여율이 큰가를 파악하기 위해 1Hz 및 2.5Hz의 평균에 대한 지진규모와 거리의 기여율의 분포를 조사한다. 또 100Km 이상의 원거리 지진의 기여율이 5%를 초과할 경우에는 100Km 이상의 원거리지진 규모와 거리의 분포 $P_{>100}(m, d)_1$ 을 이용하여 지배지진(Control Earthquake)을 결정하기 위해 추가해석을 행한다. $P_{>100}(m, d)_1$ 은 다음의 식으로 계산한다.

$$P_{>100}(m, d)_1 = \frac{P(m, d)_1}{\sum_m \sum_{d>100} P(m, d)_1} \quad (3)$$

위 계산의 목적은 응답 스펙트럼의 저주파수 영역을 지배할 가능성이 있는 원거리 대규모 지진을 확인하기 위함이다.

- ▶ Step 6 : 지배지진의 평균 규모 및 평균거리의 산정 : Step 2에서 구한 5Hz 및 10Hz의 평균 스펙트럴가속도에 대한 기여율의 분포로부터 다음의 식을 이용하여 평균 규모 $M_c(5-10Hz)$ 를 산출한다.

$$M_c(5-10Hz) = \sum_m m \sum_d P(m, d)_2 \quad (4)$$

여기서 m 은 각 규모구간의 대표 규모값으로 한다. 좌변은 참조확률 (10^{-5} /년)에 대응하는 지진동레벨을 초과하는 지진동이 발생하는 조건에서의 기여율에 가중된 규모의 조건부 기대값이다.

또한 규모와 거리의 구간 전체의 기여율의 분포를 나타내는 행렬의 산출결과를 이용하여 지배지진의 거리의 대수평균을 산출한다.

$$\text{Ln}\{D_c(5-10Hz)\} = \sum_m \text{Ln}(d) \sum_d P(m, d)_2 \quad (5)$$

단 Ln 은 자연대수를 나타낸다. 좌변은 참조확률 (10^{-5} /년)에 대응하는 지진동 레벨을 초과하는 지진동이 발생할 조건에서의 기여율에 가중치를 부여한 거리의 대수에 대한 조건부 기대치이다.

- ▶ Step 7 : 원거리 대지진 가운데 지배지진이 있는 경우 : 만약 Step 5에서 원거리 대규모 지진의 영향이 기여율에서 5%를 초과할 경우에는 Step 2에서 결정된 1Hz 및 2.5Hz의 평균에 대한 지진규모와 거리의 분포 보다 평균 규모와 거리의 대수평균을 다음 식으로 계산한다.

$$M_c(1-2.5Hz) = \sum_m m \sum_{d>100} P_{>100}(m, d)_1 \quad (6)$$

$$\text{Ln}\{D_c(1-2.5Hz)\} = \sum_m \text{Ln}(d) \sum_d P(m, d)_2 \quad (7)$$

- ▶ Step 8 : 지배지진에 기초한 SSE 응답스펙트럼의 평가 : Regulatory Guide 1.165[3]의 부록 F에 나타난 방법으로 이상의 Step에서 정의된 지배지진으로부터 SSE 응답스펙트럼을 결정한다.

2.2 JAERI 방법

일본에서는 과거의 지진재해도 분석에서 지진강도와 년초과확률과의 관계 이외에 주파

수특성 등의 복수의 지진동과라메타를 동시에 평가할 수 있는 개념이 龜田 및 石川 등의 연구[8,9]에 의해 개발된 바 있다. 또한 내진설계에 이용하는 기준지진동은 결정론적인 방법에 기초하여 책정하고 있으며, 확률론적인 개념에 기초한 평가방법의 설계에의 적용은 아직까지 검토 단계에 있다[4].

龜田 등의 연구결과[8,9]를 토대로 일본 원자력연구소에서는 확률론적 지진재해도 결과를 이용한 시나리오 지진 작성 방법을 개발하였다[4,5]. 이 방법의 개략적인 절차는 다음의 그림 1과 같다.

