

실시간 대규모 도시 지진 피해 평가 시스템 개발 연구

김 광 영*

한국과학기술정보 연구원

Development of Real-time Seismic Risk Assessment System

Kwang Young Kim*

Korea Institute of Science and Technology Information

[요 약]

본 연구는 건물의 지리 정보 데이터를 이용하여 지진 피해를 실시간으로 분석하고 평가할 수 있는 시스템을 개발 하였다. 본 논문에서는 건물 유형, 층 및 건축 연도와 같은 다양한 정보를 사용하여 지진 피해 평가를 수행한다. 이 시스템은 지진 규모, 진원지 및 감쇄식 등을 함께 고려하여 피해 평가한다. 이 시스템은 실시간 도시 지진 피해 평가를 위해 Python을 기반으로 설계 및 개발하였다. 또한 본 연구에서는 지진피해 분석 결과를 실제지도에 매핑하여 건물 피해에 대한 이해도를 향상 시켰다.

[Abstract]

This study had developed a system that can analyze and evaluate s seismic damage in real time by using geographic building data. In this paper, earthquake damage is calculated by using various information such as building type, stories, and construction year. This system evaluates damage by considering seismic magnitude, epicenter, and attenuation equation. This system was developed based on Python for real-time seismic damage assessment. In this study, we improved the understanding by displaying the results of seismic damage on actual building maps.

색인어 : 지진 피해 분석, 실시간 지진 분석, 건물 피해

Key word : Seismic Risk Assessment, Real-time Seismic Analysis, Building Damage

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2019.20.4.885>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 01 April 2019 ; Revised 16 April 2019

Accepted 26 April 2019

*Corresponding Author; Kwang Young Kim

Tel: +82-2-2275-4435

E-mail: dcs@naver.com

I. 서론

현재 전 세계적으로 많은 재해들이 발생하고 있다. 그리고 그 재해들은 복합재난으로 발생하는 경우가 많아지고 있다. 예를 들면 지진이 발생 후 해일, 화재, 도로 붕괴 등의 다양한 재해 피해가 발생한다. 기상청의 지진 통계 자료에 의하면 최근 우리나라에서도 규모 5.0 이상 지진이 1978년 이후에 9번 발생했으며 2016년도에는 3번, 2017년도에는 1번이나 발생하였다. 따라서 우리나라에서도 규모 5이상의 지진발생 정도가 점점 짧아지고 많아지고 있다[14].

전 세계적으로 지진 피해분석을 하는 시스템은 매우 많다. 그 대표적으로 사용하는 시스템은 HAZUS-MH[1], SYNER-G[2], MCEER[3], ERGO[4], OpenQuake[9], QackCore[13] 등이 있다. 이러한 시스템들은 대부분 지진으로 발생하는 건물 손상을 계산하고, 그 손상도를 기반으로 피해 손실 평가를 하거나 피난민의 수와 피난처를 산출하는 기능을 제공하고 있다[5]. 국내의 연구자들은 지진피해분석을 위해서 대부분 해외의 시스템들을 사용하고 있으며 해외의 시스템에서 제공하는 기본 건물의 취약도 곡선을 사용하여 실험하고 있다. 미국의 경우에는 실제 데이터가 많이 축적되어 있는 미국 연방 재난관리청(FEMA; Federal Emergency Management Agency)에서 제공하는 지진 피해분석 및 평가 도구인 HAZUS-MH 시스템을 중심으로 지진 피해 분석을 수행하고 있다[6,7].

국내의 연구자들도 미국의 HAZUS-MH나 ERGO 같은 시스템을 활용하여 한국 지형 데이터인 공간정보를 이용하여 지진 피해 평가를 수행하고 있지만 시스템 활용 측면에서는 어렵고 단순히 미국건물들의 표준 데이터 값을 이용하여 분석함으로써 한국건물에 적합한 데이터를 사용하지 않으므로 정확한 지진 피해 분석 결과는 도출할 수 없다.

