

# 점지진원 모델을 이용한 경주 지진으로 인한 지반운동 생성

## Simulation of Ground Motions from Gyeongju Earthquake using Point Source Model

하성진<sup>1)</sup> · 지현우<sup>1)</sup> · 한상환<sup>1)\*</sup>

Ha, Seong Jin<sup>1)</sup> · Jee, Hyun Woo<sup>1)</sup> · Han, Sang Whan<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>한양대학교 건축공학과

<sup>1)</sup>Department of Architecture, Hanyang University

### / A B S T R A C T /

In low to moderate seismic regions, there are limited earthquake ground motion data recorded from past earthquakes. In this regard, the Gyeongju earthquake (M=5.8) occurred on September 12, 2016 produces valuable information on ground motions. Ground motions were recorded at various recording stations located widely in Korean peninsula. Without actual recorded ground motions, it is impossible to make a ground motion prediction model. In this study, a point source model is constructed to accurately simulate ground motions recorded at different stations located on different soil conditions during the Gyeongju earthquake. Using the model, ground motions are generated at all grid locations of Korean peninsula. Each grid size has 0.1°(latitude)x0.1°(longitude). Then a contour hazard map is constructed using the peak ground acceleration of the simulated ground motions

**Key words:** Gyeongju Earthquake, Artificial Earthquake, Response Spectrum, Amplification Factor, Soil Profiles

## 1. 서론

우리나라는 지리적으로 유라시아판 내부에 위치하고 있으며, 지진 활동이 활발하지 않은 중 약진 지역으로 분류되어 있다. 과거의 우리나라 역사 지진목록이나 계기지진목록에서도 규모 4 미만의 지진이 대부분을 차지하고 있다. 그러나 1905년에 최초로 국내 계기지진 관측을 시작한 이후로, 규모 5 이상의 지진이 총 20회 관측되었으며, 이들 중 6번의 지진이 2000년 이후에 발생하였다. 또한 기상청 통계자료에 의하면 지난 36년(1978-2013년) 간 총 1060회의 지진이 관측되어, 연평균 29회의 빈도를 보이고 있으며, 규모 3 이상의 지진 발생 빈도수도 점차 증가하는 추세이다. 특히, 2016년 9월 12에 발생한 경주 지진은 국내 관측된 계기지진기

록 중 그 규모가 가장 큰 것으로서 인근 지역에 많은 경제적 피해를 유발하였다. 지진에 대한 구조물의 내진설계를 위해서는 현행 내진설계 기준에 따라 등가 정적해석이나 응답 스펙트럼해석, 또는 선형 및 비선형 시간이력해석을 사용할 수 있다. 만약, 대상 지역의 내진설계범주가 높고 기준에 따른 비정형성을 갖는 구조물, 또는 감쇠 시스템이 적용된 구조물의 경우에는 비선형 시간이력해석과 같은 동적 해석을 사용해야 한다. KBC 2016에서는 대상 지역의 지반 조건에 상응하고 설계 스펙트럼에 적합하도록 선정된 계기지진기록 또는 인공지진기록을 사용하여 시간이력해석을 수행하도록 하고 있다. 우리나라는 본격적인 지진 관측의 역사가 짧아서 해석에 사용 가능한 강진 기록의 수가 매우 부족한 실정이며, 대부분 국외에서 기록된 강진 지반 운동을 보정하여 동적 해석에 사용하고 있다. 하지만 지반 조건이 유사한 지역에서 기록된 지진을 보정하여 사용한다 하더라도, 지진파의 형상(waveform)이나 주파수 성분, 강진 지속시간 등이 대상 지역의 여건에 부합하지 않을 경우에는 매우 상이한 해석결과를 도출할 수 있다. 이러한 이유로 지반의 동특성을 반영한 인공 지반운동의 생성방법과 관련하여 많은 연구가 진행되어 왔다

\*Corresponding author: Han, Sang Whan

E-mail: swhan@hanyang.ac.kr

(Received November 17, 2016; Revised December 6, 2016; Accepted December 7, 2016)



(a) Roof tiles falling off



(b) Damage to concrete fence



(c) Damage to concrete wall

Fig. 1. Example of Gyeongju earthquake damage

(Katayama, 1982[1]; Eliopoulos, 1991[2]; Saito, 1994; Wen and Wu, 1999[3]). 해외에서 지반운동 생성모델에 관한 많은 연구가 진행되었지만, 지역별로 지반 여건과 이에 따른 지진파의 주기별 감쇠 효과와 지반 증폭 효과는 매우 상이하므로, 이러한 모델을 우리나라에서 사용할 수 없다. 본 연구에서는 점진진원 모델을 이용하여 경주지진으로 인하여 발생한 우리나라 지반운동을 재현하는 지반운동 생성 모델을 구축하였다. 국내의 지반 여건을 고려하기 위하여 점진진원 모델의 변수들은 Noh and Lee (1995)[4]와 Jo and Baag (2001) [5]가 한반도 남동부를 대상으로 제안한 값을 사용하였으며, Boore (2002)[6]이 개발한 SMSIM 프로그램을 사용하여 인공 지반운동을 생성하였다. 그리고 각 지역의 지반 증폭 효과를 고려하기 위하여, 국내에서 실시한 기존의 지반 조사자료를 바탕으로 지반증폭계수를 산정한 뒤, 인공 지반운동 생성에 반영하였다. 제안한 방법의 정확성을 평가하기 위하여, 국내 관측소 네 곳을 대상으로 2016년 9월 12일 발생한 경주 지진 ( $M=5.8$ )으로 인해 계속

