

# GIS를 활용한 지진위험도 분석

## Error Assessment of Attitude Determination Using Wireless Internet-Based DGPS

고준환<sup>1)</sup> · 권재현<sup>2)</sup> · 최윤수<sup>3)</sup>

Koh, June Hwan · Kwon, Jay Hyoun · Choi, Yoon Soo

### Abstract

It is the general consensus that Korea is safe from some disasters, particularly earthquake. However, it is not difficult to see the countries considered as safety zones have occasionally experienced a severe earthquake. In this case, damages and casualties are much serious because they were not prepared for the earthquakes. Therefore, it is necessary to establish a counterplan about an earthquake. In this paper, we analyzed several damages by earthquakes using GIS based methods, and derived a counterproposal. The disasters caused by earthquakes are categorized into three riskiness factors, that is, a building destruction riskiness, a blaze riskiness and a refuge riskiness. Then, it is quantitatively analyzed by the degree of damage so that overall riskiness of the earthquake are assigned. In addition, it was shown that the analysis can be utilized to establish the escape route from the earthquake. It is expected that this study shows a good example of GIS application especially for preventing disasters.

Keywords : earthquake, GIS method, riskiness factors

### 요 지

우리나라는 비교적 지진의 안전지대라는 의식이 팽배하다. 따라서 지진이 발생할 시의 대처 방안 또한 미흡하다고 할 수 있다. 그러나 해외의 사례를 살펴보면 지진에 대한 충분한 대비가 없다가 갑작스러운 재난으로 큰 피해를 입는 경우가 있다. 또한 우리나라의 지진 발생 사례를 조사해 본 결과 지진의 발발 횟수도 작지 않았다. 만약 이러한 지진이 서울과 같은 대도시에 일어난다면 그 피해는 매우 심각할 것이다. 그럼에도 불구하고 아직 우리나라는 지진에 대한 대책을 구체적으로 모색하는 것이 다른 나라에 비해 부족한 것이 현실이다. 본 연구에서는 지진에 대비해 GIS를 활용하여 다양한 요인으로 지진 위험도를 분석하였다. 지진 발생 시 위험 요인으로는 건물 도괴 위험도, 화재 위험도, 대피 위험도 이렇게 세 가지 위험도에 대하여 분석하였으며 분석 방법은 다음과 같다. 먼저 지진에 의해 발생하는 건물 도괴, 화재, 대피의 어려움 등과 같은 대표적인 재해를 규정하였다. 다음으로 재해 위험 요소를 도출하기 위하여 토지이용 실태, 인구밀도, 건물유형, 도로구조 등을 정량화 하였고 이를 분석하여 위험도를 결정하였다. 또한 분석된 위험도를 기반으로 하여, 재해 발생의 최소화와 대비를 위한 개선 방안을 제시했으며, 활용의 예로 대피 시나리오를 구축하였다. 본 연구는 동대문구의 3개 동을 대상 지역으로 연구를 수행하였는데 향후 이러한 연구 방법을 활용하여 지역을 확대하며 지진에 대한 위험도를 사전에 도출한다면 지진이 발생하더라도 피해를 줄일 수 있으리라 기대된다.

핵심용어 : 지진, GIS 기법, 위험요소

## 1. 서 론

우리나라는 지진 환경적으로 지각변동운동이 활발한

판 경계가 아닌 판 내부에 위치하고 있기 때문에 지진발생의 재현주기가 긴 판내 지진의 특성을 보이는 중약진 지역에 속해 있다. 이로 인해 지진에 대한 인지적 경험이

1) 정희원 · 서울시립대학교 도시과학대학 지적정보학과 교수(E-mail:jhkoh@uos.ac.kr)

2) 연결저자 · 정희원 · 서울시립대학교 도시과학대학 지적정보학과 교수(E-mail:jkwon@uos.ac.kr)

3) 정희원 · 서울시립대학교 도시과학대학 지적정보학과 교수(E-mail:choiys@uos.ac.kr)

드물고 발생 환경적 측면에서도 우리나라는 비교적 안전 지대라고 인식하고 있다. 그러나 2005년 4월 20일 후쿠오카 북서방면 해양에서 발생한 진도 5.8의 지진에 의해 경남지역에까지 3.0의 진도가 파급되었으며, 5월 2일 후쿠오카와 후쿠시마에서 각각 4.9, 4.6 규모의 지진이 발생함으로써 한반도 남부지방에 진도 2.0에서 진도 3.0까지의 여파가 전달되었다. 지난 1978년 충남 홍성에서 지진에 의해 피해가 발생한 이후 발생한 지진 피해의 사례이다. 이러한 최근의 잦은 지진 사례를 고려한다면 한반도 지역과 그 주변지역에 지진에너지가 응축되어 있다고 볼 수 있으며, 더 이상 지진 안전지대가 아님을 시사하고 있다.

우리나라에서 MMI(Modified Mercalli Intensity) 7이상이 발생하여 지진피해를 경험한 경우는 과거 2000년 동안 약 40회, 평균 50년에 1회의 지진 피해가 있었다. 서울지역의 경우, 피해지진(MMI 7)은 약 8회로 평균 250년에 1회 발생하였는데, 역사기록을 살펴보면 경기도 광주(남한산성 근처)에서 규모 6.3으로 추정되는 큰 지진이 여러 차례 발생한 것으로 보이며, 이는 서울과 같은 인접한 현대도시에 심각한 피해와 손실을 줄 수 있는 강도이다(서울시정개발연구원, 1999).

지진재해와 관련된 국내의 연구로는 주로 지구 물리학적 방법에 의해 수행되었는데, 대표적으로 이기화 등(1997)이 서울지역의 지진위험 분석을 위하여 MMI 5 이상의 한반도 지진자료에 근거하여 서울 수도권일원의 확률론적인 지진위험도를 점지진원방법에 의해 분석한 바 있으며, 김소구 등(2000)은 서기 2년부터 1977년까지 남북한의 역사 지진과 초기 계기 지진(1905-1977) 목록을 이용하여 남한 지진 규모로 재조정된 지진 목록을 작성하여 한국의 지진 위험도를 산출한바 있다. 이 연구에서는 지진 위험도를 작성하기 위하여 지진 발생 분포와 지체 구조의 특성을 고려하여 4개의 지진구를 설정하고 계기 지진 목록을 통하여 각 지역에 해당하는 지지반 가속도를 산출하는 방법으로 위험도를 나타내었다.