본 연구에서는 실시간으로 도시별 지진에 따른 피해 분석을 수행하며 국내외의 연구진들이 연구한 국내외 감쇄식들도 사용할 수 있으며[10-12] 국내 22종의 건물 종류에 따른 구조물의 연도, 구조물의 높이, 구조물의 탄성 등의 정보를 이용하여 지진 피해를 계산한다. 따라서 본 연구에서는 가상으로 지진이 발생할 수 있는 도시/구 지역을 선택하고 지진 규모 및 진원지 깊이 등을 사용자가 설정하여 실시간으로 지진에 따른 구조물의 피해 분석을 시뮬레이션하여 그 피해 분석 결과를 실제 지도와 맵핑하여 구조물들의 피해를 가시화하였다.

II. 국내외 관련 연구

미국 연방재난관리청 (FEMA; Federal Emergency Management Agency)에서 개발한 HAZUS-MH는 다양한 자연 피해를 평가하는 시스템이다. 대부분 이런 시스템들은 지리정보시스템을 사용하여 다양한 재난들에 대한 피해 평가 후 그 결과를 바탕으로 보험, 도시재설계, 구시가지 위험지역 분석 등과 같이 다양한 분야에서 의사 결정 지원 데이터로 활용한다[1].

HAZUS-MH의 재난 피해분석 시스템은 지진 분석데이터를 중심으로 그 피해 정도를 분석한다. 즉 건물의 종류, 용도 등의 시설물에 대해 물리적 피해를 우선 계산한다. 그 후 물리적 피해 발생으로 인해 2차 피해에 해당하는 화재, 침수, 붕괴 등 추가적 재난 발생에 다른 비용 및 복구비용까지 함께 계산을 수행한다[1]. 따라서 이 시스템은 매우 다양한 재해에 대한 분석을 수행 및 분석 결과를 제시하지만 국내에서 사용하기 위해서는 어렵다. 왜냐하면 대부분이 미국 구조물에 대한 표준 데이터 값을 사용하기 때문이다.

얼고(Ergo)는 일리노이주 소재 국가 슈퍼컴퓨팅 응용센터(NCSA; National Center for Supercomputing Applications)에서 연구개발을 수행하고 있다. 얼고는 자바 기반의 다양한 재난 피해 평가 분석 시스템으로 HAZUS-MH와 유사한 기능들이 많다[4].

OpenQuake 소프트웨어는 GEM(Global Earthquake Model)과 오픈 소스 개발자가 참여하여 지진 위험도(hazard)와 지진 위험성(risk)을 계산 및 평가를 할 수 있는 소프트웨어이다[9]. OpenQuake는 지진 위험 계산은 OpenQuake 위험도(Hazard)와 위험(Risk) 라이브러리를 사용할 수 있다.

국내외에서는 대부분 HAZUS나 Ergo를 활용하여 도시별 지진 피해 분석에 활용하고 있다. 하지만 국내 연구자들은 보통 그 시스템에서 기본적으로 제공하는 구조물 종류에 따른 취약도 곡선이나 미국 지반에 따른 감쇄식 등을 사용하여 국내 지진 피해 분석을 수행하고 있다. 즉 해외의 구조물에 대한 표준 데이터 값들과 미국 지반 감쇄식 모델들을 기본 값으로 설정하여 사용하고 있다. 지진 피해 평가 시스템에서 지반의 특성은 핵심 요소로 사용되며 그 값이 잘못될 경우에 그 분석 결과 값은 완전히 달라진다.

