

Hazus-MH 방법을 이용한 대구시 교량의 시나리오 지진에 의한 피해 예측

Scenario-Based Earthquake Damage Estimation of Bridge Structures in Daegu City Using Hazus-MH Methodology

김 시 윤*
Siyun Kim

김 승 직**
Sung Jig Kim

장 준 호***
Chunho Chang

Abstract

The paper presents the damage estimation of bridge structures in Daegu city based on the scenario-based earthquakes. Since the fragility curves for domestic bridge structures are limited, the Hazus methodology is employed to derive the fragility curves and estimate the damage. A total of four earthquake scenarios near Daegu city are assumed and structure damage is investigated for 81 bridge structures. The seismic fragility function and damage level of each bridge had adopted from the analytical method in HAZUS and then, the damage probability using seismic fragility function for each bridge was evaluated. It was concluded that the seismic damage to bridges was higher when the magnitude of the earthquake was large or nearer to the epicenter.

Keywords : Bridge structures, Seismic fragility analysis, Earthquake scenario, Seismic damage estimation

1. 서론

최근 국내·외 지진으로 인해 많은 구조물에 피해가 발생하고 있다. 특히 국외에 비해 지진으로부터 안전하다고 생각한 국내에서 1978년 지진 계측 이래 최대 규모 5.8의 경주 지진(2016) 및 규모 5.4의 포항 지진(2017)이 발생하였다. 포항 지진의 경우 고속국도 교량 5개소와 국도 및 지방도 교량 7개소의 교량 받침 손상 등 총 12개소 교량이 피해를 입은 것으로 확인되었다. 당시 발생한 피해는 해당 교량의 통행에 직접적인 지장을 주지 않았으나 일부 교량에서는 보수 기간 동안 속도 제한 등이 실시되었다¹⁾.

특히 최근 지진이 발생한 경주와 포항에 인접한 대구시는 지진 발생 빈도가 높은 경북 지역에서 가장 많은 인구가 밀집되어 있으므로 지진 발생 시 시

설물 및 인명 피해가 크게 발생할 수 있다. 또한 많은 교량이 위치한 대구시에 지진과 같은 자연재해 발생 시 신속히 대응할 수 없다면 교통에 큰 영향을 미치며, 추가적인 피해를 야기할 수 있다. 따라서 대구시와 같은 대도시에 발생 가능한 지진에 의한 교량의 피해를 예측함으로써 지진 발생 시 신속한 대응을 통해 교통체계를 유지하고 추가적인 피해를 방지하는 것은 매우 중요하다.

지진 피해 예측 연구는 지진 시나리오를 선정하는 분야와 해당 지진에 의한 피해를 예측 및 분석하는 분야로 나눌 수 있다. 즉, 발생 가능한 지진 규모에 따른 해당 지역 구조물의 피해를 예측하는 것이다. 현재 미국의 방재 기관인 Federal Emergency Management Agency(FEMA)에서는 오랜 기간 동안 지진 뿐 아니라 허리케인과 홍수 등 여러 자연재해에 대한 시나리오 연구를 진행해 왔으며, Hazus(Hazard U.S.) 프로그램을 개발하여 각종 자연재해에 대한 피해를 예측하고 있다²⁾. 국내에서도 (구)소방방재청에서 지진 재해 대응 시스템을 개발하여 지진으로 인한 피해를 예측할 수 있도록 시스템을 마련하였으나 소프트웨어가 외부에 공개되어

* 정회원, 계명대학교 건축공학전공, 박사수로

Dept. of Architectural Engineering, Keimyung Univ.

** 교신저자, 정회원, 계명대학교 건축공학전공 부교수, 공학박사

Dept. of Architectural Engineering, Keimyung Univ.

Tel: 053-580-5273 Fax: 053-580-5165

E-mail: sjkim4@kmu.ac.kr

*** 정회원, 계명대학교 토목공학전공, 공학박사

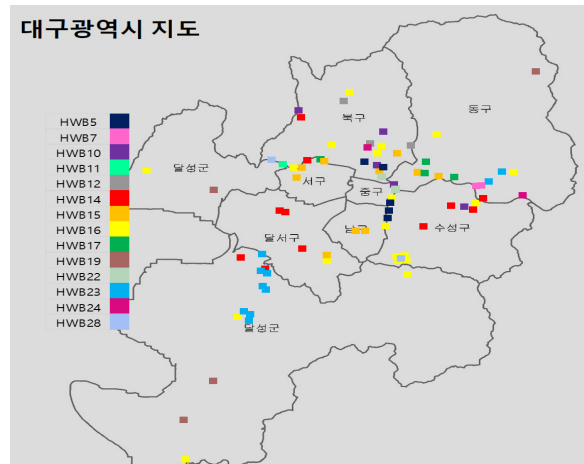
Dept. of Civil Engineering, Keimyung Univ.