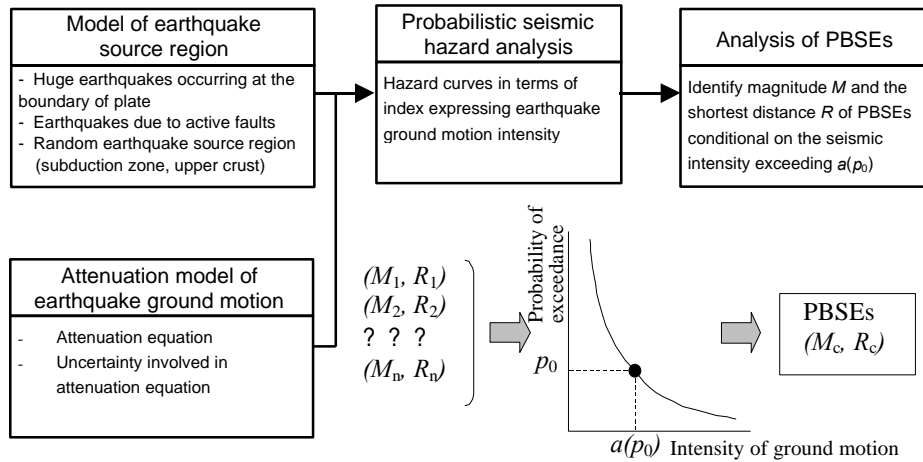


그림 1. 확률론적 시나리오 지진 설정 절차[4,5]

龜田 등의 방법에서는 특정 년초과확률 p_0 에 대응하는 지진동 크기 $a(p_0)$ 가 결정되었을 때 이것이 어느 지진활동역에서 발생한 지진에 의해 발생할 가능성이 높은가를 나타내는 지표로 공헌도에 의해 중요지진활동역을 추출한다. 그리고 중요지진활동역에 지진동 크기 $a(p_0)$ 를 초과하는 지진이 발생한 경우에 있어서 규모와 거리의 조건부기대치로 M_k^* 및 D_k^* 를 산정함으로써 지진의 제원을 설정한다.

지진활동역 k 에 대한 공헌도 $c_{fk}(a)$ 는 대상지점에 a 이상의 지진동이 발생했을 때 그 지진이 지진활동역 k 에서 발생할 조건부확률로서 다음의 식을 이용하여 산출한다.

$$c_{fk}(a) = \frac{w_k(a)}{\sum_k w_k(a)} \quad (8)$$

여기서, $w_k(a)$ 는 지진활동역 k 에서 발생한 지진에 의해 대상부지에서의 지진동크기가 a 를 초과할 년발생빈도를 나타낸다. 실제의 공헌도 산정에 있어서는 특정 년초과확률 p_0 에 대응하는 지진동 크기 $a(p_0)$ 에 대한 공헌도를 구하게 되며 이는 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$c_{fk}(a) = \frac{w_k(a(p_0))}{\sum_k w_k(a(p_0))} \quad (9)$$

龜田 등의 방법에서는 지진활동역 k 에 대한 재해도 적합 규모 M_k^* 및 재해도 적합 거리 D_k^* 를 시나리오 지진의 제원으로 한다. M_k^* 및 D_k^* 는 임의 지진활동역 k 에서 발생한 지진으로 재해도에 $a(p_0)$ 이상의 지진동이 발생하는 규모와 거리의 조건부기대치 $E_k(M|A \geq a(p_0))$, $E_k(D|A \geq a(p_0))$ 가 되며 다음의 식과 같이 산정한다.

$$M_k^* = E_k(M|A \geq a(p_0)) = \sum_i \sum_j m_i \cdot P_k(m_i, d_j | A \geq a(p_0)) \quad (10)$$

$$D_k^* = E_k(D|A \geq a(p_0)) = \sum_i \sum_j d_j \cdot P_k(m_i, d_j | A \geq a(p_0)) \quad (11)$$

