

지진재해예측을 위한 HAZUS와 ShakeMap의 한반도에서의 적용가능성 연구*

강수영¹ · 김광희^{1*} · 김동춘¹ · 유해수¹ · 민동주¹ · 석봉출¹

A Preliminary Study of the Global Application of HAZUS and ShakeMap for Loss Estimation from a Scenario Earthquake in the Korean Peninsula*

Su Young KANG¹ · Kwang-Hee KIM^{1*} · Dong Choon KIM¹
Hai-Soo YOO¹ · Dong-Joo MIN¹ · BongChool SUK¹

요 약

미국의 FEMA와 NIBS에서 개발한 HAZUS-MH는 GIS를 기반시스템으로 하는 자연재해 전후의 피해정도를 평가 및 분석하는 재해정보시스템이다. 본 연구에서는 HAZUS-MH를 한반도의 일부지역에 시범적으로 적용하고, 그 운영에서의 효율성 및 문제점을 제시한다. 한반도 지진관련 연구자료 및 역사지진자료를 토대로 경상남북도를 적용대상지역으로 선정하였다. 연구지역에서 발생한 지진 중 인명피해가 있었던 서기 779년 경주에서 발생한 규모 6.7의 지진을 선택하여, 이 지진이 2000년도에 재발생하였다는 가정 하에 HAZUS를 적용하였다. 이 시스템을 적용하여 연구지역의 지진재해를 예측할 때 USGS에서 제공하는 ShakeMap의 지진동자료를 이용하였다. 이러한 연구를 통하여 미국의 HAZUS가 한반도에도 적용가능하다는 것을 알 수 있었으며, 한반도 전 지역에서 발생하는 모든 자연재해에 대하여 HAZUS를 적용한다면 우리나라의 자연재해에 의한 피해를 예측하고 대응하는데 효율적으로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : HAZUS, ShakeMap, 자연재해, 재해예측, 지진, GIS

ABSTRACT

Efficiency and limitations of HAZUS-MH, a GIS based systematic and informative system developed by FEMA and NIBS for natural hazard loss estimations, are discussed by means of a pilot study in the Korean Peninsula. Gyeongsang-do has been selected for the test after careful reviews of previous studies including historical and modern seismicity in the peninsula. A ShakeMap for the selected scenario earthquake with magnitude 6.7 in Gyeongju area is

* 이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-5101)의 지원으로 수행되었습니다.

2006년 12월 7일 접수 Received on December 7, 2006 / 2007년 3월 12일 심사완료 Accepted on March 12, 2007

1 한국해양연구원 해양환경연구본부 Marine Environment Research Dept. Korea Ocean Research & Development Institute

※ 연락처 E-mail : kwanghee@kordi.re.kr

prepared. Then, any losses due to the scenario event have been estimated using HAZUS. Results of the pilot test show that the study area may experience significant physical, economic, and social damages. Detailed study in the future will provide efficient and crucial information to the decision makers and emergency agents to mitigate any disaster posed by natural hazards.

KEYWORDS : HAZUS, ShakeMap, Natural Hazard, Loss Estimation, Earthquake, GIS

서 론

지진·태풍·홍수 등 자연현상에 의해 발생하는 재해를 자연재해라 하며, 이 같은 재해는 발생시기와 규모를 정확히 예측할 수 없고 대책수립에도 어려움이 따른다(노명현과 김연중, 1996; Huppert와 Sparks, 2006). 여러 자연재해 중 지진은 일단 발생하면 인명피해는 물론 건물 및 공공시설물의 파괴와 화재 같은 이차적인 재해를 동반하는 복합적인 재난으로 나타난다(경제복, 1995; 김재관, 1997; 정길호 등, 2002). 이러한 재난에 효과적으로 대응하기 위해서는 유관기관간의 신속하고 효율적인 재해정보교류와 재해요소에 대한 사전·사후 영향을 분석하고 평가할 필요가 있다. 이를 지원하는 과학적이며 체계적인 통합재해정보시스템의 구축 및 운영이 재해의 규모를 줄이는 중요한 요소로 작용할 수 있다(백민호와 홍혜연, 2003; Miyatake와 Nunomura, 2006).

이러한 시스템 중의 하나인 HAZUS(HAZARD U.S.) Earthquake는 미국의 FEMA(Federal Emergency Management Agency)와 NIBS(National Institute of Building Sciences)에 의해 1997년도에 처음 개발된 시스템으로 가상지진이나 역사지진, 또는 실측지진의 지진자료와 기본 입력 자료를 통해 재해규모를 추정하는데 이용된다(Gulati, 2006; Schneider와 Schauer, 2006). HAZUS는 GIS(Geographic Information Systems) 기술을 토대로 구축된 시스템으로 그 성능이 꾸준히 향상되고 있으며, 현재 미국의 재해위험예측과 피해저감계획을 위한 의사결정 지원수단으로서 사용이 점

차적으로 증가하고 있다.

이 시스템은 미국의 재해재난 예측을 목적으로 개발되었기 때문에 미국 이외의 지역에서 사용하기에는 제약이 따른다. 다른 지역에 적용한 예로는 Oak Ridge National Laboratory의 LandScan 2004에 의해 생성된 이탈리아의 시실리 인구자료와 격자모양으로 새롭게 재구성된 행정구역자료를 미국의 자료와 대체시키는 방법으로 HAZUS를 적용하였다(Hansen과 Bausch, 2006). 국내 적용사례로는 HAZUS의 세 가지 재해예측 방법 중 결정론적 방법과 확률론적 방법을 이용하여 충청남도 지역의 최대 피해지역을 산출한 사례가 있다(강익범과 박정호, 2002).

본 연구에서는 위의 두 가지 방법과 다른 방법으로 HAZUS를 한반도의 일부지역에 적용한다. 우선 통계청과 유관기관들로부터 자료를 수집하고, 이러한 자료를 GIS를 통해 데이터베이스화 한 후 미국의 자료와 대체시켜 HAZUS에 적용했다는 점에서 Hansen과 Bausch(2006)의 방법과 다르다. 또한 HAZUS의 재해예측 세 가지 방법 중 사용자지정 재해예측방법인 ShakeMap을 시스템에 적용하여 지진피해 규모를 추정하는 방법을 사용하였다는 점에서 강익범과 박정호(2002)의 방법과 차이가 있다.

