

Opendata 기반 포항 및 경주지진에 의한 건물손상 평가

Earthquake Damage Assessment of Buildings Using Opendata in the Pohang and the Gyeongju Earthquakes

임승현¹⁾ · 양범주²⁾ · 전해민^{3)*}

Eem, Seung-Hyun¹⁾ · Yang, Beomjoo²⁾ · Jeon, Haemin^{3)*}

¹⁾한국원자력연구원, 구조지진안전연구실, ²⁾한국과학기술연구원, 다기능구조용복합소재연구센터, ³⁾한밭대학교, 건설환경공학과

¹⁾Structural and Seismic Safety Research Team, Korea Atomic Energy Research Institute, ²⁾Multifunctional Structural Composite Research Center, Korea Institute of Science and Technology, ³⁾Department of Civil and Environmental Engineering, Hanbat National University

/ A B S T R A C T /

Severe earthquakes can cause damage to society both socially and economically. An appropriate initial response can alleviate damage from severe earthquakes. In order to formulate an appropriate initial response, it is necessary to identify damage situations in societies; however, it is difficult to grasp this information immediately after an earthquake event. In this study, an earthquake damage assessment methodology for buildings is proposed for estimating damage situations immediately after severe earthquakes. A response spectrum database is constructed to provide response spectra at arbitrary locations from earthquake measurements immediately after the event. The fragility curves are used to estimate the damage of the buildings. Earthquake damage assessment is performed from the response spectrum database at the building scale to provide enhanced damage condition information. Earthquake damage assessment for Gyeongju city and Pohang city were conducted using the proposed methodology, when an earthquake occurred on September 12, 2016, and November 15, 2017. Results confirm that the proposed earthquake damage assessment effectively represented the earthquake damage situation in the city to decide on an appropriate initial response by providing detailed information at the building scale.

Key words: Earthquake damage assessment, Pohang earthquake, Gyeongju earthquake, Response spectrum

1. 서론

지진은 광범위한 지역에 사회적 혹은 경제적으로 사회에 큰 영향을 미친다. 2016년 경주지진과 2017년 포항지진은 국내에 많은 경제적 손실, 인프라 손실과 이재민이 발생하였다. 지진강도가 강한 지진의 경우 인적 피해, 재산 피해 등으로 사회에 엄청난 파국적 영향을 줄 수 있다. 따라서 지진에 의한 사회적, 경제적 손실을 줄이기 위한 연구가 수행되고 있다[1, 2]. 이러한 노력의 한 부분은 지진 발생 후 피해를 완화하기 위한 지진피해평가이다[3].

지진피해평가는 과거에 발생한 지진 혹은 미래에 발생할 수 있는 지진에 대해 특정 지역의 지진피해를 평가한다. 이 평가는 정책 결정, 방재 계획, 재

도적 지원 또는 예방 시설 건설 계획에 유용하다. 그러나 이러한 영향을 정량화하기 위해서는 인구 및 자산, 신뢰할 수 있는 위험 구분 및 효과적인 피해 모델에 대한 정확한 정보가 필요하다[4]. 대표적인 지진피해평가 방법으로는 HAZUS-MH가 있다. 미국 연방 비상 사태 관리국(FEMA)에서 개발한 HAZUS-MH는 지리정보시스템(GIS)에 기반하여 지진피해를 평가하며, 재해에 대한 예방, 대응 및 복구 계획을 지원하고 지역 규모로 지진피해 평가를 수행한다[5].

지진 발생 후 손실을 완화하려면 적절한 초기 대응이 필요하다. 지진 피해 상황은 즉시 확인되어야 하며 초기 대응을 위해 적절한 의사결정이 내려져야 한다. 지진 피해 정보는 지진의 영향을 받는 지역, 피해규모, 건물의 손상 정도, 희생자수와 같은 다양한 정보가 포함될 수 있다. 이러한 지진 피해 정보는 지진에 의한 손실을 완화하기 위한 적절한 의사 결정을 위해 필요하다. 현장 조사는 지진 피해를 식별하는 가장 좋은 방법이지만 지진 발생 직후 현장 조사를 통해 피해 상황을 파악하는 것은 효과적이지 않다. 또한 기존에 수행

*Corresponding author: Jeon, Haemin

E-mail: hjeon@hanbat.ac.kr

(Received February 19, 2018; Revised March 22, 2018; Accepted March 27 2018)

되었던 지진 피해 평가, 지진 시나리오 또는 과거의 지진을 기반으로 한 지진피해 상황은 실제 지진 피해와 다를 수 있다. 그리고 대부분의 지진 피해 평가는 지역 규모에서 결과를 제공하기 때문에 자세한 피해 정보를 제공하지 않는다 [5, 6].

지진피해평가에서 중요한 것은 입력자료이며, 입력자료는 공간정보와 공공데이터이다. 공공데이터는 법으로 지정한 공공기관이 공공의 목적으로 수집한 데이터이다. 본 논문에서는 공개된 공공데이터를 Opendata로 정의한다. 민주시민에서 정부정책 및 방향에 대한 정보를 얻기 위해서는 공공데이터에 접근이 가능하여야 한다 [7]. 조사 한 바에 따르면 전세계적으로 Opendata Barometer를 설정하여 공공데이터를 공개하기 위해 많은 노력들을 하고 있다 [8, 9]. 본 연구에서는 공개된 공공데이터 즉, Opendata를 활용하여 지진피해 예측을 수행 하였다.

본 연구에서는 Opendata를 활용하여 간략화된 건물의 지진손상평가방법론을 제안한다. 건물의 지진손상평가는 특정지역의 지진피해를 평가하여 초기대응을 위한 피해상황을 제공하는 것을 목적으로 한다. 지진피해 정보는 건물 규모로 제공하여 지역 규모 산출물에 비해 더 자세한 정보를 제공할 수 있으며, 건물의 지진손상평가는 2016년 발생한 경주지진과 2017년 발생한 포항지진에 대해 각각 경주지역과 포항지역의 피해를 추정하였다.