여기서 A 는 부지에 발생할 지진동의 크기이며 $P_k(m_i, d_j | A \geq a(p_0))$ 는 임의 부지에 $a(p_0)$ 이상의 지진동이 발생할 경우에 그 지진의 규모와 거리가 각각 m_i , d_j 로 될 조건부확률로 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$P_k(m_i, d_j | A \geq a(p_0)) = \frac{P_k(A \geq a(p_0) | m_i, d_j) \cdot P_k(m_i) \cdot P_k(d_j)}{P_k(A \geq a(p_0))} \quad (12)$$

龜田 등의 방법의 특징은 부지 주변의 지진활동의 특징이나 활성 단층에 관한 충분한 조사·검토에 기초하여 지진활동역이 설정되면 이들 결과가 시나리오 지진의 설정에 반영되어 시나리오 지진이 보다 구체화된다는 것이다. 또한 龜田 등의 방법에 의하면 중요한 지진활동역에 대하여 그 지진제원에 대응하는 지진응답 스펙트럼 형상을 설정하는 것도 가능하다.

2.3 시나리오 지진 설정방법의 비교

시나리오 지진 제원의 전반적인 산정 절차는 두 방법이 동일하다. 구체적으로 두 방법에서 지진 재해도 분석을 수행하여 지진 재해도곡선을 산정한다. 그리고 부여된 참조확률에 대응하는 곡선으로부터 구한 지진동 강도를 규모와 거리에 관해 재분해 한다. 그러나 재분해 및 지진제원 (규모 M 과 거리 D)의 설정방법이 각각의 방법에서 차이가 있다.

미국의 방법에서는 龜田의 방법과 비교해 M 과 D 에 대해 조합한 bin (구간)을 채용하고 지진동 강도의 재분해를 행한다. 또 시나리오 지진의 제원으로 선정된 규모와 거리에 대해서 미국 NRC의 방법에서는 단주기 영역 (경우에 따라서는 장주기영역도)에 대한 M 과 D 각각의 대표값을 하나로 산출한다. 한편 龜田 등의 방법에서는 각각의 지진활동

역(활성단층 및 지진역)의 공헌도 c_f 재해도 적합 규모 M^* 및 재해도 적합 거리 D^* 를 산정하고 c_f 가 규정한 값보다 큰 지진활동도의 M^* 및 D^* 를 시나리오 지진의 재원으로 한다.

3. 참조확률의 설정

3.1 미국 NRC의 참조확률 설정법

미국 NRC의 R.G. 1.165[3]에서는 참조확률을 10^{-5} 으로 하고 있다. 이는 안전정지지진(SSE)을 초과하는 연간확률로 구체적으로는 현재 운전중인 플랜트에 대하여 SSE를 초과하는 확률을 평가한 것의 중앙값으로 정하고 있다. 즉, 참조확률은 독자적으로 결정된 절대값이 아니며 새로운 플랜트에 대하여 운전중인 플랜트의 SSE의 초과확률의 중앙값을 확보하도록 결정된 상대적인 값이다.

3.2 일본의 참조확률 설정법

3.2.1 설계용 최강지진

일본 원전 설계에 대한 심사지침에는 “역사적 자료로부터 과거에 부지 또는 그 근방에 영향을 미친 것으로 판단되는 지진이 재발하여 부지 및 그 주변에 동일한 영향을 미칠 수 있는 지진 및 가까운 장래에 부지에 영향을 미칠 것으로 예상되는 활동도가 높은 활성단층에 의한 지진 등으로부터 가장 영향이 큰 것을 선정한다.”라고 기술되어 있다. 먼저 “역사적자료에 기초한 가장 큰 영향을 미친 지진을 고려한다”는 점에서 볼 때, 그 예로 “新編日本被害地震總覽”에는 과거 1,000년 이상의 피해지진이 기록되어 있지만 연대나 지역에 따른 정도의 차이가 매우 크다. 지방도 포함된 전국의 현저한 피해지진으로는 강호시대 이후의 약 400년 정도가 기록되어 있다. 그러므로 역사자료에 기초한 설계용 강지진에 대응하는 참조확률은 2.5×10^{-3} 정도가 된다. 활성단층에 관해 보면 “10,000년 이전 이후 활동한 것 또는 지진의 재래주기가 10,000년 미만의 것”을 고려하면 대응하는 참조확률의 최소치는 10^{-4} 이 된다.

