

# 건물에 대한 지진취약도 모델링 및 공간 분석

김상빈<sup>1</sup>, 김성훈<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>울산연구원 미래도시연구실 전문연구원, <sup>2</sup>남서울대학교 공간정보공학과 교수

## A Development of a Seismic Vulnerability Model and Spatial Analysis for Buildings

Sang-Bin Kim<sup>1</sup>, Seong-Hoon Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Researcher, Future City Research Division, Ulsan Research Institute

<sup>2</sup>Professor, Department of Spatial Information Engineering, Namseoul University

**요약** 현 연구는 개별 건물에 대한 지진취약도 예측 및 특정 관심 지역 내 전체 건물의 안전 상태를 예측하는 방법의 제시에 그 목적이 있다. 현 연구의 범위는 지진피해 저감 연구 중, 예방 활동에 속하는 시뮬레이터 모델개발, 모델 유효성 검증을 포함한다. 연구의 대상은 지역 건물 시스템이다. 선행연구 조사 결과, 국내의 지진 예측 모델링 및 그 결과를 GIS를 활용해 적용한 사례의 성과는 아직은 미비한 것으로 판단되었으며, 이를 다소간이나마 개선하기 위한 방편의 일환으로 현 연구가 진행되었다. 국내·외 총 348개의 데이터를 사용해 통계 분석이 실시되었다. 일련의 통계 분석 결과, 최적화 척도법에 의한 모델이 개발되었고, 모델의 예측 정확도는 87%로 산정되었다. 통계 분석을 통해 개발된 모델식을 지역 건물 시스템의 지진취약도 예측에 적용하기 위해, 공간 분석 기법이 활용되었다. 서울시 구도심과 신도심의 특성을 대표하는 강남구와 종로구 그리고 종로구와 지반 조건이 유사한 은평구를 대상 지역으로 선정하였고, 분석 결과 건물을 대상으로 강남구가 종로구와 은평구에 비해 위험한 것으로 예측되었다.

**주제어** : 모델링, 지진, 건물, 통계 분석, 피해 예측, 공간 분석

**Abstract** The purpose of this study is to suggest a method of predicting seismic vulnerability and safety conditions of each building in a targeted area. The scope of this study includes 'developing a simulation model for precaution activities,' 'testing the validity of the developed model'. From the facility point of view, target of this study is a local building system. According to the literature review, the number of earthquake prediction modeling and cases with GIS applied is extremely few and the results are not proficient. This study is conducted as a way to improve the previous researches. Statistic analyses are conducted using 348 domestic and international data. Finally, as a result of the series of statistical analyses, an adequate model is developed using optimization scale method. The ratio of correct expectation is estimated as 87%. In order to apply the developed model to predict the vulnerability of the several chosen local building systems, spatial analysis technique is applied. Gangnam-gu and Jongro-gu are selected as the target areas to represent the characteristics of the old and the new downtown in Seoul. As a result of the analysis, it is discovered that buildings in Gangnam-gu are relatively more dangerous comparing to those of Jongro-gu and Eunpyeong-gu.

**Key Words** : Modeling, Seismic vulnerability, Buildings, Statistical analysis, Damage prediction, Spatial analysis

\*This paper was funded by the government (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) in 2017 with the support of a project to train key human resources for convergence of spatial information(2017-02-01).

\*Corresponding Author : Seong-Hoon Kim(gotit@nsu.ac.kr)

Received September 4, 2020

Revised October 6, 2020

Accepted October 20, 2020

Published October 28, 2020

# 1. 서론

## 1.1 연구 배경 및 목적

지진은 예측하기 힘든 자연현상이다. 또한 우리나라도 이제는 지진 안전 국가가 아니다. 2016년 경주지진과 2017년 포항지진 등 지진이 꾸준히 발생하며 강도도 점점 강해지고 있다. 또한 한반도의 지진을 분석한 연구를 보면 포항·경주 쪽 지진이 과거에도 많이 일어난 것을 확인할 수 있다[1]. 최근 지진 발생 추이를 보면, 1999년 기준, 이전 연평균 19.2회로부터 이후 59.6회로 급증한 것을 알 수 있다. 단지 지진 발생 횟수만 증가한 것이 아니라 강도도 점점 증가하고 있어 국내 지진 규모 순위상 2000년 이후 발생한 경우가 상위 14개 중 10개이다[2]. 이처럼 우리나라는 규모에서나 횟수에서나 이제는 지진의 안전국가라 말할 수 없을 정도로 규모가 큰 지진 발생률이 점점 높아지고 있는 것을 확인할 수 있다. 그러나 우리나라의 대비상황을 보면, 서울시 전체 건물 중 9.3%만 내진설계가 되어있는 것을 확인할 수 있다[3]. 이에 따라 대규모 지진 발생 시, 인명 및 재산 피해가 상당할 것으로 예상된다.

따라서 현 연구는 통계 분석을 활용해 취약도 예측 모델을 개발한 뒤 공간 분석 소프트웨어를 활용해 공간 분석을 수행함으로써, 개별 건물에 대한 지진취약도 예측 및 특정 관심 지역 내 전체 건물의 안전 상태를 예측할

수 있는 방법 제시에 그 목적이 있다.

지진 관련 연구 및 활동의 영역은 크게 예방, 피해 저감 활동, 사후 복구 활동으로 구성된다. 그중 현 연구는 예방 부분에 포함되며 예측 모델 개발과 모델 유효성 검증에 초점을 맞추고 있다. 연구대상 구조물은 건물로 선택되었다. 현 연구의 범위는 Fig. 1과 같다.