이러한 기존의 지진재해 관련 연구는 지구물리학적 범위의 한계를 크게 벗어나지 못하여 지진으로 인해 발생할 수 있는 각종 재해에 대한 뚜렷한 정의가 되어있지 않으며, 재해와 관련된 많은 요소들의 설정과 그 영향에 대한 분석이 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 지진으로 인해 발생할 수 있는 각종 위험도를 GIS를 활용하여 분석하였다. 지진에 의해 발생하는 건물 도괴, 화재, 대피의 어려움 등과 같은 대표적인 재해를 규정하고, 토

지이용 실태, 인구밀도, 건물유형, 도로구조 등과 같은 각 재해의 위험 요소를 도출하여 정량화 하고 이를 분석하여 위험도를 결정하였다. 또한 분석된 위험도를 기반으로 하여, 재해 발생의 최소화과 대비를 위한 개선 방안을 제시했으며, 활용의 예로 대피 시나리오를 구축하였다.

본 연구의 공간적 범위는 서울시 동대문구(전농동, 답십리동, 장안동) 지역으로 한반도 주요 지체구조 중 경기육괴에 해당되는 곳이다. 이 지역은 다른 지체구조보다도 지질변동이 심하여 진도(MMI) 8의 홍성지진이 이 경기육괴에서 발생하였다. 지진이 발생했던 지역에는 긴 시간 동안 에너지가 축적되어 재발하는 경향이 있으므로, 인근 지역에는 향후 강력한 지진이 발생할 가능성이 높다고 할 수 있고 남한산성에서 탄천으로, 탄천에서 중랑천으로 이어지는 단층과 한강을 따라 존재하는 단층이 지나가고 있어 여타지역보다 그 위험도가 높다고 할 수 있어 본 지역을 연구지역으로 선택하였다.

## 2. 재해위험요소 및 위험도 도출

지진이 발생하면 부가적으로 여러 가지 재해가 잇따르게 되는데 이러한 재해를 일으키는 위험요소로 토지이용 실태, 인구밀도, 건물 유형, 사용연료, 도로의 구조 그리고 여타 위험물의 존재여부 등을 들 수 있으며 이로 인한 피해 유형도 다르게 나타난다. 본 장에서는 이러한 위험요소를 규정하고 이에 따른 위험도를 도출한다.

### 2.1 재해위험요소

재해위험요소로 우선, 지형적으로 무리한 토지이용을 들 수 있다. 대표적으로 급경사지에 위치한 주거지의 경우 그 자체만으로 사태나 붕괴에 취약한 지형적인 위험요소가 될 뿐 아니라 주변의 도로 상태가 극히 열악할 수밖에 없기 때문에 재해가 발발할 시의 구조 활동의 접근로나 대피로로서의 역할을 다 할 수 없게 된다(국립방재연구소, 2002). 또한, 건물 관련 법규가 정비되기 이전에 개발되었거나 고지대 주거지의 경우 건폐율이 현행 법정 한도를 넘어서는 경우가 대부분이며 이와 더불어 인구밀도가 높은 점도 위험요소가 될 수 있다.

구시가지와 고지대에 위치하는 건물구조의 경우 대부분이 조적조이고 지붕은 슬레이트 혹은 기와로 되어 있어 폭발사고나 지진과 같이 진동을 수반하는 재해에 극

히 취약한 상태로 이러한 건물 유형 역시 위험 요소가 될 수 있다. 사용연료가 개별용기에 저장되는 LPG가 위험요소로 작용할 수 있으며 구시가지의 도로와 같이 폭원이 4-6m에 불과한 좁은 도로가 전신주나 가로등과 같은 고정적인 시설물과 이동성 장애물(불법 상품 진열대, 노상 판매대, 세운 간판, 불법주차 등)에 의해 점유되어 있는 경우 재해 발생 시 위험을 가중시킬 수 있는 위험 요소이다. 그 외에, 부가적으로 위험물을 취급하는 장소가 주거지와 함께 있는 경우나 화공약품이나 유독가스 등을 다루는 공장들의 존재가 위험 요소가 될 수 있다.

## 2.2 피해유형과 위험도 도출

지진위험도를 평가하기 위해서는 재해 시 특정 지역에서 발생할 수 있는 피해유형에 대한 고찰과 이에 대한 평가지표가 필요하다. 폭발이나 지진과 같이 진동을 수반하는 재해가 발생하였을 경우 예상되는 대표적인 피해유형은 건물도괴와 화재, 그리고 구조·구난활동 및 대피의 어려움으로 인한 인적피해로 요약된다.

건물 도괴 위험도는 건물의 내진성을 중심으로, 화재 발생 위험도는 건물의 내연성과 건물용도, 연소 위험도는 도괴 위험이 있는 건축물의 인근 지역의 상태와 도로의 폭원 및 이용 상태, 또 연소 확대의 가능성으로 평가될 수 있다. 대피 위험도의 경우는 대피 인구와 도로 여건을 고려하여 평가될 수 있다.

본 연구에서는 지진에 대한 지역위험도를 건물도괴와 화재, 재해시의 대피로 한정하여, 건축물대장, 지적도, 도시계획조사자료, 지질도와 인구통계자료를 활용하고, 또한 필요시 현장조사를 통하여 직접 관련 자료를 수집하여 위험도를 정량적으로 분석하였다.

## 3. 위험도 분석

### 3.1 기초 데이터 가공

위험도 분석을 위하여, 건축물대장, 지적도, 도시계획조사자료, 지질도와 인구통계자료 및 현장 조사 자료 등의 기초 데이터를 아래와 같이 가공하였다. 기초데이터 중 지형도와 지적도는 도형데이터와 속성데이터를 가지고 있는 공간데이터이며 이들을 상용프로그램인 ArcGIS를 이용하여 가공하였다.

가. 대상지의 지면과 지목 데이터를 획득하기 위하여 도

형정보와 속성정보를 가지고 있는 수치지적도로부터 지면과 지목을 속성을 추출하였고 건축물에 대한 정보를 획득하기 위하여 건축물대장으로부터 건축물ID, 면적, 지면, 구조, 주용도, 허가일자, 높이, 층수, 그리고 연면적의 속성을 추출하였다.

