도시지역 토사재해의 인문사회적 위험 등급 도출 - 예상 인명피해를 중심으로 -

Developing the Humanity and Social Risk Index for Landslide Disasters in City

최형선* · 이창우** · 김경하** · 윤호중** · 김근영***

Choi, HyoungSun · Lee, ChangWoo · Kim, Kyongha · Youn, Hojoong · Kim, Geunyoung

Abstract

South Korea is one of the mountain-side urbanized countries with the high development demand by population centralization of the Seoul metropolitan region. South Korea has the humanity and social conditions of developing high-dense residential sites in mountain-side urbanized areas of large and medium size cities. However, there is lack of research for humanity and social damage of landslide disasters. This research is to identify humanity and social risks of landslide disasters, and to investigate a method rating the risk. This research computes basic units of buildings by classifying them, and identifies expected building resident indices derived from the GIS analysis process of our research. This research applies weight average staying times considering staying times and resident-user ratios in order to reduce analysis residuals. The five-stage classification of humanity and social risks for landslide disasters is developed the expected building resident indices of 0, 1~2, 3~7, 8~21 and 21+ stages.

Key words : Humanity and social risk, landslide disaster, expected building resident index, basic unit, GIS analysis

요 지

우리나라는 산지-도시생활형 국가이면서 수도권 인구 집중화로 개발압력이 높기 때문에, 중·대도시의 산지 인근에 아파트 등 집단 거주지를 개발할 수밖에 없는 인문사회적인 여건을 가지고 있다. 그러나 산지토사재해 연구에 인문사회적인 피해를 다루고 있는 논문은 찾아보기 어렵다. 본 연구는 토사재해의 인문사회학적 위험도를 도출하고 이를 등급을 설정하는 방법론을 개발하는 논문이며 각 건물군을 재분류하여 원단위를 도출하고 GIS분석과정을 거쳐서 예상재실인구수를 도출하였다. 여기에 분석의 오류를 최소화하기 위하여 체류시간을 고려한 가중치와 상주인구 대비 이용인구의 평균 체류시간의 가중치도 함께 적용하였다. 인문사회적 위험도를 예상재실인구수로 도출한 결과 토사재해 인문사회 위험도는 예상 재실인구수 0, 1~2, 3~7, 8~21, 21이상의 5단계로 구분할 수 있었다.

핵심용어 : 인문사회적 위험도, 토사재해, 예상재실인구 수, 원단위, GIS분석

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

지구의 기후변화에 따라 과거보다 강력한 풍수해가 발생하고 토사재해의 대형화·집중화는 앞으로 더욱 심각해질 것으로 예상되고 있다.

또한 우리나라는 산지-도시생활형 국가로, 산지의 토사재해에 매우 취약한 자연·인문사회 환경에 노출되어 있다. 특히, 전국토의 2/3가 산림지역이며, 총 국토면적 9.9만km² 중 16.3%(1.7만km²)인 도시지역에 총인구 4,980만명 중 91.5%

인 4,550만 명이 거주하고 있으며, 수도권 인구 집중화로 경기도의 인구밀도도 울산시보다 높은 1,119.3명/km²에 달하여 개발압력이 높기 때문에, 중·대도시의 산지 인근에 아파트 등 집단 거주지를 개발할 수밖에 없는 인문사회적인 여건을 가지고 있다.

그러나 토사재해로 인한 인명·재산피해를 분석하고, 위험도를 평가하는 연구는 거의 수행되지 않아 토사재해의 방제 시스템은 인문·사회적 피해강도를 적절하게 반영하지 못하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라 국토의 64%를 점유하는

*정회원. 한양대학교 도시대학원박사과정(E-mail: lucky6604@nate.com)

Member. Ph.D Candidate, Department of Urban Planning, graduate School University of Hanyang

**국립산림과학원

Div. of Forest Disaster Management, Korea Forest Research Institute

***교신저자. 정회원. 강남대학교 도시공학과 교수(Tel: +82-31-280-3765, Fax: +82-31-280-3937, E-mail: gykim@kangnam.ac.kr)

Corresponding Author. Member. Professor, Department of Urban Planning, Kangnam University

산림지역에서 발생 가능한 토사재해 위험 지역 내부에 인명 피해를 중심으로 한 ‘인문사회적 예상위험도’를 개발한다. 그리고 이에 따라 도출된 ‘토사재해의 인문 사회적 위험도’의 등급을 통해 도시 토사재해의 우선관리지역을 도출하는 방법을 연구하고자 한다.