된 실제 지반운동과 제안된 모델로 생성된 지반운동을 비교하였다. 구축된 모델을 이용하여 한반도 전역에 경주지진으로 인한 지반운동을 생성하였으며 이를 이용하여 최대지반가속도 (PGA) 등고선 재해지도 (contour seismic hazard map)를 작성하였다.

## 2. 지반운동 모델

우리나라는 국지적인 지반조사 자료와 단층 구조에 대한 정보가 매우 부족하기 때문에, 국내 발생 가능한 지진원을 점진진원으로 가정하였다. 점진진원 모델에 대한 인공 지진 가속도는 Boore (2002) 가 개발한 SMSIM 소프트웨어를 사용하여 생성하였다. Noh and Lee (1994)는 과거 우리나라 남동부에서 발생한 64개의 계기지진기록을 바탕으로 스펙트럼 분석을 수행하여 국내 지반운동 생성에 적용 가능한 모델 매개변수를 제안하였으며, 이 값을 적용하여 우리나라 지반의 동특성을 고려하였다. 그리고 Jo and Baag (2001) 이 제안한 단층 응력 강하를 적용하여 인공가속도를 생성하였다.

점진진원 모델은 Milne and Davenport (1965)[7]가 제안한 방법을 Boore and Atkinson (1987) [8]가 발전시켜 완성하였다. 점진진원 모델을 이용하면 지진의 규모, 진앙 거리, 지진 감쇠 특성 등을 고려하여 임의의 지점에서의 인공 지반운동을 생성할 수 있다. 이 모델은 지진원을 규정하기 위한 지질학적 정보가 부족한 경우, 과거 발생한 지진활동이 해당 지역의 지진을 기반으로 확률론적 모델을 구축하여 지진의 규모와 진앙위치를 발생시킬 수 있다. Wen and Wu (1999) [9]는 미국 중부지역을 대상으로 규모 8 미만의 인공 지진을 점진진원 모델로 생성하였다.

점진진원 모델에 대한 푸리에 진폭 스펙트럼  $A(f)$ 은 식 (1)과 같다.

$$A(f) = C \times S(f) \times D(f) \times I(f) \quad (1)$$

여기서,  $f$ 는 주파수이며,  $C$ 는 스펙트럼 진폭의 크기를 결정하기 위한 조정 계수 (scaling factor)이다.  $S(f)$ 는 대상 지역에 대해 생성된 인공 지진 가속도의 푸리에 스펙트럼 형상을 결정하기 위한 함수로써, 본 연구에서는  $w$ -square 모델을 사용하였다. 이 모델은 모서리 주파수를 기준으로 저주파 성분은 지진모멘트( $M_w$ )에 해당하는 값으로 결정되며, 고주파 성분은 주파수의 제곱에 대한 기울기로 감소하는 스펙트럼 형상을 갖는다. 모서리 주파수는 지진모멘트와 전단파속도, 응력 강하를 이용하여 결정된다. 그리고,  $D(f)$ 와  $I(f)$ 는 각각 스펙트럼 진폭의 축소함수와 지반운동의 유형 (가속도, 속도, 변위)이다. 식(1)에서, 경주 지진 지반운동 시뮬레이션을 위해 사용된 각 모델에 대한 매개변수들은 Table 1과 같다.

즉,  $A(f)$ 는 추계학적으로 지반운동의 시간이력을 생성하기 위한 진폭 스펙트럼이며, 이 때의  $A(f)$ 는 지반의 soil profile을 포함하지 않은 기반암을 대상으로 정의된다. 그러나, 실제 지반운동 가속도 및 진폭 스펙트럼의 형상( $S(f)$ )과 크기는 국지적인 지반증폭효과에 의한 영향이 매우 크다.