- 나. 건축물도는 수치지형도에서 도형정보와 속성정보를 가지는 건물 레이어를 추출하여 획득하였다.
- 다. 대상지의 지질도를 디지털이징한 후 건축물도와 지면 속성을 기본키로 조인하여 개별 건물에 지질구조 값을 부여하였다.
- 라. 건축물도와 건축물대장으로부터 건물ID를 기본키로 조인하여 건축물도의 각 건물객체에 건축물대장의 속성을 부여하였다.
- 마. 수치지형도의 1:1000 등고선을 TIN으로 변환하고, 이를 ArcGIS의 SPATIAL ANALYST<sup>1)</sup> 기능을 사용하여 경사도를 분석 하였으며, 대피위험도를 계산하기 위하여 도로 레이어 속성의 폭과 길이를 곱하여 도로면적을 구하였다.
- 바. 전체 도로 면적에 도로를 점유하고 있는 주차차량이나 시설물의 면적, 건물도괴나 화재로 인해 예상되는 차폐면적을 차감하여 유효도로면적을 산출하였다.
- 사. 인구에 대한 자료는 지적도의 주민등록상에 등록된 지면에 해당 인구수를 카운트한 후 표시하여 인구 레이어를 만들어 분석에 이용하였으며, 상주인구는 주민등록DB로, 유동인구에 대해서는 각 업종별 인구수를 분석한 후 적용하였다.

## 3.2 분석방법

### 3.2.1 건물도괴위험도

건물도괴위험도를 결정하기 위해선 지면에 대한 속성과 개별 건축물이 가지는 고유주기를 파악하여 예상 수평운동치를 구하여야 하며, 또한 건축물의 강도와 연성능력, 노후도, 경사도 대한 종합적 분석이 필요하다. 현실적으로 각 개별건물에 대한 내진성능을 측정하기에는 많은

1) ArcGIS에서 지원하는 확장 모듈로, 광범위의 강력한 공간 모델링 및 분석 기능을 제공한다. 셀 기반의 래스터 데이터의 생성, 질의, 지도제작 및 분석을 할 수 있으며, 벡터/래스터 데이터를 통합적으로 분석, 기존 데이터로부터 새로운 정보 도출, 다중 데이터 레이어에 대한 질의, 전통적인 벡터데이터와 셀 기반 래스터 데이터의 완벽한 통합기능을 수행한다. 표면분석, 토양분석 등과 같은 공간 분석을 수행하는데 이는 광범위한 공간 모델링과 응용을 지원한다. (출처: www.sundsoft.com)

시간과 노력이 필요하므로 본 연구에서는 진도에 따른 건축물의 도괴정도를 파악하는 것이 아니라, 위의 열거한 요소들에 대한 계수값(내진설계기준에서 사용하고 있는 계수로써 건물에 받는 지진하중을 계산하기 위해 사용되는 값)을 이용하여 상대적으로 취약한 건물을 찾아내는 방식으로 접근하였다. 건물도괴위험도는 각 계수의 산출된 값들의 최소값과 최대값의 범위를 구하고 이 범위 내에서 개별 건축물의 산출값의 백분율로 계산하여 아래의 수식에 의하여 계산되었다.

$$\text{건물위험도} = \text{지반계수} \times \text{동적계수} \times \frac{\text{경사도 가중치}}{\text{반응수정계수} - \text{노후도 가중치}} \quad (1)$$

$$\text{노후도가중치} = \text{반응수정계수} \times \text{경과연수별상각률} \times 0.3 \quad (2)$$

### ① 지반계수

건물도괴위험도는 지반조건과 밀접하게 관련되며, 연약한 지반이 두껍게 퇴적되어 있는 지역일수록 건물피해가 심각하다. 지반의 지진동 특성을 명확하게 하는 방법으로는 특정의 지진을 설정해서 지반을 모델화하고 응답계산을 통해 지반을 분류하는 방법이 있으나, 지진의 특징이나 파괴양식 및 규모 등을 특정화 하는 것이 현실적으로 용이하지 않으며 본 연구의 목적이 피해상정을 하여 구체적인 피해량을 산정하는 것이 아니므로 지반에 대한 분석은 건축물의구조기준등에관한법

표 1. 지반계수의 분류

지반종별	지반계수	지반상태
지반1	1.0	암반 또는 암반위의 매우 단단한 모래·자갈 또는 점토로서 암반까지의 전체 깊이가 60미터미만인 지반
지반2	1.2	지반 1과 같은 상태로써 암반까지의 전체 깊이가 60미터이상인 경우와 깊이 에 관계없이 단단한 모래·자갈 또는 점토인 지반
지반3	1.5	단단하기가 보통이한 점토 또는 느슨한 모래로 전체 깊이가 9미터이상인 지반

- 2) '건축물구조기준등에관한규칙 제7조 설계하중및외력'에서 지진하중을 참고
- 3) '국세청고시기준시가산정방법' 건물내용연수에 따른 구조지수와 잔가율을 참고

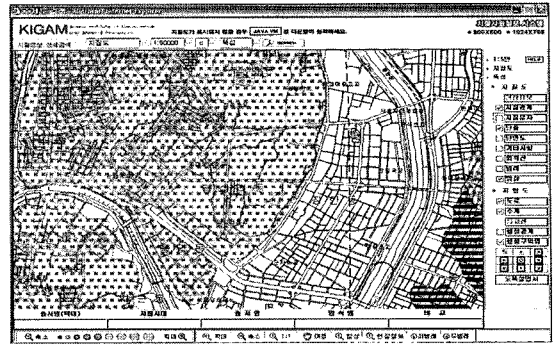


그림 1. 한국지질자원연구원의 지질자원정보시스템에서 획득한 연구대상지의 지질도

률 제14조 2항 제5호 지반계수의 분류에 의거 분석하였다(표 1).