III. 실시간 도시별 지진 피해 분석·평가

본 연구에서는 우선 도시별 지진 피해 분석 평가를 위해서 한국 지역별 건축물 데이터를 자동으로 수집하여 데이터 통합 및 표준화 시스템을 구축하였다. 이 한국 건물데이터를 바탕으로 사용자가 지진 피해 분석 및 평가를 하고자하는 도시나 구를 선택하고, 지진 규모, 진원지 깊이, 감쇄식, 분석모델 등을 옵션으로 선택할 수 있게 개발하였다. 이런 다양한 변수들을 시스템에서 활용하여 실제 시뮬레이션을 수행하는 엔진을 분리하여 개발하였다. 즉 지진 피해 분석 엔진을 다른 시스템간의 상호 유기적으로 활용할 수 있는 구조로 설계 및 개발하였다.

본 논문에서 제시한 지진 피해 분석 및 평가 시스템의 개념도는 아래 그림.1과 같다.

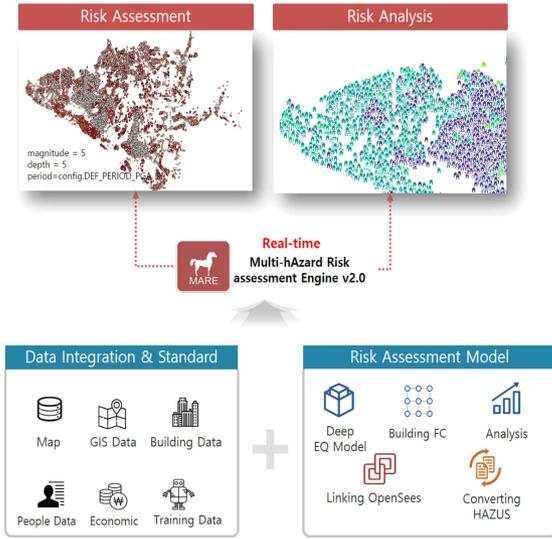


그림 1. 실시간 지진 피해 평가 시스템
Fig. 1. Real-time Risk Assessment System

본 논문에서 제시한 지진 피해 분석 시스템의 핵심 기능은 크게 4가지 기능으로 구분된다.

첫째, ‘데이터 통합 및 표준화’의 기능으로 공공데이터포털 등의 사이트의 데이터로부터 필요한 지진분석에 필요한 데이터를 자동 수집한다. 지진 피해 분석에 필요한 핵심 데이터는 도시별 건물 데이터, 인구 데이터, 경제 데이터들이며 이들 데이터를 자동 수집하여 통합 구축하였다. 아래 그림.2는 도시별 건축물 데이터, 인구 데이터, 경제 데이터를 수집하는 관리시스템을 보여주고 있다.

데이터번호	데이터명	등록일시	작성일시	변경일시	상태
17	부산광역시 건축물데이터	2018-12-13 14:33:31	2018-12-13 14:40:50	2018-12-14 01:48:41	정상
16	대구광역시 건축물데이터	2018-12-11 12:28:09	2018-12-11 14:51:19	2018-12-14 01:41:58	정상
15	울산광역시 건축물데이터	2018-12-11 02:18:20	2018-12-11 09:29:05	2018-12-14 01:41:40	정상
14	경상북도 건축물데이터	2018-12-10 03:00:37	2018-12-13 15:29:12	2018-12-14 01:30:02	정상
13	충청북도 건축물데이터	2018-12-10 02:57:32	2018-12-13 14:52:33	2018-12-14 00:38:09	정상

그림 2. 데이터 통합 및 표준화 관리 시스템
Fig. 2. Data Integration and Standardization Management

둘째, ‘피해 분석 모델/알고리즘’ 기능으로 사용자나 연구자가 지진 피해 분석 및 평가하고자하는 모델을 선택할 수가 있다. 지진 피해 분석에서 중요한 감쇄식, 건물별 취약도 곡선

및 피해 분석 평가 모델 등이 있다. 본 논문에서는 다양한 감쇄식 모델을 제공하기 위해서 감쇄식 모델 선정 및 개발 기준으로 우리나라 지진 전문가들이 많이 사용하는 모델 중심으로 8개 정도 개발하였다. 하지만 본 논문에서는 한국지형에서 가장 많이 사용하는 3개의 감쇄식 모델을 적용하여 실험하였다.