2. 건물의 지진손상평가 방법론

2.1 응답스펙트럼 데이터베이스

지진피해평가에서 응답스펙트럼 데이터베이스는 피해평가를 위한 입력자료로 활용된다. 보통 지진피해평가를 위한 지진데이터는 주로 최대지반가속도 또는 특정 주기의 응답스펙트럼으로 구성된 위험지도를 사용한다. 하지만 최대지반가속도 또는 특정 주기의 응답스펙트럼에 의해 계산된 건물의 지진 응답은 대상 건물의 고유진동수와 다를 수 있기 때문에 정확한 정보를 제공하지 못할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 관측된 지진데이터를 이용하여 대상 건물 위치에서의 응답스펙트럼을 계산하고 이 데이터를 기반으로 지진피해평가를 수행한다.

응답스펙트럼 데이터베이스는 관측된 지진 이벤트로부터 임의의 위치에서 응답스펙트럼을 제공하도록 구성하였다. 응답스펙트럼 데이터베이스를 구축하려면 지진데이터가 필요하며, 국내의 경우 지진데이터는 기상청의 국가지진종합정보시스템(NECIS)에서 관리한다. 국가지진종합정보시스템은 지진데이터를 체계적으로 수집, 저장, 관리 및 공동 사용하는 것을 목표로 한다 [10]. 국가지진종합정보시스템에서 관리하는 지진관측소를 Fig. 1에 나타내었다. 총 156개의 지진관측소가 국내 대부분 지역에서 운영되며 가속도, 지자기 및 지진 속도에 대한 정보를 제공하며, 이 정보는 OPEN API를 통해 제공되는 Opendata이다.

응답스펙트럼 데이터베이스는 다음과 같이 구성된다. 지진이벤트에 대한 관측소에서 관측된 지진가속도 시간이력곡선을 사용하여 각 관측소의 응답스펙트럼을 계산한다. 다음 공간 회귀 분석을 통해 계산된 각 관측소의 응답스펙트럼으로부터 각 주파수 및 감쇠비에 대한 응답스펙트럼 지도를 작성한다. 응답스펙트럼 지도는 임의의 위치와 특정주기(T_0)에 대한 응답스펙트럼의 값을 제공한다. 응답스펙트럼 지도의 작성 개략도는 Fig. 2에



Fig. 1. Operating seismological observatories of the NECIS

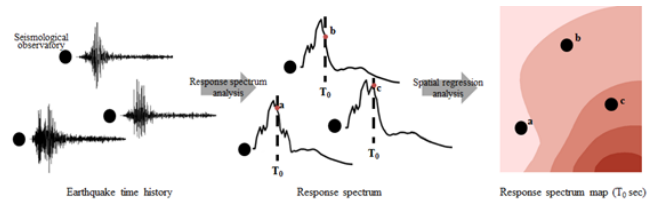


Fig. 2. Schematic drawing of the response spectrum map of a given period (T_0)

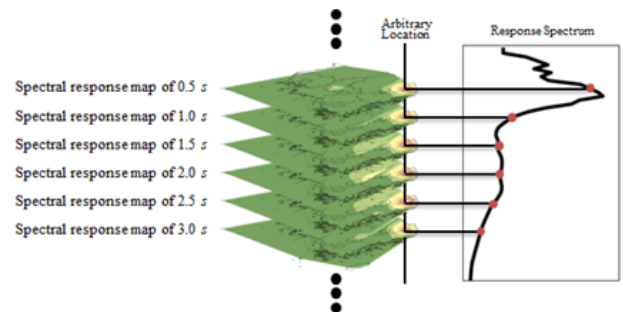


Fig. 3. Calculation of the response spectrum at an arbitrary location

나타내었다. 임의의 위치에서 응답스펙트럼을 얻기 위해서는 각 주기의 응답스펙트럼 지도가 필요하며 이는 Fig. 3과 같이 구성된다. 임의의 위치에서의 응답스펙트럼은 각 주기에 대한 응답스펙트럼 지도로부터 얻어진 응답스펙트럼 값을 주기별로 보간을 하여 얻을 수 있다.

응답스펙트럼 데이터베이스는 임의의 위치에서의 응답스펙트럼 제공을 목적으로 하며, 공간회귀분석을 수행함에 있어 지진관측소는 2차원 평면에 존재한다고 가정하였다. 보다 정확한 응답스펙트럼을 작성하기 위해서는 지반의 조건을 반영하여 고도, 부지증폭 효과, 지반-구조물 상호작용 효과 등을 고려하여야 하지만 본 연구에서는 고려하지 않았다. 또한 지진관측소에서 계측된 지진데이터로부터 공간회귀분석을 수행하여 진앙지 부근에서 계산된 값은 실제 발생한 지진응답 보다 일반적으로 낮게 나올 가능성이 있다.

