

## 공간적 자기상관성과 도시특성 요소를 고려한 자연재해 피해 분석

서만훈\* · 이재송\*\* · 최 열\*\*\*

Seo, Man Whoon\*, Lee, Jae Song\*\*, Choi, Yeol\*\*\*

### Estimation of the Natural Damage Disaster Considering the Spatial Autocorrelation and Urban Characteristics

#### ABSTRACT

This study aims to analyze the effects of urban characteristics on the amount of damage caused by natural disasters. It is focused on the areas of a municipal level in Korea. Also, it takes into account the spatial autocorrelation of the damage caused by natural disasters. Moran's I statistics was estimated to examine the spatial autocorrelation in the damage from the study area. Subsequent to evaluating the suitability for spatial regression models and the OLS regression model, the spatial lag model was employed as an empirical analysis for the study. It showed that the increase in residential area leads to the decrease in the amount of natural disaster damage. On the other hand, the increase in green area and river basin is associated with the increase in the damage. As a result of empirical analysis, appropriate policy establishment and implementation about the damage-adding factors is needed in order to reduce the amount of damage in the future.

**Key words :** Factors of urban characteristics, Damaged caused by natural disaster, Spatial autocorrelation, Spatial regression model

#### 초 록

본 연구는 도시특성 요소가 자연재해 피해액에 미치는 영향을 분석하는 것을 목적으로 한다. 특히, 자연재해 피해액에 대한 공간적 자기상관성을 분석하고, 이를 고려한 공간회귀모형을 통한 실증분석을 실시하였다. 연구 대상지는 울릉군, 제주도, 서귀포시를 제외한 전국의 227개 지방자치단체로 설정하였고, 수집할 수 있는 가장 최근의 자료가 2013년이라는 점을 고려하여 분석 시점을 2013년으로 설정하였다. 여기서 울릉군, 제주도, 서귀포시를 제외한 것은 해당 지역들이 육지와 원거리에 있어 공간적 자기상관성 분석에서의 오차 내지는 오류가 발생할 소지가 있기 때문이다. 공간적 자기상관성 분석 결과, 2013년의 전국 지자체에서 발생한 자연재해 피해액은 통계적으로 유의한 공간적 자기상관성이 존재하는 것으로 도출되었다. 따라서 공간회귀모형을 활용하여 공간적 자기상관성을 통제할 필요가 있었고, 공간회귀모형과 OLS회귀모형의 비교를 통하여 공간회귀모형 중 공간시차모형이 최적합 모형인 것을 확인하였다. 공간회귀모형의 추정 결과를 살펴보면, 주거지역 면적이 증가할수록 자연재해 피해액이 감소하는 것으로 추정되었다. 반면에 녹지지역 및 하천 면적은 증가할수록 자연재해 피해액을 증가시키는 것으로 추정되었고, 통제변수로 활용된 연 강수량과 강우강도도 자연재해 피해액의 증가 요인으로 추정되었다. 실증분석 결과를 토대로 향후 자연재해 피해액 저감을 위하여 피해액 증가 요인에 대한 적절한 정책의 수립과 시행이 필요하다고 사료된다.

**검색어 :** 도시특성 요소, 자연재해 피해, 공간적 자기상관성, 공간회귀모형

\* 경상남도청 사무관 공학박사 (Gyeongsangnam-do Provincial Government · manhseo@hanmail.net)

\*\* 정회원 · 부산대학교 도시공학과 박사수료 (Pusan National University · lee-jaesong@hanmail.net)

\*\*\* 종신회원 · 교신저자 · 부산대학교 도시공학과 교수 (Corresponding Author · Pusan National University · yeolchoi@pusan.ac.kr)

Received March 16, 2016/ revised April 24, 2016/ accepted May 10, 2016

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

표준국어대사전에서 정의하는 자연재해는 “태풍, 가뭄, 홍수, 지진, 화산 폭발, 해일 따위의 피할 수 없는 자연 현상으로 인하여 일어나는 재해”이다. 이 중에서도 우리나라에서는 풍수해가 가장 많이 발생하는 자연재해이다. 풍수해는 「자연재해대책법」에서 “태풍, 홍수, 호우, 강풍, 풍랑, 해일, 조수, 대설, 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해”로 규정하고 있을 정도로 국가적 차원에서 접근하고 있는 자연재해이기도 하다. 국어사전 및 법률상 정의에서도 알 수 있듯, 풍수해를 비롯한 자연재해는 피할 수 없는 자연 현상으로 인하여 발생하는 것이기 때문에 발생의 시기나 장소를 예측하기 어렵고, 피해 대상도 불특정 다수이다. 또한, 자연재해로 인한 피해의 범위는 정도에 따라 다르지만 주로 광범위한 경우가 많다. 따라서 자연재해를 사전에 대비하고 예방하는 것은 매우 중요한 사항이라 할 수 있다.