지진위험도 분석 연구는 근래 GIS를 활용해 진행된 경우가 다수 발견되었다. 그러나 우리나라는 2000년 이전 지진피해 건물 데이터가 없어서 피해 예측 모델은 토목-건축학적인 공식이 많이 사용되었다[4]. 하지만 현 연구는 실제 피해를 입은 건물 데이터를 직접 활용하여 피해 예측 모델링을 수행하였다. 건물을 대상으로 기존 모델 및 방법을 조합해 지진취약도 공간 분석을 수행한 연구도 있다[5,6]. 하지만 현 연구는 새로이 모델링 방법론을 만들어 연구를 수행하였다. 그리고 Opendata를 활용하여 지진에 의한 건물의 지진손상 평가 방법론을 제시하는 연구도 있으나 해당 연구는 현 연구와 같은 가상의 지진이 아닌, 이미 지진피해가 발생한 2016년 경주지진과 2017년 포항지진을 연구대상으로 하여 건물 손상률을 측정하였다[7].

우리나라의 지진 예측 연구가 미비하다 보니, 우리나라의 지진 예측은 대부분 미국 프로그램인 HAZUS(Hazard U.S.)활용하고 있다[8]. 또한 서울시 건축물을 대상으로 가상 시나리오 지진에 의한 피해를 추정한 연구가 있으

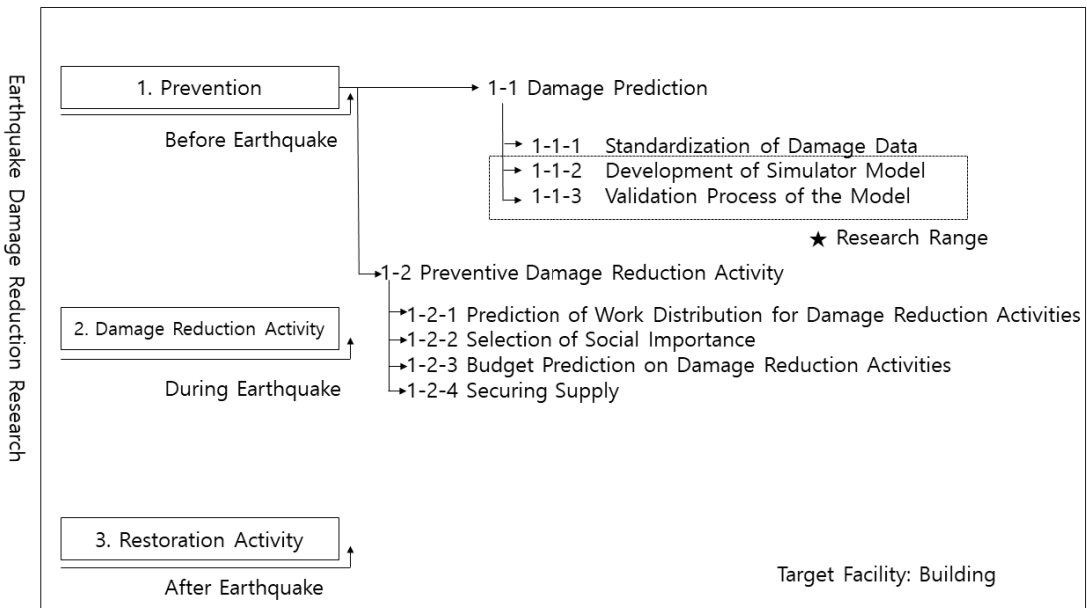


Fig. 1. Scope of study

나 해당 연구 역시 HAZUS의 제시한 값을 기반으로 연구를 하였다[9]. 기타연구로 HAZUS와 강진동 감쇠 식으로 지진피해를 분석한 경우도 있다[10].

HAZUS는 미국 FEMA(Federal Emergency Management Agency)에서 정립한 Multi-hazard 피해평가 방법론으로 그중 현 연구에서는 '지진 모델'부분을 참고 및 적용하였다. 방법론은 입력부분으로 지진 인식 및 인벤토리 정의, 처리 부분으로 피해평가방식, 출력 부분인 피해감소 노력을 포함하고 있다.

기존 선행연구 분석 결과, 크게 마이크로(Micro)한 접근과 메크로(Macro)한 접근방식 중 한 방식이 선택되었음을 알 수 있었다. 현 연구는 그중 메크로 접근방식을 선택하여 추후 후행 연구자들에 의해 마이크로 접근방식의 연구 결과가 융합되길 희망하는 관점으로 시도되었다.

## 2. 연구 방법

연구 절차는 크게 3부분으로 구성된다(Fig. 2 참고). 첫 번째로 모델개발 부분과 두 번째로 통계 분석 부분, 마지막으로 공간 분석 부분으로 구성된다.

모델개발 부분에서는 건물 지진피해 영향 인자를 조사해 모델개발용 인자들을 발췌한다. 그다음, 발췌된 각 구

성인자의 카테고리를 지진피해 분석 용도로 분류한다.

통계 분석 부문에서는 실제 지진피해를 입은 건물 데이터를 이용해 모델이 개발되는데, 모델의 유효성 검증을 거쳐 유효하지 않을 경우, 원인 파악 및 개선 프로세스를 통해 다시 통계 분석을 실시한다.

통계 분석 부문이 끝나면 공간 분석 부문이 수행된다. 영역적 분석범위를 정한 뒤 분석범위의 각 건물 테이블에 개발된 모델의 인자별 카테고리 분류에 해당 수치를 입력한다. 개발된 모델을 이용해 공간 분석을 실시하고 상대적 위험 범위가 공간적으로 식별된다.

## 3. 실험

### 3.1 건물에 대한 지진취약도 모델 독립변수 설정

건물에 대한 지진취약도 모델의 독립변수를 추출하기 위해 국내외의 지진 연구를 조사하였으나 우리나라의 지진 연구는 우리나라의 환경에 맞춰서 사용하기에는 각 독립변수의 지진취약도 분석용 카테고리 분류의 국내 현황 고려 등에 대한 연구 결과가 아직 미비한 상태로 파악되었다. 우리나라 연구의 대부분은 미국의 FEMA에서 만든 HAZUS를 사용하는 것으로 확인되어 FEMA의 지진 연구를 살펴보았다.