2016년 9월 12일 발생한 경주지진과 2017년 11월 15일 발생한 포항지

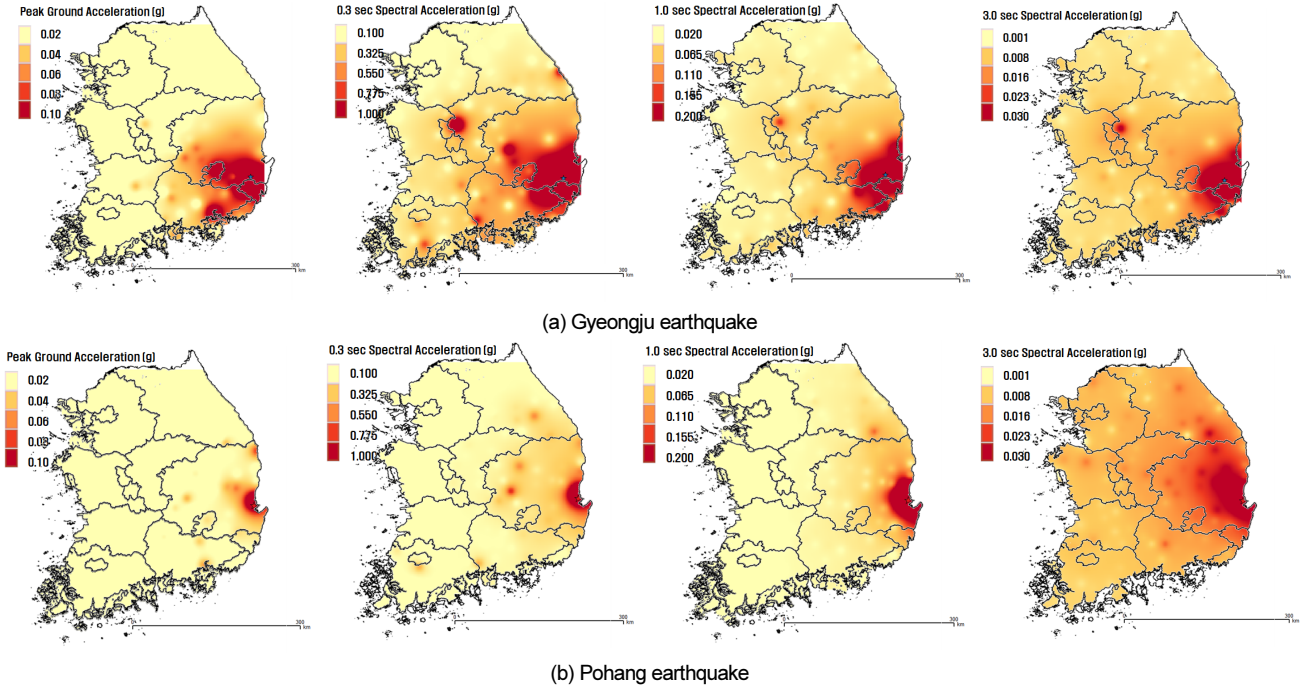


Fig. 4. Peak ground acceleration and spectral acceleration map

진에 대해 작성한 응답스펙트럼 지도는 각각 Fig. 4(a)와(b)에 나타내었다. 경주지진과 포항지진 모두 고진동수의 스펙트럴 가속도 값이 저진동수 스펙트럴 가속도 값보다 크며, 고진동수 영향범위가 상대적으로 저진동수 영향범위 보다 좁은 것을 알 수 있다. 상대적으로 포항지진은 저진동수 영향이 크고 경주지진은 고진동수 영향이 큰 것을 알 수 있다. 경주지진의 최대지반 가속도가 포항지진의 최대지반가속도 보다 더 컸으며, 그 영향범위가 더 넓은 것을 알 수 있다.

2.2 지진에 의한 건물의 손상 추정

본 절에서는 응답스펙트럼 데이터베이스와 건물 정보를 조합하여 건물의 지진피해평가 방법론을 제안한다. 지진피해평가 방법론은 건물규모로 피해정보를 전달하여 피해상황을 지역규모 피해정보 보다 많은 정보를 제공할 수 있다. 건물의 손상정도는 건물의 지진취약도 곡선을 활용하여 계산한다. 지진취약도 곡선은 특정 지진강도에서 건물의 손상상태에 대한 초과발생 확률을 나타낸다 [11, 12]. 지진 취약도 곡선은 다음 식 (1)에 따른다.

$$P[ds|S_d] = \Phi\left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln\left(\frac{S_d}{S_{d,ds}}\right)\right] \quad (1)$$

여기서 Φ 는 표준 정규 누적함수를 나타내며, 변수 $S_{d,ds}$ 는 손상상태 (ds: damage state)에서의 중앙값을 β_{ds} 는 손상상태에서의 대수정규분포의 표준편차를 나타낸다. 2009년 소방방재청에서 개발한 지진취약도 곡선을 사용하였다. 소방방재청에서 개발한 지진취약도 곡선은 41개의 구조유형에 대해 정의 되었으며, 4개의 코드 (Pre-code, Low-code, Moderate-code, High-code) 즉, 내진설계 수준에 따라 지진취약도 곡선을 제안하였다 [11]. 본 논문에서는 모든 건물에 Moderate-code의 지진취약도 곡선을 활용하여

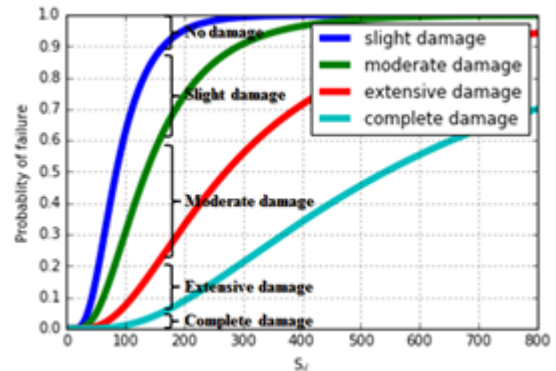


Fig. 5. Seismic fragility curve for a building based on a steel frame with cast-in-place concrete shear walls (S3H)

지진피해를 과소평가하고, 지진에 대한 피해를 완화하기 위한 절대적인 지진피해정보인 정보를 제공 못하지만 상대적인 지진피해정보와 대략적인 피해상황을 제공할 수 있다. Table 1은 Moderate-code의 지진취약도 변수를 나타내었다 [13]. Fig. 5는 Table 1의 콘크리트 전단벽 (S3H)이 있는 철골 모멘트 프레임 건물의 지진 취약도 곡선의 예를 보여준다.

건물의 손상평가를 지진 취약도 곡선을 활용하여 수행하기 위하여 건물의 지진응답이 필요하며 건물의 지진응답은 응답스펙트럼 데이터베이스와 건물의 고유주기를 통해 계산된다. 건물의 고유주기 (T_n (sec))은 다음 식 [14]에 의해 계산된다.

$$T_n = C_T h_n^{3/4} (s) \quad (2)$$

여기서, $C_T=0.085$: steel moment frame

$C_T=0.073$: concrete moment frame and steel moment frame

Table 1. Parameters for seismic fragility curves [13]

(units: mm)