지반의 성분은 연구대상지의 지질도로부터 획득할 수 있는데, 장안동은 대부분 퇴적층이며, 답십리와 전농동은 화강암층임을 알 수 있다(그림 1). 장안동의 지층별 암상 특성은 지표에서 3.9미터까지는 실트와 모래 등으로 구성되고 3.9~7미터까지는 과거 하상퇴적층으로 점토층이 있고 7~9.6미터까지는 과거 하상퇴적층으로 모래로 구성되어 있다. 느슨하고 연약한 지층이 9미터가 넘기 때문에 장안동지역은 "건축물의구조기준등에관한규칙"에 의해 '지반3'에 해당하며 지반계수는 1.5임을 도출할 수 있다. 전농동지역의 지층별 암상특성을 살펴보면 2.5미터까지 점토층이 있지만 그 이후로는 화강암의 풍화로 인한 조립질 풍화토와 풍화암, 그리고 화강암상이 있는 비교적 안정층임을 알 수 있다. 시추 깊이 부족으로 '지반1' 혹은 '지반2'임을 추정할 수 있고 지반계수는 1.0 혹은 1.2임을 도출할 수 있다. 지질도에서 나타나듯이 해당지역의 암반은 경암으로 분류되는 화강암이 있어 '지반2'보다는 '지반1'이 적합하다고 생각되어 '지반1'지역으로 분류한다.

### ② 동적계수

동적계수는 구조물이 가지는 고유주기와 높이를 고려한 계수이다. 길이가 긴 막대기와 짧은 막대기를 같은 힘으로 흔들 때에 흔들리는 정도가 다른데, 짧은 막대기는 흔들리는 정도가 크고, 긴 막대기는 상대적으로 덜 흔들리는 것이 그 예이다. 이 같은 성격을 고려해준 것이 동적계수이다. 국내의 내진설계기준에 의거한 동적계수(C)는 '건축물 구조기준 등에 관한규칙'에 명시된 바와 같이

표 2. 동적계수 계산 식

$C = \frac{1}{1.2 \times \sqrt{T}}$	T : 건축물의 기본진동주기(초)	$T = 0.0853(h_n)^{3/4}$ (1) 철골구조
	$h_n$ : 밀면으로부터 최상층까지의 건축물의 높이(미터)	$T = 0.0731(h_n)^{3/4}$ (2) 철근콘크리트구조
		$T = 0.0488(h_n)^{3/4}$ (3) 조적조, 목조, 경량철골조, 기타구조

다음의 산식에 의하여 산정하되, 1.5를 초과할 경우에는 1.5를 적용한다. 또 동적계수와 지반계수를 곱한 값이 1.75를 초과하는 경우에는 1.75를 적용한다.

③ 반응수정계수

반응수정계수는 연성(구조물의 유연한 성질)능력을 고려하기 위한 연성계수( $R_\mu$ )와 초과강도의 특성을 반영하는 강도계수( $R_s$ )의 곱으로 평가할 수 있다. 반응수정계수는 내진설계기준에서 제시하는 계수를 따른다.

④ 노후도가중치

노후도가중치는 건물의 노후도에 따른 구조상의 강도

와 연성능력의 저하로 인한 피해를 고려해주기 위한 가중치로서 반응수정계수와 밀접한 관계가 있다. 노후도가 클수록 반응수정계수가 감소하고, 이는 건물의 지진피해를 증가시킨다. 건물 노후도는 ‘국세청고시 기준시가 산정방법(2000.7)’에서 사용하고 있는 건물내용연수에 따른 구조지수와 잔가울을 참고 수정사용하여 반응수정계수를 차감하는 형식으로 하였다.

위의 기준으로 현재연도에서 준공연도를 뺀 수를 경과연수에 곱하여 노후도 가중치를 구한다. 예를 들어 1980년에 준공된 철근콘크리트 건물의 노후도가중치는 I그룹으로써  $1-(0.0225 \times 23) = 0.4825$ 의 상각률을 가지고, 노후화 구조지수 평가범위 30%를 적용하기 위해 0.3을 곱하면 0.1447이 나온다. 여기에 철근콘크리트 건물의 반응수정계수 4.5를 곱하면 약 0.65가 나온다. 이 값이 노후도가중치이며, 철근콘크리트건물의 반응수정계수 4.5에서 차감하는 형식으로 이 값이 적용된다<sup>4)</sup>.

표 3. 구조물 방식에 따른 반응수정계수

구조방식	반응수정계수(R)	
내력벽 방식	조적조(전단벽이 모든 수직하중과 모든 횡력을부담하는 경우)	3.0
모멘트연성 골조방식	철골구조	6.0
	철근콘크리트구조	4.5
이중골조 방식	목조(모멘트골조와는 독립적으로 전단벽 또는가새골조가 모든 횡력을 부담하는 경우)	4.0
기타방식	경량철골구조, 기타구조(파이프)	3.5

표 4. 노후도 가중치 기준

번호	1	2	3
내용연수	40년	30년	20년
매년상각률	0.0225	0.03	0.045
경과연수별 상각률	$1-0.0225 \times \text{경과연수}$	$1-0.03 \times \text{경과연수}$	$1-0.045 \times \text{경과연수}$
적용대상	I 그룹	II 그룹	III 그룹

- (1) I 그룹 : 통나무조·철골(철골철근)콘크리트조·철근콘크리트조·철골조·석조·P.C조·목구조의 모든 건물
- (2) II 그룹 : 연와조·보강콘크리트조·시멘트벽돌조·황토조·목조의 모든 건물
- (3) III 그룹 : 시멘트블럭조·경량철골조·철파이프조·석회 및 흙벽돌조·돌담 및 토담조의 모든 건물

⑤ 경사도가중치

단지 계획 시 3%이내의 경사도에 체육관 및 운동시설 건물, 3%에서 15% 안에서 주택시설이 입지할 수 있으며, 25%이상의 경사도에는 건축물의 입지가 부적당한 것으로 규정된다. 경사면에 건물이 입지할 시에는 1차적으로 지면과 맞닿는 기둥의 길이가 사면위쪽에 기둥의 길이와 사면 아래쪽의 건물기둥이 길이 차이가 있어 구조적으로 지진에 취약하며 또한 급경사지에는 2차적 피해로 건물에 산사태로 인한 충격을 줄 수 있다. 개별건물에 대한 역학적 분석이 힘들기 때문에 25%이상의 경사지에 입지한 건물을 찾고, 급경사지에 위치한 건물은 평지의 건물보다 25%정도의 구조적 위험성이 있다고 가정하였다. 또한 평지건물에 대해서는 경사계수 1.0을 급경사지에는 1.25의 계수 값을 적용하였다.