도시는 자연재해의 피해, 특히 풍수해에 의한 피해에 매우 취약한 구조적 약점을 내포하고 있다. 자연 상태의 지형과 지세를 인위적으로 변화시키고, 인공적인 구조물로 피복되어 있으며, 많은 사람들이 밀집하여 거주하고 있기 때문에 동일 강도의 자연재해라 할지라도 자연 상태의 지역보다 더 많은 피해가 발생하게 된다. 이러한 이유로 도시계획에 있어 방재부문이 중요하게 다루어지고 있고, 도시기본계획에서 의무적으로 수록해야할 내용이기도 하다.

우리나라는 도시지역에 인구의 91.7%가 거주하는 고도의 도시화가 이루어진 국가이다. 그리고 우리나라는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한 단일체제로 국토 전체를 계획 및 관리하고 있다. 즉, 우리나라는 국토 전반을 도시계획적으로 관리하고 있는 것이다. 따라서 도시특성 요소는 행정구역 상의 도시에만 국한되는 것이 아니라 도시 외 지역에서도 일정부분 해당되는 사항이 있다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 사·군·구 기초자치단체들이 가지는 도시특성 요소와 자연재해 피해액과의 관계를 분석하고자 한다.

기존의 대부분 연구들에서는 도시특성 요소를 나누고 추출할 때 자료의 한계인지 모르지만 다소 제한적으로 치우쳤다. 따라서 본 연구에서는 선행연구들에서 고려하지 못하였던 도시특성 요소를 가능한 한 종합적으로 반영한다. 이어서 대상 역시 특정지역이 아닌 전국의 사·군·구 기초자치단체를 공간적 범위로 하여 자연재해 피해와의 상호 연관성을 분석하고자 한다. 실제 자연재해 피해는 특정 지역에만 국한되어 발생하는 것이 아니라, 주변의 인접지역과 상관관계를 가지면서 서로 영향을 미치게 된다. 이러한 관점에서 이전의 연구들이 다소 간과하였던 공간적 자기상관성(spatial autocorrelation)을 고려한 공간회귀모형(spatial regression model)을 활용하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 2013년으로 하고, 공간적 범위는 전국의 사·군·구 기초자치단체로 한다. 2013년을 기준으로 하는 것은 본 연구의 실증분석에서 활용되는 통계자료가 공개된 가장 최근 시점이 2013년이라는 점을 고려하였다. 따라서 공간적 범위인 전국 기초자치단체도 2013년을 기준 총 230개 지역으로 하였다.

본 연구는 도시특성 요소와 자연재해 피해액 간의 상관관계를 실증분석하는 것을 목적으로 한다. 이러한 연구 목적을 달성하기 위하여 공간적 자기상관성을 고려한 공간회귀모형을 활용하고자 한다. 공간회귀모형은 공간시차모형(spatial lag model, SLM)과 공간오차모형(spatial error model, SEM)으로 구분하여 추정하고, 이를 최소자승법(ordinary least square method, OLS)에 의한 회귀모형의 추정 결과와 비교하여 최적합 모형을 도출한다. 최종적으로 도출된 최적합 모형의 분석 결과를 해석하고, 이를 바탕으로 도시특성 요소를 고려한 자연재해 피해액 저감의 정책을 제안한다.

## 2. 선행연구

자연재해와 관련된 국내의 선행연구들은 대부분 토목 및 환경공학 학적 관점에서 이루어지고 있다(Ford et al., 2002; Thomalla et al., 2006; Peña-Mora et al., 2012; Vallero and Letcher, 2012; Perdomo and Pando, 2014). 그러나 이러한 접근은 단순히 자연재해 피해를 저감하기 위한 기술적 접근이라는 한계를 가진다. 자연재해에 의한 피해를 저감하기 위해서는 이러한 기술적 접근 이전에 도시계획적으로 사전 예방 할 수 있는 방안에 대한 연구도 필요하다. 이러한 도시계획적 접근의 중요성이 인정되어 최근 들어 일부 선행연구에서 도시특성 요소를 반영하여 연구가 이루어지고 있다. 하지만 이러한 선행연구들도 도시특성 요소를 종합적으로 반영하는 경우가 없었고, 분석 방법론에 있어서도 약점을 내포하는 등의 한계가 있었다. 이는 국내뿐만 아니라 국외의 연구도 마찬가지였다.