수식(1)과 같이 Toro et al.[11]의 감쇄식은 추계학적인 지진동 모델에서 유도된 것으로 두 개의 지역(Mid-continent, Gulf)과 두 개의 규모 단위(moment magnitude, Lg-wave magnitude)로 나누어진다. 이 식은 1.0~35.0Hz의 주파수와 1~500km의 거리, 지진 규모 5.0~8.0의 지진에 적용하는 것이 가장 적합하다[10].

$$\ln PGA = 2.2 + 0.81(M_w - 6) - 1.27 \ln R - 0.0021R + 0.11 \max[\ln(\frac{R}{100}), 0] \quad (1)$$

PGA:[gal], M : Moment magnitude, $R = \sqrt{R^2 + 9.3^2} : [km]$

수식(2)는 조남대와 박창업[10]의 감쇄식으로 coda정규화법하여 산출된 변수 활용한 추계학적 모사하여 도출되었다. 또한 관측 자료에서 도출된 실체과의 기하학적 확산을 $R^{-0.87}$ 로 적용한 것이다[20].

$$\ln PGA = c_0 + c_1 * R + c_2 * \ln R - \ln[\min(R, 100)] - 0.51 \ln[\max(R, 100)] \quad (2)$$

PGA:[gal], M : Moment magnitude, $R = \sqrt{R^2 + 10^2} [km]$

수식(3)은 신진수 등[12]의 한반도 남부의 지진과 감쇄특성을 고려하여 개발한 감쇄식으로 쌍계사지진, 포항지진, 홍성지진 및 영월지진에 대한 가중치를 중심으로 감쇄공식을 계산한 것이다.

$$\ln PGA = 0.4 + 1.2M_w - 0.76 \ln R - 0.0094R \quad (3)$$

PGA:[gal], M : Moment magnitude, $R : [km]$

본 연구에서는 위와 같이 국내 연구자들이 연구 및 개발한 감쇄식을 포함하여 우리나라의 각 도시별 지진 피해 분석을 평가할 수 있다.

셋째, “실시간 지진 피해분석 엔진” 기능은 지진 피해 분석 및 평가할 도시, 지진의 규모, 진원지 깊이, 감쇄식 모델 등의 다양한 변수 값들을 이용하여 최종적으로 지진 피해에 대한 평가를 수행하는 엔진이다. 본 논문에서는 여러 가지의 평가 모델 중에서 가장 많이 사용하는 최우도추정법에 의한 분석 모델 적용하여 지진 피해 평가를 수행했다. 본 연구에서는 건물의 건축 연도, 건축물의 높이, 건축물 종류별 탄성정보도 함

게 고려하여 평가한다.

실시간 피해분석 엔진의 흐름도는 아래와 같다. 앞에 설명한 것과 같이 사용자가 지진 피해 분석할 도시/구 선택하고 지진규모, 진원지, 해당 도시의 적합한 지형의 감쇄식 선택한다. 그리고 해당 도시/구에 대한 위험도 분석을 수행하며 그 후에 구조물의 속성 정보를 활용하여 구조물의 건축년도, 높이 및 취약도 곡선 값 등을 계산하여 각 구조물별로 피해를 실시간으로 계산한다.