본 연구에서는 경상분지 내 양산단층과 울산단층 부근의 활발한 지진활동의 관찰과 연구, 그리고 여러 역사문헌에서의 지진기록들을 근거로 한반도의 동남부지역인 경상남북도를 연구지역으로 지정하고, 경주지역의 역사지진(규모 6.7)에 대하여 시스템을 구성한다. 각 기

관으로부터 구축된 이 지역의 기본 자료와 지진정보를 포함하는 USGS(U.S. Geological Survey)의 ShakeMap을 HAZUS에 적용하여 재해규모를 추정하는 방법을 통해, 한반도에서 이 시스템의 적용성과 효율성을 알아볼 것이다.

지진재해예측시스템

지진에 따른 사전 또는 사후의 피해규모를 예측하기 위해 많은 국가에서 자국의 실정에 맞는 지진재해예측시스템을 개발하여 이용하고 있다. 대표적인 예가 미국의 HAZUS로서 주로 지진의 지진동에 따른 직접적·간접적인 피해를 예측하는 시스템이며, 홍수와 허리케인에 의한 자연재해도 예측한다(FEMA, 2006). 유사한 지진재해예측시스템으로 일본에서는 1995년 고베지진(효고현 남부대지진) 이후 DIS(Disaster Information System)라는 통합적인 지진피해 조기평가시스템을 개발하여 재해발생시 관련된 기관들과 신속하게 정보를 교환함으로써 재해에 조속히 대응한다(Miyatake와 Nunomura, 2006). 이 시스템은 실시간으로 재해를 산정하는 조기평가시스템(Early Estimation System)과 응급상황 시 도로, 상하수도, 전기 등 공급처리 시설의 피해를 계산하는 긴급조치지원시스템(Emergency Measures Support System)등의 부시스템을 포함한다(National Land Agency of Japan, 2006). 이밖에 캐나다에는 NHEMATIS(Natural Hazards Electronic Map and Assessment Tools Information System), 대만에는 TELES(Taiwan Earthquake Loss Estimation System), 그리고 러시아에는 EXTREMUM이라는 유사한 시스템들이 있는데, 이들은 앞서 언급한 시스템들과 같은 목적으로 운영되고 있다(강익범, 2005; Gulati, 2006).

국내에서는 GIS나 기타 분석기법을 이용하여 방재시스템과 재해위험도 평가에 대한 연구 사례들이 있다. 그 예로, 지질학적·지역적 정보를 GIS에 적용하여 지질상의 재해, 특히 산사태의 위험도를 추정하는 GHIS(Geological

Hazard Information System)를 한국지질자원 연구원에서 개발하였다(Lee와 Choi, 2003). 이 밖에 태풍 후 GIS나 GPS를 이용하여 사빈지형의 변화를 분석하거나(홍현정 등, 2006), GIS와 수리모형을 통해 홍수지역을 예측한 사례가 있다(김석규 등, 2006). 이 밖에 GIS를 이용한 도시방재시스템의 구축방안을 모색하고자 하는 연구사례(백동승, 2004) 등에서 알 수 있듯이, 여러 분석기법을 사용하여 재해 또는 재해위험지역을 예측하는 사례들은 있으나, 재해지역의 피해규모를 예측하여 평가할 수 있는 우리나라의 대표적인 재해예측시스템은 아직까지 알려진 바 없다.

1. HAZUS Earthquake

HAZUS-MH의 재해 평가기술 중 하나인 HAZUS Earthquake는 지진자료와 Inventory Data를 이용하여 대상지역의 지진피해를 물리적 재해, 경제적 손실, 그리고 사회적 영향으로 나누어 산출한다(Kircher 등, 2006). 지진자료는 역사지진이나 가상지진, 혹은 실측지진의 발생위치와 규모, 단층 등을 포함하며, Inventory Data는 인구와 건물, 경제·사회관련 통계자료, 주요 공공시설물과 교통관련자료 등의 위치·속성정보, 그리고 지질정보 등을 포함한다. 물리적 재해 산출에서는 거주지나 상업지역 내의 건물 및 학교, 병원 등과 같은 주요한 건물들과 도로나 철로를 포함하는 주요한 공공시설물들의 피해 등을 추정하며, 경제적인 손실에는 재해로 인한 일시적 사업 중지로 인한 손실, 건축물 수리비용 또는 재건축 비용 등을 산출한다. 사회적인 영향은 사상자와 이재민을 산정하는데, 이 정보는 자연재해의 총체를 규명하는데 있어 중요한 역할을 한다(FEMA, 2006; Kircher 등, 2006; Miyatake와 Nunomura, 2006).

HAZUS Earthquake의 장점은 개인컴퓨터에서 사용이 용이하고, 다수의 시설물에 대한 재해 산정을 동시에 수행한다는 것이다(Kircher

등, 2006; Schneider와 Schauer, 2006). 또한 지역별 지진동의 상태를 물리적으로 정확히 묘사하는 최대지진동(peak ground motion)과 응답스펙트럼(spectral response)을 사용하여 신뢰성 높은 장·단기적인 경제적·사회적 손실을 산정한다(Wald 등, 1999; Kircher 등, 2006; Schneider와 Schauer, 2006).

서론에서 잠시 언급하였던 HAZUS의 지진 재해 산출방법에는 세 가지 유형이 있다. 첫째 결정론적 재해(deterministic hazard)는 지진규모, 지질, 감쇠전달, 단층 등을 사용하여 계산된 최대지반가속도 값을 이용하는 방법으로서, 역사지진이나 임의의 지진자료를 이용한다. 이 방법에 사용되는 역사지진의 경우 HAZUS의 database를 사용하며, 임의의 지진의 경우 북미지역에 위치하여야 한다. 우리나라의 경우 근래에 큰 규모의 지진이 관측되지 않아 데이터베이스 안에 포함되어있지 않고, 위치 또한 시스템에서 지원하는 지역을 벗어난 아시아에 위치하고 있다. 둘째 확률론적 재해(probabilistic hazard)는 재래주기별 확률로 최대지반가속도 값을 계산하는 방법으로서 USGS의 확률론적 지진재해 곡선과 지진동(ground motion) 자료를 기초로 재래주기를 산정한다(강익범과 박정호, 2002). 셋째 사용자지정 재해예측방법은 지진동의 최대지반가속도와 최대지반속도, 스펙트럼가속도를 이용한 지진동 지도(ground shaking map or ShakeMap)를 이용한다(FEMA, 2006).