4) 내구성 평가항목에 대한 기준은 시설안전기술공단의 “건축구조재료 노후화 유형분류 및 평가기법 개발에 관한 연구”의 평가기준을 참고.

표 5. 구조물의 노후도 평가 등급 기준

평가 등급	구조지수	상 태	조 치	비고
A	100	구조물의 내구성에 문제가 없는 건전하고 양호한 상태	·일상적인 유지관리	내구성 확보
B	90	경미한 손상 또는 결함이 있으나 간단한 보수로 원상회복 또는 내구성 확보가 가능한 상태	·지속적인 주의 관찰 ·간단한 보수후 일상적인 유지관리	
C	70	내구성 저하가 허용치를 초과하고 내구연한의 감소가 우려되는 상태	·부분적인 보수·보강 ·지속적인 감시	내구성 저하 또는 불안전
D	40	내구성 저하로 인해 내하성능 저하가 우려되는 상태	·사용제한 여부 판단 ·전반적인 대규모 보강	
E	0	현저한 내구성 저하로 구조물의 안전성에 문제가 되는 상태	·사용금지 ·긴급 보강 조치 ·철거 또는 재건축	

3.2.2 화재위험도

화재위험도는 개별건물들이 지진발생시 화재가 발생할 위험순위를 평가한 화재발생위험도, 화재의 대소(大小) 규모를 고려한 화재하중위험도와 인접건물의 화재시 확산이 염려되며, 건물의 구조상 불이 불기 쉬운 곳을 추출·평가한 연소위험도로 구분될 수 있다. 본 연구에서는 이 세 위험도를 중첩하여 분석한 후 문제점 등을 도출하였다.

① 화재발생위험도

지진으로 인한 1차적 피해가 건물도피로 인한 피해이고, 2차적 피해가 건물의 운동 및 도피로 인한 화재발생에 의한 피해이다. 지진시 화재발생의 원인은 화기기관의 낙하 및 도피된 건물에서의 누전이나 가스관파열이 때문에 건물도피위험도와 밀접한 관계가 있다.

화재발생위험도는 건물도피위험도에서 산출된 위험도 값과 화재보험협회에서 특수건물화재조사분석에서 사용한 폭발, 외부위험, 붕괴, 연기피해 등 일반적인 화재발생 요건을 고려한 안전율을 취약률(1-안전율)로 변환하여 이 값을 곱하여 평가하였다(국립 방재연구소, 2002).

$$\text{화재발생위험도} = \text{건물도피위험도} \times \text{취약률}$$

② 화재하중위험도

화재발생위험도가 단순히 화재가 발생할 가능성이 높은 지역에 대한 평가라면, 화재하중위험도는 화재발생시 상대적으로 큰 화재규모가 예상되는 지역에 대한 위험도이다. 화재하중은 화재지역 단위 면적당 등가가연물의 중량으로서 화재의 크기(大, 小)를 판단하는 기준이다. 화재하중이 높은 가스충전소나 주유소는 주변에 미치는 영향이 크기 때문에 화재하중이 낮은 다른 용도건물보다 철저한 안전관리가 필요하다. 이를 위한 용도별 단위 면적당 화재 하중 값을 이용한 개별건물의 화재하중 위험도는 다음과 같다(임홍순, 2001).

$$\text{화재하중위험도} = \text{업종별 화재하중} \times \text{해당건물면적}$$

③ 연소위험도

지진으로 인해 동시다발적으로 발생하는 화재는 주변 환경에 따라 연소하게 되는데, 조적조 건물이 많은 우리나라에서 연소화재의 위험은 거의 없다고 할 수 있다. 그러나 한옥과 같은 목조주택과 가연성, 인화성 물품을 취급하는 상점 등이 다수 존재하는 지역에서는 연소화재의 위험성이 존재하며, 협소한 도로나 불법노상주차와 같은 장애물에 의해 점유되어진 도로는 소방활동을 어렵게 하여 화재를 확대시킬 위험성이 있다. 따라서 연소위험도평가에서는 소방활동이 곤란한 장소로서 폭원이 5M미만의

표 6. 각 시설 별 화재 하중 값

(단위: MJ/m<sup>2</sup>)

용도	주거 시설	종교 시설	사무 시설	숙박 시설	의료 시설	유흥 음식점	학교	상점	공장	위험물 취급소
화재 하중	300	200	300	300	300	300	300	450	500	700

골목길, 협소도로를 찾아서 확산범위를 버퍼링을 통해 표현하였다.

(가정)

1. 지진발생시 건물도로나 화재로 인하여 폭원5M미만의 도로는 도로로서의 기능을 상실한다.  
이는 소방력의 접근을 어렵게 하고, 화재확산의 원인이 된다.
2. 폭원5M의 도로는 주변건물의 화재 시 옮겨 붙을 수 있다.

### 3.2.3 대피위험도

대피위험도는 건물이 도파하고, 화재가 발생한 후에 사람이 대피하는 과정에서의 피해예상정도를 평가하기 위한 위험도이다. 따라서 본 연구에서는 대피예상인구를 유효도로면적으로 나눈 값으로 대피위험도를 정하였다.

지진이 발생하면 그 지역의 인구밀도, 도로의 폭원 및 이용 상태, 도로주변의 현황 등은 대피의 혼잡한 정도에 영향을 미치게 되며, 이러한 조건들에 의해 대피의 쉽고 어려운 정도가 결정된다. 따라서 대피위험도 평가 지역의 야간인구 및 주간인구, 지진 시 사용 가능한 도로면적을 조사하여 군집밀도를 계산하였고 이를 이용하여 혼잡도를 평가하였다. 군집밀도란 예상되는 대피인구의 유효도로면적(지진 시 사용 가능한 도로면적)에 대한 밀도로서 1m<sup>2</sup> 당 인구수로 표현되며, 이는 지진 시 이동가능속도에 의해 대피 위험성을 평가할 수 있다.