3.2.2 JEAG의 기준

원자력발전소 내진설계 기술지침[10]에서는 운전상태와 지진동과의 조합의 확률적평가항에서 기준지진동 S_1 , S_2 의 발생확률을 나타내고 있으며, 이에 따르면 S_1 의 발생확률은 $10^{-2} \sim 5 \times 10^{-4}$, S_2 의 발생확률은 $5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ 로 되어 있다.

3.3 IAEA Safety Standard의 기준

IAEA Safety Standard Series No. 50-SG-S1[11]에는 설계용 지진동으로 2개의 서로 다

른 레벨 (SL-1 과 SL-2)을 고려하는 것이 일반적이라고 기술되어 있다. SL-2는 최종적인 안전성 확보(ultimate safety requirements)에 대응하는 것으로서 시설의 사용기간 내에 초과하는 확률이 매우 작은 설계에 사용하는 지진동으로서는 최대의 수준의 지진동이며, SL-1은 SL-2 보다도 발생가능성이 높지만 지진동의 크기는 작은 요구성능(SL-2에서는 안전성 확보관점에서)에 대응하여 결정하는 지진동의 크기이다. 이에 따른 각각의 수준과 확률의 대응 예로 SL-1으로는 년초과확률 10^{-2} , SL-2로는 년초과확률 10^{-4} 에 대응하는 값을 사용한 사례가 있다.

4. 시나리오 지진 설정 예

4.1 지진재해도 분석

본 연구에서는 최근 수행된 월성 원전 부지에 대한 확률론적 지진재해도 분석 결과를 이용하여 월성 원전 부지에 대한 시나리오 지진을 작성하였다. 시나리오 지진 작성에 사용된 방법은 미국 NRC의 Regulatory Guide 1.165[3]에서 제시하고 있는 방법 및 절차에 따라 수행하였으며 1Hz와 2.5Hz의 스펙트럴 가속도 평균값에 대응하는 기여도는 1Hz 만의 기여도를 이용하였다. 이는 기존의 지진재해도 분석에서 2.5Hz 값에 해당하는 감쇄식이 제시되어 있지 않아 이에 대한 추정이 불가능하기 때문이다.

월성 원전에 대한 지진재해도 분석은 EPRI방법에 따라 수행되었다. 지진재해도 입력자료의 도출을 위해 4개의 전문가 팀을 구성하였으며 각 팀별로 지진학자, 지구물리학자 및 구조지질학자의 3인으로 구성하였다. 감쇄식 평가에는 전문가 1인을 선정 다른 전문가의 자문을 포함하여 다수의 감쇄식을 제공하도록 하였다[12].

전문가 팀에 의해 작성된 지진재해도 입력자료를 이용하여 월성 원전 부지에 대한 지진재해도 곡선을 작성하였다. 그림 2에 월성 원전 부지에 대한 PGA(Peak Ground Acceleration) 및 스펙트럴 재해도 곡선을 보여주고 있다.