2. ShakeMap

USGS에서 제작하는 ShakeMap은 단층위치 등을 포함한 지질자료와 지진자료, 관측 또는 계산된 지역별 진동의 강약을 표시한 지도로서 HAZUS의 사용자지정 재해추정방법에 사용된다(Wald 등, 1999; Kircher 등, 2006; Wald 등, 2006). ShakeMap에는 계기진도(instrumental intensity)와 최대지반가속도(peak ground acceleration), 최대지반속도(peak ground

velocity), 응답스펙트럼(response spectrum at 0.3, 1.0, and 3.0 second periods) 등이 포함되어 있다. 진도(intensity)는 한 지점에서 지진을 느낀 정도를 표시하는 반면, 최대지반속도 또는 최대지반가속도는 관측장비(속도지진계 혹은 가속도지진계)에 기록된 한 지점에서 정확한 지반의 흔들림을 표시한다. 또한, 응답스펙트럼은 고유주파수와 감쇠비에 따른 지반 혹은 구조물의 반응을 표시한다. 계기진도 지도(instrumental intensity map)는 지진으로 인한 진동의 분포를 신속하게 규명하는데 유용하지만 재해 세부내역은 추정할 수 없으므로, ShakeMap을 HAZUS에 적용하여 재해 세부내역을 추정한다(Kircher, 2003).

USGS에서는 규모 5.0 이상의 지진이 발생하면 지진동의 정도를 표시하는 ShakeMap을 자동적으로 생산하고, 가상지진에 대해서는 선형적 관계식을 통하여 생산하기도 한다. ShakeMap을 HAZUS에서 사용함으로써 단지 최대지반가속도나 최대지반속도만을 이용하여 얻어진 지진재해 산정보다 더 명확하게 재해를 묘사할 수 있다는 장점이 있다(Wald 등, 1999; Kircher 등, 2006).

HAZUS의 적용방법 및 사례

1. 한반도 남부의 지진발생과 재해위험지역

과거 2000년 동안의 역사지진 기록을 보면, 그 규모 추정에 있어 이견이 있지만 주로 한반도의 남동부 일대(경주와 울산 지역)에 집중적으로 발생하였으며, 이는 활성단층으로 알려진 양산단층과 밀접한 관계가 있을 것이라 추정된다(Lee와 Jin, 1991; 경제복과 이희욱, 1998; 이기화 등, 1998; Chiu와 Kim, 2004). 그 예로, 서기 779년 4월에 부산에서 북동쪽으로 약 60km 떨어진 곳에서 발생하여 한반도 역사상 가장 큰 인명피해를 유발했던 지진과, 1643년 7월 울산에서 발생한 한반도에서 가장 큰 규모로 추정되는 지진이 있다(Lee와 Jin,

1991; 이기화, 1998; 이기화와 김정기, 2000; Chiu와 Kim, 2004). 최근에는 1997년 6월 규모 4.3의 경주지역 지진발생으로 한반도 내 지진위험성이 부각되어 국내 지진 관측망이 확대 증설되는 계기가 되기도 하였다(노명현, 2003).

최근에도 크고 작은 지진이 자주 발생하고 있는 경상남북도에는 안전성이 중요한 원자력 발전소가 부산·경주·울진 3곳에 위치해있으며, 인구와 건물의 밀집도가 높고 주요 산업기반 시설물을 포함하는 부산·대구·울산 3개의 광역시를 포함하고 있다. 특히 경주를 포함하는 경상북도에는 2000년도 기준으로 전국에서 가장 많은 문화재를 보유(전국의 19%, 535점, 통계청, 2006)하고 있기 때문에, 지진재해로부터 이 지역의 안전성을 확보하기 위한 꾸준한 노력이 계속되고 있다.

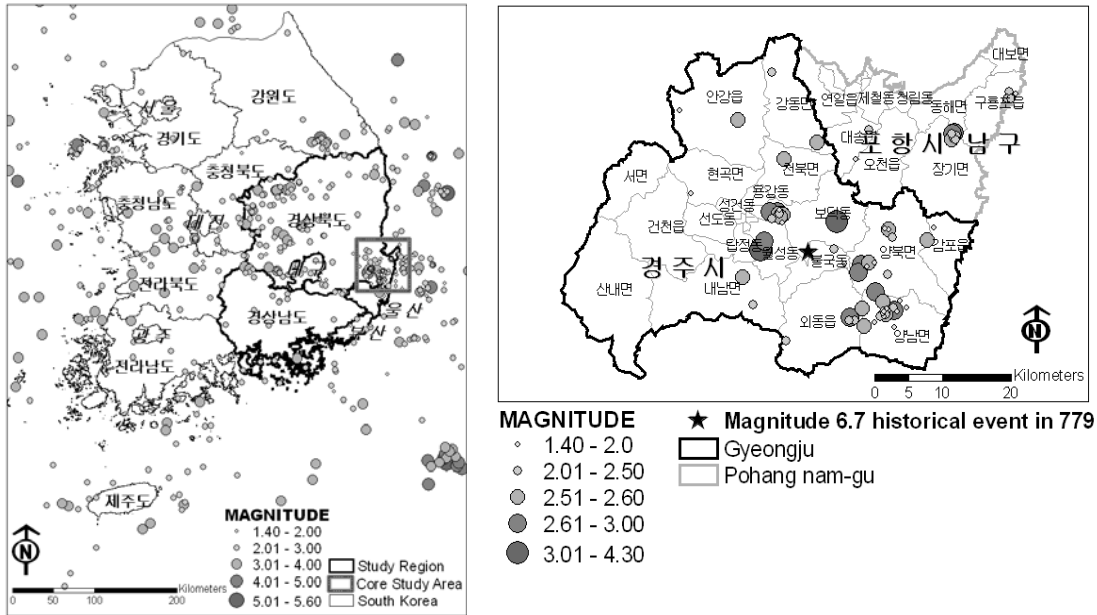
그림 1의 (a)는 한국지질자원연구원에서 지진파의 도착시간을 이용하여 결정한 자료로 1994년 12월부터 2006년 4월까지 국내에서의

지진발생분포를 나타낸 것으로서, 한반도 남동부 지역에서 지진활동이 활발함을 알 수 있다. 그림 1의 (b)에서는 동일 기간 경주시와 포항시 남구에서 발생한 규모 1.4 이상의 지진을 확대표시하고, 문헌상 가장 많은 인명피해가 기록되어있는 서기 779년 규모 6.7의 경주지진 위치를 표시하였다(Lee와 Yang, 2006).