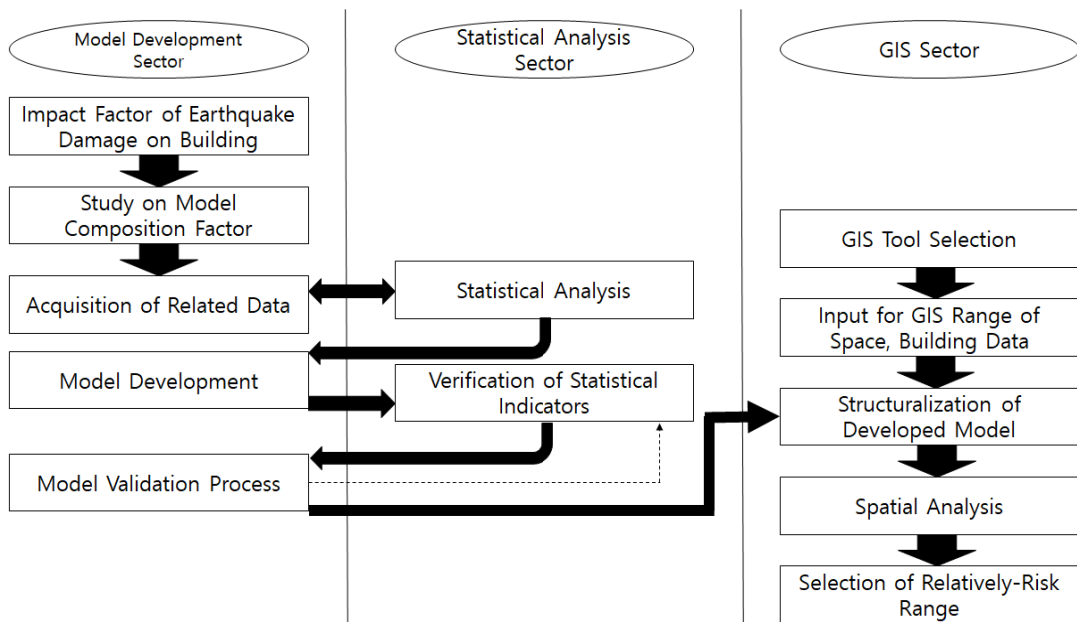


Fig. 2. Procedure of model development and application method

여러 FEMA의 연구를 검토해봤지만, 현 연구에서 주로 활용된 것은 FEMA의 P-154 번 과 P-155 번이다 [11,12]. 결론적으로, 독립변수는 건물 모양, 건물 재질, 건물 연도, 건물 높이, 지반, 지진 세기(MMI)로 압축 추출되었다.

각 독립변수의 카테고리 분류도 위 FEMA 연구를 참고하고 국내 현실을 고려해 수정·보완해 도출되었다. 모든 카테고리는 1번이 안전한 유형이고 숫자가 높아질수록 위험한 유형으로 정의된다.

①, 건물모양 분류는 FEMA-155를 참고하였다(Fig. 3 참고).

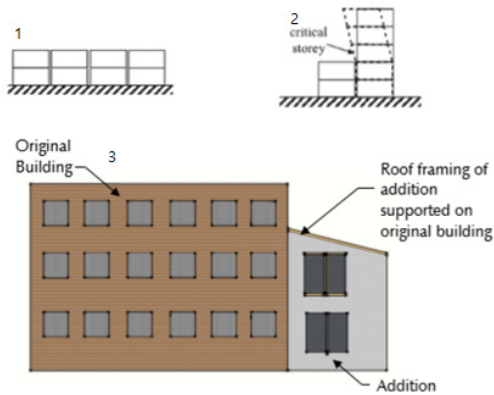


Fig. 3. FEMA155 Building shape classification

건물 모양은 FEMA를 참고하고 데이터의 형태를 참고해 상하좌우의 진동주기에 따라 크게 3가지 카테고리로 분류했다. 1번 상하좌우의 진동주기가 동일, 2번 상·하의 진동주기는 다르고 좌우의 진동주기는 같음 or 상·하의 진동주기는 같고 좌우의 진동주기는 다름, 3번 상하좌우의 진동주기가 모두 다름을 의미한다.

②, 건물 재질 분류는 FEMA-154를 참고하였다. 건물 재질은 FEMA의 표와 수집가능 한 데이터의 여건을 고려해 크게 4가지 카테고리로 분류했다. 1번 스틸, 2번 철근 콘크리트, 3번 콘크리트·벽돌, 4번 나무를 의미하며, 표의 세부 항목을 결합 및 조정해 해당 카테고리로 분류하였다.

③, 건물 연도 분류도 FEMA-154를 참고하였다. 건물 연도는 FEMA를 참고해 총 4가지로 분류하였다(Fig. 4 참고). 1번 1960년 이후, 2번 1945~1960년, 3번 1930~1945년, 4번 1930년 이전으로 구분된다.



Fig. 4. FEMA154 Building year classification

④, 건물 높이 분류는 FEMA-154를 참고하였다.

Table 1. FEMA154 Building height classification

<b>Low-Rise Buildings(1~3 stories) :</b>
· Typically wood or masonry
· May have ground floor or basement parking, a soft story
· Older buildings typically have more architectural detail, ornamentation
· 1950s and later are more modern, lacking ornamentation , typically with more horizontal lines
<b>Mid-Rise (4~7 stories) and High-Rise Buildings(8 Stories and higher)</b>
· Typically, reinforced concrete(older, URM)
· May have commercial ground floor, a soft story
· Older buildings typically have more cornices, architectural detail, ornamentation
· 1950s and later are lacking ornamentation, typically with stronger vertical or horizontal lines

건물 높이는 FEMA-154 기준(Table 1)을 참고해 총 3가지의 카테고리로 분류하였다. 위의 Table 1에서 재질은 이미 다른 표를 참고해 독립적 독립변수로 분류하였으므로 고려하지 않는다. 1번 1~3층, 2번 4~7, 3번 8층 이상으로 분류하였다.

⑤, 지반 분류는 FEMA-154번에 나온 표를 참고하였다. 표를 참고하고 수집된 데이터의 형태에 맞춰 총 4가지 카테고리로 분류하였다. 1번 견암, 2번 연암 및 단단한 흙, 3번 연토, 4번 점토 및 모래로 구분된다.