No.	Structural code	Structural types	floors	Slight damage		Moderate damage		Extensive damage		Complete damage	
				Med.	SD	Med.	SD	Med.	SD	Med.	SD
1	W1	Traditional wood structure	All	10.3	0.86	25.5	0.77	79.0	0.66	193.5	0.69
2	W2	Wood structure	All	12.9	0.67	32.3	0.76	64.5	0.70	96.8	0.72
3	S1L	Steel moment frame	1~5	41.7	0.53	66.8	0.55	238.5	0.69	477.0	0.75
4	S1M	Steel moment frame	6~15	97.0	0.54	155.2	0.49	554.4	0.72	1108.8	0.81
5	S1H	Steel moment frame	16+	118.1	0.53	189.0	0.52	675.0	0.61	1350.0	0.67
6	S2L	Steel braced frame	1~5	28.5	0.53	45.5	0.54	136.6	0.63	182.2	0.65
7	S2M	Steel braced frame	6~15	70.1	0.56	112.2	0.59	336.5	0.72	448.6	0.73
8	S2H	Steel braced frame	16+	86.9	0.55	139.0	0.53	417.0	0.53	556.0	0.55
9	S3L	Steel frame with cast-in-place concrete shear walls	1~5	28.7	0.67	45.8	0.72	91.7	0.73	183.4	0.77
10	S3M	Steel frame with cast-in-place concrete shear walls	6~15	70.7	0.60	113.1	0.67	226.2	0.76	452.5	0.80
11	S3H	Steel frame with cast-in-place concrete shear walls	16+	84.7	0.52	135.5	0.60	271.0	0.69	542.0	0.74
12	S4L	Steel-framed reinforced concrete structure	1~5	58.5	0.69	93.7	0.74	234.2	0.77	468.3	0.81
13	S4M	Steel-framed reinforced concrete structure	6~15	71.0	0.62	113.6	0.69	227.2	0.76	454.4	0.80
14	S4H	Steel-framed reinforced concrete structure	16+	84.6	0.54	135.3	0.64	270.7	0.71	541.4	0.74
15	C1L1	Concrete moment frame	1~2	34.4	0.71	55.1	0.72	110.1	0.77	220.3	0.81
16	C1L2	Concrete moment frame	3~5	57.3	0.66	91.6	0.71	183.3	0.75	366.5	0.80
17	C1M	Concrete moment frame	6~15	121.1	0.59	193.8	0.65	387.5	0.70	775.0	0.77
18	C1H	Concrete moment frame	16+	148.1	0.53	237.0	0.60	473.9	0.65	947.8	0.72
19	C2L1	Unreinforced masonry bearing walls with concrete moment frame	1~2	8.7	0.52	17.5	0.71	116.4	0.82	232.8	0.83
20	C2L2	Unreinforced masonry bearing walls with concrete moment frame	3~5	15.0	0.47	30.0	0.60	200.0	0.81	400.0	0.82
21	C2M	Unreinforced masonry bearing walls with concrete moment frame	6~15	25.6	0.54	51.2	0.64	341.5	0.80	683.0	0.83
22	C2H	Unreinforced masonry bearing walls with concrete moment frame	16+	31.2	0.54	62.4	0.51	415.8	0.81	831.7	0.82
23	C3L1	Concrete shear walls	1~2	9.8	0.50	19.5	0.59	39.0	0.67	78.0	0.74
24	C3L2	Concrete shear walls	3~5	19.5	0.49	39.0	0.56	78.0	0.62	156.0	0.74
25	C3M	Concrete shear walls	6~15	39.0	0.52	78.0	0.52	156.0	0.62	312.0	0.70
26	C3H	Concrete shear walls	16+	39.0	0.53	78.0	0.49	156.0	0.56	312.0	0.69
27	C4L1	Concrete shear walls with concrete moment frame	1~2	13.0	1.05	26.0	0.97	52.1	0.83	104.1	0.81
28	C4L2	Concrete shear walls with concrete moment frame	3~5	24.0	0.74	48.0	0.71	95.9	0.73	191.8	0.76
29	C4M	Concrete shear walls with concrete moment frame	6~15	43.6	0.53	87.2	0.62	174.5	0.68	348.9	0.71
30	C4H	Concrete shear walls with concrete moment frame	16+	53.7	0.50	107.4	0.59	214.7	0.67	429.4	0.72
31	C5L	Piloti-type RC shear wall structures	1~5	26.9	0.62	53.8	0.70	86.2	0.77	172.3	0.82
32	C5M	Piloti-type RC shear wall structures	6~15	50.2	0.52	100.4	0.63	160.6	0.71	321.3	0.79
33	C5H	Piloti-type RC shear wall structures	16+	61.0	0.50	121.9	0.58	195.1	0.64	390.2	0.68
34	PC1L1	Precast concrete shear walls	1~2	9.8	0.45	19.5	0.59	31.2	0.70	62.4	0.80
35	PC1L2	Precast concrete shear walls	3~5	13.0	0.51	26.0	0.49	41.6	0.60	83.2	0.76
36	PC1M	Precast concrete shear walls	6+	29.3	0.54	58.5	0.49	93.6	0.54	187.2	0.68
37	PC2L1	Concrete shear walls with precast concrete moment frame	1~5	24.0	0.75	48.0	0.74	76.7	0.76	153.4	0.79
38	PC2L2	Concrete shear walls with precast concrete moment frame	6~15	43.6	0.53	87.2	0.65	139.6	0.69	279.1	0.74
39	PC2M	Concrete shear walls with precast concrete moment frame	16+	53.7	0.48	107.4	0.61	171.8	0.68	343.6	0.77
40	URML	Unreinforced masonry bearing walls	1~2	12.0	0.56	24.0	0.59	40.0	0.66	60.0	0.69
41	URMM	Unreinforced masonry bearing walls	3+	18.0	0.51	36.0	0.52	60.0	0.59	90.0	0.64

$C_T = 0.049$: other structure types

h_n : building height (m)

건물의 손상률은 건물의 각 손상상태에 대한 초과발생확률로부터 계산

이 가능하다. Table 1은 건물의 손상상태에 따른 초과발생확률로, 4가지 손상상태에 대해 정의한 것이다. 본 연구에서 사용된 손상상태의 정의는 Table 2에 제시되었다[13]. Table 2의 건물 손상상태 발생확률은 식(3)에 의해 계산이 된다.