2. HAZUS의 적용

2.1 자료구축 및 오류보정

본 연구의 인구자료를 비롯한 각종 통계자료는 통계청에서 수집하여 정리한 뒤 GIS Tool을 이용해 각 행정구역의 위치정보와 함께 데이터베이스로 만들었다. 그 외 국토지리정보원에서 보급한 수치지도로부터 도로를 비롯한 교통망과 주요시설물/건물 등을 수집하였고, 원자력 발전소 같은 일부 점 데이터들은 그 주소를 GIS 도구를 통해 데이터베이스화



(a) Earthquake distribution in South Korea (b) Earthquakes occurred at the Gyeongju area

FIGURE 1. Recent earthquakes and their magnitudes(1994.12~2006.4). Earthquake hypocenters are determined by Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

하였다. 그러나 ShakeMap 작성 시 고려해야 하는 지질의 특성을 나타내는 시추자료와 단층자료, 기본 입력 자료에서 요구되는 자세한 정보자료(예, 토목구조/재료, 바람의 세기, 병원 침대 수, 도로별 교통량의 수 등) 등 일부 자료는 전문가의 의견반영 등의 어려움으로, 본 연구에서는 구축과 오류보정이 용이한 자료(인구와 건물관련 자료, 경제·사회관련 통계 자료 등)를 이용하여 HAZUS가 한반도에서도 적용이 가능한지를 알아보았다. HAZUS는 구축된 자료의 양과 내용에 따라 재해 산출결과가 달라질 수 있는데(FEMA, 2006), 자료의 구축정도가 적은 이번 연구는 HAZUS의 적용수준 3단계 중 가장 기초적인 1단계라 할 수 있다.

데이터베이스화하는 과정에서 발생할 수 있는 오류의 예로는 GIS Tool의 잘못된 사용오류(예, 상이한 좌표계 사용으로 인한 위치정보 오류), 자료의 수정/계산과정 오류(예, 건물의 면적계산 오류), 그리고 부적절한 자료의 선별과 구축(예, 상이한 연도나 행정구역의 자료구축) 등을 들 수 있다. 본 연구는 지리좌표 체계는 Korean_Datum_1985를 사용하였고, 투영좌표 체계는 Transverse Mercator 투영법을 이용하여 한국측지계의 경도 오차인 10.405초를 보정하여 자료들의 위치정보(경·위도)를 구축하였다(ESRI Korea, 2005). 계산과정 오류보정은 여러 번의 반복 작업으로 HAZUS 사용전에 자료의 정확성 여부를 확인했다. 마지막으로, 현재 2006년과 가장 근접한 2005년도의 자료를 구축하여 HAZUS에 적용해야 신뢰성이 높은 결과를 산출할 수 있지만, 여러 기관 또는 같은 기관 내 연도별 자료의 구축상황이 서로 다르므로, 본 연구에서는 가장 공통적으로 수집이 가능한 2000년도의 자료로 HAZUS를 실행하였다.

2.2 적용방법

본 연구에서는, 앞서 언급하였던 2000년도 경상남북도의 데이터베이스와 경주지역 규모

6.7의 가상지진으로 생성된 ShakeMap을 이용하여 HAZUS의 사용자지정 재해추정방법을 적용하였다. 이 시스템은 미국의 재해예측을 목적으로 개발되었으며, 미국 이외의 지역에서 사용할 경우 시스템 오류가 발생 할 수 있다. 오류 발생을 피하고 적용의 편의성을 위하여 입력 자료는 미국의 한 주의 자료와 대체될 수 있으며, 본 연구에서는 연구지역의 자료를 임의로 미국 중부의 Arkansas 자료와 대체하였다. 우선 재해연구지역이 선정되면 HAZUS를 통해 기본 입력 자료를 행정구역별로 취합하고, GIS 내에서 HAZUS 기능도구들이 포함된 시스템으로 형성되어 하나의 GIS 프로젝트로 실행된다. 이 시스템에서 지진시나리오 구성도구를 통해 ShakeMap의 최대지반가속도, 최대지반속도, 최대응답스펙트럼 지도와 지진 규모를 지정하여 실행하면, 이 지역에서의 피해유형에 따른 결과를 산출한다(그림 2).

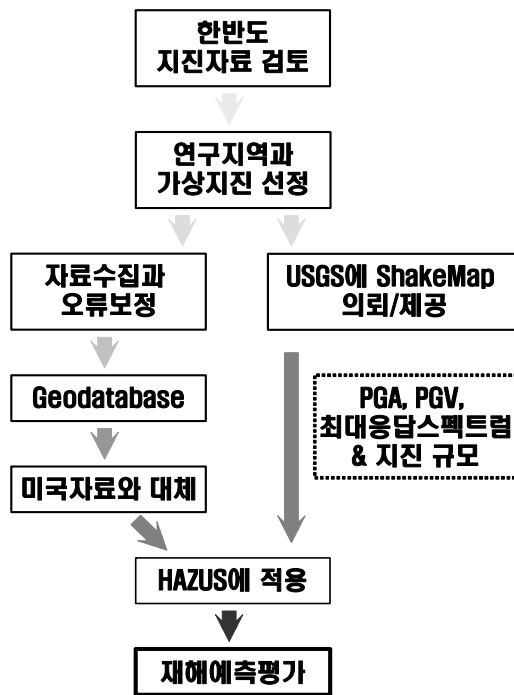


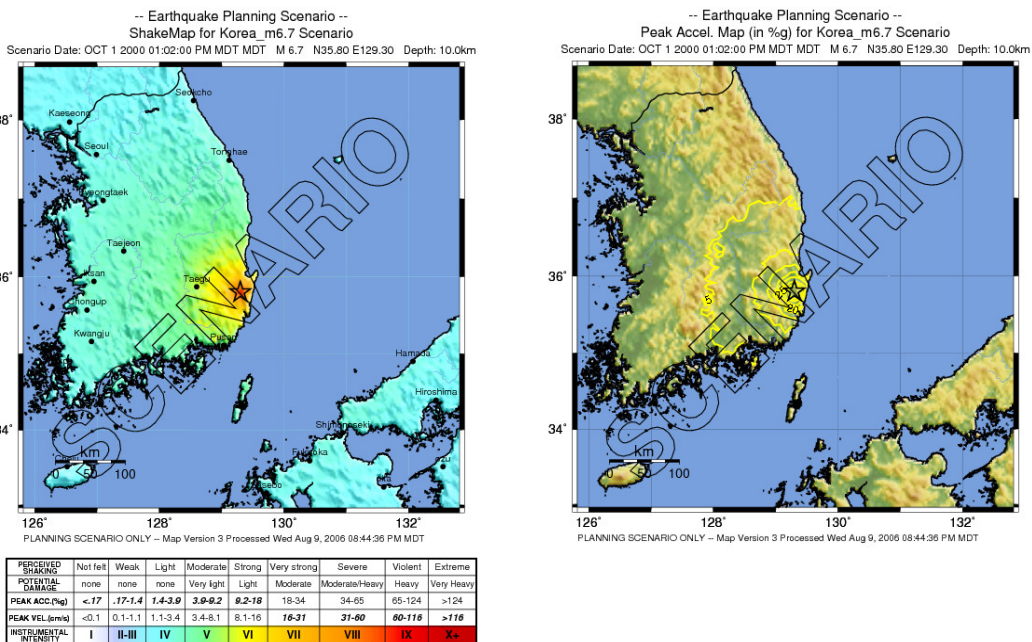
FIGURE 2. Steps of earthquake loss estimation using HAZUS in Korea