있지 않으며, 소프트웨어 내부에 접근하더라도 시설물의 개수 및 위치, 구조적 특성과 같은 정보를 수정하여 실행하는 것이 불가능하다. 이에 따라 최근 국내 지진 재해 대응 시스템이 아닌 Hazus의 평가 기법을 활용하여 서울시 강남구에 대한 지진 피해 예측을 연구한 사례도 있다³⁾. 교량의 경우 특정 지역의 시설물 정보만 있고, 대구 지역의 교량 정보에 대한 존재 및 신뢰성은 낮다고 판단된다. 교량에 대한 지진 취약도 함수 개발 연구는 일부 교량에 한정되어 있고^{4,5)}, 특히 교량에 대한 지진 피해 예측 관련 연구는 서울시 및 울산시를 대상으로 수행되었으며 다른 지역에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 대구시에서 발생 가능한 지진 시나리오를 선정하고, 이에 따른 대구시 1종 교량 42개소 및 2종 교량 39개소로 총 81개소 교량의 구조물 손상 수준을 예측하였다. 지진 시나리오에 따른 각 교량 위치별 응답 가속도는 국내에서 개발된 지진과 감쇠식을 이용하였으며, 각 교량별 지진 취약도 함수 및 손상 수준은 Hazus의 분석 기법을 활용하였다. Hazus는 미국의 시설물과 지반 및 지진학적 특징을 표준화하여 개략적인 피해 수준을 예측하므로 국내에 적용할 경우 실제 피해 수준과 다소 상이할 수 있다. 그러나 국내 도로교의 내진 설계 기준이 미국의 교량 설계 기준인 AASHTO와 유사하고 다양한 형식의 교량에 대하여 현재 활용 가능한 국내 교량 취약도 함수가 미비하므로, 본 연구에서는 활용 가능한 최신 기법을 적용하고 분석하여 대구시 교량의 지진 피해를 예측하는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 교량 형식의 분류

한국시설안전공단의 시설물정보관리종합시스템(FMS)에서 제공하는 데이터와 대구시 시설안전관리사업소에서 보관하고 있는 교량 도면을 바탕으로 대구시의 교량 구조 형식을 조사하였으며, 웹 시스템 상의 좌표를 이용하여 교량의 위치를 확인하였다. 대구시의 81개 도로교의 분포는 <Fig. 1>과 같으며, 각 교량별 형식은 Hazus에서 분류하는 교량 형식을 따라 분석하여 표시하였다.



<Fig. 1> Distribution by type of bridge in Daegu

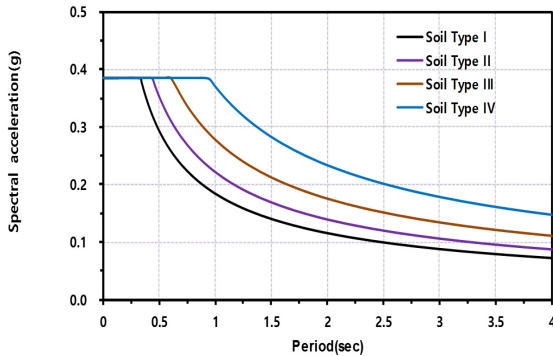
Hazus는 지진 취약도 곡선을 산정하기 위해 연도, 최대 경간 길이, 내진 설계 유무 및 구조 형식에 따라서 교량을 28개의 형식(HWB1~HWB28)으로 구분하고 있으며, 대구시에 존재하는 81개소 교량을 이 형식에 따라 분류하였다.

3. 지진 시나리오 선정 및 응답 가속도 예측

3.1 국내 내진 설계 기준

국내 건축물은 건축구조기준(2016)을 따르고 있으며, 설계 지진을 2,500년 재현 주기 지진의 2/3 크기로 정의하고 있다⁶⁾. 2,500년 재현 주기 지진의 2/3 크기는 도로교에서 정의하는 1,000년 재현 주기와 유사한 지진 위험도를 나타낸다.

현행 도로교 내진 설계 기준의 상세 규정은 미국 서부의 강진 지역에서 사용되고 있는 AASHTO의 규정을 도입하였으며 재현 주기 1,000년의 지진에 대하여 설계 스펙트럼을 제시하고 있다⁷⁾. 또한 대구시에 위치한 내진 I 등급 교량에 대하여 설계 지반 가속도 값을 0.14g로 설정하고 있으며, 지반 계수 및 지반의 분류에 따라 응답 증폭을 고려하도록 제시하고 있다. 이를 바탕으로 대구시 도로교에 대한 지반별 설계 스펙트럼은 <Fig. 2>와 같다.



<Fig. 2> Design spectrum

3.2 지진 시나리오 선정

국내와 같은 중·약진 지역에서 규모 6.0 이상의 지진이 발생할 확률은 매우 희박하다고 보고되고 있다. 1978년 지진 계측 이래 발생한 최대 규모의 지진은 2016년에 발생한 규모 5.8의 경주 지진이었으며, 미국 지질조사국(USGS)에서 계측한 지진 중 한반도에 발생한 최대 지진은 1952년 평양 인근에서 발생한 규모 6.3의 지진이였다.

따라서, 본 연구에서는 2010년 이후 대구시 인근에서 발생한 지진 중 대표적인 2개소의 위치를 선정하여 규모 6.0과 6.5의 지진이 각각 발생한다고 가정하였으며, 진원의 깊이는 상대적으로 얇은 한반도 지각 두께를 고려하여 10km로 가정하였다. 지진 시나리오는 <Table 1>과 같이 4개의 경우로 나타냈다.