1.2 연구의 흐름

본 연구의 흐름은 다음과 같이 총6단계로 구분이 된다. 첫째, 대상지의 선정이다. 도시의 토사재해에 대한 인문사회적 위험도를 도출하기 위하여 우리나라의 토사재해의 대표적 사례도시를 분석의 사례로 선정한다.

둘째, 연구의 자료가 되는 분석데이터를 구축한다. 분석데이터는 GIS의 도형자료인 분석 대상지역의 토사재해의 물리적 위험위치 지도와 행정구역도, 등고선도, 건축물도 등을 구축하고 속성데이터로 분석 대상지역의 건축물 속성 데이터 및 주거·상주인구수, 건축물의 법적 주차면수, 건물 층 수 등을 구축한다.

셋째, 산지토석류 피해지역에 포함되는 건물의 건축물의 수 치지도 유형분류를 확인하고 이를 토사재해의 인문사회적 위험도를 도출할 수 있도록 유형 재분류를 실시한다.

넷째, GIS 공간분석을 실시하여 산지토석류의 위험지역 내에 포함되는 건물을 도출하고, 위험지역 내부에 포함된 건물의 종류별 면적을 도출하고, 층수를 고려하여 건물의 이용면적을 산출한다.

다섯째, 건물의 이용시간과 건물의 이용 특성을 고려한 가중치를 산정한다.

여섯째, 앞서 도출된 산지토석류 위험지역 내부 건축물의 각 건물 유형별 원단위와 위험지역내부의 건물의 예상이용면적, 건물별 가중치를 활용하여 산지토석류의 인문사회학적 위험도를 도출한다.

2. 산지토사재해 현황 및 착안점

2.1 선행연구의 검토

본 연구의 토사재해 인문사회적 위험도에 관한 연구를 위해 관련 선행연구를 살펴보았다. 토사재해의 인문사회적인 영향과 직접적으로 관련된 연구는 거의 없는 것으로 나타났으며, 토사재해의 관련논문 중 최근의 8개년의 논문을 살펴보았다.

한국지질자원연구원((2006)의 연구에서는 산사태 정량적 위험도 산정기법 개발, 산사태 위험도 전산지도 작성, 산사태 QRA 통합 전문가시스템 개발·구축, 현장정밀조사를 통해 전국 산사태 자료검색용 DB제작·운영, 주요지역 산사태 예측도 작성, 기존 산사태 예방방법 적용성을 확인한 논문으로 물리적 가능성 정도를 예측하는 것에 주안점을 두었다.

채병곤 외(2005)는 산사태물질이 지형조건과 물질의 특성에 크게 좌우됨을 감안하여 우리나라에서 발생하는 토석류 산사태를 대상으로 사면하부로 이동되는 사태물질의 확산범위를 산정하고, 지형특성을 고려한 사태물질의 이동경로를 예측하기 위한 기법을 개발하였다. 이를 토대로 정량적인 사태물질 확산범위를 산정하고자 인공신경망 이론을 이용하여 사태물질 확산범위 산정방법을 도출하였다. 또한 GIS 기법을 이용하여 지형자료를 분석하고 다양한 요소를 고려하여 사태물질이 이동할 가능성이 가장 높은 경로를 추출·예측하였다. 이 논문에서는 산사태의 범위 및 경로를 예측하는 등 역시 물리적인 위험을 분석하였다.

김경수 외(2006)는 조사된 강우자료와 산사태자료를 근거로 하여 강우와 산사태의 관계를 분석하였다. 산사태를 유발하는 강우조건은 크게 누적강우량과 강우강도로 구분하고 산사태는 지질조건을 고려한 지역별 발생빈도 등으로 구별하여 이들의 관계를 통계적으로 분석하였다.

최준식 외(2010)는 2006년 7월 집중호우에 의해 원주지역과 횡성지역에 발생한 산사태에 대하여 재해대장을 기초자료로 하여 현황을 파악하고 현장 조사를 실시하여 산사태 DB를 구축하고 산사태 발생원인인 강우특성과 산사태 규모에 대하여 분석하였다.

조용찬 외(2003)는 강원도의 산사태 집중 발생지역중 2000년 산불 피해를 겪고, 이번에 또 산사태 피해를 겪은 강릉시 사천면 일대를 대상으로 산불지역에 발생한 산사태의 특징에 관해서 조사하였다.

손정우 외(2009)는 2006년 7월 12~16일에 발생한 강원도 인제의 산사태 지역을 대상으로, 산사태 지역을 촬영하여 고해상도 항공사진을 획득하고 이를 영상분석 정사보정 하였다. 그리고 육안판독으로 산사태지역을 발단부, 유희부, 퇴적부로 구분하여 디지털이징(Digitizing) 후, GIS 프로그램인 ArcGIS를 이용하여 수치지도, 임상도, 지질도, 토양도와의 중첩분석

Fig. 1. The Research Procedure

을 통해서 산사태 발생지역에 대한 수문학적, 지형학적, 임상학적, 지질학적, 토양학적 현황과 특성을 DB로 구축하고, 산사태의 발생 현황 및 특성을 분석하였다.