대피예상인구는 지역의 주야간인구에 의해 결정되는데, 야간인구는 상주인구로서 주민등록에 의해 파악할 수 있으며(표 7), 주간인구는 주간에 활동하고 있는 인구로서 건물용도별 특정시간에 활동예상지역(표 8)을 설문받아 추정하였다. 지진 시 사용 가능한 도로 면적은 도로의 폭원과 길이를 곱하여 구하며, 또한 지진 시 건물도파에 의한 차폐면적은 정량화하기 힘들기 때문에 이를 제외한 나머지 속성으로 구한 대피위험도와 건물도파위험도의 중첩으로 파악하였다.

### ① 야간인구

표 7. 대상지 각 동별 야간인구(주민등록(99년기준))

대상지(동)	인구수
전농동	58,882
답십리	61,097
장안동	61,592
총	181,571

### ② 주간인구

동대문구의 주간인구는 466,719명이며, 상주인구는 360,110명이다. 본 연구 대상지의 주간인구를 현실적으로 구하기 어려운 점이 있으며, 어느 정도의 왜곡은 있지만 대상지내 객체에 대한 상대분석이라는 점에서 인구 총수의 크기는 일단 문제점이 없고 3개동의 상주인구를 알고 있기 때문에 비례식을 사용하여 대상지 총 주간인구를 추측 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & 3\text{개동 상주인구} : \text{동대문구 상주인구} \\
 & = 3\text{개동 주간인구} : \text{동대문구 주간인구} \\
 & (181,571 : 360,110 = X : 466,719 \\
 & \Rightarrow 3\text{개동 주간인구} : 235,323\text{명})
 \end{aligned}$$

위의 주간인구를 각각 건축물에 배분해야 하기 위해서는 각 개별건물의 용도별배분과 연면적 배분이 고려되어야 한다. 주간인구의 용도별 배분을 위하여 본 대상지의 법정동 상주인구를 기준으로 적정 배분 후 무작위 200명에게 설문조사를 하여 평일 특정시간(오전10시~오전11시)을 기준으로 설문당사자의 가족이 활동할 것으로 예측되는 공간을 조사하였다.

표 8. 용도별 주간인구 분포

용도	사람수(名)	백분율(%)
주택, 다가구, 아파트	125	19.20
학교, 학원	131	20.12
종교시설	11	1.69
의료시설	23	3.53
대중음식점 및 유흥시설	32	4.92
자동차정비시설 및 주유소	11	1.69
상점	140	21.5
숙박시설	10	0.92
사무실, 공장, 국유시설	172	26.43
계	651	100

위의 용도별 백분율로 전체 주간인구의 각 용도별총인구를 할당하여 용도별 총인구를 용도별 총 연면적으로 나누어 주면 단위면적당 인구수가 나온다.

단위면적당 인구수를 각 개별 건축물의 연면적에 곱해 주면 해당 건물의 주간인구를 구할 수 있다.

표 9. 단위 면적 당 인구 수

용도	용도별총인구(名)	총연면적(m <sup>2</sup> )	단위면적당인구수(名/m <sup>2</sup> )
주택, 다가구, 아파트	45,182	3,366,830	0.013
학교, 학원	47,347	396,345	0.120
종교시설	3,977	117,570	0.034
의료시설	8,307	79,190	0.105
대중음식점 및 유흥시설	11,578	35,733	0.324
자동차정비시설 및 주유소	3,977	28,434	0.140
상점	50,595	1,036,925	0.050
숙박시설	2,165	122,519	0.018
사무실, 공장, 국유시설	62,196	536,322	0.116

③ 도로면적

도로면적은 서울시 수치지형도의 도로중심선을 기준으로 해당 LINE의 폭원만큼 버퍼링을 준 후에 D/B상의 도로길이(length)만큼을 곱하여 산출하였다.

④ 군집밀도계산

대피예상인구를 유효도로면적으로 나누어 주면 군집밀도가 계산된다. 본 연구에서는 군집밀도를 계산하기 위해서 가로100m, 세로100m의 지역을 기준으로 총 대피 인구수와 총 유효 도로면적을 산출하였다. 인구 Shape와 도로 Shape를 각각 100m Grid로 변환하여 이를 ArcGIS에서 제공하는 Raster Calculator<sup>5)</sup>를 이용하여 두 그리드를 나누어주면 해당 Grid에 각각의 군집밀도를 갖게 된다.

인구Shape를 주·야간으로 구분 생성한 후 동일 도로 Grid와 Raster Calculating하여 주간군집밀도와 야간군집밀도를 구하였고 도로주차현황과 예상대피장애물로 판단될 요소들을 현장조사를 통해 정성적 분석의 결과를 첨부하여 각종 대피위험도를 구하였다.

4. 위험도 분석 결과

4.1 건물도피위험도

내진설계기준에 의한 지반계수와 동적계수, 반응수정계수, 노후도가중치, 경사계수의 설정값에 대한 최소값과 최대값의 범위는 0.0937~1.6021이고, 연구지역 내에 있는

해당 건물의 건물도피위험도의 최소값과 최대값의 범위는 0.0937~1.1538이다. 본 연구에서는 대상지내 최소값과 최대값의 범위 안에서 상대적인 지진위험도를 QUANTILE 통계기법<sup>6)</sup>으로 5등분 하여 나타내었다(그림 2). 전체적으로 적색으로 표시된 높은 도피위험도를 가진 건물은 장안동 일대에 분포함을 알 수 있고, 그 외에 급경사지의 건물, 조적조의 건물, 그리고 심하게 노화된 건물 등에서 높은 도피위험도를 나타냄을 확인하였다. 이러한 건물도피위험도의 등급은 지진 안전 검사, 보완 및 대책 수립에 대한 우선순위를 부여 하는데 활용될 수 있을 것이다.