<Table 1> Details of assumed earthquake scenarios

Scenario No.	M_w	Depth (km)	Latitude (N)	Longitude (E)
#1	6.0	10	35.77	128.53
#2	6.5	10		
#3	6.0	10	35.87	128.67
#4	6.5	10		

<Table 1>에서 가정된 지진 시나리오에 따른 각 교량 위치에서의 응답 스펙트럼을 산정하기 위하여 식 (1)과 같이 Jo & Baag(2003)이 개발한 감쇠식을 이용하였다⁸⁾. 이 감쇠식은 국내 환경을 반영하여 우리나라의 넓은 영역에서 보편적으로 사용할 수 있

도록 개발되었고, 감쇠 상수가 기존 국내 연구 결과에 비해 크기 때문에 상대적으로 작은 지반 가속도 값이 예측되는 특징이 나타난다. 식 (1)을 이용하여 각 교량별 위치 즉, 진원 거리를 고려하여 응답 스펙트럼을 산정하였다.

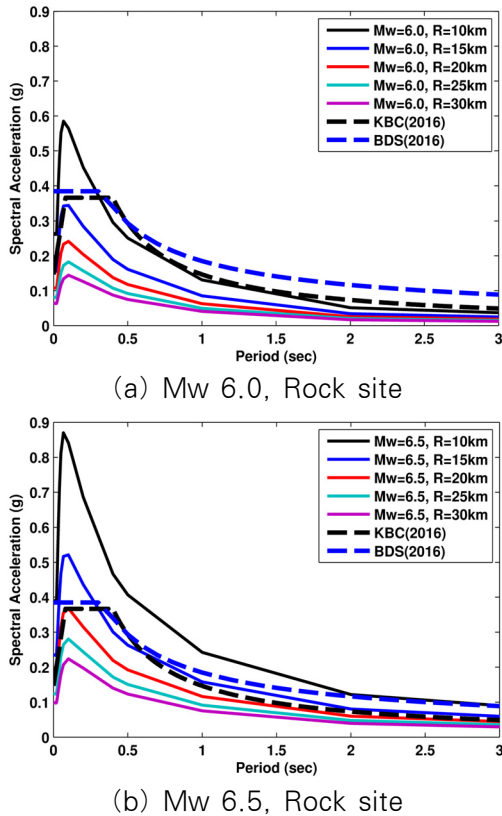
$$\ln A = c_0 + c_1 R + c_2 \ln R - \ln [\min(R, 100)] - \frac{1}{2} \ln [\max(R, 100)] \quad (1)$$

여기서, A는 암반의 최대 지반 가속도(cm/sec^2) 또는 응답 가속도(cm/sec^2), R은 진원 거리(km), C는 지진 규모와 관련된 계수이다. 계수 C는 식 (2)로 계산되며, ξ_i^k 는 Jo & Baag(2003)에 의해 제시되었다⁹⁾.

$$c_k = \xi_0^k + \xi_1^k (M_w - 6) + \xi_2^k (M_w - 6)^2 + \xi_3^k (M_w - 6)^3, k = 0, 1, 2 \quad (2)$$

위 식을 이용하여 진원 거리와 규모 변화에 따라 등재해도 스펙트럼을 작성하고, 이를 국내 건축 구조 설계 기준의 설계 스펙트럼(2400년 재현 주기 지진의 2/3 수준) 및 도로교 설계 기준(1,000년 재현 주기 지진)과 비교·분석하기 위하여 <Fig. 3>과 같이 나타냈다. 여기서 지반의 종류는 암반으로 고려하였다. 분석 결과, <Fig. 3>에서 보이듯이 규모 6.0의 경우 진원 거리가 10km일 때, 규모 6.5의 경우 진원 거리가 15km일 때 시설물의 설계 응답 스펙트럼과 유사한 값을 나타냈다. 따라서 내진 설계가 적용된 도로교는 지진 규모 6.0 및 6.5가 발생할 때 교량의 위치가 진원지에서 각각 10km 및 15km 이상일 경우 상대적으로 적은 피해가 예상된다.

<Table 1>에서 제시된 지진 시나리오와 식 (1)의 지진 감쇠식을 이용하여 대구시 각 교량에 대하여 응답 스펙트럼을 산정하였으며, 주기 0.3sec 및 1.0sec에서의 스펙트럼 값을 확보하였다. 각 교량의 진원 거리는 진앙지에서 교량 위치까지의 거리인 진앙 거리와 진원 깊이를 고려하여 산정하였으며, 지반 조건은 IV-연약한 토사 지반으로 가정하였다.



[Fig. 3] Comparison of response and design spectrum

4. 교량별 지진 취약도 함수 및 지진 피해 분석

4.1 지진 취약도 함수

지진 취약도 해석을 통해 지진동의 세기를 변수로 하여 구조물이 특정 한계 상태에 도달할 확률을 함수로 나타낼 수 있다. 이를 위해서는 입력 지진동의 세기(Intensity Measure, IM), 구조물의 지진 응답을 대표할 수 있는 변수(Engineering Demand Parameter, EDP), 구조물의 한계 상태(Limit state)의 정의가 필요하다. IM은 일반적으로 최대 지반 가속도(PGA), 최대 지반 속도(PGV), 특정 주기의 스펙트럼 가속도(Sa) 등을 사용한다. 본 연구에서는 Hazus에서 제시한 지진 피해 분석 방법을 적용하므로 최대 지반 가속도 0.3sec 및 1.0sec에서의 스펙트럼 가속도 값을 이용하였다. 구조물의 한계 상태 즉, 교량의 손상 수준(Damage state; Limit state)은

Hazus의 정의를 그대로 사용하였으며, 다음과 같이 4단계로 나뉜다.