이렇게 지표화 된 독립변수 및 각 카테고리는 다음 Table 2와 같다.

Table 2. Independent variables and categories

Independent Variables	Categories
Building Shape	1. Equal Vibration Cycles for Up, Down, Left, and Right 2. Different Vibration Cycle for Up and Down but Equal Vibration Cycle for Left and Right OR Equal Vibration Cycle for Up and Down but Different Vibration Cycle for Left and Right 3. Different Vibration Cycle for Up, Down, Left, and Right
Building Material	1. Steel 2. Ferroconcrete 3. Concrete-Brick 4. Wood
Building Year	1. After 1960 2. 1945 ~ 1960년 3. 1930 ~ 1945년 4. Before 1930
Building Height	1. 1F ~ 3F 2. 4F ~ 7F 3. Above 8F
Foundation (Ground Condition)	1. Hard Rock 2. Soft Rock and Hard Soil 3. Soft Soil 4. Clay and Sand
Earthquake Intensity (MMI)	1. 5 ~ 6 2. 6 ~ 7 3. 7 ~ 8 4. Above 8

### 3.2 통계 분석

데이터는 총 348개의 데이터를 사용하였으며 그중 150개는 국내 포함시의 데이터, 198개의 데이터는 국외 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)와 EERI(Earthquake Engineering Research Institute)의 전 세계 데이터 중 추출하여 활용하였다[13].

국내외 지진 경험 건물 데이터를 사용해 선형회귀분석, 로지스틱 회귀분석, 최적화 척도법의 3가지 유형이 시도되었다.

선형 회귀분석이란 회귀분석에서 독립변수에 따라 종속변수의 값이 일정한 패턴으로 변해가는데, 이러한 변수 간의 관계를 나타내는 회귀선이 직선에 가깝게 나타나는 경우를 선형 회귀분석이라 한다.

로지스틱 회귀분석이란 확률모델로서 독립변수의 선형 결합을 이용하여 사건의 발생 가능성을 예측하는 데 사용되는 통계 기법이다.

최적화 척도법이란 변수 간의 관계를 가능한 적은 수의 차원에 표시하여 변수 간의 내적 구조나 패턴을 설명하는 통계적 분석법이다.

이러한 통계 분석 결과 최적화 척도법이 가장 적절한

결과를 도출하였다.

통계 분석 결과, 개발된 모델은 87%(R<sup>2</sup>)의 예측 정확도를 가지고 있으며 이는 공학적으로 ‘우수한’(올바른 예측확률 4~9배, 현 모델의 경우 약7배)모델의 등급에 해당한다. 개발된 모델 식은 Fig. 5와 같다.

$$Y = 0.228\text{건물모양} + 0.169\text{건물재질} + 0.161\text{건물연도} + 0.174\text{건물높이} + 0.112\text{지반} + 0.438\text{지진세기MMI}$$

Fig. 5. Model expression

348개의 데이터를 위의 식에 대입한 뒤 최적화 척도법을 활용해 개발된 모델의 지진피해 정도 범위를 확인해보았다.

확인 결과 다음과 같이 나왔다. 1(안전) = 1.282 ~ 1.736, 2(반파) = 1.737 ~ 2.835, 3(완파) = 2.836 ~ 4.739로, 안전의 1.282는 최솟값으로 모든 인자가 1일 경우의 값이고 완파의 4.739는 모든 인자가 최댓값인 경우의 값이다.

지진피해 정도 중 안전은 피해를 입지 않은 건물, 반파는 수리 후 사용이 가능한 건물, 완파는 수리해도 사용 못 하는 건물 이상 피해를 입은 건물이다.

개발된 위 모델 식을 사용해 특정 개별 건물, 관심 지역 전체 건물 시스템, 또는 지역과 지역 건물 시스템에 대한 지진취약도 비교분석을 통해 합리적 예산분배, 예방 활동 분배 등의 활동에 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

### 3.3 공간 분석 결과

대상 지역으로 서울시 중 구도심의 특징을 대표하는 종로구와 신도심의 특징을 대표하는 강남구를 선택하였고 또한 지반 조건이 비슷한 구를 비교해보기 위해 종로구와 지반 조건이 비슷한 은평구를 대상으로 비교분석을 실시하였다.

데이터 전처리 후[14,15], 건물별로 개발된 모델 식(Y)의 각 독립변수 값에 전 처리된 데이터를 입력 후 결과로 나온 각 지진피해 정도의 범위를 활용해 안전, 반파, 완파를 예측한다. 여기서 독립변수 중 하나인 MMI 값은 5, 6, 8 3가지 경우를 적용해 각각에 대한 지진피해 정도를 예측한 뒤 공간 분석 소프트웨어를 활용해 공간분석용 파일로 만들어준다.