Table 2. Damage state descriptions

Damage state	Description
Slight damage	Spectral displacement corresponding to 70% of the yield point
Moderate damage	Spectral displacement corresponding to the yield point
Extensive damage	Spectral displacement that divides the reference spectral displacement of moderate damage and complete damage by 1:3
Complete damage	Spectral displacement corresponding to 80% of the ultimate strength point

Table 3. Expected loss ratio of each damage state, μ_{D,DS_i} [15]

Damage state	Expected loss ratio, μ_{D,DS_i}
Slight Damage	0.5
Moderate Damage	15.5
Extensive Damage	55
Complete Damage	90

$$P[DS = no\ damage] = 1 - P[DS > slight] \tag{3}$$

$$P[DS = slight] = P[DS > moderate] - P[DS > slight]$$

$$P[DS = moderate] = P[DS > extensive] - P[DS > moderate]$$

$$P[DS = extensive] = P[DS > complete] - P[DS > extensive]$$

$$P[DS = complete] = P[DS > complete]$$

식(3)에서 계산된 각 손상상태의 발생확률을 바탕으로 건물의 손상률을 계산할 수 있으며, 이는 식(4)와 같다 [15].

$$\mu_d = \sum_{i=1}^4 [P(DS_i) \mu_{D,DS_i}] \tag{4}$$

여기서 $P(DS_i)$ 는 각 손상상태의 발생확률을 의미하며, μ_{D,DS_i} 는 각 손상상태에 대한 기여도를 나타낸다. 각 손상상태 μ_{D,DS_i} 의 기여도는 Table 3에 나타내었다.

3. Opendata를 활용한 건물의 지진손상평가 적용

본 장에서는 경주지진에 의한 경주지역 건물의 피해예측 및 포항지진에 의한 포항북구 지역 건물의 피해예측을 수행 하였다. 건물의 지진피해평가를 수행하기 위한 입력자료는 Opendata를 활용하였으며, 오픈소스 GIS인 QGIS를 활용하여 피해를 추정하였다. 입력자료로 활용한 Opendata는 연구목적에 맞게 수정하여 지진에 의한 피해를 추정하였다.

3.1 경주지진의 지진피해평가

2016년 9월 12 20:32:54 (KST) 경북 경주시 남서쪽 8 km (북위 35.77도, 경도 129.18도) [16]에 5.8 규모의 지진이 발생했다. 경주 지역은 수정된

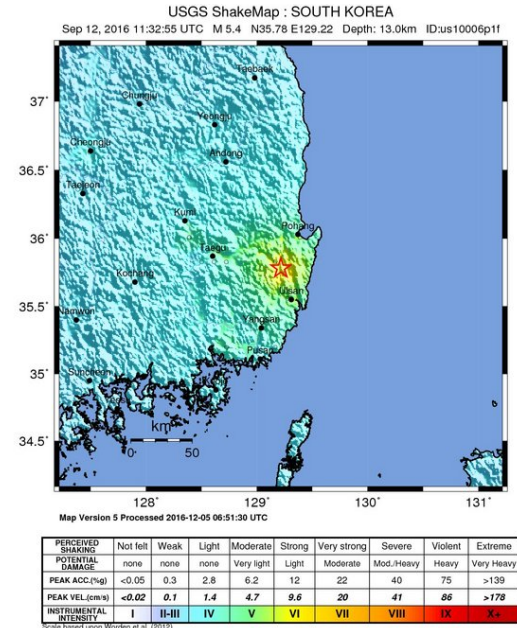


Fig. 6. Epi-center and shake map of the September 12, 2016 Gyeongju earthquake [17]

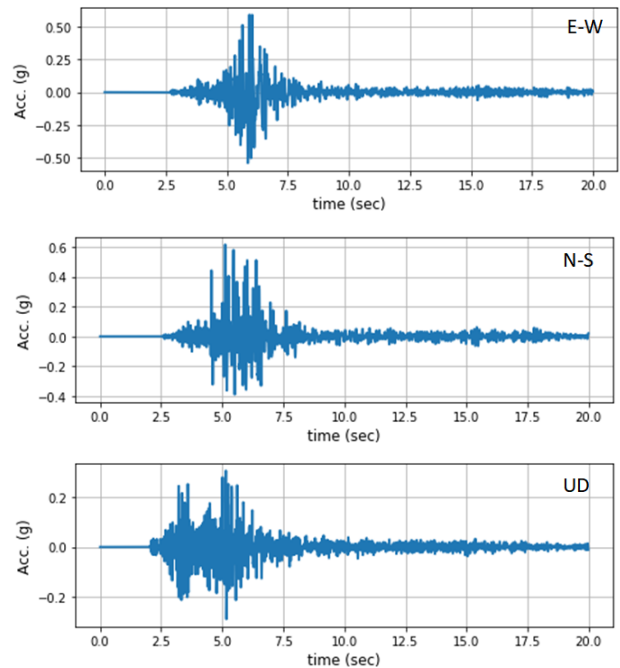


Fig. 7. Gyeongju earthquake measured form USN station

Merkalli 강도 (MMI) 척도에서 진도 7을 경험했다. 경주지진은 국내에서 지난 20년간 발생한 지진 중 가장 큰 규모 이었다. 경주지진으로 23명 이 다쳤고 111명의 이재민이 발생하였으며, 9,368개소의 시설피해가 발생하였다 [18]. Fig. 6는 경주 지진의 진앙지와 셰이크 맵이다 [16, 17].

진앙지에서 약 8.8 km 떨어진 곳에 있는 가장 가까운 지진 관측소 인 울산 관측소 (USN : 35.7024° N, 109.1232° E)의 지진 가속도 시간 기록 곡선을 Fig. 7에 나타내었다. 최대지반가속도는 0.6 g를 상회하며 강진지속 시간간은 (Arias intensity) 1.3~2.4초로 계산되었다.

경주지역의 지진피해를 평가하기 위해 경주지역의 지리정보시스템을 구축하였다. 경주지역의 지리정보시스템은 90 m 해상도의 디지털 고도 모델, 건물, 도로, 센서스 정보가 사용되었다. Fig. 8은 구축된 지리정보시스템과 디지털 고도 데이터이다.

경주지역의 지진피해평가는 지리정보시스템과 응답스펙트럼 데이터베이스를 중첩하여 건물의 손상률을 계산하였다. Fig. 9는 경주와 경주시청 주변의 경주지진에 의한 건물의 손상률을 나타내었다.