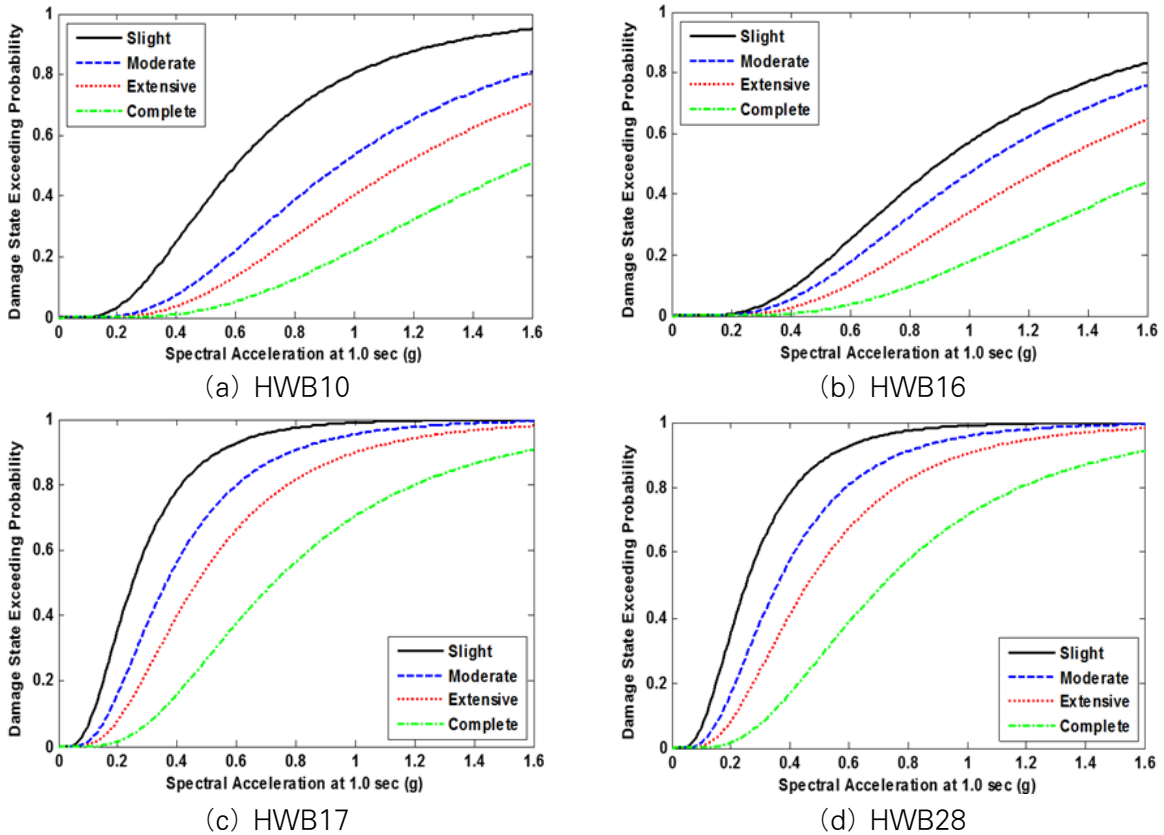
- 경미한 피해(Slight damage) : 교대의 미세 균열과 피복 콘크리트의 탈락, 교대의 전단기 균열, 힌지에서의 미세 균열과 피복 탈락, 교각 피복 탈락 (외관상의 수리 이상이 필요 없음) 또는 상판의 미세 균열 발생 등
- 일반적 피해(Moderate damage) : 교각의 전단 균열과 같은 상대적으로 큰 균열 및 피복 탈락(구조적으로 안전함), 5cm 이하의 교대 변위, 전단기의 심각한 균열 및 피복 탈락, 균열된 전단기 또는 구부러진 볼트가 있는 접합부 또는 로커 받침부의 파괴 발생 등
- 심각한 피해(Extensive damage) : 붕괴는 발생하지 않았으나 강도 저감이 발생한 교각(전단 파괴-구조적으로 안전하지 않음), 접합부에서의 심각한 잔류 변형, 심각한 침하, 교대의 수직 오프셋, 접합부의 부등 침하 또는 교대 전단기 파괴 발생 등
- 완전한 손상(Complete damage) : 기둥 붕괴, 상판 붕괴를 유도할 수 있는 모든 베어링 지지를 잃은 접합부, 기초 파괴로 인한 하부 구조의 기울임 발생 등

지진 취약도 함수 개발을 위한 손상 확률의 계산에서 일반적으로 적용하는 방법은 다음과 같다. IM과 구조물의 지진 응답과의 관계는 일반적으로 식 (3)과 같이 나타낼 수 있으며, 회귀 분석을 위하여 로그 함수 형태로 나타내면 식 (4)와 같다.

$$S_d = a \times IM^b \quad (3)$$

$$\ln(S_d) = \ln(a) + b \times \ln(IM) \quad (4)$$

여기서, S_d 는 지진 응답 지표의 중간 값이며, a 와 b 는 회귀 분석 상수이다. 위 식을 이용하여 주어진 IM에 대한 구조물의 손상 확률(지진 취약도 함수)은 식 (5)와 같이 계산할 수 있다.