황하기(2009)는 우도비에 의해 통합된 공간자료를 산사태 취약성도로 표현하고, 결과물의 신뢰성을 올바르게 평가하기 위하여 예측비율곡선(prediction rate curve)을 작성하였다. 예측비율곡선이 2개 이상 집단의 교차검증으로 대상지역에서 산사태 취약여부의 유효성을 제공하는 논문이다.

이승기 외(2005)는 GIS의 공간분석기능에 기반하여 국립산림과학원에서 1999년에 개발한 산사태 위험지 판정표에 제시된 산사태 관련 7개 인자에 대해 자동화된 분석기법을 제시하고, 정주상 등(1992)의 연구결과를 통합하여 산사태 업무현장에서 이용이 가능한 산사태 위험지 판정 모델을 개발하였다.

박인혜(2008)는 단순 시뮬레이션만이 가능한 방재시스템의 한계를 극복하고 실시간 방재시스템으로의 확대를 위한 기초연구로 실시간 방재 시스템을 위한 기반 구조 및 알고리즘을 제시하고 그것을 이용하여 대피 시뮬레이션을 실시하였다. 실좌표계가 적용된 GIS 데이터를 활용하여 공간분석 및 실내측위기술과의 연계가 가능하도록 하였고 Cellular Automata 모델을 적용하여 실내 이동자의 움직임을 나타내는 데 사용하였다.

양인태 외(2006)는 산사태를 유발하는 인자들을 고려하여 각 인자별 자료층(layer)을 GIS 데이터베이스로 구축하였으며, AHP와 GIS에 의해 산사태 취약성을 분석하고 각 유발인자들이 산사태에 미치는 영향을 평가하였다.

2.2 연구의 착안점

8개년의 선행연구를 살펴본 결과, 그동안의 연구는 산사태의 현황 및 예측 범위 산사태의 방향성에 대해 연구한 것이 대다수로 파악 되었다. 또한 연구와 해당연구기관의 연구가 대부분 물리적인 예상 범위를 추정하거나 물리적 가능성 정도를 예측하는 것에 주안점을 두었다.

따라서 본 연구에서는 물리적인 피해 규모나 위치 피해 가능성이외의 부분인 토석류의 피해발생 시 가능한 인명피해를 중심으로 인문사회적인 피해 규모를 예측을 하는 것을 본 연구의 주요 착안점으로 한다.

2.3 연구의 범위

본 연구의 시간적 범위는 2013년 현재 산림과학원에서 제시되고 있는 산지토석류 위험지역 지도와 2010년 수치지형도의 건물지도에서 속성자료의 사용으로 가장 최신의 현황을 연구의 범위로 설정하여 분석하였다.

또한 공간적 범위로는 본과제의 대상이 도시의 토사재해 예상 피해 지역임을 고려하여 경기도 용인시를 분석의 대상으로 선정하였다. 용인시는 경기권의 대표적인 도·농 통합도시로 인구 및 도시의 산지 비율이 전국 도시의 평균이라 할 수 있는 도시이다. 또한 산지토석류예상 피해 지도의 예상범위로 가까우며, 국립산림과학원의 지원을 받을 수 있는 지역이었다.

따라서, 본 연구는 2012년의 토사재해 예상 피해지도와 건축물 및 기타 최신 GIS자료를 중심으로 경기도 용인시의 토사재해 인문사회적 위험도를 도출하고 등급을 도출하고자 한다.

3. 분석의 틀 설정 및 자료구축

3.1 분석의 틀 설정

본 연구에서 토사재해의 인문사회적 위험도를 만들기 위해 다음과 같은 분석의 틀을 설정한다.

첫째, 인문·사회적 위험지역의 산지토석류 재해의 예상 피해 규모를 인적 피해의 피해부 취약성으로 대변하여 측정한다. 토사재해 위험지구 내 인문사회적 위험도는 피해 지역의 인구수, 인구밀도, 재해취약인구 비율, 물적피해, 피해가치의 산정 등 다양한 방식으로 도출할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 산지토석류의 인문사회적 위험도를 인구수로 측정한다. 그 이유는 물리적 피해는 복구가 가능하지만 인적피해는 복구 및 치유가 불가능하기 때문이며, 또 인적피해와 물적피해를 피해가치로 환산할 경우 물리적 가치에 대한 기준이 모호하여 측정의 가치가 객관적으로 도출되기 어렵기 때문이다. 따라서 예상피해를 도출하기에 가장 객관적이라고 생각되는 인구수를 인문사회적 피해규모를 대변한다.