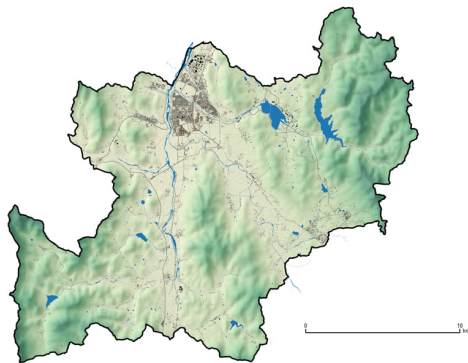
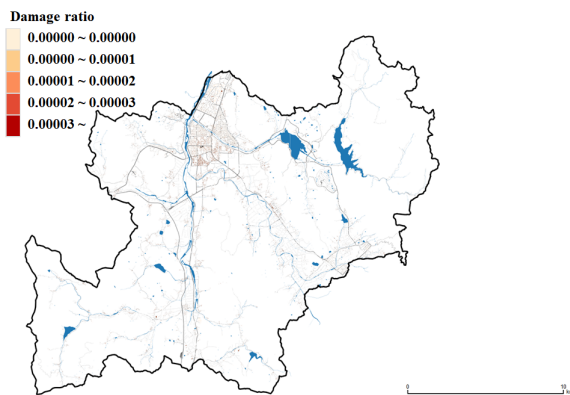
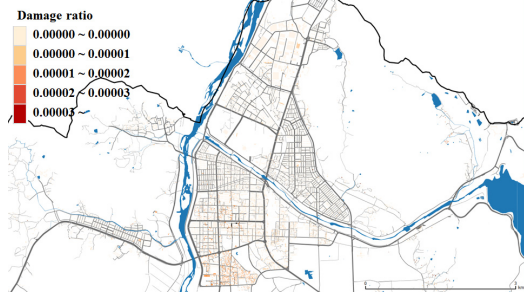


Fig. 8. Geographic Information System for Gyeongju area



(a) Gyeongju area



(b) Gyeongju cityhall area

Fig. 9. Damage ratio of Building due to the Gyeongju earthquake

3.2 포항지진의 지진피해평가

2017년 11월 15일 14:29:31 (KST) 경북 포항시 북구 북쪽 9 km (36.12° N, 129.36° E)에 5.4 규모의 지진이 발생했다 [16]. 경주지역과 마찬가지로 포항지역 또한 수정된 Merikalli 강도(MMI) 척도에서 진도 7을 경험했다.

포항지진은 국내에서 관측된 지진 중 2016년 발생한 경주지진 다음으로 규모가 큰 지진이다. 포항 지진으로 92명의 피해자 1,797명의 이재민이 발생하였으며, 27,317개소의 시설피해가 발생하였다 [18]. Fig. 10는 포항 지진의 진앙지와 셰이크 맵이다 [16, 17].

진앙지에서 약 9.3 km 떨어진 곳에 있는 가장 가까운 지진 관측소 인 포항 관측소(PHA2 : 36.194° N, 129.3708° E)의 지진 가속도 시간 기록 곡선을 Fig. 11에 나타내었다. 최대지반가속도는 0.2 g를 상회하며 경주지진과 강진지속시간을 비교시 상대적으로 더 긴 것을 알 수 있다.

포항지역의 지진피해를 평가하기 위해 포항시 북구지역의 지리정보시

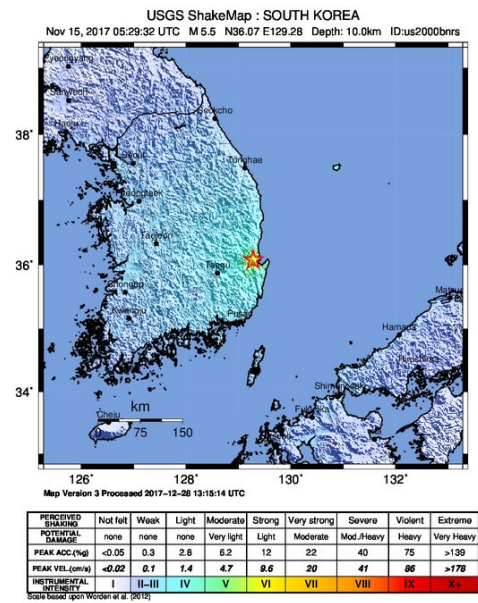


Fig. 10. Epi-center and shakemap of the November 15, 2017 Pohang earthquake [16]

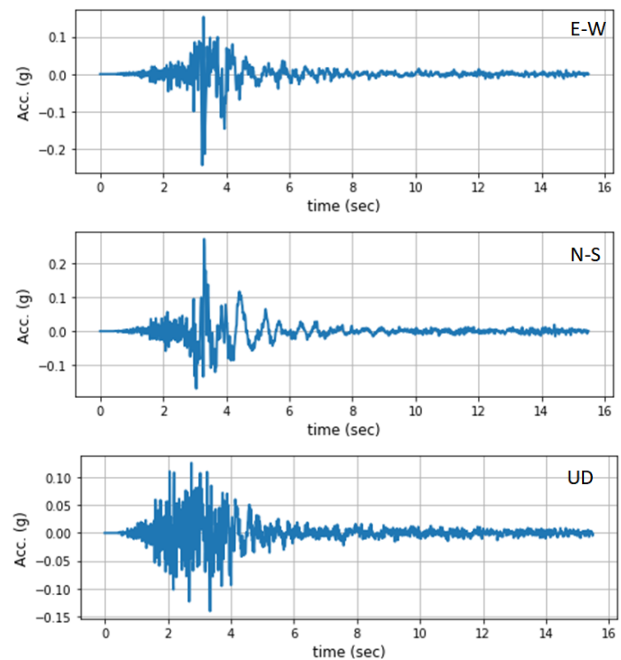


Fig. 11. Pohang earthquake measured form PHA2 station

시스템을 구축하였다. 포항시 북구의 지리정보시스템은 경주지역과 마찬가지로 90m 해상도의 디지털 고도 모델, 건물, 도로, 센서스 정보가 사용되었다. 포항시 북구의 지리정보시스템과 디지털 고도 데이터는 Fig. 12에 나타내었다.