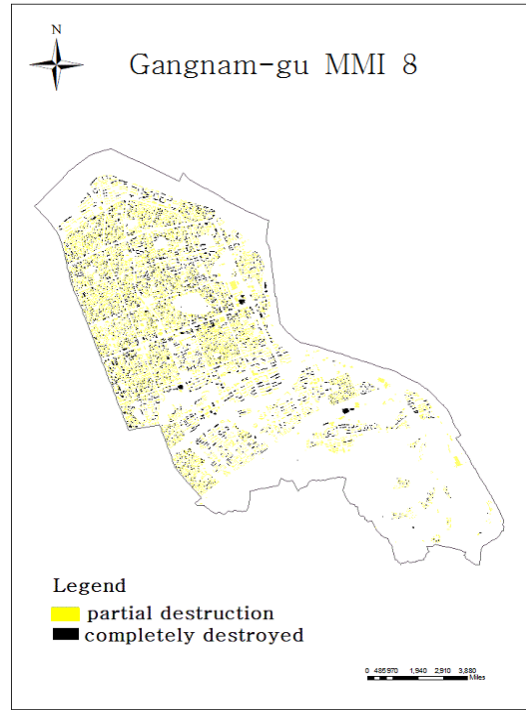
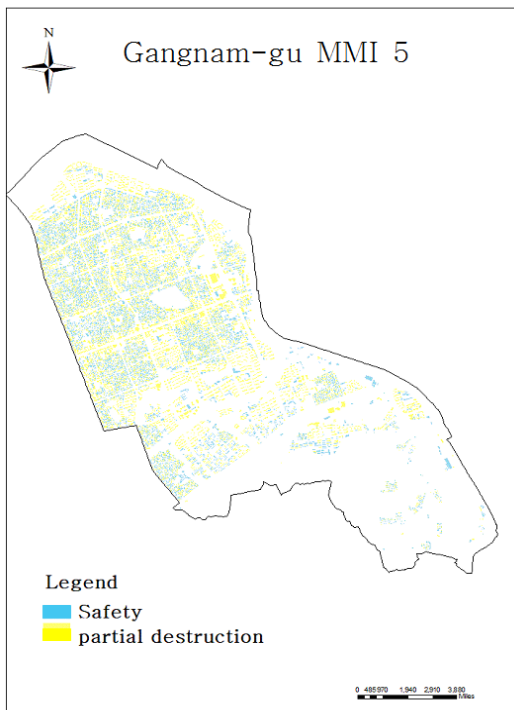
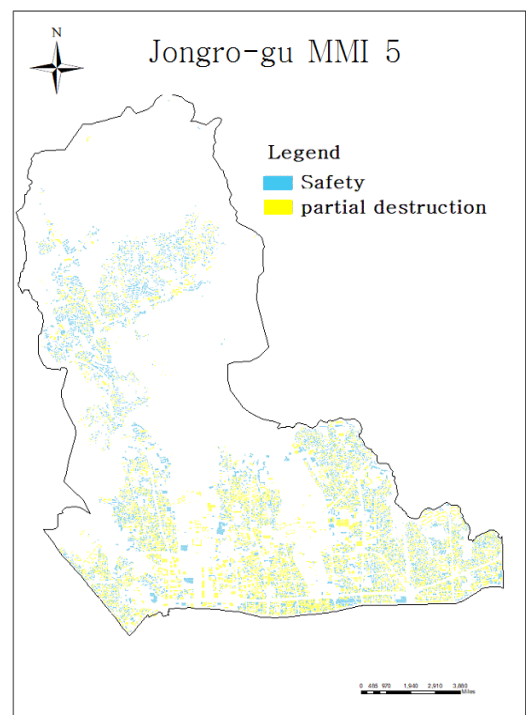
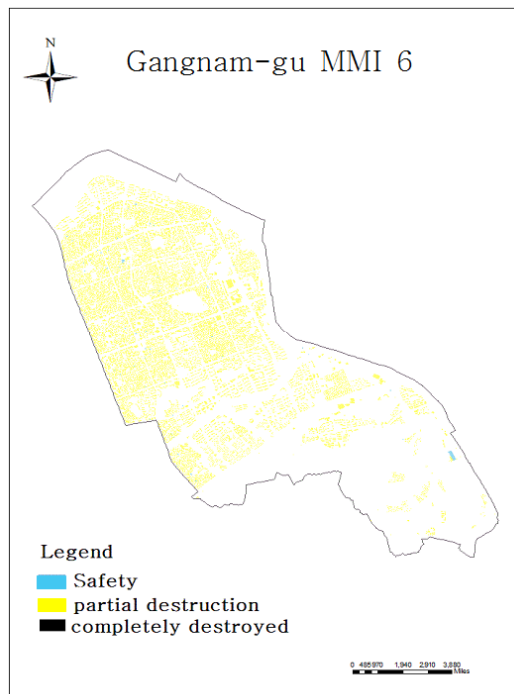