둘째, 인적 피해측정은 ‘위험지역 예상 재실 인구수’로 분석한다. 토사재해 인문사회적 위험도를 ‘인구 수’로 대변하기 때문에 위험지역 내의 각 건물의 면적과 층수를 활용하여, 건물 유형별 이용 면적의 총 합을 계산한 후, 건물별 단위면적 당 예상되는 인구수를 곱하여 위험지역 내부의 건물 면적에 해당하는 인구수를 도출한다. 이렇게 계산된 인구수가 ‘예상재실인구수’이다.

셋째, 건물별 단위면적 당 이용 또는 상주 인구수를 원단위 기법을 활용하여 도출한다. ‘위험지역 예상 재실 인구수’를 도출하기 위해 건물 별 원단위를 적용한다. 건물별 원단위는 대체로 교통영향평가에서 사용되는 원단위를 활용하여 분석하였으며, 원단위가 도출되지 못하는 건물군은 건축물의 허용 주차면수로 대체하여 단위면적당 이용인구를 도출하였다.

특히 건축물의 속성자료인 건축물의 수치지도의 건물은 300개의 건물을 22개로 대분류하고 있으나, 22개는 측정을 위한 분류의 개수로 다소 많다고 사료되어 건물의 이용 특성을 고려하여 재분류를 하였다. 이를 통해 총 9개의 건물 군으로 분류하였다.

3.2 자료의 구축

본 연구에서 사용된 자료는 크게 원단위 도출을 위한 건축물 속성자료와 GIS자료인 토사재해의 예상위험지역 지도, GIS 건물데이터, GIS 행정구역 지도 등이다. 추가적으로 건물 군 별 원단위 도출을 위해 용인시의 교통영향 평가 및 ‘도시계획법’의 건축물 기준 주차면수 등을 활용하여 구축하였다.

3.2.1 원단위 도출을 위한 자료의 구축

건축물별 예상 재실 인구수를 도출하기 위해 우선 건축물

의 특성에 따라 단위면적당 재실인구수를 예측해야한다. 이를 위해 기초자료인 수치지도 데이터의 건축물 자료의 속성을 파악하였다. 속성 중 건축물의 분류현황은 총 300 종의 건축물로 구축되어 있었으며, 중분류 코드는 22개로 분류되어 있다. 인문·사회적 위험 등급의 자료로 사용하기에 22개의 건물군은 다소 많으며, 인구 재실의 측면에서 중복된 성격이 있는 건축물이 있다고 판단되어 건축물 군을 재분류하였다.

도출된 건축물의 분류체계 별로 위험지역 예상 건축물 재실인구 원단위가 필요하다. 따라서, 원단위로 사용하기 위한 교통영향 평가 자료를 사용하였고, 원단위 존재하지 않는 자료는 건축법상에 최소 주차면수를 활용하여 원단위로 사용하였다.

3.2.2 분석을 위한 GIS 자료 구축

GIS를 이용하여 인문사회적 위험지역 내부 건축물의 개수 및 각각의 면적, 층고를 도출하기 위해 토사재해 위험지역지도, 행정구역지도, 등고선도, 건축물지도 등의 레이어를 수집하였다.

토사재해 위험지역 GIS자료는 산림과학원에서 제공받았다. 토사재해 위험지도는 기존의 산림청의 산사태 위험지도에 세부 토사재해의 가능성이 있는 지역을 도출한 지도이다. 다음 자료는 행정구역·등고선 GIS자료는 국가정보유통시스템에서, 건축물 GIS자료는 수치지도의 일부자료를 사용하였다.

Fig. 2. Building Research Data Sets

4. 토사재해 인문사회적 위험등급 도출

4.1 건물 예상 재실인구 원단위 도출 방안

수치지도의 건물 분류표에서 본 연구에 적합하도록, 건물군의 재분류 및 삭제 등을 통해 최종 분류된 건물군은 1종근린, 2종근린, 공장, 교육 및 복지, 문화 및 집회, 업무, 의료, 주거, 판매 및 영업의 9개의 원단위 적용 건물군과 11종의 기타(관리사, 기타가축시설, 기타동식물관련시설, 매매장, 버섯배매사, 액화석유가스충전소, 온실, 정비공장, 주유소, 창고, 축사)로 구분하였다.

본 연구에서 수치지도의 전체 분류는 지문의 제약으로 생략하고, 표의 일부를 예시하겠다. 그 내용은 표 1과 같다.