이에 따라, 본 연구에서는 점진진원 모델을 이용한 인공 지반운동 생성 시, 대상 지역의 국지적인 지반 증폭 효과를 고려하였다. 이 때, 지반 증폭 효과는 해당 지역의 지반 깊이에 따른 지반 종류와 밀도, 전단파 속도 등을 기반으로 하여 SMSIM 소프트웨어의 서브 프로그램인 Site\_amp 프

**Table 1.** Parameters for  $A(f)$  [Equation (1)]

$C$ , Scaling factor	
Equation	$C = \frac{R_{\theta\phi} \times F \times V}{4\pi\rho\beta^3} \times \frac{1}{\gamma}$
Parameters	$R_{\theta\phi}$ : radiation pattern averaged over an appropriate range of azimuth and take-off angle (=0.63) $F$ : free surface effect (=2) $V$ : partition of a vector into horizontal component (=0.707) $\rho$ : soil density (=2.7 g/cm <sup>3</sup> ) $\beta$ : shear wave velocity (=3.5 km/s) $\gamma$ : distance scaling factor accounting for geometric spreading of body waves radiated from a point source
$S(f)$ , Source spectral function	
Equation	$S(f) = \frac{M_0}{1 + (f/f_c)^2}$
Parameters	$M_0$ : seismic moment $M_w$ : seismic moment magnitude [= $\frac{2}{3} \log M_0 - 10.7$ ] ( $M_w = 5.4$ for Gyeongju earthquake) $f_c$ : corner frequency [= $4.9 \times 10^6 \beta (\Delta\sigma/M_0)^{1/3}$ ] $\Delta\sigma$ : stress drop [= 100bar] (Jo and Baag, 2001)
$D(f)$ , Diminution function	
Equation	$D(f) = \exp(-\pi\kappa_q f R) \times \exp(-\pi\kappa_s f)$
Parameters	$\kappa$ : spectral decay parameter [= $\kappa_s + \kappa_q \times R$ ] $\kappa_q = 1.6 \times 10^{-4} (\pm 3.9 \times 10^{-5})$ $\kappa_s = 1.4 \times 10^{-2} (\pm 3.8 \times 10^{-3})$ (Noh and Lee, 1994)
$I(f)$ , Shaping factor	
Equation	$I(f) = (2\pi f)^p$
Parameters	$p$ : 0, 1, and 2 for displacement, velocity and acceleration, respectively

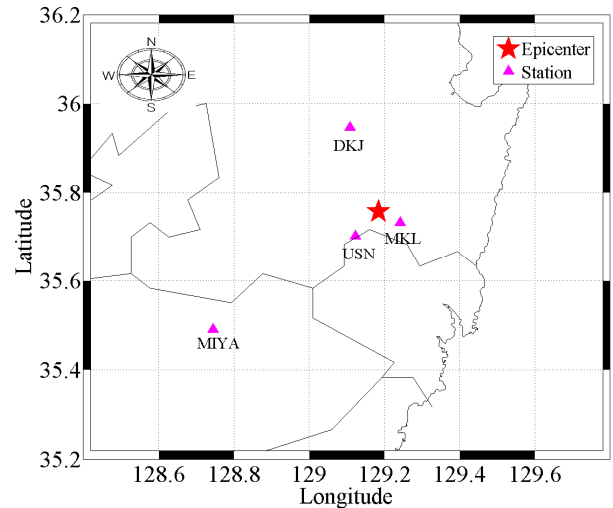
로그그램을 이용하여 지반 증폭 계수를 산정할 수 있다. 우리나라의 경우, 사용 가능한 각 지역의 지반정보는 ‘국토지반정보 통합DB센터[10]’에서 얻을 수 있으며, 본 연구에서 고려한 지진 관측소의 지반증폭계수는 다음 장에 제시되어 있다.

### 3. 국내 지반조건을 고려한 인공 지반운동 생성

본 연구에서는 제안된 지반운동 생성 모델을 이용하여, 경주 지진으로 발생한 국내 지반운동을 재현하는 인공 지반운동을 생성하였다. 그리고 생성된 인공 지반운동의 가속도 응답 스펙트럼과 계기 지반운동의 가속도 응답 스펙트럼을 비교하였다.

경주 지진에 대한 간략한 정보는 다음과 같다.

- 발생 시간: 2016년 9월 12일 20:32:54 (KST)
- 발생 위치: 위도 35.7570, 경도 129.1848
- 규모:  $M_L$ (리히터 규모)=5.8,  $M_w$ (모멘트 규모)=5.4 (USGS)



**Fig. 2.** Epicenter of Gyeongju earthquake and record stations

**Table 2.** Epicentral distance and PGA for each record station

station name	site	latitude	longitude	epicenter distance	PGA(g)
MKL	Myeonggye-ri	35.7322	129.2420	5.86	0.4335
USN	Ulsan	35.7024	129.1232	8.23	0.6161
DKJ	Deokjeong-ri	35.9468	129.1089	22.15	0.1293
MIYA	Miryang	35.4916	128.7444	50.03	0.0473

### 3.1 대상관측소

대상 지역으로써 한반도 남동부에 위치하고 계측된 지반가속도가 비교적 큰 4 곳의 지진 관측소를 결정하였으며, 각 관측소의 위치는 Fig. 2에 나타나 있다. 그리고 각 관측소의 진앙거리와 최대지반가속도(PGA)를 Table 2에 정리하였다.