표 10은 건물도피 위험도의 분석 결과로 장안동, 전농동, 답십리동의 순서로 도피 위험률이 높게 나타났으며, 이는 장안동의 대부분이 퇴적층인 점, 답십리 건물의 대

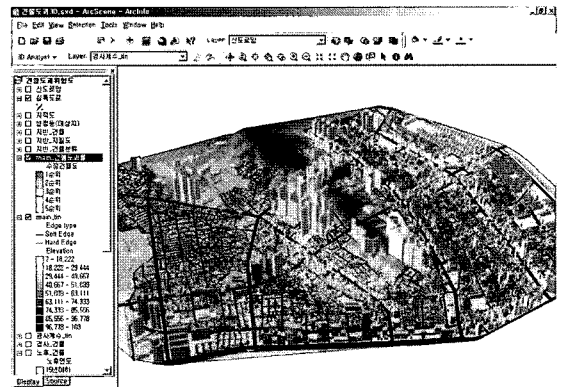


그림 2. 대상지 건물 도피 위험도

5) Raster Calculator는 ArcGIS에서 제공하는 기능 중 하나이다. 간단한 쿼리를 이용해서 레스터 데이터셋이나 레이어 레이어 또는 커버리지 등의 입력데이터에 대한 수학적인 계산을 수행한다. (출처: ArcGIS S/W 내의 도움말)

6) Quantile 기법: 자료들을 4분위로 나누어 등간격으로 분포되도록 등급을 할당하는 것으로 본 연구에서는 ArcGIS에서 제공하는 기능을 이용하였다.



표 10. 건물도피 위험도 분석 결과

건물도피 위험도		동별 평균 건물도피 위험도율	
건물수	16523개	장안동	38.1%
평균 건물도피 위험도율	34.9%	전농동	33.2%
최대 건물도피 위험도율	68.3%	답십리동	34.3%
최소 건물도피 위험도율	6.9%	평균	35.2%

부분이 조적조인 점 등과 부합하는 결과이다.

#### 4.2 화재종합위험도

화재발생위험도는 건물도피위험도와 취약률을 곱하여 구하였으며, 최소값과 최대값의 절대범위는 0.004~0.927이고, 연구지역 내에 있는 해당 건물의 화재발생위험도의 최소값과 최대값의 범위는 0.004~0.644이다. 연구대상지 내에 있는 해당 건물을 건물도피위험도 등급 분류 방법과 같이 QUANTILE 통계기법을 사용하여 5등분 하였다. 화재하중위험도는 용도별 단위면적당 화재하중과 해당건물 면적을 곱하여 산출되었다. 지진발생시 건물도피나 화재로 인하여 폭원5M미만의 도로는 도로로서의 기능을 상실하므로 소방력의 접근을 어렵게 할 뿐만 아니라 화재확산의 원인이 되며, 또한 폭원5M의 도로는 주변건물 화재 발생시 옮겨 붙을 수 있다. 이러한 가정 하에 해당도로를 기준으로 화재시 1차적으로 피해 볼 수 있는 범위를 7m, 2차 확산피해지역을 14m, 3차 확산피해지역을 21m로 하여 중복 버퍼링하였다(현지답사결과 골목길에 접한 건물의 폭은 평균 7m로 계산되었다).

이러한 화재와 관련된 위험도를 종합하여 증첩한 결과

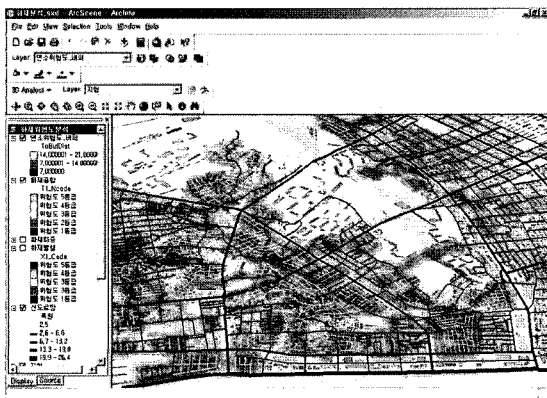


그림 3. 대상지 화재 종합 위험도

표 11. 동별 평균 화재발생 위험율

장안동	18.3%
전농동	16.1%
답십리동	16.1%

는 그림 3과 같다. 전체적으로 특별히 위험도가 높은 지역을 선정할 수는 없으나, 평균 화재발생 위험율을 보면 장안동이 근소하게 높게 나타났음을 알 수 있다(표 11). 또한 국지적으로 건물도피율이 높아 높은 화재 발생위험도를 보인 지역, 주요소가 있어 높은 화재하중도를 보인 지역, 그리고 도로폭이 좁아 높은 연소위험도를 보인 지역들이 높은 화재위험도를 보였음을 확인하였다.

#### 4.3 대피위험도

대피위험도는 앞서 언급한 대로 대피예상인구를 유효 도로면적으로 나눈 값으로 계산하였으며 대상지의 주/야간 대피 위험도의 결과는 그림 4-5와 같다. 전체적으로 주간과 야간의 대피위험도가 큰 차이를 보이고 있는데, 이는 상업지역과 주거지역등에서의 인구 밀도가 주/야간으로 서로 바뀌는 것을 반영한다. 즉, 주간 경우 상업지역이 인구밀도가 높고 야간의 경우 주거지역의 인구밀도가 높아 대피위험도가 차이를 보이는 것이다.

주간 대피위험도의 경우, 서울시립대학교와 그 밖의 초·중·고등학교에서 상당히 높게 나타나 다른 용도보다 학교지역은 좁은 면적 안에 인구가 집중되어 주간대피위험도에 취약함을 알 수 있다. 또한, 그 위험정도가 약하게 나왔지만, 대로변을 끼고 위치한 상업시설에서 야간보다는 높은 위험도를 보였다. 반면, 야간대피위험도의 경우 서울시립대지역과 청량리역사 지역, 장안동 외곽과 답십리 대로변의 상업지역은 낮은 것을 알 수 있다. 블록 중앙의 아파트단지를 낀 지역이 높은 위험도를 나타내고 있는데, 이는 25층 정도의 고층아파트가 밀집한 이유와 함께 도로의 부족을 들 수 있다.