재해 결과에 영향을 미치는 Inventory Data와 적용 가중치는 시스템 내에서 변경할 수 있는데, 경상남북도의 경우에는 행정구역 시단위로 이들을 HAZUS 시스템 내의 기본 형태로 적용하여 실행하였다. 경주시/포항시 남구의 경우에는 입력 자료를 행정구역 동단위로 세분화하여 자세히 입력하고, 시스템 상에서 지원하는 기본 적용 가중치(예, 건축 재료와 인종 등)를 우리나라의 실정에 맞도록 조정하였다. 따라서 전자보다 후자의 재해추정 결과가 신뢰성이 더 높다. ShakeMap의 경우에는 한반도 내의 역사지진이나 실측지진으로 생성된 사례가 없으므로, 경주지역의 규모 6.7 역사지진 정보로 USGS에 의뢰하여 지진동자료를 제공받았다(Personal Communication with Wald, 2006). 이 지도는 단층자료가 포함되지 않은 지진의 위치와 규모만을 고려하였으며, Boore 등(1997)의 감쇠전달식을 사용하였다(그림 3).

3. 결과

3.1 주거지역과 주요건물의 피해예측

정길호 등(2002)은 지진으로 인한 피해유형과 공간적 특성의 분석연구를 통하여 건물과 인구의 밀집도가 높으며 화기사용이 많은 주거지역에서의 피해규모가 상업지역에서 보다 높다고 보고하였다. 그러므로 이 논문에서는 주거지역의 피해상황을 중심으로 연구결과를 분석한다. 2000년도에 규모 6.7의 지진이 경주지역에서 재발생하였다면, 경상남북도의 전체 건물(3,282,298) 중 약 2% 이상은 중간규모 이상의 피해가 있었을 것으로 나타난다. 경주시와 포항시 남구의 경우는 전체건물(149,915) 중 약 43% 정도가 중간규모 이상의 피해가 발생했을 것이다. 중간규모(Moderate) 이상의 피해란 건물의 벽이나 문에서 대각선으로 크게 금이 생성되는 정도 이상의 피해현상이 나타난다(FEMA, 2006). 표 1은 경주시와 포항시



(a) Instrumental Intensity

(b) Peak Ground Acceleration

FIGURE 3. Examples of ShakeMap(Instrumental Intensity and PGA, provided by USGS)

남구 주거지역에서의 지진피해 크기를 None, Slight, Moderate, Extensive, 그리고 Complete로 분류하여 점유형태별 결과를 나타내는데, 이들의 결과는 이해가 쉽도록 지도로 각각 표현될 수 있다. 그림 4는 주거지역 재해 상황의 두 가지 예로 경상남북도 목조건물에서 벽이나 천정에 가볍게 금이 생기는 정도(Slight)의 피해와 경주지역에서 완전히 붕괴(Complete) 가능성이 높은 콘크리트 건물들을 점유형태별 주택 수(Count) 단위로 보여주고 있다.

주요 건물의 역할은 일반적으로 재해에 따

른 응급상황에 긴급구조나 안전에 중요한 역할을 하는 매개체로서, 이들의 피해와 손실은 이재민이나 인명피해를 더 높일 수 있다 (FEMA, 2006; Gulati, 2006). 이 지진의 발생으로 경상남북도의 전체 병원 2,538곳 중 약 2%정도가 중간 규모의 피해를 입고, 지진발생 하루 후에는 전체 병원의 95.3%가 정상적으로 운영이 가능할 것으로 보인다. 학교의 경우는 89.9%, 경찰서는 88.8%, 소방서는 90.4%가 지진발생 하루 후에 정상운영이 가능할 것으로 추정된다(표 2). 반면에 경주시와 포항시 남구

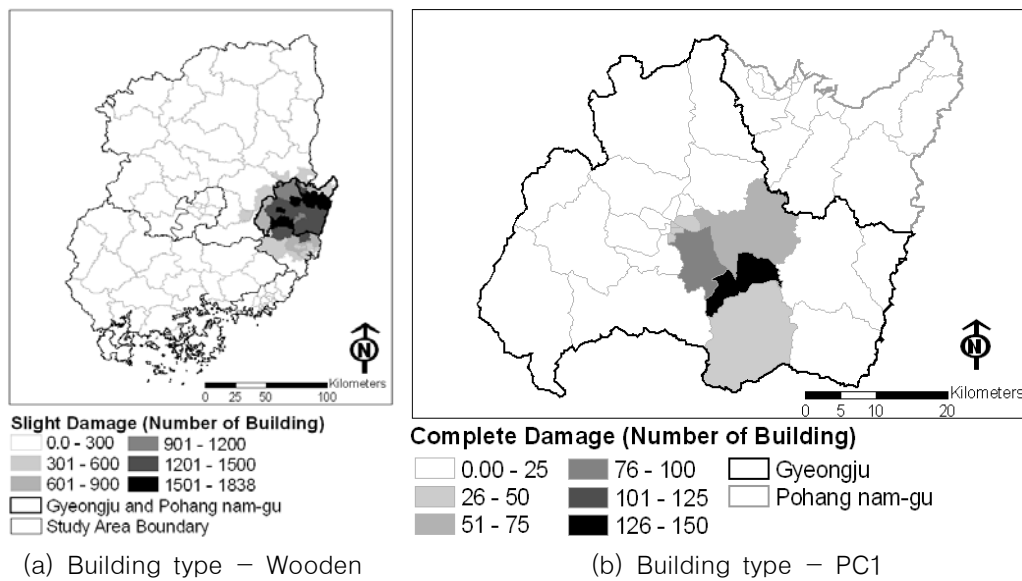


FIGURE 4. Building damage in the residential area

TABLE 1. Building damage by occupancy in the Gyeongju area. Multi-family homes include apartment complexes, duplexes, triplexes, multiplex homes, and others.