현상학적 관점에서는 Pauleit et al. (2005)이 영국의 Merseyside 지역 내 11개 주거지역을 대상으로 항공사진을 활용한 기술적(descriptive)인 GIS 분석을 실시한 연구가 있었다. 이 연구는 토지이용의 변화와 그에 따른 토지피복의 변화가 홍수 발생에 미치는 영향을 규명하는데 초점을 맞추었다. 또한 Wang et al. (2008)은 중국의 663개 도시를 대상으로 자연재해 특성별로 재해 지역을 구분하였다. 거시적인 관점에서 국가 전체를 대상으로 지역별 자연재해 특성에 따른 분류를 시도했다고 할 수 있다.

자연재해 피해와 관련하여 실증분석을 활용하여 그 요인을 밝히고자 했던 연구들은 도시특성 요소를 어느 정도 반영하여 분석에 활용하고 있었다. 실증분석의 방법론으로 상관분석을 활용한 연구(Kazmierczak and Cavan, 2011; Kim et al., 2011), OLS회귀모형

을 활용한 연구(Shim and Kim, 2012; Im, 2013), 음이향회귀모형을 활용한 연구(Kellenberg and Mobarak, 2008), 패널모형을 활용한 연구(Choi, 2004)가 있었다.

상관분석을 활용한 연구들은 자연재해 피해와 요인들의 관계를 개별적으로 살펴보았다. 따라서 특정 요인이 자연재해 피해에 얼마만큼 영향을 미치는지에 대한 분석 결과를 제시하였다. 그러나 다른 요인들을 종합적으로 고려하여 영향 정도를 판별할 수 없었던 것으로 보인다.

상관분석이 아닌 모형을 활용한 연구들은 단일연도를 대상으로 한 Shim and Kim (2012)의 연구를 제외하고는 다년의 시계열자료(time-series data)와 횡단면자료(cross-sectional data)를 결합한 패널자료(panel data)를 분석에 활용하였다. 패널자료를 활용하여 분석을 실시할 경우, 시계열에 따른 자기상관성 때문에 패널모형을 활용하는 것이 일반적이다. 그러나 Choi (2004)의 연구를 제외하고는 패널자료를 구축하였음에도 불구하고 음이향회귀모형 또는 OLS회귀모형을 활용하였다.

이어서 국내 선행연구의 연구 대상지별로 살펴보면, Choi (2004)과 Im (2013)은 경기도의 기초자치단체를 대상으로 연구하였고, Shim and Kim (2012)은 경기도에서 범위를 보다 확대하여 수도권 전역을 대상으로 하였다. 그리고 광역지역이 아닌 서울특별시, 대전광역시, 부산광역시의 구·군을 대상으로 하여 특정 지역에 초점을 맞춘 Kim et al. (2011)의 연구도 있었다.

도시특성 요소가 일부 반영되어 자연재해 피해액에 관한 실증분석을 실시한 선행연구들을 구체적으로 살펴보면, Kellenberg and Mobarak (2008)은 자연재해 피해액에 영향을 미치는 요인을 GDP와 인구만으로 한정하였고, Kim et al. (2011)은 토지이용변화율, 인구, 행정구역 면적, 인구밀도를 반영하였다. 이어서 Choi (2004)는 도시적 토지이용면적, 하천면적, 제방면적, 임야면적, 인구밀도, 재정자립도를 활용하여 자연재해 피해액 간의 상관관계를 분석하였고, Im (2013)은 하천면적, 인구밀도, 인구, 불투수층면적, 임야면적, 하수관거 보급률을 반영하여 살펴보았다. Kazmierczak and Cavan (2011)은 자연재해 피해액에 관한 분석에 있어 토지이용 요소에만 초점을 맞추어 농업 및 업무지역, 녹지지역, 주요기반시설, 주거지역, 사회기반시설, 교통시설 각각의 면적을 반영하였고, Shim and Kim (2012)도 마찬가지로 토지이용 요소를 강조하여 제방, 불투수지역, 주거지역, 상업지역, 공업지역, 하천, 농업지역, 공원, 초지, 습지, 나지 각각의 면적과 인구밀도를 활용하였다.