Fig. 6. Degree of damage by progress in Gangnam-gu



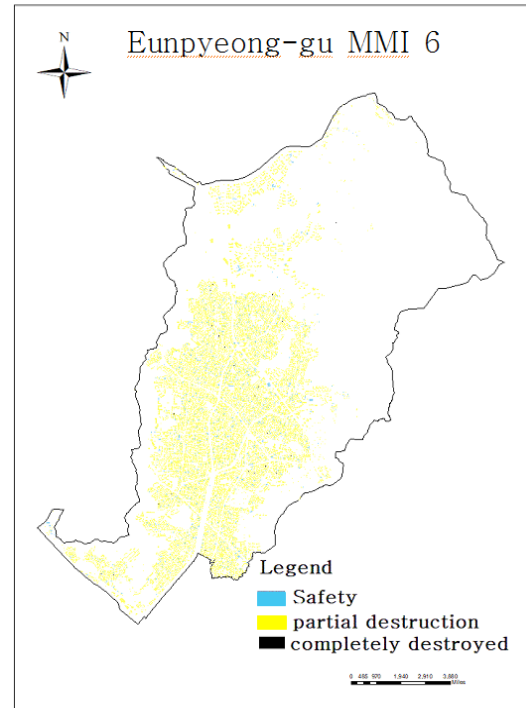
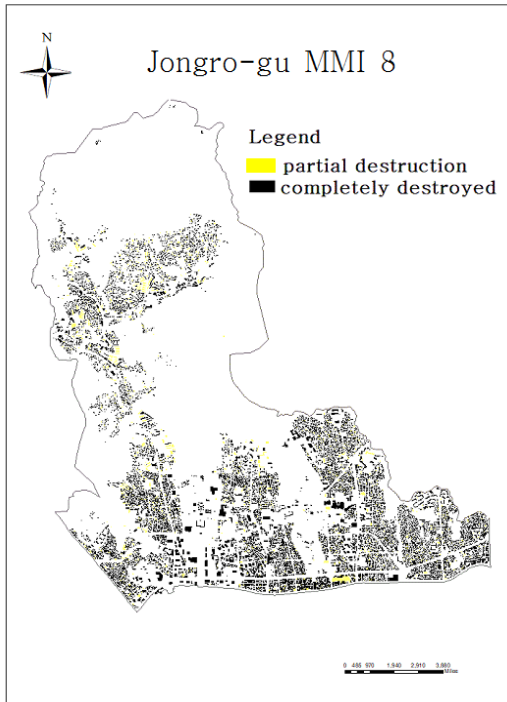
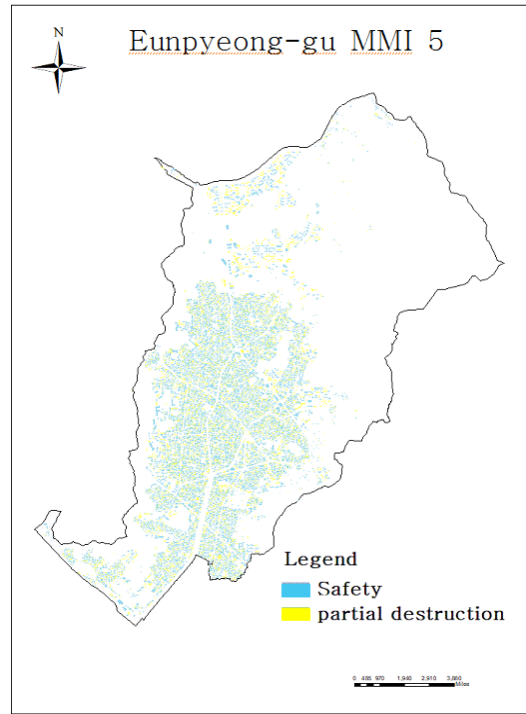
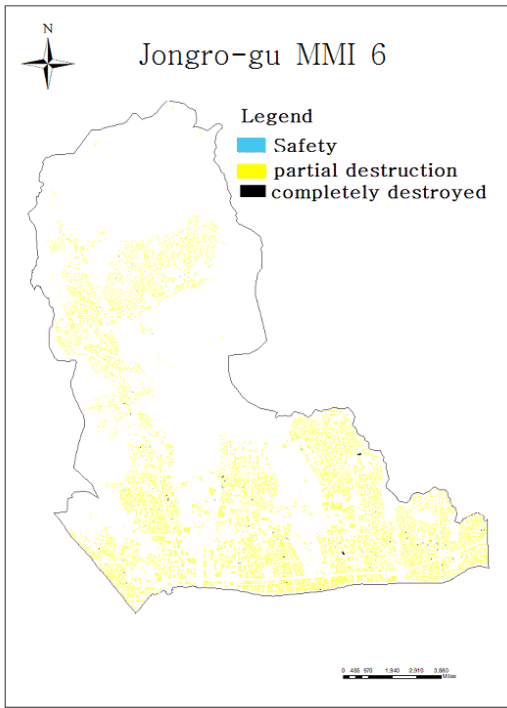


Fig. 7. Degree of damage by progress in Jongro-gu

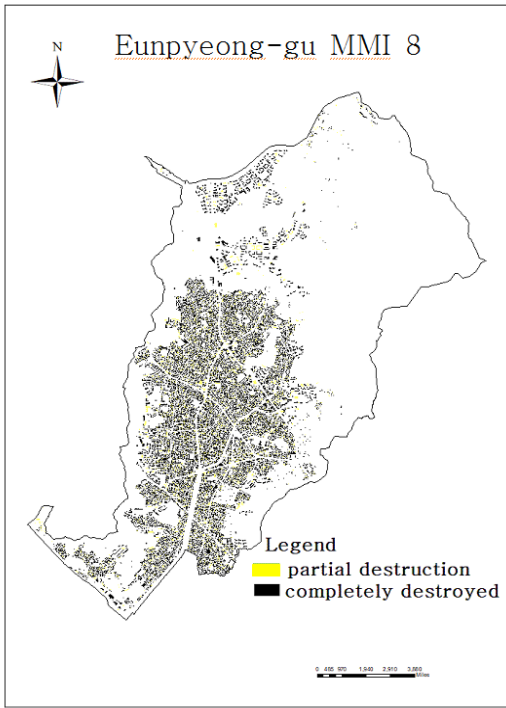


Fig. 8. Degree of damage by progress in Eunpyeong-gu

진도별 파괴정도는(Fig. 6 ~8 참고) 대상 지역으로 선정된 강남구, 종로구, 은평구 각각에 대한 지진 진도 5, 6, 8의 경우 건물파괴 정도를 도식화한 지도이다.

진도별 해당지역들의 건물취약도 비교는 다음과 같이 요약된다.

진도 5에서 강남은 53%의 건물이 안전, 47%의 건물이 반파로 예측되었다. 또한 종로는 40%의 건물이 안전, 60%의 건물이 반파로 예측되었다. 마지막으로 은평은 약 67%의 건물이 안전, 33%의 건물이 반파로 예측이 되었다.

진도 6에서 강남은 0.5%의 건물이 안전, 99.5%의 건물이 반파, 1개의 건물이 완파로 예측되었다. 1개의 완파 건물은 건물 연도가 너무 오래되고 재질도 가장 위험한 재질이 사용되어 완파로 예측되었다. 또한 종로는 0.5%의 건물이 안전, 99%의 건물이 반파, 0.5%의 건물이 완파로 예측되었다. 마지막으로 은평은 0.5%의 건물이 안전, 95%의 건물이 반파, 4.5%의 건물이 완파로 예측되었다.

진도 8에서 강남은 반파가 1%, 완파가 99%로 예측되었다. 또한 종로는 12%의 건물이 반파, 88%의 건물이 완파로 예측되었다. 마지막으로 은평은 18%의 건물이 반파, 82%의 건물이 완파로 예측되었다.

위 결과를 보면 진도 5에서는 종로>강남>은평 순서로 위험하게 나타났고, 진도 6에서는 은평>종로>강남 순서

로 위험하게 나타났다. 마지막으로 진도 8에서는 강남>종로>은평 순서로 위험하게 나타났다.