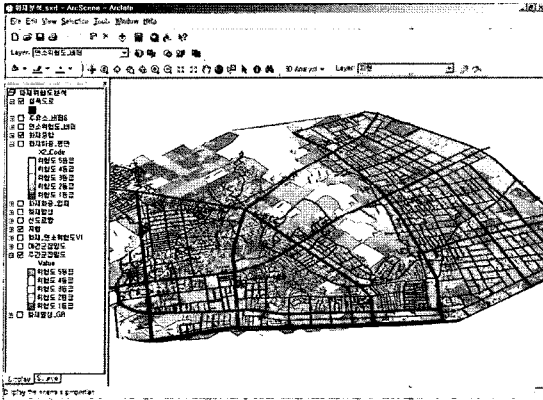


그림 4. 주간 대피 위험도



그림 6. 대피위험도를 활용한 대피 시나리오 1

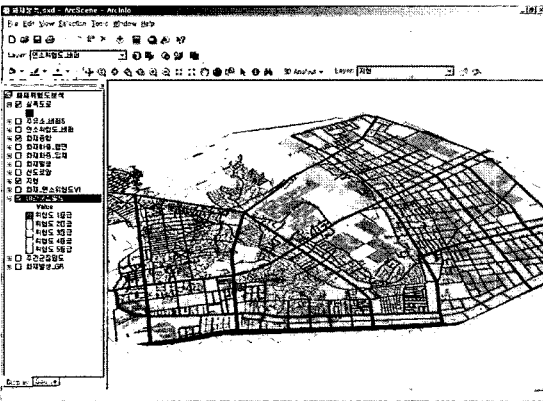


그림 5. 야간 대피 위험도



그림 7. 대피위험도를 활용한 대피 시나리오 2

이러한 대피 위험도는 지진발생시 대피 시나리오 설정에 활용될 수 있으며, 그림 6과 그림 7이 그 예이다.

지진발생시 주민들은 대피로를 따라 일시대피소나 수용대피소등으로 대피한다. 답십리 쌍마사거리 지역을 살펴보면 중앙의 대피로를 확보하고, 주민이 대피할 예상대피시설로 안전하게 이동 할 수 있도록 도로안전을 확보해야 함을 알 수 있다. 초기 지진발생시 안전을 위해 인근 일시대피소(학교운동장, 공원, 공터)로 대피한다. 이재민 및 가벼운 환자, 2차 예상 피해지역의 주민들을 수용대피소(학교 및 안전한 기타 시설)로 이동한다. 화재진압 및 구호를 위해 주요 도로를 확보한다.

그림 8은 앞에서 언급한 분석을 종합적으로 보여주는 지진위험도이다. 답십리 149번지 일대로 파란색의 버퍼링 지역은 건물도피1등급에 해당하는 건물을 해당 건물의 높이만큼 버퍼링한 것이며, 분홍색의 버퍼링 지역은 화재발생1등급에 해당하는 건물을 건물도피1등급과 마찬가지로



그림 8. 종합적인 분석을 활용한 대피 시나리오

가지로 버퍼링한 것이다. 불규칙적인 가로망과 높은 건물도괴와 화재발생으로 인해 해당 지역 진입로가 차폐됨으로 인해 많은 피해가 예상되며, 주변에 마땅한 대피 공간

역시 없음을 알 수 있다. 이 지역은 재건축 및 소방도로 확보가 시급함을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 지진으로 인해 발생할 수 있는 각종 위험도를 GIS를 활용하여 분석하였다. 지진위험도를 건물도피위험도, 화재위험도, 대피위험도로 분류하고, 각 위험도에 취약요소를 선정하여 분석해보았다. 연구의 대상으로 선정한 전농동과 답십리동, 장안동 내에서의 상대분석 결과 장안동지역이 지반의 영향으로 다른 동보다는 위험도가 높게 나왔지만, 전농동과 답십리동은 지진에 취약한 조적조 건물이 70%에 육박하고, 도로폭이 좁은 협소도로가 많이 분포되어 화재시 많은 피해가 예상된다. 이에 장기적인 안목에서 개별건물의 내진 설계를 강화하고, 소방도로 정비를 해야 할 것이다. 대피위험도의 경우, 주간에는 서울시립대학교와 그 밖의 초·중·고등학교에서 상당히 높게 나타나 다른 용도보다 학교지역은 좁은 면적 안에 인구가 집중되어 취약함을 알 수 있었고, 야간에는 아파트단지끼리 낀 지역이 높은 위험도를 나타내고 있는데, 이는 25층 정도의 고층아파트가 밀집과 도로의 부족이 원인이 된다. 도출된 대피위험도는 대피 시나리오를 작성하는데 활용될 수 있음을 보였으며, 본 연구를 통하여 도출되고 분석된 건물도피위험도, 화재발생위험도, 화재하중위험도등은 비록 상대적인 위험도지만 우선적으로 위험도가 높은 건물을 관리, 보수 할 수 있는 좋은 자료가 될 수 있다 판단된다. 본 연구의 결과는 미처 고려되지

않은 인자들로 인하여 다소 왜곡되어 나타났을 수도 있으며, 이를 현시점에서 정량적으로 분석할 수는 없었다. 그러나 지진과 같은 재해와 관련된 필요자료의 수집 및 구축, 그리고 GIS를 통한 분석과 대피시나리오의 작성과 같은 일련의 연구진행 과정들은 향후 각종 재해의 연구와 방재 분야의 연구에 있어 하나의 지표로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 물론 정확한 자료의 구축, 인자의 구성과 할당을 바탕으로 한 GIS 분석이 신뢰할 수 있는 결과를 도출할 것이다.

## 감사의 글

이 연구는 2003년도 서울시립대학교 학술연구용 첨단 장비 지원으로 수행된 연구로 학교당국에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김소구, 이승규 (2000), 남·북한 지진 목록을 이용한 한국 지진 위험도, 한국지진공학회 논문집, 한국지진공학회, 제4권, 제1호, pp. 13-34.
- 건설교통부 (1996), 건축물구조기준등에관한규칙 제8조 하중및 외력.
- 국립방재연구소 (2002), 지진에 대한 지역위험도 분석연구, 국립방재연구소 정책연구 11-1310148-000117-01, 국립방재연구소, pp. 74-75.
- 국세청 (2003), 건물기준시가 산정방법 해설책자, 국세청 발간책자 11-1210000-000093-10, 국세청, pp. 9-24.
- 서울시정개발연구원 (1999), 서울시 지진대응모델 개발, 서울시정연구개발원 보고서 98-T-56, 서울시정개발연구원, p. 14.
- 이기화, 이태국 (1997), 수도권 일원의 지진위험 분석, 한국지진공학회 논문집, 한국지진공학회, 제1권, 제4호, pp. 29-35.

(접수일 2005. 7. 1, 심사일 2005. 7. 29, 심사완료일 2005. 9. 5)