표의 데이터 번호는 수치지도에서 건물의 각 번호이며, 값 의미는 건물의 세분류 명이다. 표에서 알 수 있는 것처럼 기

Table 1. Building Classification

Data number	Mean	Existing classification	Reclassification
1001	Detached house	Detached house	⇒ Dwelling
1002	Multi-Housing		
1003	Multi-household house		
1004	Official residence		
2001	Apartment	Multi-unit dwelling	
2002	Townhouse		
2003	Multiplex housing		
2004	Convenience Facilities		
2005	Additional facilities		
2006	Welfare facilities		
2007	Dorm		
11101	Hotel	Accommodation	
11102	Motel		
11103	Inn		
11199	Other Accommodation		
11201	Tourist Hotel		
11202	Awards Tourist Hotel		
11203	Korea Traditional Hotel		
11204	Family Hotel		
11205	Resort condominium		
11299	Other tourist accommodation		

준 수치지도의 대분류에서는 단독주택, 공동주택, 숙박시설의 3개의 대분류로 이루어져 있으나 본 연구에서 재실인구를 산정하기 위해 비슷한 특성을 지닌 분류를 재분류하여 '주거'로 단순화하였다. 나머지 300개의 세부 속성이 22개로 분류되어 있으나 이를 총 9(재분류)+1(기타)인 총 10개의 분류체계로 진행하였다.

재분류 9개와 기타로 분류한 이유는 재분류된 9개의 건축물 군은 일반적으로 교통영향평가의 자료에서 원단위를 도출할 수 있는 자료이며, 기타에 속하는 건축물군은 교통영향평가의 자료로 원단위의 도출이 어려운 부분이기 때문에 주차장법 시행령에서 제시하고 있는 최소한의 주차면수를 활용하였다. 여기서 주차면수로 인구수를 대변한 이유는, 기타에 속하는 건물군은 대체로 상주인구가 존재한다고 보기 어려운 건축물 들이나 이를 인문사회적 위험도에서 제외시킬 수 없는 부분이기 때문에 최소한의 이용자가 존재한다고 가정하고 주차장법에 따라 주차면수를 활용하였다.

4.1.1 재분류된 건물 예상 재실인구 원단위 도출

1종근린, 2종근린, 공장, 교육 및 복지, 문화 및 집회, 업무, 의료, 주거, 판매 및 영업의 9개의 원단위 적용 건물군의 각각 원단위 적용 값을 구축하기 위해 주변 여건이 비슷하다고 생각되는 용인시 및 주변의 '교통영향평가'에서 사용하는 원단위를 수집하였다.

수집된 원단위는 최소 4개 이상의 원단위를 사용하였으나, 본 논문에서는 동일하게 4개식만 표시하였다. 그러나 적용 값

은 수집된 모든 자료의 평균값을 사용하여 예상재실인구의
원단위로 사용하였다. 따라서 적용치의 값은 각각의 원단위
사용에 관한 내용은 다음 표 2와 같다. 유사시설의 명칭은
논문의 특성상 비공개로 표시하였다.

4.1.2 기타 건축물의 주차면수 적용
압서 언급한 바와 같이 원단위를 적용할 수 없는 기타 건
축물은 관리자, 기타가축시설, 기타동식물관련시설, 매매장, 버
섯재배사, 액화석유가스충전소, 온실, 정비공장, 주유소, 창고,