종합적으로 건물 수와 결과를 보면, 상대적으로, 강남구가 가장 위험하고, 그다음 종로구, 은평구가 가장 안전한 것으로 나타났다.

위의 도출된 결과에 대한 원인을 분석해보니 강남구가 지반이 가장 취약하고 다른 구들에 비해 고층 건물이 많아서 가장 위험한 것으로 나타났으며, 은평구와 종로구는 지반 조건은 거의 비슷했으나 종로구 건물들이 더 오래 되어 지진취약도가 높은 것으로 해석되었다.

Fig. 9, Fig. 10은 지역별/진도별 파괴 정도를 도식적으로 보여준다. 그림에서 보이듯 지역별, 진도별 파괴 정도 그래프는 분명한 추세와 패턴을 보여주므로 이러한 결과를 종합해 추후 지진 예방 설계 및 유지보수 활동을 위한 기준을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

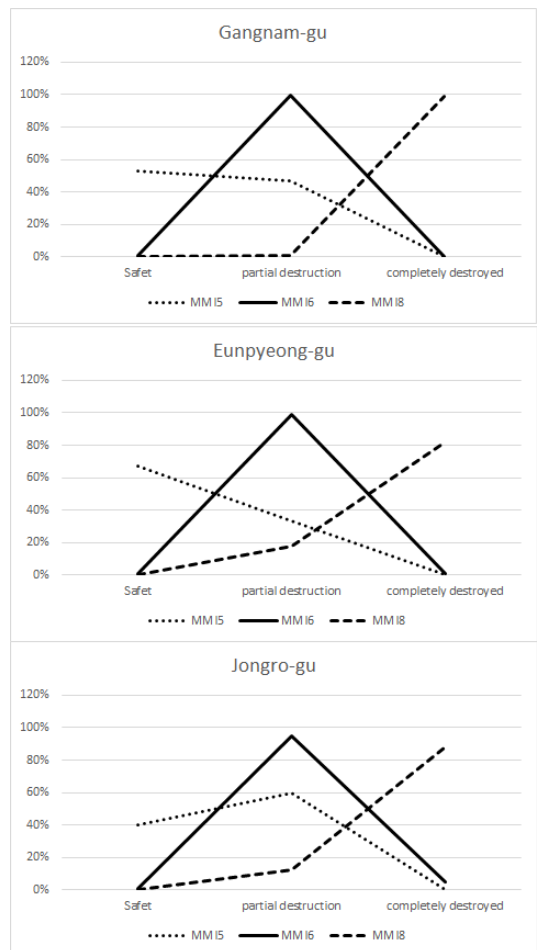


Fig. 9. Degree of damage by area



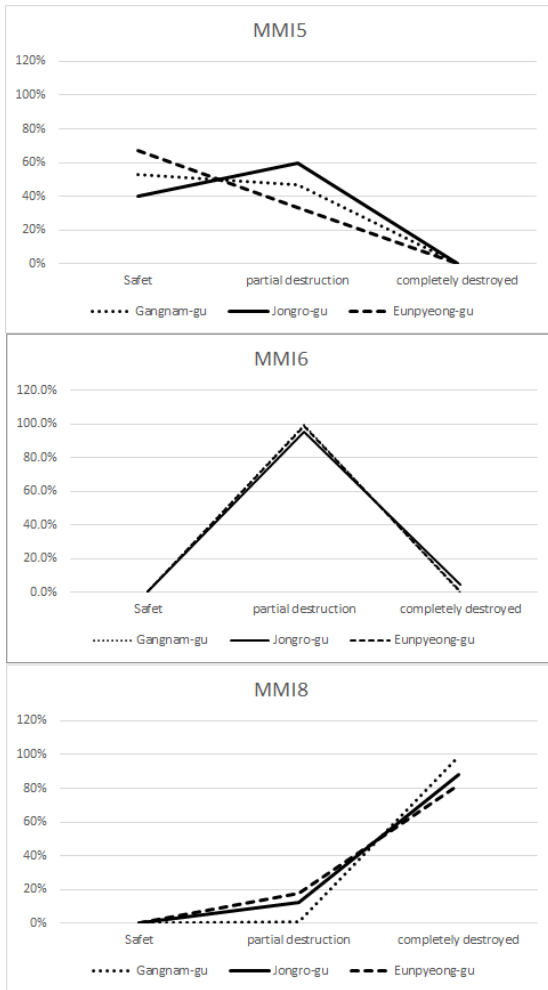


Fig. 10. Degree of damage by degree of earthquake

#### 4. 결론 및 연구의 한계

현 연구는 실제 지진피해를 입은 건물 데이터를 이용해 통계 분석을 실시해 모델을 개발한 뒤, 대상 지역으로 신도심 특성을 대표하는 강남구와 구도심 특성을 대표하는 종로구를 선정해 공간 분석을 실시하였다.

FEMA의 독립변수(건물 모양, 건물 재질, 건물 연도, 건물 높이, 지반, 지진 세기(MMI))와 지진 통계 데이터인 포항/위험 데이터(50개), 포항/안전 데이터(100개), NIST/위험 데이터(198개)를 이용하였다. 데이터를 활용하여 선형 회귀분석, 로지스틱 회귀분석, 최적화 척도법을 수행한 결과 최적화 척도법이 최적의 지진 통계 분석 기법으로 선정되었다.

개발된 모델은 87%의 예측 정확도를 가지고 있으며 이는 공학적으로 '우수한' 모델의 등급에 해당한다.

개발된 모델 식을 사용해 특정 개별 건물, 관심 지역 전체 건물 시스템, 또는 지역과 지역 건물 시스템에 대한 지진취약도 비교분석과 지역별, 진도별 파괴 정도 그래프는 분명한 추세와 패턴을 보여주므로 이러한 결과를 종합해 추후 합리적 예산분배, 예방 활동 분배 등의 활동에 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

분석 결과 은평구가 가장 안전한 것으로 확인되었으며 그다음 종로구가 안전하고 강남구가 가장 위험한 것으로 확인되었다.