포항시 북구의 지진피해정보는 포항시 북구의 지리정보시스템과 응답스펙트럼 데이터베이스를 중첩하여 건물의 손상률을 계산하였다. Fig. 13은 포항시 북구지역과 포항지진 진앙지와 가까운 인구밀집 지역(포항시 북구 장량동)의 포항지진에 의한 건물손상 정도를 나타내었다.



Fig. 12. Geographic Information System for Pohang area

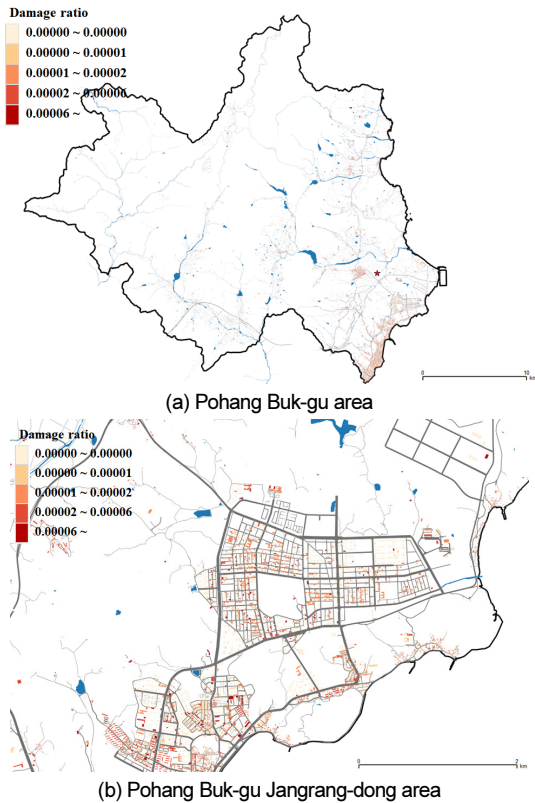


Fig. 13. Damage ratio of Building due to the Pohang earthquake

3.3 비교 및 논의

경주지진과 포항지진은 국내에 큰 피해를 주었으며, 이 두 지진으로 인

하여 지진에 대한 경각심이 고조 되었다. 행정안전부의 발표에 의하면 포항지진이 경주지진보다 지진규모는 작았지만 그 피해는 경주지진 보다 피해 규모는 더 컸다 [18].

경주지진과 포항지진에서 각각 가까운 지진관측소에 관측된 지진을 응답스펙트럼을 작성하면 Fig. 14와 같다. 포항지진은 경주지진보다 최대지반가속도 값은 작지만 수평방향에서 주기 0.5~1.5 sec, 상하방향에서 주기 0.25~0.5 sec에서 부지증폭이 발생하는 것을 알 수 있다. 포항지역은 퇴적지층으로 알려져 있어 부지증폭 효과가 발생하여 그 피해가 더 컸을 것으로 추정할 수 있으며, 포항지진의 진원깊이가 경주지진 보다 얕고 진앙지 위치가 인구밀집지역에 가까워 그 피해가 컸을 것으로 추정된다.

본 연구에서는 Opendata를 활용하여 초기대응을 위한 건물의 지진피해 평가 방법론을 제안하고 포항지진과 경주지진에 대해 건물의 손상률을 추정하였다. 그 결과 건물의 손상률은 Moderate code를 활용하여 계산하므로, 두 지진에 대한 피해를 과소평가를 하는 것을 확인할 수 있었다. 보다 정확한 지진피해추정을 위해서는 각 건물의 시공 당시 적용한 내진설계기준을 분석하여 건물에 맞는 지진 취약도를 적용하여 함을 알 수 있다. 그리고 제안한 방법은 건물의 구조적 손상 평가만을 수행하며, 비구조적 손상을 계산하지 않는다. Table 4는 제안한 방법론으로 계산된 건물 손상률을 이용하여 예측한 경주지역과 포항지역의 지진피해평가 결과이다. 포항지진과 경주지진을 비교하면 포항지역의 피해가 경주지역의 피해보다 큰 것을 알 수 있다. 경주지역의 건물이 포항시 북구지역의 건물의 개수는 더 적으며 손상이 발생하지 않은 건물이 경주 지역에 더 많은 것을 알 수 있다. 경주지역 건물의 층수가 낮고 고유주기 또한 포항지역의 건물에 비해 작은 것을 알 수 있다.

본 연구에서 제안된 건물의 지진손상평가 방법론은 지진에 의한 건물의 손상률을 평가하며, 이 정보는 지진 발생으로 인한 피해를 완화하기 위해 초기 대응을 위해 신속하게 제공 될 수 있다. Figs. 9와 13에서 보여주듯이, 피

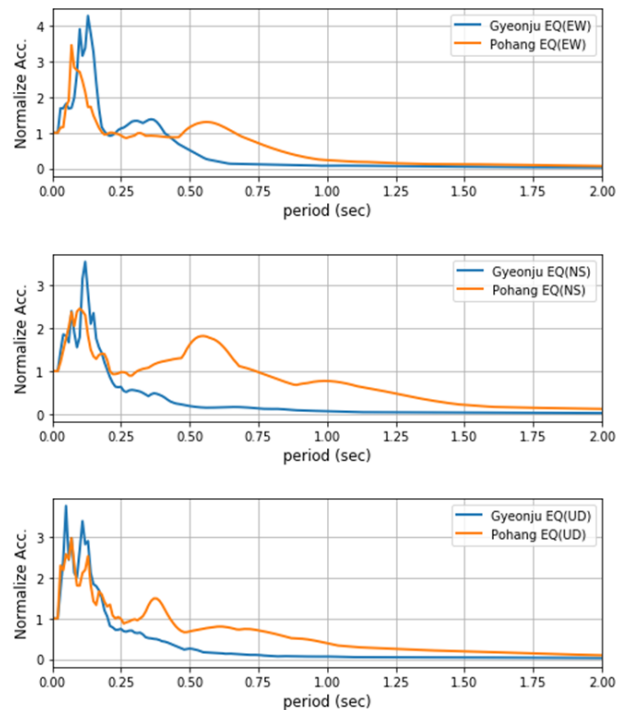


Fig. 14. Response spectrum

Table 4. Eartquake damage assessment of the Gyeongju earthquake and the Pohang earthquake

	Gyeongju earthquake	Pohang earthquake
Total number of Buildings	25577	33482
Number of No damage buildings	25440	12259
Average of floor stories	1.65	2.14
Average of natural period of buildings	0.05 sec	0.28 sec

해예측은 어느 지역의 피해가 심한지, 지진 희생자 수 및 경제적 손실을 대략적으로 추정할 수 있게 도와준다. 이러한 정보는 얼마나 많은 피난처가 필요한지, 구조 팀을 처음으로 보낼 곳 등을 결정할 수 있다. 또한 제안된 지진피해평가 방법은 지역 규모가 아닌 건물 규모에서보다 자세한 피해 정보를 제공한다. 제안된 방법론은 자연 재해 관리 및 적응 계획에서 의사 결정을 향상시킬 잠재력을 가지고 있다.