Table 2. Basic Units Applied to Each Building Type

Division	Similar facilities	Floor Area	Intensity (in/generation, which/1000 m ²)	
			Full-time population	User Population
One kind Neighborhood Facilities	ASimilar facilities	1,760.94	33.5	190.2
	BSimilar facilities	942.84	24.9	102.3
	CSimilar facilities	647.56	24.0	101.0
	...			
	HSimilar facilities	587.89	27.2	102.7
	Value applies	-	31.67	160.80
Two kinds Neighborhood Facilities	ASimilar facilities	1,134.72	39.6	233.5
	BSimilar facilities	4,243.03	37.2	227.3
	CSimilar facilities	5,854.60	37.9	269.6
	...			
	FSimilar facilities	587.89	27.2	102.7
	Value applies	-	3.67	221.55
Factory	ASimilar facilities	23.15	37.0	37.0
	BSimilar facilities	24.91	29.7	29.7
	...			
	GSimilar facilities	20.2	16.9	16.6
	Value applies	-	21.00	24.43
Education and Welfare	ASimilar facilities	1,190.1	5.0	69.7
	BSimilar facilities	1,856.4	2.26	51.6
	...			
	DSimilar facilities	4,984.7	5.0	64.1
	Value applies	-	5.02	5.02
Culture and Assembly	ASimilar facilities	1,683	4.2	229.5
	BSimilar facilities	1,052	4.3	215.6
	...			
	ISimilar facilities	1,706	4.1	257.9
	Value applies	-	3.67	221.55
Business	ASimilar facilities	15,224.2	46.9	124.4
	BSimilar facilities	9,925.1	31.4	124.5
	...			
	HSimilar facilities	25,088.2	54.3	124.6
	Value applies		40.56	166.01
Medical	ASimilar facilities	1,791.0	91.1	89.3
	BSimilar facilities	1,324.4	145.8	472.9
	...			
	DSimilar facilities	1,494.5	113.0	171.2
	Value applies		111.11	111.11
Dwelling	ASimilar facilities	264	4.25	1.31
	BSimilar facilities	110	4.55	1.42
	...			
	JSimilar facilities	60	3.43	1.24
	Value applies		21.33	1.14
Sales & Marketing	ASimilar facilities	15,188.5	47.6	378.5
	BSimilar facilities	18,027.6	37.7	442.7
	...			
	ESimilar facilities	4,522.2	38.5	385.3
	Value applies		36.02	365.62

Table 3. Parking Indices

Facilities	Index
Storage facilities	1 per 400m ² facility area
Other buildings	1 per 300m ² facility area

측사이다. 이러한 기타 건축물은 상주인구가 존재한다고 보기 어려운 건축물이므로 주차장법의 주차장 건설기준 부설주차장의 건설기준 주차면수를 적용하였다. 적용된 주차면수는 표 3과 같다.

4.2 위험지역 내 건물별 예상 활동면적 GIS분석

산지토석류의 인문·사회적 위험지역 내부·건물별 예상활동 면적을 도출하기 위해 GIS 자료를 활용하여 다음과정을 통해 분석을 실시한다.

분석의 과정은 ① 좌표일치, ② 토사재해 위험지도의 구역 패합, ③ 중첩분석을 통한 위험지역 내부건축물 파악, ④ 위험지역 내부 건축물 활동면적도출의 순서로 진행된다. 아래 그림은 과정을 도식화 한 것이다.

Fig. 3. Estimating Potential Risk Areas

첫째, GIS자료의 좌표일치를 시키는 것은, 각기 다른 자료이기 때문에 GIS상에서 좌표의 일치가 분석의 시작이기 때문이다. 둘째, 토사재해 위험지도의 구역을 패합 시키는 이유는 산림과학원에서 제공 받은 토사재해 예상 위험지역의 위치지도는 위치가 적용되어 있으나 방향성을 나타내기 때문에 패합된 자료가 아니다. 따라서 분석을 위해 용인시 토사재해 위험지도를 모두 패합시키는 과정이 필요하다. 셋째, 중첩분석을 통한 위험지역 내부건축물을 파악하는 것은, 패합된 토사재해 위치지도와 건축물의 지도를 중첩시키고 토사재해 위험지도 내부에 위치하는 건물군을 export하여 새로운 도면으로 추출하는 과정이다. 넷째, 새롭게 도출된 위험지역 내부 건축물의 각 면적을 바닥면적에 층수를 곱하여 도출한다.

그림 4는 산사태 위험지도와 건물지도를 중첩시켜 나타낸 것이다.

4.3 가중치 산정

토사재해 인문사회학적 피해 분석을 위한 건물별 원단위를 상주인구와 이용인구로 도출되었다. 그러나 이 값을 동일한 수준으로 적용하는 것은 상주인구에 비해 이용인구의 체류시

Fig. 4. Analysis of Risk Areas, Including Buildings

간이 차이가 있다. 따라서 이용시간을 고려한 하루 평균 체류시간으로 변환하기 위한 가중치 값이 필요하다고 사료된다. 따라서 상주인구에는 가중치를 1을 적용하고, 이용인구에는 하루 중 건물에 방문이용 시간을 고려하여 1/4를 적용하였다. 여기서 1/4 값은 일반적으로 건축물의 오픈시간이 근무시간이라고 한다면, 8~12시간이라 할 수 있다. 이를 기준으로 할 때, 영화, 쇼핑, 종교, 학원, 운동 등 대다수의 건물이용자의 이용시간이 2~3시간 정도이기 때문이다. 단, 여기서 제외되는 특성의 건물군이 있는데 이는 '교육 및 복지'시설이다.

'교육 및 복지 시설'은 이용자의 특성상 오픈되어있는 시간 동안 거의 체류한다고 할 수 있기 때문에 일반적 이용인구의 가중치 값인 1/4 대신 이용자 값을 그대로 반영하였다.