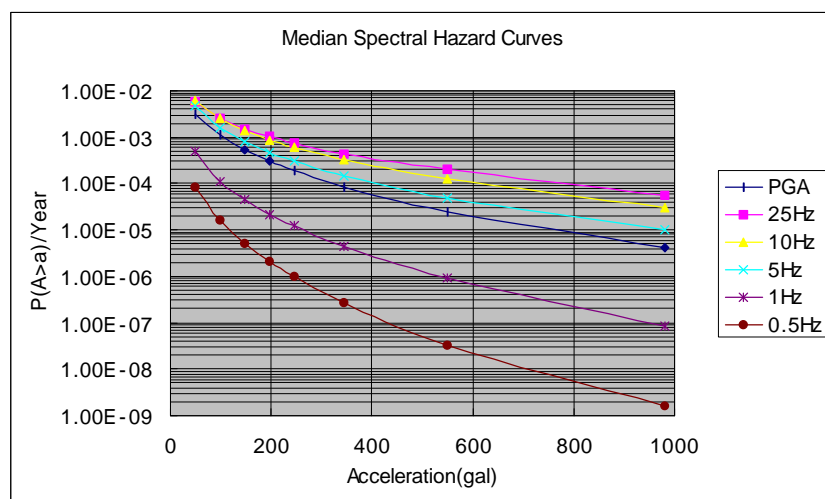


그림 2. 월성 원전 부지에 대한 지진재해도 곡선

4.2 시나리오 지진 설정

지진재해도 분석 결과를 이용하여 지진 규모와 거리구간의 각각의 조합에 대하여 확률론적 지진재해도 분해를 수행한 후 참조확률(10^{-5})에 해당하는 1, 5, 10Hz 각각의 스펙트럴 가속도에 대응하는 지진동 수준을 초과하는 년초과확률의 중앙값을 결정하였다.

원거리 지진대의 영향을 파악하기 위하여 100Km 이상의 지진에 의한 기여율을 산정한 결과 5%에 크게 못 미치는 값을 나타내 이에 의한 영향은 무시하였다. 1Hz 및 5Hz와 10Hz의 평균 스펙트럴 가속도 수준에 기여하는 지진의 규모 및 거리별 기여율을 산정한 결과 다음의 그림 3 및 4와 같이 나타났다.

Step 6의 식 (4)와 (5)를 이용하여 1Hz 및 5Hz와 10Hz의 평균에 해당하는 시나리오 지진을 설정하였으며 그 결과를 표 1에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 원거리 지진에 의한 기여율이 매우 작아 두 진동수대에 대한 시나리오 지진의 크기 및 거리가 유사하게 나타났다.