<Fig. 4> Seismic fragility function of type of representative bridge in Daegu

$$\begin{aligned}
 &P[D > C | IM] \tag{5} \\
 &= \Phi \left[\frac{\ln(aIM^b/S_c)}{\sqrt{\beta_{dIM}^2 + \beta_c^2}} \right] \\
 &= \Phi \left[\frac{\ln(a) + b \ln(IM) - \ln(S_c)}{\sqrt{\beta_{dIM}^2 + \beta_c^2}} \right] \\
 &= \Phi \left[\frac{\ln(IM) - \lambda}{\zeta} \right]
 \end{aligned}$$

여기서, C는 구조물의 한계 상태로 정의된 특정 변형 또는 변위의 값이고, D는 구조물의 지진 응답 시 요구량을 의미한다. 또한 β_{dIM} 는 주어진 IM에 대한 D의 분포를 나타내기 위한 표준편차이다.

Hazus에서는 총 224개 교량에 대한 취약도 함수를 개발한 Mander & Basöz(1999)가 제안한 식 (6)의 방법을 이용하고 있다⁹⁾.

$$F(S_a) = \Phi \left[\frac{1}{\beta_c} \ln \left(\frac{S_a}{A_i} \right) \right] \tag{6}$$

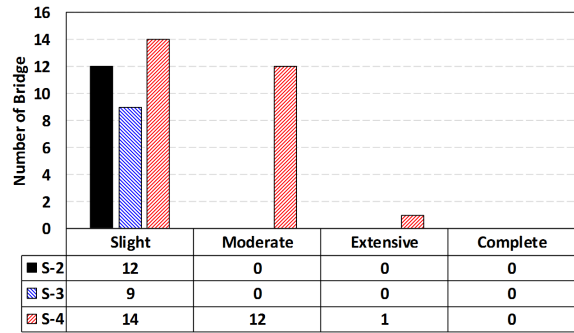
여기서, S_a 는 1sec 주기에서의 스펙트럼 값, A_i 는 i 번째 손상 수준을 야기할 수 있는 스펙트럼의 중간 값(Median), 로그노멀 표준편차로서 $\beta_c = 0.6$ 을 취하고 있다.

또한 Hazus에서는 교량 형식별 취약도 곡선을 산정할 수 있도록 A_i (Median)를 제공하고 있다. 이들 중간 값은 표준 값으로서 교량이 위치한 지역의 지반 증폭 특성과 교량의 구조적 제원 특성에 따라 적절하게 보정한 값을 사용하여 산정해야 한다. Hazus에서 제시하는 방법을 이용하여 지반 조건 IV에 대하여 대구시 81개소 교량의 지진 취약도 함수를 계산하였다. 이 중 대표 교량 4개에 대한 교량 형식별 지진 취약도 곡선을 나타내면 <Fig. 4>와 같다.

4.2 교량별 지진 피해 분석

앞에서 가정한 4가지의 가상 지진 시나리오에 대하여 지진 취약도 함수를 산정한 후 각 교량에 따른 손상 수준별 피해 확률을 산정하였다. 시나리오 1의 경우 손상 수준별 초과 확률이 50%를 넘는 교량은

없었다. 시나리오 1과 같은 위치에서 발생하였지만 규모가 6.5인 시나리오 2의 경우 12개소 교량에서 경미한 피해가 예측되었다. 이에 반해 대구시 중심부에 위치한 시나리오 3 및 4에서는 상당수 교량의 피해가 예측되었다. 특히, 규모 6.5로 가정한 시나리오 4의 경우 12개소 교량에서 일반적인 피해가 예측되었으며, 1개소 교량에서 심각한 피해가 예측되었다. 비교적 진원 거리가 짧은 시나리오 3 및 4의 경우 대구시 다수의 교량에서 상대적으로 많은 피해가 예측되었다. 가정된 모든 지진 시나리오에 대한 대구시 교량에 대한 손상 수준별 지진 피해 확률은 <Table 2>와 같이 나타냈다.