이상의 선행연구를 종합하면, GIS 또는 통계자료를 활용하여 기술적인 접근을 통하여 접근한 연구와 실증분석을 실시한 연구가 있었다. 이 중 실증분석을 실시한 대부분 연구는 단순한 상관분석이나 회귀모형을 사용한 점을 알 수 있다. 그리고 국내 연구들의 공통점은 연구 대상지가 수도권 중심이라는 점이다. 수도권은 인구

와 시설이 매우 밀집되어 있는 지역으로 자연재해 피해가 비수도권에 비하여 취약하다고 할 수 있다. 예를 들어 동일한 강도의 자연재해가 수도권과 비수도권에 발생하였을 경우, 수도권이 그 피해의 정도가 보다 더 광범위하고 크게 나타날 가능성이 큰 것이다. 이러한 측면에서 수도권을 대상으로 한 연구를 전국적인 범위로 일반화하기는 무리가 따른다고 할 수 있다. 이어서 국내외 연구들이 반영하고 있는 도시특성 요소는 Kellenberg and Mobarak (2008)을 제외하고는 기본적으로 토지이용과 관련된 내용이 정도의 차이가 있지만 공통적으로 포함된 것을 확인할 수 있었다. 물론, 토지이용을 제외한 다른 요소를 반영한 연구도 있지만 대체적으로 인구와 관련된 기본적인 특성을 반영하는데 그쳤다. 즉, 선행연구들은 토지이용과 인구관련 특성 이외에도 주택 및 건설관련 특성, 도로 및 교통 관련 특성, 산업 및 경제 관련 특성 등 다양한 도시특성 요소를 종합적으로 반영하지 못한 공통적인 한계가 있는 것으로 보인다.

따라서 본 연구에서는 선행연구에서 시도되지 않았던 자연재해 피해액에 대한 공간적 자기상관성 분석과 이를 바탕으로 한 공간회귀모형으로 실증분석을 실시하여 방법론적 측면에서 차별성을 가지고자 한다. 또한, 분석 대상지역을 우리나라 전체 지방자치단체를 대상으로 하여 수도권이 아닌 우리나라 전반에 대한 내용을 살펴보고자 한다. 그리고 도시특성 요소도 선행연구들에서 반영하지 못하였던 요소를 반영하여 다양한 도시특성 요소 중 어떠한 요소가 자연재해 피해액에 영향을 미치는지 심층적으로 분석하고자 한다.

### 3. 분석방법

#### 3.1 공간적 자기상관성

일반하게 고립된 공간은 존재하지 않고, 공간은 어떠한 방식으로든 주변과 연관되어 있다. 그리고 서로 가까이 있는 공간일수록 그 연관성은 높아지고, 멀어질수록 연관성은 낮아지게 된다. 이러한 공간의 본질적 속성을 공간적 자기상관성(spatial autocorrelation)이라 부른다.

공간적 자기상관성을 분석하기 위해서 선행되어야 할 과정은 공간들이 서로 인접해 있는 것을 어떻게 정의하는가이다. 인접지역의 정의방법에 따라 공간적 자기상관성의 정도가 달라질 수 있기 때문에 연구자는 연구 대상지의 속성을 면밀히 파악하여 정의방법을 결정할 필요가 있다. 인접지역을 정의하는 대표적인 방법으로 공간적 인접성(spatial contiguity)을 기준으로 하는 방법과 공간거리(spatial distance)를 기준으로 하는 방법이 있다(Anselin, 1988).

공간적 인접성을 기준으로 하는 방법은 지역과 지역이 모서리 또는 경계선을 접하고 있는 경우를 인접지역으로 정의하는 방법이

다(Eliste and Fredriksson, 2004). 반면에 공간 거리를 기준으로 하는 방법은 특정 지역이 최소 1개 이상의 인접지역이 정의되도록 하는 최소의 거리를 의미하는 임계거리(threshold distance)를 활용하여 인접지역을 정의하는 방법이다(Choi and Lee, 2014).

연구의 목적과 대상지 등을 종합적으로 고려하여 인접지역의 정의방법을 결정하면, 이를 바탕으로 공간가중행렬(spatial weights matrix)을 구축한다. 공간가중행렬은  $n \times n$  정사각행렬로, 공간 간의 상호작용의 정도를 정의한다.  $i$  지역이  $j$  지역의 인접지역으로 정의되면, 행렬의 구성요소인  $W_{ij}$ 는 1이 된다. 일반적으로 공간가중행렬은 행표준화(row-standardized)를 실시하여 구축된다. 이는  $W_{ij}$ 가 1 또는 0 이외의 값을 가지는 경우가 발생할 수 있기 때문에 이를 보정하기 위함이다(Moreno et al., 2004).