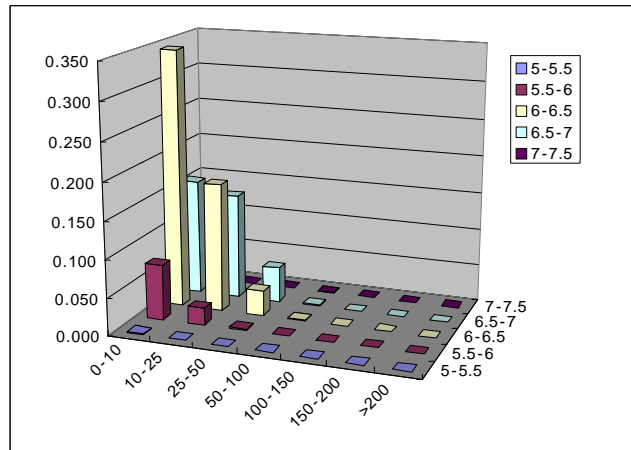


그림 3. 1Hz에 대한 규모 및 거리별 기여율

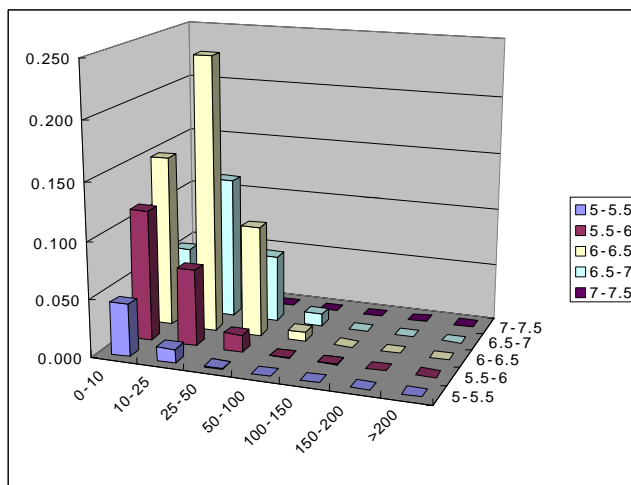


그림 4. 5Hz 및 10Hz의 평균에 대한 규모 및 거리별 기여율

표 1. 월성 원전 부지에 대한 시나리오 지진

1Hz	5-10Hz
M6.4, 9.0Km	M6.2, 13.0km

4.3 스펙트럼 형상 결정

설정된 시나리오 지진에 대한 스펙트럼 형상의 결정은 미국 서부지역(WUS) 및 동부 지역(EUS)의 지진에 대해 제시된 식을 사용하였다. 미국 서부지역에 대한 스펙트럼 형상 결정 식은 많은 계측 자료를 통계처리하여 얻은 식이며, 중동부 지역의 경우 지진 데이터가 충분하지 않아 서부지역의 경험식을 이용하여 변환할 수 있는 식을 제시하였다. WUS 및 EUS에 대한 스펙트럼 형상은 다음의 식으로 나타낼 수 있다[13].

$$\ln[SA(f)/PGA] = \frac{C_1}{\cosh(C_2 f^{C_3})} + C_4 \left[\frac{\exp(C_5 f)}{f^{C_6}} \right] \quad (13)$$

$$\ln[SA(f)/PGA] = \frac{C_1}{\cosh(C_2 f^{C_3})} + C_4 \left[\frac{\exp(C_5 f)}{f^{C_6}} + \frac{C_7 \exp(C_8 f)}{f^{C_9}} \right] \quad (14)$$

여기서, $C_1 \sim C_9$ 은 지진의 규모 및 거리에 따라 통계적으로 얻은 상수값이며, $SA(f)$ 는 스펙트럴 가속도를 나타낸다. 또한 f 는 진동수를 나타낸다.

위의 두식을 이용하여 앞에서 설정된 두 시나리오 지진에 대한 가속도 스펙트럼을 작성하였다. 이 때 가속도 스펙트럼은 1g로 정규화한 값이며 각각의 시나리오 지진에 대한 스펙트럼 형상은 그림 5 및 6과 같다.

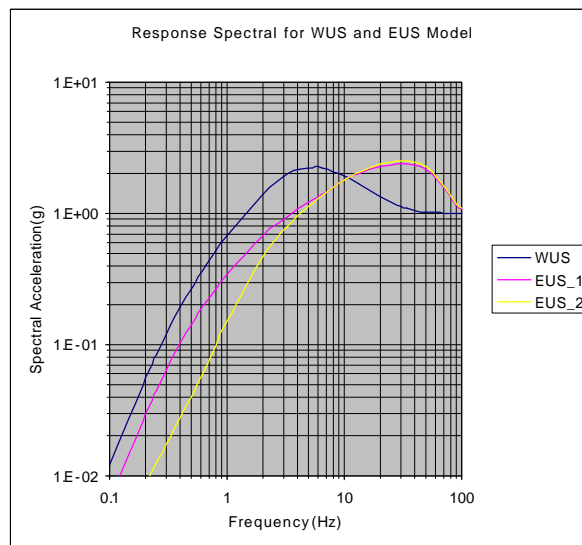


그림 5. 시나리오 지진에 대한 가속도 스펙트럼(1)

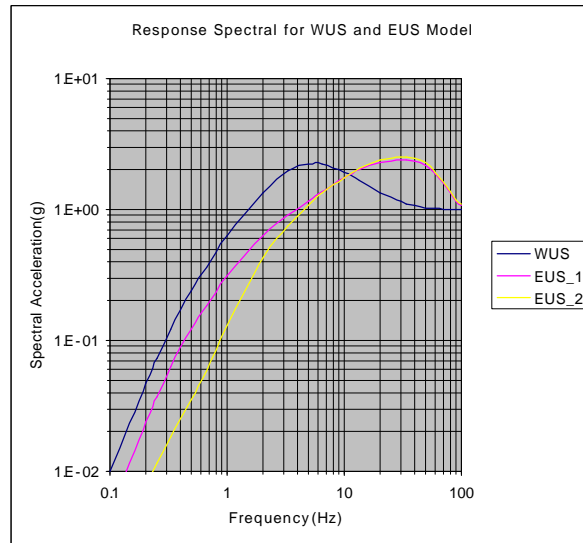


그림 6. 시나리오 지진에 대한 가속도 스펙트럼(2)