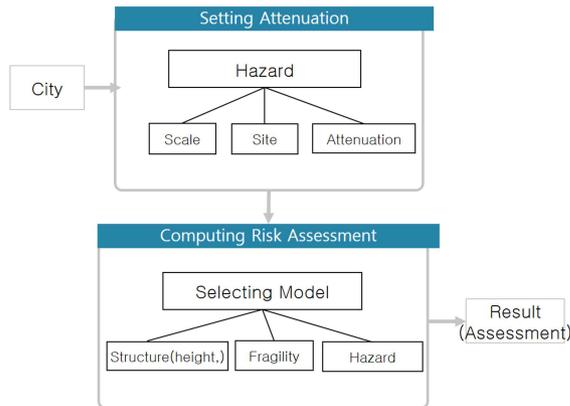


그림 3. 지진 피해 평가 과정
Fig. 3. Seismic Risk Assessment process

마지막, “분석결과 UI/UX”은 분석된 결과 값들을 지리정보 시스템에 맞게 가시화하는 부분이다. 즉 실제 지도와 분석한 데이터 파일을 상호 맵핑함으로써 분석 결과에 대해서 이해력을 높일 수가 있었다. 즉 실제 지진 피해 분석 엔진에서는 구조물의 데이터, 모델, 다양한 변수값 등을 이용하여 실시간 빠르게 지진 피해 분석을 수행하고 그 결과에 대해서는 실제 지도층에 맞추어서 표시한 것이다.

본 연구에서 고양시 건물 데이터를 이용하여 가상으로 지진 규모 5와 서남쪽에 진원지 깊이는 10Km로 설정하였고 그 피해 분석 및 평가를 수행한 결과는 아래 그림과 같다.

본 연구에서 고양시 데이터에 대한 분석결과를 보면 그림. 4는 지진규모 5에 대해서 완전히 파괴될 경우에 대해서 피해가 가장 높게 나타나는 빨간색 부분의 건물 피해 분석 값은 25%~31%로 나타났으며 피해가 가장 낮게 나타나는 흰색 부분의 건물 피해 분석 값은 0%~0.06%로 나타난 것이다. 따라서 Toro et al.[11]의 감쇄식기반의 분석결과는 고양시 대부분 지역은 안전한 것으로 평가가 되었다. 즉 지반의 특성에 따라 지진 평가 결과 값이 완전히 달라진다. 따라서 그 지역에 가장 적합한 지반 특성을 반영해야 한다.



그림 4. Toro et al의 감쇄식 모델 사용한 고양시 지진 피해 평가
Fig. 4. Goyang-si seismic risk assessment using Toro et al.'s attenuation model

아래 그림. 5는 조남대와 박창업[10]의 지진 감쇄식을 기반으로 분석한 것이다. 앞에서와 같이 고양시 데이터를 이용하여 가상으로 지진 규모 5와 서남쪽에 진원지 깊이는 10Km로 설정하였고 피해 분석 및 평가를 수행한 결과는 아래 그림과 같다.

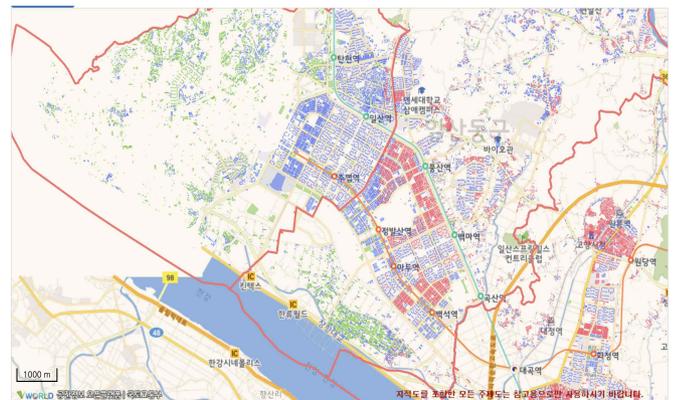


그림 5. 조남대와 박창업의 감쇄식 모델 사용한 고양시 지진 피해평가
Fig. 5. Goyang-si's seismic risk assessment using Jo and Baag(2003)'s attenuation model