공간적 자기상관성의 분석은 구축된 공간가중행렬을 바탕으로 실시한다. 공간적 자기상관성은 전역적(global) 관점과 국지적(local) 관점에서 분석할 수 있다. 일반적으로 활용되는 방법은 Moran's I 통계량을 산출하는 것이다. Moran (1950)이 고안한 I 통계량은 전역적 관점에서의 공간적 자기상관성을 분석하기 위한 것으로, 연구 대상지 전반에 걸친 공간적 자기상관성의 유무와 정도를 파악하는데 활용한다. Moran's I 통계량은 -1에서 +1까지의 값을 가지고 있고, +1에 가까워질수록 유사한 값을 가지는 지역들이 공간적으로 인접해 있는 상태라고 해석하며, 이러한 상태를 공간적 자기상관성이 존재하는 상태라고 한다. 국지적 관점에서의 공간적 자기상관성의 분석은 Moran's I 통계량을 응용하여 Anselin (1995)이 고안한 Local Moran's I 통계량을 활용한다. Local Moran's I 통계량은 각 지역별로 통계량을 산출하여 인접지역들이 가지는 통계량의 가중평균치와 유사하면 정(+의) 공간적 자기상관성이 존재한다고 해석한다. Local Moran's I 통계량은 LISA (Local Indicators of Spatial Association)이라고 하며, 이는 GIS 지도화를 통하여 군집도(cluster map)로 나타낼 수 있다. 군집도에서는 공간적 자기상관성이 존재하는 경우에 나타나는 High-High (HH) 유형과 Low-Low (LL) 유형, 공간적 이례지역은 Low-High (LH) 유형과 High-Low (HL) 유형으로 나타난다. 여기서 HH 및 LL 유형은 특정 지역 주변에 유사하게 높은 값 또는 낮은 값을 가지는 지역이 분포하는 경우에 도출된다. 반면에 LH 및 HL 유형은 특정 지역 주변에 상반되는 값을 가지는 지역이 분포하는 경우에 도출된다. 이러한 Local Moran's I 통계량과 구분하기 위하여 기존의 I 통계량은 Global Moran's I 통계량으로 부른다.

### 3.2 공간회귀모형

OLS 회귀모형에서는 공간적 자기상관성의 존재를 배제한다. 이는 회귀모형의 기본 가정이 독립변수가 서로 독립적이어야 한다

는 점에서 기인한다. 그러나 공간적 자기상관성이 존재하는 공간자료가 모형에 반영될 경우, 독립변수가 독립이 아닌 경우가 발생하게 된다. 이러한 문제점이 존재하는 상태에서 OLS 회귀모형 추정을 실시하면, 결과에 오차를 내포하게 된다(Choi and Lee, 2006; Choi and Lee, 2014).

공간자료가 가지는 본질적인 문제를 해결하면서 회귀모형을 활용하기 위하여 공간회귀모형이 제시되었다. 공간회귀모형의 다양한 종류 중 대표적인 모형은 공간시차모형과 공간오차모형이다(Anselin et al., 2004).

공간시차모형은 공간자기회귀변수를 모형에 반영하여 공간적 자기상관성을 통제한다. 즉, 인접지역의 관측치에 영향을 미치는 주변지역들의 영향력을 통제하기 위하여 독립변수에 영향력에 관한 변수를 추가하는 것이다. 이를 식으로 표현하면 다음 Eq. (1)과 같다.

$$y = \rho Wy + \beta X + \epsilon \tag{1}$$

여기서,  $W$ 는 공간가중행렬,  $\rho$ 는 공간자기회귀계수를 의미한다(Rey and Boarnet, 2004).

공간오차모형은 공간자기회귀오차를 모형에 반영하여 공간적 자기상관성을 통제한다. 즉, 관측되지 않은 오차들 간에 존재하는 공간적 자기상관성을 통제하기 위하여 오차에 대한 공분산을 각각 산출하여 모형에 반영하는 것이다. 이를 식으로 표현하면 다음 Eq. (2)와 같다.

$$y = \beta X + \lambda W\epsilon + \mu \tag{2}$$

여기서,  $\lambda$ 는 오차의 공간자기회귀계수,  $\mu$ 는 Independent and Identically Distributed (IID) 오차를 의미한다(Baltagi and Li, 2004).

다음 Fig. 1은 연구의 분석 틀과 진행절차를 나타낸 것이다.