<Fig. 5> The number of bridge whose probability of exceedance exceeds 50%

<Table 2> Probability of damage by damage state of bridge in Daegu

Bridge	Left - Scenario 1, Right - Scenario 2								Left - Scenario 3, Right - Scenario 4							
	Slight		Moderate		Extensive		Complete		Slight		Moderate		Extensive		Complete	
HM-H	0.53	5.48	0.52	5.42	0.52	5.42	0.07	1.24	5.18	18.80	5.12	18.64	5.12	18.64	1.15	6.30
CS-H	0.85	7.12	0.84	7.08	0.84	7.08	0.12	1.75	4.08	15.95	4.05	15.88	4.05	15.88	0.86	5.07
SB	22.83	58.64	9.45	36.29	4.16	22.09	0.68	6.61	45.28	74.92	24.59	54.11	13.43	37.61	3.27	14.64
BH-H	0.49	5.28	0.48	5.19	0.48	5.19	0.06	1.18	4.08	15.95	4.01	15.75	4.01	15.75	0.85	5.02
SG	0.17	2.54	0.15	2.23	0.05	0.96	0.01	0.21	1.52	8.05	1.32	7.27	0.53	3.67	0.11	1.05
DS	1.20	8.51	1.18	8.39	1.18	8.39	0.19	2.18	1.15	8.31	1.13	8.20	1.13	8.20	0.18	2.12
LH 2	1.26	8.71	1.17	8.28	1.17	8.28	0.18	2.14	1.12	8.22	1.04	7.81	1.04	7.81	0.16	1.99
HJ 2	14.77	48.98	4.01	23.28	1.51	12.54	0.18	2.98	34.44	68.36	13.47	41.05	6.39	25.94	1.19	8.36
SI-H	14.74	38.10	3.06	12.98	0.81	4.87	0.09	0.86	4.78	22.38	0.64	5.66	0.13	1.72	0.01	0.23
DT-H	3.58	19.46	0.27	3.29	0.05	0.89	0.00	0.10	18.43	43.71	3.01	12.76	0.80	4.76	0.09	0.83
SS	0.50	4.57	0.23	2.60	0.08	1.14	0.01	0.26	2.10	9.88	1.11	6.15	0.44	3.03	0.08	0.83
SB-H	0.15	2.36	0.13	2.14	0.04	0.91	0.01	0.20	1.30	7.42	1.17	6.85	0.46	3.43	0.09	0.97
YH-H	3.22	18.44	0.36	4.09	0.06	1.16	0.00	0.14	18.08	43.22	3.97	15.56	1.12	6.14	0.13	1.16
GC	0.17	2.54	0.11	1.85	0.03	0.78	0.00	0.17	3.09	12.98	2.28	10.40	0.98	5.55	0.22	1.74
BA	2.36	15.75	0.25	3.37	0.04	0.91	0.00	0.10	18.85	44.31	4.39	16.67	1.26	6.70	0.15	1.31
MC	4.36	21.44	0.59	5.48	0.11	1.65	0.01	0.21	6.10	25.12	0.93	6.95	0.20	2.22	0.02	0.31
TJ-H	2.00	14.45	0.18	2.80	0.03	0.73	0.00	0.08	4.44	21.63	0.53	5.09	0.10	1.51	0.01	0.19
HG-H	5.30	23.54	0.62	5.42	0.12	1.63	0.01	0.21	16.33	40.60	3.11	13.09	0.83	4.92	0.09	0.87
HC	17.05	41.69	2.67	11.72	0.69	4.27	0.07	0.72	2.59	16.50	0.17	2.54	0.03	0.65	0.00	0.07
JJ 1	0.39	5.17	0.01	0.27	0.00	0.05	0.00	0.00	7.23	27.15	0.45	3.89	0.08	1.09	0.01	0.13
BLC	0.11	1.95	0.09	1.68	0.03	0.70	0.00	0.15	2.19	10.19	1.90	9.16	0.80	4.79	0.17	1.45
YH 1	0.17	2.54	0.07	1.36	0.02	0.55	0.00	0.11	0.00	0.18	0.00	0.08	0.00	0.02	0.00	0.00
WR	0.65	5.84	0.15	2.06	0.06	0.95	0.01	0.17	0.58	5.48	0.14	1.91	0.05	0.87	0.01	0.16
RAMP-B	1.16	7.03	0.81	5.41	0.31	2.62	0.06	0.70	1.33	7.50	0.94	5.80	0.36	2.83	0.07	0.77
RAMP-C1	1.13	6.95	0.92	5.98	0.36	2.93	0.07	0.80	1.33	7.50	1.09	6.47	0.43	3.21	0.08	0.89
SI	2.32	10.59	1.23	6.64	0.49	3.31	0.10	0.93	0.51	4.63	0.24	2.64	0.08	1.16	0.01	0.27
PD-H(1)	1.13	6.95	1.01	6.41	0.40	3.17	0.08	0.88	1.36	7.57	1.22	7.00	0.49	3.51	0.10	1.00
PD-H(2)	1.13	6.95	1.02	6.44	0.40	3.19	0.08	0.89	1.36	7.57	1.23	7.04	0.49	3.53	0.10	1.01
PD	1.86	9.97	0.40	3.20	0.16	1.56	0.02	0.31	2.20	10.79	0.49	3.54	0.20	1.74	0.03	0.36
SD-H	0.90	6.19	0.70	5.17	0.26	2.49	0.05	0.66	1.68	8.53	1.35	7.22	0.54	3.64	0.11	1.04
SC	1.08	6.79	1.04	6.60	0.41	3.28	0.08	0.92	1.49	7.97	1.44	7.75	0.58	3.95	0.12	1.15
YHC 4	0.12	2.10	0.02	0.61	0.01	0.22	0.00	0.04	3.17	13.21	0.99	5.57	0.38	2.70	0.07	0.73