또 주요하게 고려해야할 건물군이 없는지 찾아볼 필요성도 있다. 모든 건물의 이용자 들이 대피시 동일한 조건을 가지지 않기 때문이다. 대다수의 건물 군을 동일한 조건으로 가정하였으나 특히 '교육 및 복지'의 건물 군은 그 특성을 동일 시 할 수 없다. 그 이유는 '교육 및 복지'의 대다수의 이용자가 어린이, 노인 그리고 장애인 인기 때문이다. 따라서 '교육 및 복지'의 건물군에 가중치 3/2의 값을 적용하였다. 도로교통법에 따르면, 어린이 보호구역, 노인 보호구역 등에서는 보행자의 신호 주기 설정에 3/2의 시간을 적용한다고 명시되어있다. 이는 일반인의 보행 속도에 비해 노인 및 어린이의 보행속도가 2/3인 것을 감안한 것이다. 이와 같이 '교육 및 복지' 시설이용자가 토사재해에서 대피를 하기 위해서는 일반인의 대피 속도에 비해 3/2가 더 걸릴 것이라 추정할 수 있다. 따라서 '교육 및 복지시설'에는 건물의 가중치 3/2부여해야 할 것이다.

추가적으로 이용인구와 상주인구 모두 하루의 1/3의 시간 동안 재실하고 있기 때문에 전체의 값에 1/3을 적용한다.

4.4 위험지역 내 예상재실인구 도출

지금까지 건물군을 분류하고, 건물군에 따라 원단위를 산출하였으며, GIS분석을 통해 건물의 면적을 도출하였다. 또 원단위에서 도출된 상주인구와 이용인구를 각각 가중치를 적용하고 건물군에 따른 가중치 값을 산정하였다. 이제 본 연구에서 도출하고자 하였던 토사재해의 인문사회학적 피해를 대신한 위험지역내의 예상재실인구를 도출한다.

우선, 다음 그림 5는 토사재해의 위험지역 내부에 포함되는

Fig. 5. Identifying Buildings inside Landslide Risk Areas

건축물을 나타내는 분석과정이다.

여기서 ①, ②, ③은 토사재해 위험지도의 번호이며, 내부에 포함되는 건축물의 속성에 위험지도의 번호가 삽입되도록 공간분석을 실시하였다.

다음으로 지금까지 구축된 속성데이터를 excel로 불러와서 건물별 토사재해의 위험지도 번호 별로 그룹화 시킨다. 그룹화 된 같은 토사재해위험지도의 번호를 속성으로 가지고 있는 열은 위험지도 내에 포함된 건축물이다.

구축된 속성데이터에는 건물의 종류, 재분류, 상주인구, 이용인구, 건물면적, 층수, 가중치 등의 속성이 구축되어있다. 다음 그림은 속성의 분석과정을 나타낸 것으로 excel상에서 계산이 되도록 하였다.

Fig. 6. Properties of Buildings

위험지역 내 예상재실인구 도출을 위한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(S.P+U.P/W_{u,p})/W_{all} \times W_b \times (F_{area} \times N.f)$$

- S.P: 상주인구
- U.P: 이용인구
- $W_{u,p}$: 이용인구 가중치 = 1/4(단, '교육문화시설'=1)
- W_{all} : 전체 인구의 1일 시간 가중치 = 1/3
- W_b : 건물가중치('교육문화시설'=3/2)
- F_{area} : 바닥면적
- N.f: 층수

Fig. 7a. Yongin Landslide Hazard Map with Humanity and Social Indices

Fig. 7b. The Expanded Risk Map

위의 식을 중심으로 도출된 토사재해의 위험지역의 값을 GIS상에서 자연분류 체계로 분류한 결과 5단계로 분류되었으며, 그 단계는 예상재실 인구수에 따라 위험지역 내에 건물이 없거나 존재하여도 1명 이하로 추정되는 '0' 단계, 예상재실인구수가 1~2명인 단계, 예상재실인구수가 3~7명인 단계, 예상재실인구수가 8~21명인 단계, 21명 이상인 단계로 구분하였다.

도출된 인문사회적 위험도(예상재실인구수)의 속성데이터와 GIS의 기존 위험도 지역 내의 건축물 자료를 Join하여 아래와 같은 용인시 토사재해의 인문사회적 위험등급 지도를 도출하였다.

그림 7의 a는 전체 용인시 토사재해 인문사회학적 위험지도이며, 그림 7의 b는 확대한 지도의 일부분이다.