5. 결론

본 연구에서는 확률론적 지진재해도 결과를 이용한 시나리오지진 작성 방법으로 제시되어 있는 미국 NRC 방법과 일본 JAERI 방법에 대해 비교 검토하고, 과거에 수행된 월성 원전 부지의 지진재해도 분석결과를 이용하여 미국 NRC 방법에 따라 시나리오 지진을 설정하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 미국 NRC 방법에 비해 일본 JAERI의 방법이 개별 지진원 및 활성단층의 영향을 충분히 반영하고 지진동 크기 이외에 취급하는 것이 불가능하였던 주파수특성 등의 복수의 지진동 파라메타를 동시에 평가하는 것이 가능한 개념으로 보다 합리적인 것으로 판단되나 이를 위해서는 개별적인 지진원이나 활성단층에 대한 정확한 평가가 요구된다.
- 지진재해도 분석결과를 이용한 시나리오 지진에 의해 안전정지지진의 스펙트럼 형상을 결정하는 것이 바람직하며 이를 위해서는 시나리오 지진의 설정에 필요한 자료를 지진재해도 분석에 충분히 반영하여 수행하는 것이 바람직하다.
- 월성 원전 부지에 대한 시나리오 지진 작성 결과 규모 및 거리가 각각 (M6.4, 9km), (M6.2, 13km)의 비교적 유사한 규모 및 거리의 시나리오 지진이 도출되었다.
- 시나리오 지진에 의해 스펙트럼 형상을 결정하기 위해서는 지진의 규모 및 거리에 따른 스펙트럼 형상을 작성하기 위한 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기연구개발 사업의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

1. US NRC Regulatory Guide 1.60, Design Response Spectra for Seismic Design of Nuclear Power Plants, 1973.
2. J. W. Reed, R. P. Kennedy, and B. Lashkari, Analysis of High-Frequency Seismic Effects, EPRI TR-102470, 1993.
3. US NRC Regulatory Guide 1.165, Identification and Characterization of Seismic Sources and Determination of Safe Shutdown Earthquake Ground Motion, 1997.
4. J. Hirose, K. Muramatsu, T. Okumura, and S. Taki, A Procedure for the Determination of Scenario Earthquakes for Seismic Design Based on Probabilistic Seismic Hazard Analysis, JAERI-Research 2002-009, 2002.
5. K. Muramatsu and J. Hirose, "The Use of Seismic Hazard Analysis for Determining Scenario Design Earthquakes - An Overview of a Recently Completed Work at JAERI -," Proceedings of the Seventh Korea-Japan Joint Workshop on Probabilistic Safety Assessment, 2002.
6. D. L. Bernreuter et al., Seismic Hazard Characterization of 69 Nuclear Plant Sites East of the Rocky Mountains, NUREG/CR-5250, 1989.
7. EPRI, Probabilistic Seismic Hazard Evaluations at Nuclear Power Plant Sites in the Central and Eastern United States, EPRI Np-4726, 1989-1991.
8. 龜田弘行, 石川 裕, "ハザード適合マグニチュード・震央距離による地震危険度解析の擴張," 土木學會論文集, No. 392/I-9, 1984.
9. 龜田弘行, 石川 裕, 中島正人, "確率論的想定地震の概念と應用," 土木學會論文集, No. 577/I-41, 1997.
10. 社團法人 日本電氣協會, 原子力發電所耐震設計技術指針(重要度分類・許容應力編 : JEAG 4601・補-1984), 1984.
11. IAEA, Earthquakes and Associated Topics in Relation to NPP Siting, IAEA Safety Standard Series No. 50-SG-S1 (Rev. 1), 1991.
12. 서정문, 민경식, 전영선, 최인길, 지진재해도 평가의 불확실성 개선에 관한 연구, KAERI/CR-65/99, 1999.
13. R. K. McGuire, W. J. Silva, and C. J. Costantino, Technical Basis for Revision of Regulatory Guidance on Design Ground Motions : Hazard- and Risk-consistant Ground Motion Spectra Guidelines, NUREG/CR-6728, 2001.