Bridge	Left - Scenario 1, Right - Scenario 2								Left - Scenario 3, Right - Scenario 4							
	Slight		Moderate		Extensive		Complete		Slight		Moderate		Extensive		Complete	
BL 3(1)	2.73	11.89	1.80	8.78	0.75	4.56	0.16	1.37	0.18	2.57	0.10	1.69	0.03	0.70	0.00	0.15
BL 3(2)	2.73	11.89	1.80	8.78	0.75	4.56	0.16	1.37	0.18	2.57	0.10	1.69	0.03	0.70	0.00	0.15
JA 1	2.67	11.72	1.44	7.44	0.59	3.77	0.12	1.09	0.07	1.47	0.03	0.75	0.01	0.28	0.00	0.05
JA 2	2.67	11.72	1.44	7.44	0.59	3.77	0.12	1.09	0.07	1.47	0.03	0.75	0.01	0.28	0.00	0.05
SC (Old)	2.20	13.68	0.27	3.14	0.09	1.41	0.01	0.34	9.02	27.59	1.77	8.69	0.74	4.51	0.16	1.35
DS	2.39	14.24	0.30	3.33	0.10	1.51	0.02	0.36	9.20	27.97	1.82	8.87	0.76	4.62	0.16	1.39
AY	21.42	57.18	7.92	33.06	3.37	19.57	0.52	5.56	58.70	83.20	34.49	63.42	20.67	46.98	6.01	20.84
WR-B	21.19	56.93	8.06	33.47	3.45	19.88	0.53	5.68	61.13	84.68	37.48	66.32	23.03	50.09	7.02	23.15
AS-B	15.44	49.94	5.28	27.31	2.08	15.33	0.28	3.93	57.30	82.30	33.80	62.75	20.14	46.27	5.79	20.33
GB-RW	23.56	59.38	6.99	30.16	2.90	17.40	0.43	4.70	58.70	83.20	29.57	58.13	16.97	41.54	4.54	17.11
MUD-H	0.48	5.21	0.44	4.93	0.44	4.93	0.06	1.10	5.86	20.45	5.55	19.67	5.55	19.67	1.28	6.79
PD	28.08	63.48	12.05	40.22	5.58	25.26	1.00	8.04	37.05	70.12	17.81	47.43	9.00	31.45	1.89	11.13
DB	35.09	68.81	15.27	43.98	7.44	28.43	1.46	9.57	50.69	77.91	26.61	55.06	14.84	38.53	3.76	15.20
HM	37.39	70.34	17.11	46.23	8.56	30.39	1.77	10.58	52.28	78.91	28.38	56.93	16.10	40.36	4.21	16.35
JD	39.07	71.40	17.90	46.94	9.05	31.01	1.90	10.90	51.75	78.55	27.50	55.91	15.47	39.35	3.98	15.71
Ramp-B	0.08	1.63	0.03	0.84	0.01	0.32	0.00	0.06	2.88	12.36	1.57	7.90	0.64	4.04	0.13	1.18
CS	23.81	59.62	9.68	36.52	4.29	22.26	0.71	6.68	48.19	76.49	26.32	55.33	14.64	38.79	3.69	15.36
SB	25.88	61.56	10.10	36.89	4.51	22.56	0.75	6.82	49.32	77.15	25.92	54.57	14.36	38.06	3.59	14.91
DC	1.84	12.46	0.22	2.84	0.07	1.26	0.01	0.29	7.67	24.83	1.46	7.60	0.60	3.86	0.12	1.12
GD	26.96	62.52	10.47	37.35	4.71	22.92	0.80	6.98	51.22	78.21	27.06	55.45	15.16	38.91	3.87	15.43
CS	2.20	13.68	0.26	3.02	0.09	1.35	0.01	0.32	8.54	26.62	1.57	7.98	0.65	4.08	0.13	1.20
PD-H	0.68	6.30	0.66	6.20	0.66	6.20	0.09	1.48	1.34	9.01	1.32	8.89	1.32	8.89	0.21	2.35
GH	20.74	56.44	8.22	33.97	3.53	20.27	0.55	5.84	55.20	80.92	32.82	61.77	19.39	45.25	5.48	19.61
TJ	1.23	10.06	0.13	2.05	0.04	0.87	0.01	0.19	2.92	15.72	0.39	3.83	0.14	1.76	0.02	0.44
DH	1.04	9.22	0.11	1.92	0.03	0.81	0.00	0.17	6.36	22.57	1.16	6.73	0.46	3.36	0.09	0.95
DT	1.76	12.21	0.24	3.01	0.08	1.34	0.01	0.32	11.45	32.20	2.76	11.97	1.22	6.54	0.28	2.13
AS-H	2.46	12.10	2.40	11.89	2.40	11.89	0.45	3.45	2.78	12.80	2.72	12.58	2.72	12.58	0.52	3.72
HC-H	2.78	12.80	2.61	12.23	2.61	12.23	0.49	3.58	2.36	11.87	2.21	11.33	2.21	11.33	0.40	3.23
WC-H	4.40	16.82	4.25	16.41	4.25	16.41	0.91	5.30	1.12	8.22	1.07	7.97	1.07	7.97	0.17	2.04
NG	0.24	3.06	0.19	2.57	0.06	1.12	0.01	0.26	0.81	5.90	0.66	5.05	0.25	2.42	0.04	0.64
HC	1.03	6.64	0.72	5.10	0.27	2.45	0.05	0.65	0.99	6.49	0.69	4.98	0.26	2.38	0.05	0.62
SC	15.15	38.76	2.58	11.46	0.66	4.16	0.07	0.70	2.08	14.73	0.16	2.47	0.02	0.63	0.00	0.06
DG-RAMP	0.19	2.69	0.08	1.45	0.02	0.59	0.00	0.12	0.03	0.86	0.01	0.42	0.00	0.15	0.00	0.02
JCC1	2.16	10.09	1.41	7.35	0.57	3.71	0.12	1.07	0.19	2.73	0.11	1.80	0.03	0.75	0.00	0.16
IH-Ramp	0.46	4.39	0.35	3.62	0.12	1.66	0.02	0.41	0.51	4.63	0.39	3.83	0.14	1.76	0.02	0.44
YHC 1	2.04	14.59	0.19	2.90	0.03	0.76	0.00	0.08	19.02	44.55	4.28	16.38	1.22	6.56	0.15	1.27
YHC 2	2.04	14.59	0.20	2.95	0.03	0.78	0.00	0.08	19.02	44.55	4.35	16.56	1.25	6.65	0.15	1.29
CC 2	4.52	21.82	0.50	4.82	0.09	1.41	0.01	0.18	0.24	3.61	0.01	0.37	0.00	0.07	0.00	0.00
SG 2	8.81	29.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	5.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MG 1(1)	2.88	12.36	1.57	7.90	0.64	4.04	0.13	1.18	0.13	2.19	0.06	1.16	0.02	0.46	0.00	0.09
MG 1(2)	2.88	12.36	1.57	7.90	0.64	4.04	0.13	1.18	0.13	2.16	0.05	1.14	0.02	0.45	0.00	0.09
GH 1(1)	2.61	11.54	1.41	7.31	0.57	3.70	0.12	1.06	0.06	1.41	0.03	0.72	0.01	0.27	0.00	0.05
GH 1(2)	2.61	11.54	1.41	7.31	0.57	3.70	0.12	1.06	0.06	1.39	0.02	0.70	0.01	0.26	0.00	0.05