Table 2에서, PGA는 예상할 수 있듯이 진앙거리가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그러나, USN 관측소의 경우, MKL 관측소보다 진앙거리가 더 길지만 PGA는 더 큰 값을 갖는 것으로 나타났으며, 이는 국지적인 지반증폭의 영향 때문인 것으로 판단된다.

### 3.2 대상관측소의 지반증폭효과

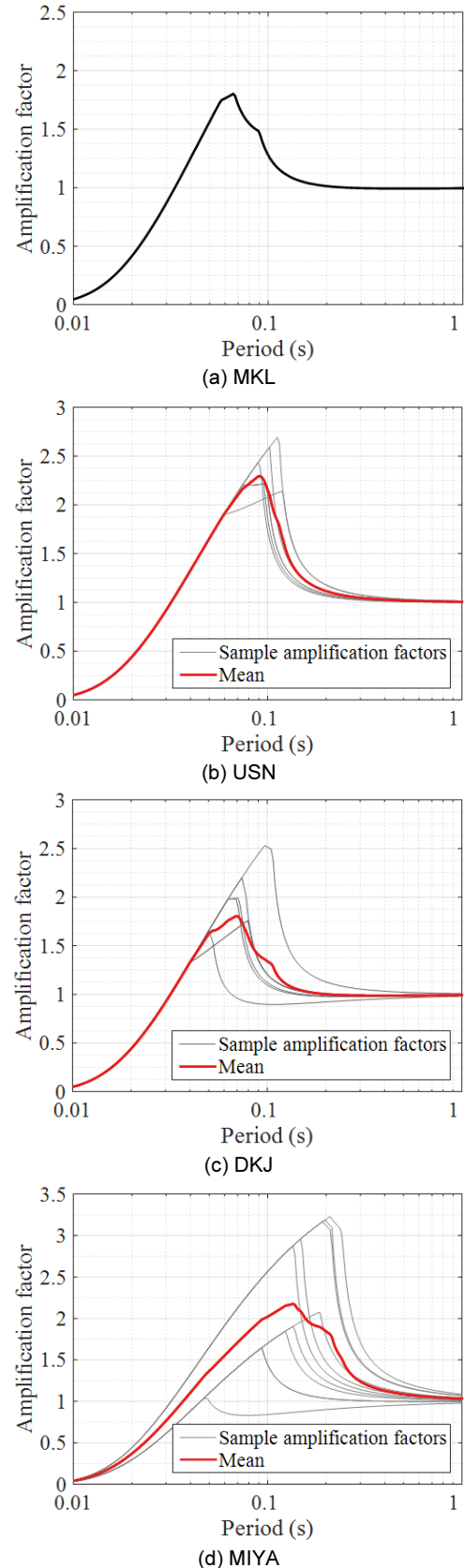
각 관측소에서의 지반증폭효과를 고려하기 위하여, ‘국토지반정보 통합DB센터’에서 제공하는 시추주상도로부터 해당 지역의 깊이에 따른 지반 종류를 결정하였다. MKL 관측소의 경우, 지반운동 계측 위치와 지반 조사의 위치가 거의 일치하므로 해당 지반조사자료를 직접적으로 사용하였다. 반면, USN, DKJ, MIYA 관측소의 경우, 지반조사의 위치와 다소 떨어져 있으므로(1~5km), 본 연구에서는 해당 관측소에 대하여, 각 관측소 인근의 여러 지반조사자료들로부터 계산된 지반증폭계수들의 평균을 이용하여 지반증폭효과를 반영하였다. Table 3는 Table 2의 네 지진 관측소에 대한 인근 지반단면 정보이며, 각 관측소에 대한 지반증폭계수는 Site\_amp 프로그램을 이용하여 계산하였으며 Fig. 3과 같다.

**Table 3.** Soil profiles near each record station

	Alluvium	Weatered rock	soft rock
$V_{s30}(m/s)$	350	650	1700
Density( $kg/m^3$ )	1900	2100	2300
MKL Station			
Depth(m)	5.0	1.6	9.8
USN Station			
Depth(m)	6.5	4.0	0.0
	5.2	9.8	1.0
	7.9	0.0	0.0
	5.2	4.6	0.0
	9.0	0.0	0.0
	6.5	3.5	0.0
	10.0	0.0	0.0
DKJ Station			
Depth(m)	3.5	6.5	0.0
	8.5	1.5	0.0
	4.4	0.0	1.0
	6.5	0.0	1.5
	5.5	1.0	1.0
	5.5	1.3	1.0
MIYA Station			
Depth(m)	0.1	15.0	0.0
	0.1	7.4	1.0
	0.1	20.0	0.0
	0.1	30.0	0.0
	0.1	22.0	0.0
	16.8	3.2	0.0
	17.3	2.7	0.0
	12.0	0.0	0.0
	13.0	0.0	1.0
	18.3	4.7	2.0