현 연구의 한계는 첫째, 지진피해 데이터 수집의 한계이다. 실제 지진 피해를 입은 입수 가능한 건물 데이터가 데이터의 분포관점에서 다소 부족했다. 일정 규모 이상의 피해를 입은 국내 데이터의 경우는 더욱 그러하다. 따라서 추가데이터가 확보된다면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

둘째, 지진피해 분석용 지반 데이터의 수집 한계이다. 앞서 언급한 해외(NIST, EERI)의 경우 지반 분류가 지진 분석용으로 표준화되어있으나 국내의 경우(포항시 지질도, 서울시 지질도, 그리고 한국지질자원 연구원의 수치 지질도)는 지반 데이터는 지진피해 분석용으로 표준화가 되어있는 데이터도 없으며 카테고리에 대한 기준도 없다. 따라서 지진 피해를 입은 건물 데이터와 안전한 건물 데이터를 카테고리에 맞춰서 구성하는 과정에서 분류에 대한 주관적 판단이 필요했고 오차 발생의 원인으로 작용한다.

셋째, 감쇠식의 미적용이다. 진앙에서 지진이 일어나면 해당 지역에 다다를 때까지 힘의 감쇠가 일어난다. 그러나 현 연구는 진앙지 발생 지진 강도 + 감쇠식의 방식을 사용 못 하고 관심 건물의 사이트 강도를 가정해 적용하였다. 따라서 추후 검증된 감쇠식이 적용된다면 더 신뢰 높은 예측이 가능할 것이다.

넷째, 사회·문화적 측면과 용도 및 인구 등을 고려 못한 것이다. 현 연구의 범위는 건물의 지진취약도만을 대상으로 설정하였기 때문이다. 같은 건물이라 해도 아파트와 경기장이 동일 정도의 피해를 입는 경우, 인적 피해 정도와 물적 피해 정도가 상당히 다를 수 있지만, 이는 추후 연구과제이다.

다섯째, 독립변수 및 하부 카테고리들이 설정될 때 FEMA의 연구 결과가 활용되었는데 어느 정도는 우리나라의 현실에 맞게 반영이 되었다. 그러나 분류의 정확도를 향상시키기 위해서는 우리나라의 현실에 맞는 인자별 하부 카테고리의 설정에 대한 심도 있는 연구가 필요하다.

REFERENCES

[1] S. J. Park. (2007). Tectonic Movement in the Korean Peninsula (II): A Geomorphological Interpretation of the Spatial Distribution of Earthquakes. *42(4)*. 488-505.

[2] *Comparison Between the Numbers and the Intensity of Earthquake*. Korea Meteorological Administration. URL: <http://www.kma.go.kr/>

[3] *Seoul Earthquake-Resistant Design Ratios*. Seoul Open Data Plaza. <http://data.seoul.go.kr/>

[4] J. H. Koh, J. H. Kwon & Y. S. Choi. (2005). Error Assessment of Attitude Determination Using Wireless Internet-Based DGPS. *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*. *23(3)*. 239-249.

[5] C. H. Hwang. (2012). *A Study on Urban Damage Assessment by Earthquake Damage Assessment System*. Seoul Venture University.

[6] C. W. Chu. (2017). A Study on Earthquake Hazard Mapping using Risk Factors. *Conference of the Korean Society for Geospatial Information Science*. 125-126.

[7] S. H. Eem, B. J. Yang & H. M. Jeon. (2018). Earthquake Damage Assessment of Buildings Using Opendata in the Pohang and the Gyeongju Earthquakes. *Earthquake Engineering Society of Korea*. *22(3)*. 121-128.

[8] I. B. Kang, & J. H. Park. (2002). The Seismic Hazard Study on Chung-Nam Province using HAZUS. *Korean Society of Hazard Mitigation*. 73-84.

[9] E. T. Yoon. (2005). A Study on the Seismic Damage Estimation in the Model District of Seoul City. *Earthquake Engineering Society of Korea*. *9(6)*. 41-52.

[10] S. Y. Kang, K. H. Kim, B. C. Suk & H. S. Yoo. (2007). Attenuation Relations in HAZUS for Earthquake Loss Estimations in Korea. *Earthquake Engineering Society of Korea*, *11(6)*, 15-21.

[11] FEMA-154. (2015). *Rapid Visual Screening of Building for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation (Third Edition)*. Washington, D.C. : Federal Emergency Management Agency.

[12] FEMA-155. (2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: a Handbook (Third Edition)*. Washington, D.C. : Federal Emergency Management Agency.

[13] NIST. (2015). *NIST Disaster and Failure Studies Data Repository: The Chile Earthquake Database - Ground Motion and Building Performance Data from the 2010 Chile Earthquake - User Manual*. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology.

[14] *Building Data*. Building Open Data Portal. URL: <http://open.eais.go.kr/>.

[15] *Seoul City Building Data*. National Spatial Data Infrastructure Portal. URL:<http://www.nsd.go.kr/lxportal/?menuno=2679>.

김 상 빈(Sang-Bin Kim)

[정회원]



- 2017년 2월 : 남서울대학교 공간정보 공학(학사)
- 2019년 6월 : 남서울대학교 공간정보 공학(공학석사)
- 2020년 5월 ~ 현재 : 울산연구원 미래도시연구실(전문연구원)
- 관심분야 : 공간분석, 통계

· E-Mail : [kcb9241@naver.com](mailto:kcb9241@naver.com)

김 성 훈(Seong-Hoon Kim)

[정회원]



- 1983년 2월 : 연세대 토목공학과(학사)
- 1987년 5월 : 뉴욕주립대 토목공학과(공학석사)
- 1993년 8월 : 뉴욕주립대 토목공학과(공학박사)
- 1993년 9월 ~ 1999년 8월 : 삼성 SDS 책임연구원

· 1999년 9월 ~ 현재 : 남서울대학교 공간정보공학과 교수

· 관심분야 : 모델링, 컨설팅

· E-Mail : [gotit@nsu.ac.kr](mailto:gotit@nsu.ac.kr)