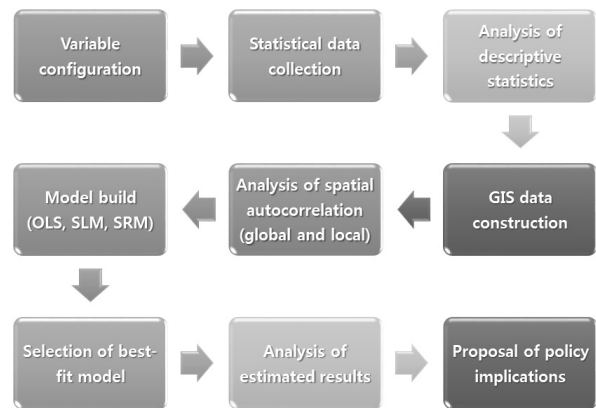


Fig. 1. Analysis Procedure

## 4. 도시특성 요소가 자연재해 피해액에 미치는 영향 분석

### 4.1 변수의 구성 및 분석자료 구축

본 연구는 도시특성 요소가 자연재해 피해액에 어떠한 영향을 미치고 있는지에 관하여 실증분석을 통해 제시하고자 하는 것이 목적이다. 특히, 선행연구에서 반영하지 못하였던 도시특성 요소도 추가적으로 반영하여 어떠한 요소가 자연재해 피해액의 증가 내지는 감소를 가져오는지 살펴보고자 한다. 이러한 본 연구의 목적을 달성하기 위하여 연구 대상지 전역에 대한 자연재해 피해액의 공간적 자기상관성을 분석하고, 이를 토대로 공간회귀모형을 구축한다. 실증분석에 활용할 변수 중 종속변수는 공공시설과 사유시설의 피해액을 합산한 전체 자연재해 피해액으로 설정하였다. 2013년 ‘재해연보’에 따르면, 총 28회의 자연재해가 발생한 것으로 집계되어 있다. 구체적으로 호우 18회, 대설 5회, 강풍·풍랑 4회, 태풍 1회로 당시에 발생한 모든 자연재해가 풍수해로 나타났다. 따라서 본 연구의 분석에 반영된 자연재해 피해액은 풍수해 피해액으로 구성되어 있다.

독립변수에 해당하는 도시특성 요소는 다양한 요소를 고려하기 위하여 Choi et al. (2007)의 연구를 참조하였다. Choi et al. (2007)는 인구 특성, 토지이용 특성, 주택건설 특성, 도로교통 특성, 산업경제 특성으로 도시특성 요소를 분류하였고, 본 연구에서도 기본적인 틀로 활용하였다. 그리고 앞서 고찰한 선행연구를 참조하여 세부적인 변수를 설정하였다.

지역 특성과 관련해서는 일반적으로 반영되었던 인구와 행정구역 면적 이외에도 예산규모를 추가적으로 반영하였다. 예산규모의 증가는 자연재해 예방에 적극 대응할 수 있는 여력이 된다는 것을 의미함으로 자연재해 피해액을 저감할 것으로 예상되는 변수이다. 반면에 인구와 행정구역 면적의 증가는 피해 범위의 확대에 따른 자연재해 피해액을 증가시킬 것으로 예상된다. 토지이용 특성에서는 대부분의 선행연구들이 도시적 토지이용으로 거시적인 변수를 반영하였지만 본 연구에서는 Shim and Kim (2012)의 연구와 유사하게 세부적으로 분류하였다. 다만, Shim and Kim (2012)의 연구에서는 주거지역과 공원은 고려하였으나 녹지지역을 고려하지 못하였기 때문에 본 연구에서는 녹지지역을 추가적으로 반영하였다. 주거지역은 주민이 직접 거주하는 지역이라는 점에서 자연재해 피해액의 증가를 유발할 것으로 예상된다. 반면에 녹지지역 면적과 공원의 경우에는 일종의 방재시설의 역할을 기대할 수 있으므로 피해액 감소를 유발할 것으로 예상된다. 방재시설 특성의 경우에는 주로 하천 면적을 선행연구에서 반영하고 있었다는 점에서 이를 본 연구에서도 반영하고, 하수관거 보급률을 반영하였던 Im (2013)의 연구를 참조하여 하수관거 연장을 변수로 반영하였다. 그리고 선행연구에서는 고려하지 못하였던 유수지를 추가적으로 반영하였

Table 1. Summary of Dependent and Independent Variables

Classification	Variables	Unit of variables
Dependent variables	Natural disaster damages (DAMAGE)	One thousand won
	Population (POP)	Person
Independent variables	Area (AREA)	m <sup>2</sup>
	Budget (BUDGET)	One Million won
	Residential area (RESI)	m <sup>2</sup>
	Green area (GREEN)	m <sup>2</sup>
	Park (PARK)	Unit
	Housing supply rate (HOUSE)	%
	Number of building permits (PERMIT)	Number of cases
	Road area (ROAD_A)	m <sup>2</sup>
	Road length (ROAD_L)	m
	Labors of all industries (WORK)	person
	River area (RIVER)	m <sup>2</sup>
	Reservoir (RESERVOIR)	Unit
	Sewer length (SEWER)	m
	Annual rainfall (RAINFALL)	mm
	Rainfall intensity (INTENSITY)	mm/hr