	Number of Houses				
	None	Slight	Moderate	Extensive	Complete
Multi-family Homes	28,944	18,788	23,304	8,266	433
Single-family Homes	20,743	16,421	23,300	9,205	511
Total	49,687	35,209	46,604	17,471	944

의 경우, 전체병원 80곳 중 약 66%가 중간규모 이상의 피해를 입어, 지진발생 하루 뒤에도 단지 12곳에서만 정상운영이 가능할 것으로 보이며 적어도 30일이 지나야 82%가 회복 될 것으로 보인다. 약 49%의 학교, 34%의 경찰서, 그리고 50%의 소방서 또한 중간규모 이상의 피해를 입을 것으로 추정된다(표 2). 그림 5는 학교 피해예측상황 결과의 예로서, 경상남북도 학교의 최소피해 확률과 지진발생 7일

이후의 운영상태, 그리고 경주지역 학교의 붕괴가능성을 나타낸다.

3.2 주요시설물과 기타 피해예측

주요 시설물에는 도로나 철도 교통망, 항구·공항, 전기·통신망, 상하수도, 가스파이프 등 교통망과 공급처리 시설물이 포함된다(FEMA, 2006). 특히 이 시설물들의 재해예측을 위해 HAZUS는 토질, 액상화, 산사태 등의 생성을

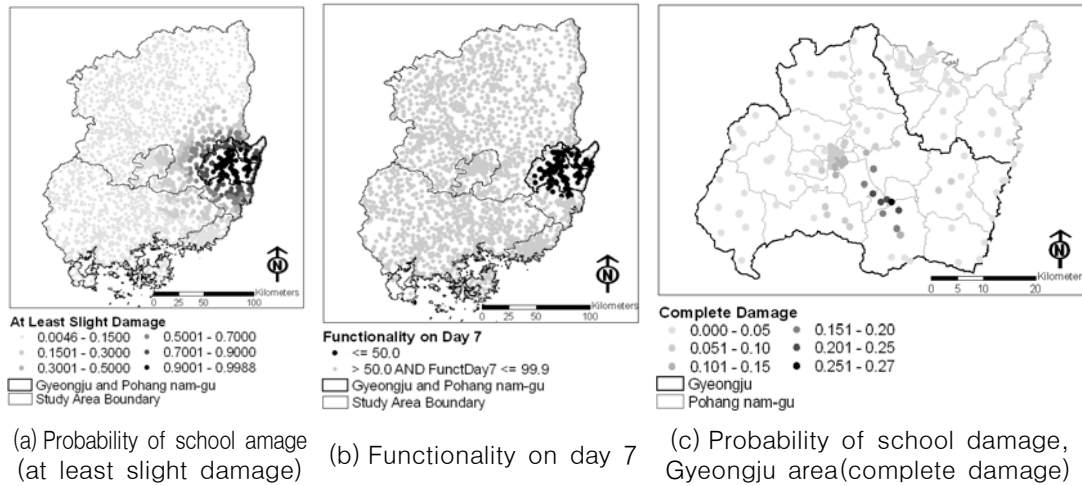


FIGURE 5. Damage probability and functionality of schools on the 7th day after the proposed earthquake

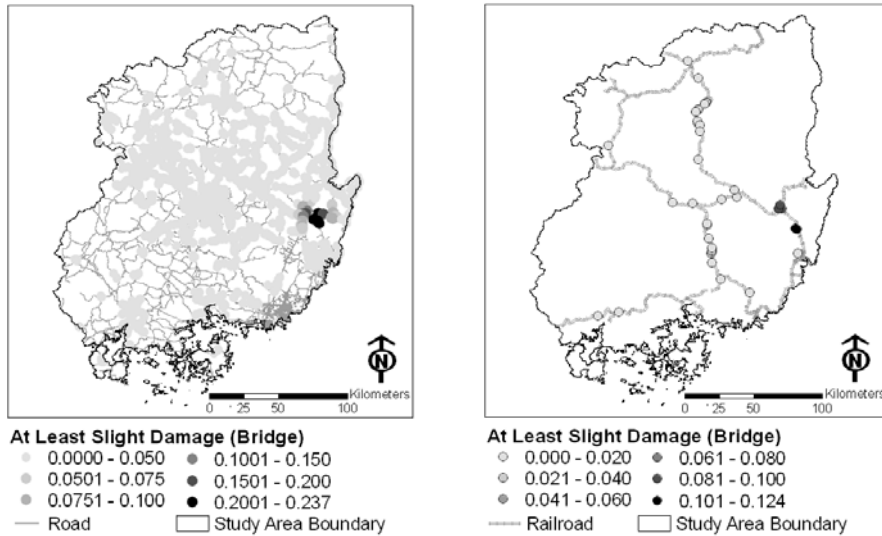
TABLE 2. Damage of essential facilities

Classification	Total	Number of Facilities		
		At Least Moderate Damage > 50%	Complete Damage > 50%	With Functionality > 50% on Day 1
Gyeongsang-nam do and Gyeongsang-buk do				
Hospitals	2,538	54	0	2,420
Schools	4,020	95	0	3,616
Police Stations	783	13	0	696
Fire Stations	177	5	0	160
Gyeongju and Pohang-nam gu				
Hospitals	80	53	0	12
Schools	189	92	0	10
Police Stations	38	13	0	3
Fire Stations	10	5	0	2

고려한 지질정보를 통하여 Ground Failure Map이 형성되어야 예측이 가능하다. 이번 연구에서는 지질정보의 부족으로 Ground Failure Map의 형성에 신뢰성이 떨어지는 결과물이 산출되었다. 따라서 그림 6은 교량의 최소피해 가능성을 지도상으로 표시했다.

경주와 포항시 남구에서는 이 지진으로 13,958

가구가 피해를 입어 4,949(0.9%)명의 이재민이 발생할 것으로 추정된다(그림 7). 이 지역에서 발생 가능한 화재는 949건 정도이며, 이로 인하여 31,549(5.84%)명이 화재위험에 노출될 것으로 추정된다. 사망자를 포함하여 병원에서 치료를 받아야 할 정도(Severity Level 2 이상)의 부상자수는 지진이 오전 2시에 발생할



(a) At least slight damage of road bridges (b) At least slight damage of railroad bridges

FIGURE 6. Probability of bridge damage on road and railroad

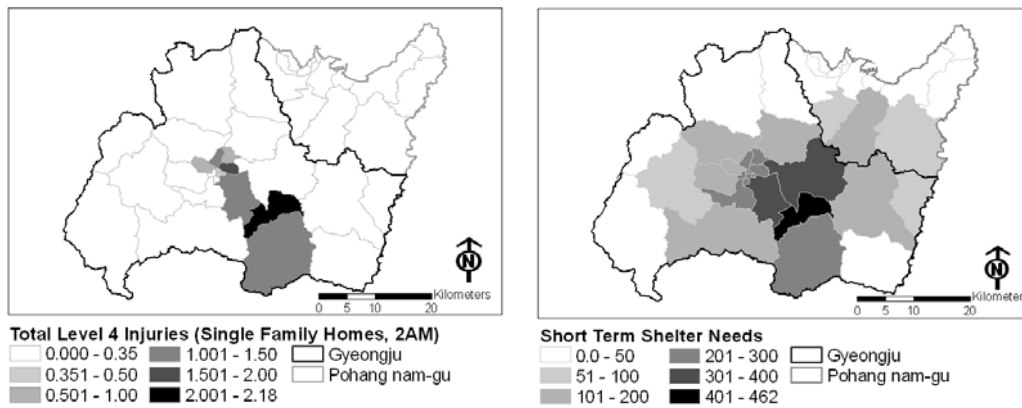


FIGURE 7. Casualties by occupancy and short term shelter needs in the Gyeongju area