그림. 5는 지진규모 5에 대해서 완전히 파괴될 경우에 대해서 피해가 가장 높게 나타나는 빨간색 부분의 건물 피해 분석 값은 23%~28%로 나타났으며 피해가 가장 낮게 나타나는 흰색 부분의 건물 피해 분석 값은 0%~0.05%로 나타난 것이다. 따라서 조남대와 박창업[10]의 감쇄식 기반의 분석 결과 고양시의 1988년 이전의 오래된 건물들에 대해서는 위험도가 높게 평가가 되었다. 따라서 그림5과 같이 붉은 색으로 표시된 지역은 대부분의 해당지역이 오래되고 건물종류가 블록이나 벽돌과 같은 조적 구조이며 내진설계 시설이 없는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 인천시에 대해서도 가상 지진에 대해서 시

플레이션을 수행하였다. 그림 6은 조남대와 박창업[10]의 지진 감쇄식을 기반으로 분석한 것이다. 인천시 남동구지역의 아파트단지를 대상으로 가상으로 지진 규모 5와 서남쪽에 진원지 깊이는 10Km로 설정하였고 피해 분석 및 평가를 수행한 결과는 아래 그림과 같다.

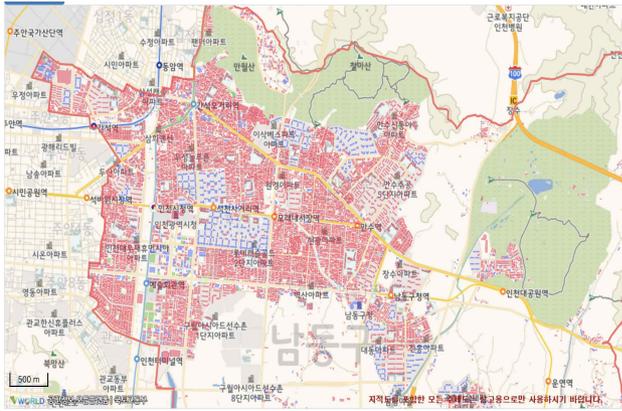


그림 6. 인천 남동구 주거 지역
Fig. 6. Inchenon namdong-gu's residential area

그림. 7은 조남대와 박창업[10]의 지진 감쇄식을 기반으로 분석한 것이다. 인천시 남동구지역의 산업단지를 대상으로 가상으로 지진 규모 5와 서남쪽에 진원지 깊이는 10Km로 설정하였고 피해 분석 및 평가를 수행한 결과는 아래 그림과 같다.



그림 7. 인천 남동구 산업단지 지역
Fig. 7. Inchen namdong-gu's industrial complex area

위 그림. 6과 그림. 7의 결과와 같이 가상의 규모 5의 지진이 발생할 경우에 오래되고 건물종류가 블록이나 벽돌과 같은 조적 구조이며 내진설계 시설이 없는 것 건물들이 많은 피해를 받는 것으로 분석된다. 이와 같이 본 연구에서는 가상으로 지진이 발생할 경우를 대비하여 실시간으로 도시별/구별 지진 피해 평가를 통해서 위험지역을 발굴할 수가 있다. 따라서 각 도시의 시청이나 지자체의 재난재해 부서에서 이와 같

은 다양한 분석결과를 바탕으로 지진에 대한 대비와 대응 준비할 수가 있을 것이다.

IV. 결론 및 향후 연구

오늘날 전 세계적으로 많은 재해들이 발생하고 있다. 그 재해들은 복합재난으로 발생하는 경우가 많아지고 있다. 예를 들면 지진이 발생 후 해일, 화재, 도로 붕괴 등의 다양한 재해 피해가 발생한다. 기상청의 지진 통계 자료에 의하면 최근 우리나라에서도 규모 5.0 이상 지진이 1978년 이후에 9번 발생했으며 2016년도에는 3번, 2017년도에는 1번이나 발생하였다. 따라서 우리나라에서는 규모 5이상의 지진발생 정도가 점점 짧아지고 많아지고 있다

본 연구에서는 도시별 지진이 발생할 경우에 다양한 변수 값을 이용하여 실시간으로 지진 피해를 평가 및 분석할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이를 기반으로 실시간 지진 규모에 따른 도시별 지진 피해 분석을 수행할 수는 기반을 구축하였다. 본 논문에서 가상으로 고양시에 대한 규모 5에 대한 지진 피해 분석을 수행한 결과 오래된 도시 중심으로 피해가 많이 발생하는 것을 평가할 수가 있었다. 또한 가상으로 인천광역시 남동구 지역에 대한 규모5에 대한 지진 피해 분석을 수행한 결과 산업단지보다 주거 단지 주변이 지진에 취약한 것으로 평가되었다.