5. 결론

본 연구에서는 대구시에서 발생 가능한 지진 시나리오를 선정하고, 이에 따른 대구시 교량 총 81개

소에 대한 손상 수준을 예측한 후 활용 가능한 최신 기법의 적용 및 분석을 통해 지진 피해 예측을 수행하였다.

국내 도로교의 내진 설계 기준이 미국의 AASHTO

와 유사하고 현재 활용 가능한 국내 교량 취약도 함수가 미비하므로 미국 Hazus의 분석 기법을 적용하였다. 가상 시나리오는 2010년 이후 대구에서 발생한 지진 피해 이력 중 2곳을 선정하여 국내에서 발생 가능한 지진의 최대 규모 6.0 및 6.5로 가정하였다.

대구시 각 교량의 초과 확률 50%가 넘는 피해 확률에 대하여 분석한 결과, 시나리오 1에서는 경미한 피해가 전혀 발생하지 않았다. 같은 위치에서 규모가 6.5인 시나리오 2의 경우 12개소 교량에서 경미한 피해가 예측됨으로서 지진 규모가 커질수록 각 교량의 피해가 높아졌다. 같은 규모일지라도 시나리오 2에서는 일반적인 피해만 예측되었지만 시나리오 4에서는 1개소 교량에 대하여 심각한 피해까지 예측됨으로서 교량의 위치가 진앙지로부터 가까울수록 높은 피해가 발생하였다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 공간정보 기반 실감 재난관리 맞춤형 콘텐츠 제공 기술개발사업의 연구비원(과제번호 18DRMS-B146826-01)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Jeon, J. S., Seo, Y. D., Choi, H. S., & Park, J. B. (2018). Example of Bridge Damage due to Earthquakes in Korea. Proceedings of the Conference of Earthquake Engineering Society of Korea, Republic of Korea, pp.25~26
2. Multi-Hazard Loss Estimation Methodology: Earthquake Model, Hazus-MH Technical Manual, National Institute of Building Sciences and Federal Emergency Management Agency, Washington DC, pp.690, 2003
3. Jeong, G. H., Lee, H. S., Kwon, O. S., & Hwang, K. R., "Earthquake Direct Economic Loss Estimation of Building Structures in Gangnam-Gu District in Seoul Using HAZUS Framework", Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, Vol.20, No.6, pp.391~400, 2016
4. Yi, J. H., Youn, J. Y., & Yun, C. B., "Seismic Risk Assessment of Bridges Using Fragility Analysis", Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, Vol.8, No.6, pp.31~43, 2004
5. Kim, H. S., & Song, J. K., "Effect of Near- and Far-Fault Earthquakes for Seismic Fragility Curves of PSC Box Girder Bridges", Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, Vol.14, No.5, pp.53~64, 2010
6. KBC, Korean Building and Commentary, Architectural Institute of Korea, 2016.
7. Korean Institute of Bridge and Structural Engineers, Highway Bridge Design Specification for Limit State Design, 2015.
8. Jo, N. D., & Baag, C. E., "Estimation of Spectrum Decay Parameter α and Stochastic Prediction of Strong Ground Motion in Southeastern Korea", Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, Vol.7, No.6, pp.59~70, 2003
9. Mander, J. B., & Basöz, N., "Seismic Fragility Curve Theory for Highway Bridges", Optimizing post-earthquake lifeline system reliability, ASCE, pp.31~40, 1999

- Received : October 17, 2018
- Revised : October 29, 2018
- Accepted : October 29, 2018