최종적으로 인문사회적 위험등급에서 도출된 가장 위험등급은 예상재실인구수가 21명이상인 지역임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 토사재해의 인문사회학적 위험도를 도출하고 이를 등급을 설정하는 방법론을 찾아가는 논문이다.

분석의 사례지로는 국내의 도시지역의 평균적인 지역이라고 할 수 있는 용인시를 사례로 분석을 실시하였다. 토사재해의 인문사회학적 위험도를 도출하기 위하여 예상재실인구수가 이를 대변한다고 가정하고, 분석의 틀을 설정하였으며, 수치지도의 건물군을 재실인구수를 도출하기 위하여 재분류

체계를 거쳐 각 건물군의 원단위를 도출하였다. 또 산림과학원에서 제공 받은 토사재해의 위험지도와 건물지도를 GIS분석과정을 거쳐서 예상이용면적을 도출하고 원단위를 곱하여 예상재실인구수를 도출하였다. 여기에 분석의 오류를 최소화하기 위하여 채류시간을 고려한 가중치와 상주인구 대비 이용인구의 평균채류시간의 가중치를 적용하였다. 특히 ‘교육 및 복지시설’의 건물군에는 건물의 특성을 반영할 수 있는 가중치를 추가로 적용하였다. 이러한 기초자료를 가지고 $(S.P + U.P/W_{up})/W_{all} \times W_b \times (F_{area} \times N.f)$ 의 수식을 활용하여 인문사회적 위험도를 예상재실인구수로 도출한 결과 위험지도 내의 위험도는 예상 재실인구수 0, 1~2, 3~7, 8~21, 21이상의 5단계로 구분할 수 있었다. 또한 이를 바탕으로 용인시 토사재해의 인문사회적 위험지도를 만들었다.

본 연구는 기존에 다루어지지 못하였던 토사재해의 인문사회적 위험도를 도출하여 토사재해의 위험성을 인적피해로 바라보고 위험등급이 높은 지역을 우선적으로 관리할 수 있는 체계를 구축하는 방법론을 제시하였다는 것에서 그 의의가 있다고 할 수 있다.

현재 토사재해를 연구하고 있는 주요연구 기관에서는 물리적인 위험 가능성을 중심으로 위험지역을 도출하고 물리적 위험에 대한 위험강도에 대해 연구하고 있으나, 향후 본 연구를 바탕으로 인문사회적 위험도와 더불어 물리적 위험도와 결합된 토사재해의 종합위험도 도출에 관한 연구가 진행되면 단순 물리적 위험도 보다 인명피해가 가능한 지역에 우선적 관리체계를 설정할 수 있을 것으로 사료된다.

또한 본 연구에서는 시간의 제약으로 분석의 대상에 대한 범위를 용인시로 한정하여 연구하였으나 향후 연구의 범위를 전국으로 확대하고 실제 피해 지역을 바탕으로 연구의 검증이 필요하다고 생각된다.

References

- Chae, B.-G. *et al.* (2005) A Study on Prediction Methods for runout Distances and Trajectories of Debris Flows, *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 2005 No. 10 pp. 4449-4452.
- Cho, Y.-C. *et al.* (2003) Characteristics of Landslide Triggered by Typhoon ‘Rusa’ in Gangneung Area, *The Korean Society of Engineering Geology*, Vol. 2003 No.-, pp. 21-26.
- Choi, J.-S. *et al.* (2010) Characteristics of Landslide Occurrence in a Watershed Heavy Rainfall - Focused on Hoengseong Area in Gangwondo, *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 2010 No.10, pp. 2155-2158.
- Hwang, H.-G. (2009) “Probabilistic landslide susceptibility analysis using GIS-based spatial statistics”, Inha University
- Kim, K.-S. *et al.* (2006) Characteristics of Rainfall and Landslides according to the Geological Condition, *The Geological Society of Korea*, Vol. 16 No. 2, pp. 201-214.
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (2006) “Development of QRA system and damage mitigation technology of landslides”, Ministry of Science and Technology.
- Lee, S.-K. *et al.* (2005) Development of a Landslide Hazard Prediction Model using GIS, *The Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 8 No. 4, pp. 81-90.
- Park, I.-H. (2008) “A Study on Fire Evacuation Algorithm using GIS and CA”, The University of Seoul.
- Son, J.W. *et al.* (2009) Analysis of Landslide in Inje Region Using Aerial Photograph and GIS, *Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 17 No. 2, pp. 61-69.
- Yang, I.T. *et al.* (2006) The Effect of Landslide Factor and Determination of Landslide Vulnerable Area Using GIS and AHP, *Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 14 No. 1, pp. 3-12.

© Received September 27, 2013

© Revised September 30, 2013

© Accepted October 11, 2013