### 3.3 인공지반운동 생성

각 관측소에 대하여, 제안된 점지진원 모델 매개변수와 경주 지진의 모멘트 규모, 진앙거리, 지반증폭계수를 사용하여 SMSIM 소프트웨어로 인공 지반운동 가속도를 생성하였다. Fig. 4에서 각 관측소에 대해 생성된 인공 지반운동 가속도를 계측된 지반운동과 함께 나타냈다. 본 논문에서 사용한 계기 지반운동은 샘플링 주기 0.01초 (100 sample)을 기준으로 하였으며 고주파 성분에 대해 버터웍스 저역통과 필터링을 적용한 데이터를 사용하였다. 그리고 Boore and Atkinson(1987)에서는 점지진원에 대한 강진 지속시간( $T_d$ )을 결정하기 위해, 과거 계측된 다수의 지진기록 분석을 통하여  $T_d = T_s + 0.05R$ 의 경험식을 제안하였다. 여기서  $T_s$ 는 진원에서 지반운동으로써, 모서리 주파수의 역수,  $f_c^{-1}$ 와 동일하고,  $R$ 은 진앙거리이다. 이 경험식을 통해서 계산된 인공 지진 가속도의 지속시간은 각 관측소에 대하여, MKL 관측소는 1.70초, USN 관측소는 1.82초, DKJ 관측소는 2.52초, 그리고 MIYA 관측소는 3.91초이며[Fig. 4], 계기지진기



**Fig. 3.** Soil amplification factor for each record station

록의 강진지속시간과 매우 유사한 것으로 나타났다. 그러나, SMSIM 프로그램에서는 random seed value(무작위 난수)에 따라 인공 지반운동을