경우는 150명, 오후 2시에는 90명, 출퇴근시간에는 67명 정도로 예측된다(표 3). 마지막으로 경제적인 피해는 건물과 사업상의 손실로 나뉘는데, 본 연구에서는 건물의 수리나 재건축, 그리고 임대비용 등을 포함하는 건물관련 경제적인 피해를 예측하였다. 경주지역에서 가옥피해복구에 필요한 총 비용은 약 101,427,740,000 원 정도로 예상된다.

		Number of People			
		Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
2 AM	Multi-family Homes	342	53	5	9
	Single-family Homes	408	65	6	12
	Total	750	118	11	21
2 PM	Multi-family Homes	203	31	3	6
	Single-family Homes	243	39	4	7
	Total	446	70	7	13
Commuting		1	3	2	1
5 PM	Multi-family Homes	133	21	2	4
	Single-family Homes	159	26	3	5
	Total	293	50	7	10

TABLE 3. Casualty estimates in the Gyeongju area. Multi-family homes include apartment complexes, duplexes, triplexes, multiplex homes, and others. By manual note, Severity Level 1 indicates injuries requiring basic medical aid without requiring hospitalization; Severity Level 2 indicates injuries requiring a greater degree of medical care and hospitalization, but not expected to progress to a life threatening status; Severity Level 3 indicates injuries that pose an immediate life threatening condition if not treated adequately and expeditiously. The majority of these injuries are a result of structural collapse and subsequent collapse or impairment of the occupants; Severity Level 4 indicates instantaneously killed or mortally injured.

결론

미국의 통합적인 자연재해정보시스템 HAZUS-MH의 국내 적용가능성과 효율성을 판단하기 위하여, 서기 779년 경주지역에서 발생했던 규모 6.7의 지진이 2000년도에 재발생하였다는 가정하에 만들어진 ShakeMap을 HAZUS-MH에 적용해 지진재해를 예측해 보았다. 연구지역을 경상남북도로 제한하고, 경주시와 포항시 남구를 중점적으로 피해유형별로 재해규모를 산출하였다. 이를 정리해보면, 경상남북도 내 주거건물과 병원의 약 2%가 중간규모 이상의 피해를 입고, 주요 공공기관의 경우는 하루 후에 85%이상의 정상운영으로 응급상황에 도움을 줄 것으로 보인다. 반면에, 경주시와 포항시 남구는 약 43%의 주거건물과 약 50% 내외의 주요 공공기관의 피해로 지진발생 7일 후에도 긴급사태에 대응하는데 차질이 있을 것으로 추정된다. 이 지역 내에서는 0.9%의 이재민이 발생하고, 주거지역내 오전 2시의 지진발생이 사상자 발생률이 가장 높은 것으로 나타났다.


이 가상지진의 발생으로 예상되는 경상남북도의 주거건물의 약 2% 피해와 경주지역의 약 0.9%의 이재민 발생은 수치상으로는 가볍게 느껴질 수도 있지만, 2006년 강원도지역의 태풍 “에위니아”와 집중호우로 2,490동의 가옥 피해(강원도 전체의 약 0.5%)와 1,808명의 이재민 발생(강원도 전체의 약 0.1%), 높은 인명 피해(44명), 그리고 재산피해(11,715,000,000원)를 고려한다면(강원도청, 2006), 본 연구에서 얻어진 경상남북도의 피해는 국가차원의 대규모 재난에 속한다. HAZUS의 재해예측결과를 이러한 재난의 사전예방을 위한 재해안전정보를 제공하고, 사후 조속한 재해평가의 상황전파 및 대처, 복구계획에 따른 정부의 의사결정을 긍정적으로 지원할 것이라 여겨지므로, HAZUS의 한반도 내 운영은 효율성이 높을 것으로 사료된다.

HAZUS는 재해예측에 있어서 유용한 정보

를 생산/제공하는 장점이 있지만, 국내에서 적용하기에는 일부 제약이 따른다. HAZUS 시스템 자체의 문제점은 아니지만, 유관기관 간 자료의 분산으로 자료 수집의 어려움이 시간과 인력의 낭비를 유발하므로, 정보의 효용가치를 극대화 할 수 있는 통합적인 자료운영시스템의 구축이 필요하다. 이 시스템은 신속하고 정확한 최신 자료로 지속적으로 업그레이드하여 재해예측의 신뢰성을 높이는 것이 무엇보다 중요하다. 또한 HAZUS 시스템 내의 자료는 각 전문 분야별로 세분화되어 입력되므로(예, 건축물 또는 시설물 재료 및 형태 등), 이 시스템을 위한 자료입력 시 각 전문가의 자문이 필요하다. HAZUS 시스템에서 국내의 자료를 미국의 자료로 대체하는 불편함과, 결정론적/확률론적 방법의 국내사용을 위한 시스템 코드 변경 등의 어려움을 해결하기 위해 자체적으로 재해예측시스템의 개발도 고려해 볼만하다. 이외에 사용자지정 재해예측방법에 사용되는 ShakeMap 또한 USGS에 의뢰해야 하는 불편을 해소하기 위해서 다양한 지진정보로 ShakeMap을 작성할 수 있는 시스템의 기술개발이 필요하다.

본 연구에서는 HAZUS를 한반도의 일부지역에 적용하여 지진재해를 예측한 결과, 그 시스템의 제한적 사용에도 불구하고 효용가치는 매우 높았다. 향후 HAZUS 사용의 문제점을 개선하고, 지진재해뿐만 아니라 태풍과 홍수 등과 같은 모든 자연재해를 다루어 한반도 전 지역으로 시스템을 확대하여 적용한다면 자연재해에 의한 피해규모 및 영향을 평가하는데 유용할 것이다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-5101)의 지원으로 수행되었습니다. 