다. 방재시설 특성에 해당하는 변수들은 그 목적에 맞게 자연재해 피해액을 감소시키는 효과가 있을 것으로 예상된다. 이 외에 본 연구에서 반영하는 주택보급률, 건축허가 건수, 도로 면적 및 연장, 전체 산업 종사자수의 경우에는 선행연구에서 고려하지 못하였던 변수들이다. 이들 변수들은 주로 자연재해가 발생하면 직접적인 피해를 입는 요소이기 때문에 자연재해의 피해액을 증가시킬 것으로 예상된다. 마지막으로 도시특성 요소에는 해당되지 않지만 자연재해 피해액에 중요한 영향을 미치는 연 강수량과 강우강도에 관한 요인을 통제변수로 반영하였다. 연 강수량과 강우강도는 모두 자연재해와 밀접한 관련이 있으므로 이들 변수의 증가는 자연재해 피해액의 증가를 필연적으로 유발시킬 것이다. 이상의 변수 구성에 관한 내용을 정리하면 Table 1과 같고, 변수들의 기초통계량은 Table 2와 같다.

설정된 변수를 토대로 2013년 기준의 통계자료를 수집하였다. 통계자료는 모두 정부 또는 지방자치단체에서 공개하는 공신력있는 자료를 활용하였다. 우선, 종속변수인 자연재해 피해액은 국민안전처에서 매년 조사하여 공표하는 ‘재해연보’의 자료를 활용하였다. 연 강수량 및 강우강도를 제외한 모든 독립변수들은 ‘통계청 국가통계포털’의 자료를 활용하였다. 자료의 원 출처별로 살펴보면, ‘주민등록인구현황’으로부터 인구 통계자료를 수집하였고, ‘지적통계’로부터 하천 면적 통계자료를 수집하였다. ‘도시계획현황’으

Table 2. Descriptive Statistics of Variables

Classification	Variables	Mean	Standard deviation	Min	Max
Dependent variables	DAMAGE	756,888.33	3,279,855.85	0	25,194,322
	POP	222,630.54	214,916.62	18,297	1,148,157
Independent variables	AREA	433,234,008.24	379,422,449.04	2,825,943	1,819,670,463
	BUDGET	852,477.41	392,695.25	146,418	2,880,921
	RESI	11,150,148.43	9,429,851.45	0	57,730,199
	GREEN	54,171,191.19	71,069,865.57	0	410,641,466
	PARK	91.12	84.04	0	441
	HOUSE	105.03	10.78	71.4	136.30
	PERMIT	940.61	725.12	61	4,305
	ROAD_A	6,594,038.88	5,822,833.04	30,060	46,333,280
	ROAD_L	440,959.42	357,324.50	3,964	3,337,535
	WORK	80,271.14	90,007.49	1,121	617,340
	RIVER	12,402,941.53	11,988,792.25	0	60,389,660.8
	RESERVOIR	5.64	7.45	0	39
	SEWER	538,582.23	395,448.50	20,409	3,125,777
	RAINFALL	1,190.16	214.80	708.10	1,832.67
	INTENSITY	38.72	11.82	18.540	85

로부터는 행정구역 면적, 주거지역 면적, 녹지지역 면적, 공원, 도로 면적, 도로 연장, 유수지 통계자료를 수집하였다. 나머지 변수들의 통계자료는 모두 광역자치단체의 통계연보에서 수집하였다. 연 강수량과 강우강도에 관한 자료는 ‘기상청 국가기후데이터센터’의 자료를 활용하였다.

수집된 통계자료는 공간적 자기상관성 분석과 공간회귀모형 구축 및 분석을 위하여 GIS데이터화하는 과정을 거쳤다. 이 과정에서 2013년 기준의 전국 230개 기초자치단체 중 경상북도 울릉군, 제주특별자치도 제주시 및 서귀포시를 제외하였다. 이는 해당지역이 육지에서 상당히 떨어져 있어 자연재해 피해액의 공간적 자기상관성이 나타나기 어렵다고 판단했기 때문이다. 또한 Choi and Lee (2014)는 본 연구와 동일하게 전국 기초자치단체를 대상으로 하면서 공간가중행렬 상의 왜곡이 발생할 수 있다는 점을 언급하며 울릉도와 제주도를 지역을 제외한 바 있다. 따라서 본 연구에서도 연구 대상지를 울릉도와 제주도의 기초자치단체를 제외한 227개 지역으로 최종 설정하였다. 그리고 ‘통계청 통계지리정보서비스 (<http://sgis.kostat.go.kr>)’에서 2013년 기준의 전국 시·군·구 행정구역도를 제공받아 227개 지역을 추출하여 기본 GIS맵을 작성하였다. 그리고 각 변수별로 수집된 통계자료를 기본 GIS맵의 속성데이터로 결합하기 위하여 통계청에서 부여하는 시·군·구 지역코드를 활용하여 분석을 위한 최종 GIS데이터를 구축하였다. 구축된 GIS 데이터에는 종속변수인 자연재해 피해액이 0인 지역이 포함되어 있다. 이는 전국 227개 지역 모두에서 자연재해 피해가 발생한