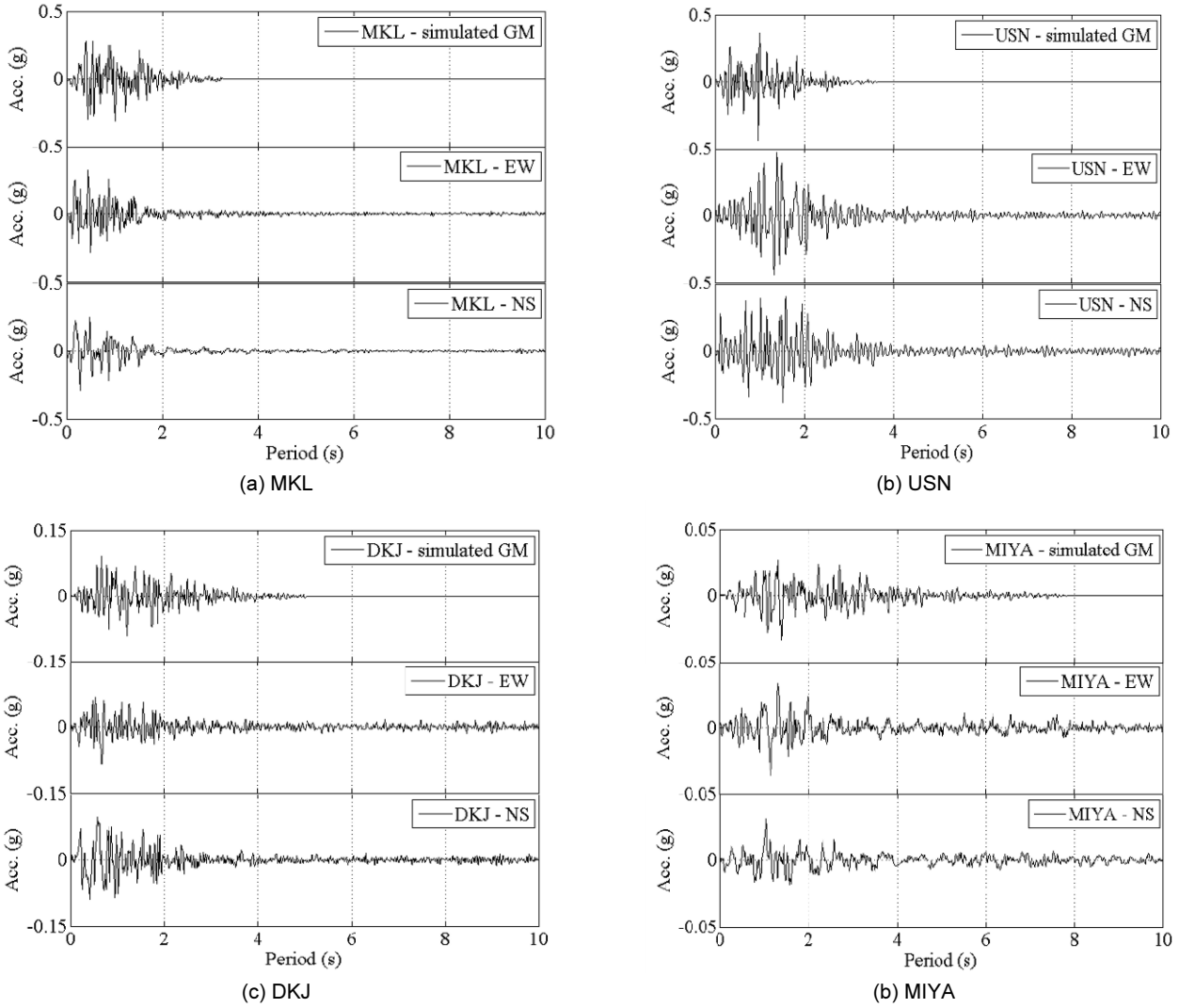


Fig. 4. Accelerations of simulated and recorded ground motions for each record stations

Table 4. PGAs for simulated and recorded ground motions

station name	site	PGA(g)		
		simulated ground motion	recorded ground motion	
			EW component	NS component
MKL	Myeonggye-ri	0.2881	0.3437	0.2644
USN	Ulsan	0.4398	0.4649	0.4042
DKJ	Deokjeong-ri	0.0813	0.0729	0.1068
MIYA	Miryang	0.0263	0.0333	0.0309

생성하기 때문에, 생성된 하나의 인공 지반운동으로는 대상 지역의 지반 운동 특성을 재현하는 데에는 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서는 각 관측소에 대해 200개의 인공 지반운동을 생성하였으며, 각 지반운동 가속도에 대한 응답 스펙트럼 평균을 계기 지반운동의 응답 스펙트럼과 비교하였다.

Fig. 5는 Table 3의 네 관측소에서 계측된 두 수평방향 지반운동 응답 스펙트럼과, 생성된 200개 인공 지반운동의 평균 응답 스펙트럼을 함께 나타내고 있다. Fig. 5에서, 네 관측소 모두 생성된 인공 지반운동의 평균

응답 스펙트럼과 계측된 지반운동의 응답 스펙트럼의 크기와 형상이 모두 유사하게 나타났다. 따라서, 국내 지진원을 점진진원 모델로 가정하는 것은 타당한 것으로 나타나 점진진원 모델을 재해지도 구축에 사용할 것으로 판단된다.

Fig. 6은 제안된 모델을 이용하여, 경주 지진의 진앙을 기준으로 진앙거리에 따라 인공 지반운동을 생성한 뒤, 각 지반운동의 PGA를 평가하고 이를 등고선 재해지도를 구축하였다. 이 그림에서는 Fig. 5와 달리, 각 지역의 국지적인 지반증폭효과는 고려하지 않았으며 KBC 2016에 따른 지