향후과제로는 보다 정확성이 높은 도시별 지진 피해 분석을 위해서는 우리나라 건물 22종류, 건물 크기, 건축 연도 등을 고려한 각 구조물 별로 정확한 취약도 곡선(Fragility Cure) 데이터 구축이 더 필요로 하다. 이를 바탕으로 지진 피해에 따른 정확한 건물피해를 분석 할 수가 있다. 또한 도시별 정확한 지반 감쇄 정도를 도출하여 지진 피해 분석이 필요로 하다.

감사의 글

본 논문은 2019년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 국가과학기술연구회 융합연구단 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

[1] HAZUS-MH Technical Manual, Department of Homeland Security Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., Technical Manual 2.1, pp. 1-718, 2018.
 [2] SYNER-G [Internet]. Available: <http://www.vce.at/>.
 [3] S.E. Chang, C. Pasion, K. Tatebe, R. Ahmad, "Linking lifeline infrastructure performance and community disaster resilience : models and multi-stakeholder processes", *Technical Report MCEER-08-0004*, 2008
 [4] Ergo [Internet]. Available: <http://ergo.ncsa.illinois.edu/>.

- [5] A. Vecere, R. Monteiro, W.J. Ammann, S. Giovinazzi, R. H. M. Santos, "Predictive models for post disaster shelter needs assessment", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, No. 21, pp. 44-62, 2017.
- [6] S. Y. Kang, K. H. Kim, B. C. Suk, H. S. Yoo, "A simulation of earthquake loss estimation for a gyeongju event", *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 8, No. 3, pp. 95-103, June 2008.
- [7] G. H. Jeong, H. S. Lee, O. S. Kwon, K. R. Hwang, "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, November 2006.
- [8] National Disaster Manage System (NDMS) [Internet]. Available: <http://www.safekorea.go.kr/>.
- [9] Open Quake Engine. Global Earthquake Model [Internet]. Available: <http://www.globalquakemodel.org/>.
- [10] N. D. Jo and C. E. Baag, "Estimation of Spectrum Decay Parameter and Stochastic Prediction of Strong Ground Motions in Southern Korea", *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol. 7, No. 6, pp. 59-70, 2003.
- [11] G. R. Toro, N. A. Abrahamson and J. F. Schneider, "Model of strong ground motions from earthquakes in central and eastern North America", *Best estimates and uncertainties. Seismology Research Letters*, Vol. 68, No.1, pp. 41-57, 1997.
- [12] J. S. Shin, J. R. Lee and C. E. Baag, "Seismic Wave Attenuation in the southern Part of Korean Peninsula", pp.44-51, 1998
- [13] Quake Core. NZ Centre for Earthquake Resilience [Internet]. Available: <http://www.quakecore.nz/>.
- [14] Korea Meteorological Administration. Wether information [Internet]. Available : <http://www.kma.go.kr/eng/index.jsp/>.

김광영(Kwang-Young Kim)



2001년 : 부산대학교 대학원
(공학석사-한글어 형태소분석기)
2011년 : 충남대학교 대학원
(문헌정보학박사-개인화검색시스템)

2001년~현 재: 한국과학기술정보연구원

※관심분야 : 지진피해분석, 정보검색(IR), 딥러닝기반 개체명 인식기, 개인화 검색시스템, PLOT기반 식별기술