참고 문헌

- 강원도청. 2006. 06년 7월 집중호우 피해 복구계획 자료. 건설방재국.
- Date Accessed Nov.10.2006. <http://www.provin.gangwon.kr/dep/part10/page/main.html>
- 강익범. 2005. 2005년 3월 20일 일본 후쿠오카지진의 교훈. 환경지질연구정보센터.
- 강익범, 박정호. 2002. HAZUS를 이용한 충남지역의 지진피해 연구. 한국도시방재학회논문집. 2(2):73-83.
- 경제북. 1995. 지진발생과 지진재해와의 관계 -1995년 일본 효고현 남부지진(M=7.2)의 재해 유형. 한국지구과학회지 16(6):500-510.
- 경제북, 이희욱. 1998. 1997년 6월 26일 경주지진의 진도분석 및 지진 지질학적 의의. 지질공학. 8(1):13-24.
- 김석규, 송인호, 김철. 2006. GIS와 수리모형을 이용한 홍수지역예측 비교. 한국지리정보학회지 9(3):183-192.
- 김재관. 1997. 지진 재해. 제13차 공동학술강연회. 대한지질학회. 대한자원환경지질학회.
- 노명현. 2003. 우리나라의 지진특성. 2003 대한지질공학회 정기총회 및 학술발표회. 원자력안전기술원.
- 노명현, 김연중. 1996. 한국의 지진재해도곡선의 민감도 분석. 대한지질학회 32(3):199-207.
- 백동승. 2004. GIS를 이용한 도시방재시스템 구축방안 연구 -대구광역시 소방지리정보시스템을 중심으로-. 한국지리정보학회지 7(4):109-118.
- 백민호, 홍혜연. 2003. GIS를 이용한 재난관리체계 구축에 관한 연구. 정책연구과제. 행정자치부. 국립방재연구소. 201-241쪽.
- 이기화. 1998. 한반도의 역사지진자료. 지구물리 1(1):4-22.
- 이기화, 김정기. 2000. 한반도 주요 지체구조구별 지진학적 특성. 지구물리 3(2):91-98.
- 이기화, 이진희, 경제북. 1998. 양산단층계 지진활동의 통계적 분석. 대한지질공학회 8:99-114.
- 정길호, 김현주, 박병철. 2002. 지진에 대한 지역위험도 분석 연구. 정책연구과제. 행정자치부. 국립방재연구소. 1-120쪽.
- 통계청. 2006. Date Accessed May.2006~Nov.2006. <http://kosis.nso.go.kr/>

- 홍현정, 최철웅, 전성우. 2006. GPS·GIS 기법을 활용한 태풍 후 해운대 해빈지형의 3차원 변화 탐지 및 분석. 한국지리정보학회지 9(3):82-92.
- Boore, D.M., W.B. Joyner and T.E. Fumal. 1997. Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Accelerations from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work. Seism. Res. Lett. 68:128-153.
- Chiu, J.M. and S.G. Kim. 2004. Estimation of Regional Seismic Hazard in the Korean Peninsula Using Historical Earthquake Data between A.D.2 and 1995. Bulletin of the Seismological Society of America. 94(1):269-284.
- ESRI Korea. 2005. 세계측지계와 ArcGIS를 이용한 좌표변환. Technical Note. (주)선도소프트 고객지원본부.
- FEMA. 2006. Multi-hazard Loss Estimation Methodology, Earthquake Model, HAZUS-MH MR2 User Manual. Washington, D.C. Federal Emergency Management Agency.
- Gulati, B. 2006. Earthquake Risk Assessment of Buildings: Applicability of HAZUS in Dehradun, India. Master of Science in Geo-information Science and Earth Observation Dehradun. International Institute of Geo-information Science and Earth Observation. 109pp.
- Hansen, R. and D. Bausch. 2006. A GIS-Based Methodology for Exporting the Hazards U.S. (HAZUS) Earthquake Model for Global Applications. Earthquake Workshop-Malta. Federal Emergency Management Agency, Date Accessed July.18.2006.
- http://www.hazus.org/HUG%20DOCUMENTS/Global_HAZUS.pdf
- Huppert, H.E. and R.S.J. Sparks. 2006. Extreme natural hazards: population growth, globalization and environmental change. Phil. Trans. R. Soc. A(364):1875-1888.
- Kircher, C.A. 2003. Near-Real-Time Loss Estimation Using HAZUS and SHAKEMAP Data. SMIP03 Seminar on Utilization of Strong-Motion Data. pp.59-66.
- Kircher, C.A., R.V. Whitman and W.T. Holmes. 2006. HAZUS Earthquake Loss Estimation Methods. NATURAL HAZARDS REVIEW, 7(2):45-59.
- Lee, K. and Y.G. Jin. 1991. Segmentation of the Yangsan Fault System: Geophysical Studies on Major Faults in the Kyeongsang Basin. Jour. Geol. Soc. Korea. 27(4):434-449.
- Lee, K. and W.S. Yang. 2006. Historical Seismicity of Korea. Bulletin of the Seismological Society of America. 96(3):846-855.
- Lee, S. and U. Choi. 2003. Development of GIS-based geological hazard information system and its application for landslide analysis in Korea. Geoscience Journal. 7(3):243-252.
- Miyatake, H. and A. Nunomura. 2006. General overviews and future perspectives of disaster information systems in Japan. Disaster Prevention Bureau, Date Accessed Oct.10.2006.
- http://www.pwri.go.jp/eng/ujnr/joint/35/paper/51_miyata.pdf
- National Land Agency of Japan. 2006. DIS Earthquakes, Earthquake Disaster Countermeasures Division. Disaster Prevention Bureau, National Land Agency (NLA). Date Accessed Nov. 01. 2006. <http://www.adrc.or.jp/management/JPN/DIS.htm?Frame=yes?Frame=>
- Schneider, P.J. and B.A. Schauer. 2006. HAZUS -Its Development and Its Future. Natural Hazards Review. 7(2):40-44.
- Wald, D.J. 2006. Earthquake Planning Scenario; Shake Map for Korea M 6.7 Scenario, Personal Communication. Aug. 09-16. 2006.
- Wald, D.J., V. Quitoriano, T.H. Heaton, H. Kanamori, C.W. Scrivner and C.B. Worden. 1999. TriNet "ShakeMaps": Rapid Generation of Instrumental Ground Motion and Intensity Maps for Earthquakes in Southern California. Earthquake Spectra. 15(3):537-556.
- Wald, D.J., B.C. Worden, V. Quitoriano and K.L. Pankow. 2006. ShakeMap Manual, Technical Manual, Users Guide, and Software Guide version 1.0. pp.1-156. Date Accessed Aug.09. 2006 <http://pubs.usgs.gov/tm/2005/12A01/pdf/508TM12-A1.pdf> 