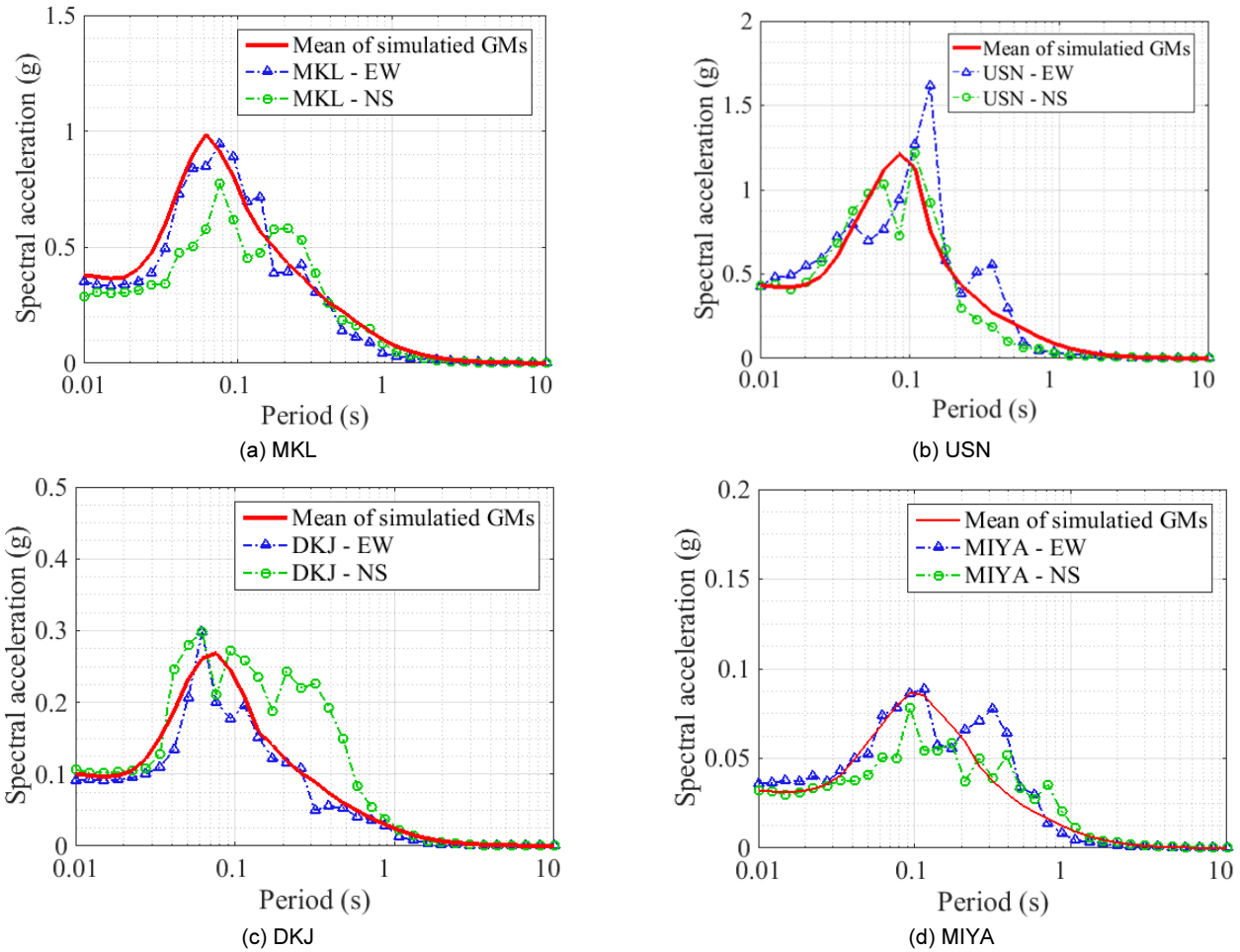


Fig. 5. Response spectra of simulated and recorded ground motions

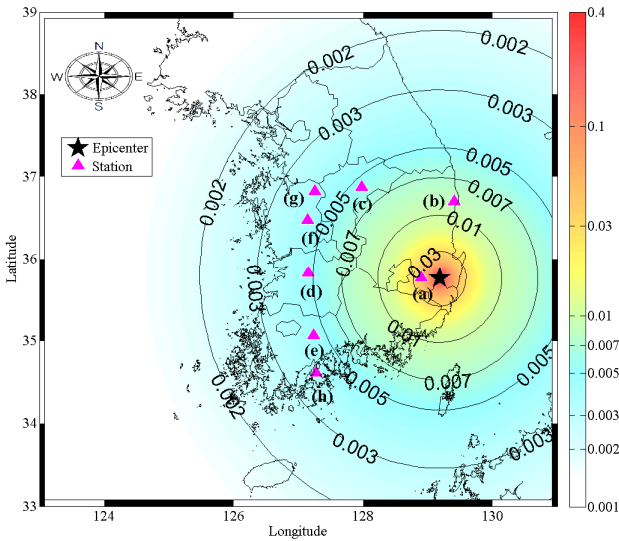
Table 5. PGAs of ground motions for record stations (site class SB)

	site	record station	site class	PGA(g)		
				simulated ground motion	recorded ground motion	
					EW component	NS component
(a)	Daegu	DAG2	SB	0.0484	0.0510	0.0486
(b)	Ulsan	UJN2	SB	0.0086	0.0069	0.0053
(c)	Chungju	CHJ2	SB	0.0055	0.0041	0.0041
(d)	Jeonju	CHO	SB	0.0048	0.0032	0.0053
(e)	Suncheon	SCH	SB	0.0045	0.0029	0.0030
(f)	Gongju	KOJ2	SB	0.0042	0.0033	0.0029
(g)	Cheonan	CEA	SB	0.0040	0.0025	0.0035
(h)	Goheung	KOHB	SB	0.0038	0.0030	0.0039

반조건은 SB (보통암, 지반증폭계수=1)으로 가정하였다. Table 5는 보통암 지반에 위치한 여덟 곳의 관측소에서 기록된 지반운동의 PGA와, Fig. 6에서 해당 지역에 대한 PGA를 함께 나타낸 것으로써, 여덟 곳의 경우

제안된 모델로 생성한 인공지반운동의 PGA가 실제 지반운동의 PGA와 유사하다. 그러나 거의 동일한 값이 있는 반면 차이에 발생하는 경우가 있는데, 주요인은 지반정보의 부정확성으로 발생한 것으로 판단된다.

다. 지반운동 기록을 위한 지반운동 기록소가 위치한 곳의 지반조사자료는 대부분 없다. 따라서 기록소와 가장 인접한 지역의 유용한 공개된 지반조사자료를 사용해야 한다. 하지만 인접한 지역의 지반운동 자료는 기록소가 위치한 곳의 지반조건과는 다를 수 있다. 따라서 향후 모두 지진기록소의 위치한 곳에서의 지반정보를 조사하여 공개하여야 할 것이고 이는 우리나라 재해지도 구축 시 매우 중요한 자료가 될 것이다.