4. 결론

지진은 사회 경제적으로 많은 피해를 발생시키며, 지진으로 인한 피해를 줄이기 위해서는 적절한 초기대응이 필요하다. 적절한 초기대응을 위해서는 피해상황 파악을 통해서 의사결정이 이루어져야 하나, 지진발생 직후 피해 상황을 파악하는 것은 매우 어렵다. 본 논문에서는 Opendata를 활용하여 신속히 지진에 의한 피해를 추정할 수 있는 건물의 지진손상평가 방법론을 제안한다. 지진이 발생하면 지진 데이터로부터 임의의 위치에서 응답 스펙트럼을 얻기 위해 응답스펙트럼 데이터베이스를 구축한다. 응답스펙트럼 데이터베이스는 임의의 위치에서의 응답스펙트럼을 제공하여 건물의 응답을 추정할 수 있게 한다. 경주지진과 포항지진에 대해 응답스펙트럼 지도를 작성하였으며 그 특성을 비교 분석 하였다. 추정된 건물의 응답은 지진취약도 곡선을 통해 건물의 손상정도를 추정한다. 지진 피해추정 결과를 건물규모로 제공하여 적절한 초기 대응을 위한 피해 정보를 제공한다. 건물의 지진손상평가 방법론은 2016년 발생한 경주지진과 2017년 발생한 포항지진에 대해 각 지역의 건물 손상률을 추정하였다. 제안한 방법론은 건물 규모의 지진 피해에 대한 정보를 즉시에 제공할 수 있음을 보여 주었으며, 제공된 건물 규모의 정보가 지역 규모의 접근 방식보다 지진 피해에 대한 자세한 정보를 제공한다는 것이 확인되었다. 지진 발생 후 초기 대응을 위해 피해정도를 상대적으로 알려주어 적절한 의사결정을 위한 정보를 제공함을 확인 하였다. 또한 제안된 방법은 지진 피해를 완화하기 위한 재난 관리 및 정책 결정을 향상시키기 위한 상세한 정보를 제공할 수 있다.

/ 감사의 글 /

본 논문은 “복합자연재해 리스크 평가 기술 개발” 연구의 일환으로 수행되었음 (NRF-2017M2A8A4015290).

/ REFERENCES /

1. Tseng CP, Chen CW, Natural Disaster Management Mechanisms for Probabilistic Earthquake Loss, *Natural Hazards*, 2012;60(3):1055–1063.
2. Bruneau M, Chang SE, Eguchi RT, et al. A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities, *Earthquake Spectra*, 2003;19(4):733–752.
3. Ferreira TM, Maio R, Vicente R, Costa A, Earthquake Risk Mitigation: The Impact of Seismic Retrofitting Strategies on Urban Resilience, *International Journal of Strategic Property Management*, 2016;20(3):291–304.
4. Sahar L, Muthukumar S, French SP. Using Aerial Imagery and GIS in Automated Building Footprint Extraction and Shape Recognition for Earthquake Risk Assessment of Urban Inventories, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2010;48(9):3511–3520.
5. Scawthorn C, Blais N, Seligson H, Tate E, Mifflin E, Thomas W, Murphy J, Jones C. HAZUS–MH Flood Loss Estimation Methodology. I: Overview and Flood Hazard Characterization, *Natural Hazards Review*, 2006;2(60):60–71.
6. Frigerio I, Ventura S, Strigaro D, et al. A GIS-based Approach to Identify the Spatial Variability of Social Vulnerability to Seismic Hazard in Italy, *Applied Geography*, 2016;74:12–22.
7. Eem SH, Yang BJ, Jeon H. Simplified Methodology for Urban Flood Damage Assessment at Building Scale Using Opendata, *JCR* 2018 Accepted.
8. Davies T, Sharif RM, Alonso JM. Open Data Barometer Global Report, *World Wide Web Foundation and Data Institute*, c2015.
9. Canares M, Maail G, Pawelke A, Robinson K. Open Data Barometer Regional Report: East Asia and the Pacific, *World Wide Web Foundation*, c2016.
10. Song TJ. Information Inside: National Earthquake Comprehensive Information System, *Convergence of Earthquake and IT*, *Local Informatization*, 2014;87:42–45.
11. Eem SH, Jung HJ, Kim MK, Choi IK. Seismic Fragility Evaluation of Isolated NPP Containment Structure Considering Soil–structure Interaction Effect, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 2013;17(2):53–59.
12. Shinozuka M, Feng MQ, Lee J, Naganuma T. Statistical Analysis of Fragility Curves, *Journal of Engineering Mechanics*, 2000;126(12):1224–1231.
13. National Emergency Management Agency. Development of seismic fragility function for buildings in Korea, *Report*, c2009.
14. Architectural institute of Korea, CODE, Korea Building, Ministry of Land, Transport and Maritime, c2009.
15. Bai JW, Hueste MD, Gardoni P. Probabilistic Assessment of Structural Damage due to Earthquakes for Buildings in Mid–america, *Journal of Structural Engineering*, 2009;135(10):1155–1163.
16. Korea Meteorological Administration, Earthquake Notification – 2016, 9, 12 20:37, *Official notice*, c2016.
17. The U.S. Geological Survey [Internet]. [cited 2018 Feb 6]. Available from: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/e>
18. Central Disaster Safety Measures Headquarters, Press Releases: Recovery cost of Pohang earthquake, c2017 Dec 6.

1. Tseng CP, Chen CW, Natural Disaster Management Mechanisms for