**Fig. 6.** The contour hazard map constructed using the peak ground acceleration of the simulated ground motions

#### 4. 결론

본 연구에서는 점지진원 모델을 기반으로 하여, 경주 지진 지반운동을 재현하기 위한 인공 지반운동 생성 모델을 구축하였으며 결과는 다음과 같다.

- 1) 제안된 모델은 우리나라의 지진원을 점지진원으로 가정하여 지진의 규모와 진앙거리, 푸리에 진폭 스펙트럼의 크기와 형상을 고려하여 대상 지역의 인공 지반운동을 생성한다. 그리고 국지적인 지반 증폭 효과를 고려하기 위하여, 해당 지역의 지반조사자료를 기반한 지반증폭 계수를 사용하여 지반운동 생성 모델에 적용하였다.
- 2) 제안된 모델을 사용하여 국내 지진 관측소 네 곳을 대상으로 인공 지반운동을 생성하였으며, 생성된 지반운동 가속도의 강진지속시간과 PGA가 대상 관측소에서 기록된 지반운동과 매우 유사한 것으로 나타났다. 또한 각 지역에 대해 생성된 200개 인공 지반운동의 평균 응답 스펙트럼 크기와 형상이 계기 지반운동의 응답 스펙트럼과 매우 유사한 것으로 나타났다. 따라서 제안된 모델을 이용하여 생성된 인공 지반운동은 국내 지반운동을 적절히 재현할 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) 국지적인 지반증폭효과를 고려할 경우, 관측소와 지반조사의 위치가 매우 인접한 경우에는 (MKL 관측소) 해당 지반조사자료를 직접 이용할 수 있으며, 그렇지 않은 경우에는 (USN 관측소) 인근의 지반조사 자료를 통해 산정된 지반증폭계수를 평균하여 이용해야 한다. 이를 보완하면 더 정확한 지반운동 예측이 가능할 것으로 판단된다.
- 4) 2016년 9월 12일 발생한 경주 지진을 대상으로 본 연구에서는 제안된 모델을 이용하여 진앙 거리에 따라 국내 지반운동의 PGA 등고선도를 작성하였다. 이 때, 국지적인 지반증폭효과는 고려하지 않았으며,

보통암 지반(지반조건:SB)을 갖는 것으로 가정하였다. 그 결과, 보통암 지반에서 기록된 지반운동의 PGA와 예측된 PGA가 매우 유사한 것으로 나타났으며, 제안된 지반운동 생성 모델을 한반도 전역으로 적용이 가능하다. 단, 지반조사가 미흡한 기록소의 지반운동 예측은 지반조건을 가정하거나 인근 지역의 지반조사 정보를 사용해야 하므로 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

#### / 감사의 글 /

본 논문은 2015년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단(2015R1A2A1A15055248)의 지원을 받아 수행되었습니다.

#### / REFERENCES /

1. Katayama T, An engineering prediction modal of acceleration response spectra and its application to seismic hazard mapping. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1982;10:149-163.
2. Eliopoulos DF, Wen YK, Method of Seismic Reliability Evaluation for Moment Resisting Steel Frames. *Civil Engineering Structural Research Series No.562*, UIUC, c1991.
3. Saito T, Wen YK, Seismic Risk Evaluation of R.C. Buildings in Japan Designed in Accordance with 1990 AIJ Guidelines. *Civil Engineering Structural Research Series No. 587*, UIUC, c1994.
4. Noh M, Lee K, Estimation of Peak Ground Motions in the Southeastern Part of the Korean Peninsula (I) : Estimation of Spectral Parameters, *Jour. Geol. Soc. Korea*, Jun, 1994;30(3):297-306.
5. Jo N, Baag C, Stochastic Prediction of Strong Ground Motions in Southern Korea, *Earthquake Engineering Society of Korea*, 2001 Aug;5(4):17-26.
6. Boore DM, Atkinson GM, Stochastic prediction of ground motion and pectral response parameters at hard-rock sites in eastern North America, *Seismological Society of America*, 1987;77:440-467.
7. Milne WG, Davenport AG, Statistical parameters applied to seismic regionalization. *Proc. 3rd Word Conf. Earthquake Engineering*, 1965;3:181-194.
8. Boore DM, SMSIM Fortan programs for simulating ground motions from earthquakes: version 2.0 A Revision of OFR 96-80-A, U.S. GEOLOGICAL SURVEY, c2002.
9. Wen YK, Wu CL, Generation of Ground Motions for Mid-America Cities, *Mid-America Eathquake Center*, c1999.
10. Integrated DB Center of National Geotechnical Information, [Internet]. Available from : <https://www.geoinfo.or.kr/>
11. USGS, M 5.4 - 6km S of Kyonju, South Korea, [Internet]. [cited 2016 Oct 12]. Available from: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us10006plf#executive>