것이 아니기 때문에 불가피하게 포함되었다. 일반적으로 OLS회귀모형을 활용할 경우에는 종속변수에 0이 있는 경우 제외한다. 그러나 본 연구에서는 공간회귀모형을 활용하기 때문에 만약 자연재해 피해액이 0인 지역을 제외하게 되면 우리나라 지도상에서 해당 지역이 삭제되어 분석 대상 공간 자체가 왜곡되는 결과를 초래하게 된다. 이를 방지하고 온전한 공간한 대상으로 연구하기 위하여 공간적 자기상관성 분석에서 왜곡의 여지가 있는 지역 3곳을 제외한 227개 기초자치단체를 대상으로 분석을 실시하였다.

#### 4.2 공간적 자기상관성 분석

본 연구에서는 자연재해 피해액에 대한 공간적 자기상관성 분석을 실시하였다. 특정 지역에서 발생한 자연재해는 공간적으로 연계되어 있을 경우, 그 영향을 주고받는 관계가 형성될 수 있다. 이는 피해액의 측면에서 유사할 것이라는 가정 하에 공간적 자기상관성 분석을 통하여 자연재해 피해액이 공간적으로 어떠한 관계를 갖고 있는 파악하고자 하였다.

공간적 자기상관성의 분석을 위해서 선행되어야 할 과정은 인접 지역의 정의방법을 선정하고, 그에 따른 공간가중행렬을 구축하는 것이다. 본 연구에서는 공간 거리 기준을 활용하여 인접지역을 정의하였다. 이는 연구 대상지의 특성을 반영하였기 때문이다. 본 연구는 매우 원거리에 위치한 도서지역 3곳을 제외한 227개의 기초자치단체를 대상으로 분석을 실시한다. 그리고 이들 중 일부는 연안의 도서지역을 포함하고 있다. 도서지역을 포함할 경우에 공간

인접성 기준으로 인접지역을 정의하게 되면 도서지역은 인접지역과 도서리나 경계선을 접하고 있는 부분이 없기 때문에 완벽하게 고립된 지역으로 정의된다. 만약 도서지역을 연구 대상지에서 제외하였다면 상관없겠지만, 이를 포함할 경우에는 인접지역 정의 자체에 왜곡이 발생하게 된다. 따라서 본 연구는 연안 도서지역을 포함하여 공간적 자기상관성을 분석하기 위하여 공간 거리 기준으로 인접지역을 정의하고 이를 바탕으로 공간가중행렬을 구축하였다.

구축된 공간가중행렬을 토대로 본 연구에서는 전역적 관점과 국지적 관점에서 공간적 자기상관성을 분석하였다. 우선, Global Moran's I 통계량을 산출하여 전역적 관점에서 공간적 자기상관성을 분석한 결과는 Fig. 2와 같다. Global Moran's I 통계량이 95% 유의수준에서 0.327235로 산출되었고, 이 수치는 비교적 높은 수치라고 할 수 있다. 따라서 2013년의 전국 기초자치단체의 자연재해 피해액은 인접지역과 상관관계를 가지는 공간적 자기상관성이 존재한다고 할 수 있다.

전역적 관점의 공간적 자기상관성 분석을 통하여 우리나라의 전반에 걸친 자연재해 피해액의 상관성이 있음이 도출되었다. 이를 보다 자세하게 어느 지역에서 어떠한 공간적 군집이 존재하는지 알아보기 위하여 Local Moran's I 통계량을 산출하여 국지적 관점에서 공간적 자기상관성을 분석하였다. 그리고 GIS를 활용하여 결과를 LISA군집도로 나타낸 것이 Fig. 3과 같다.

LISA군집도를 살펴보면, 우리나라의 북부지역에서는 HH유형이 도출되어 자연재해 피해액이 많이 발생한 지역의 군집이 확인되었다. 반면에 인천광역시 부근과 남부지역 특히, 영남지역에서는

LL유형이 도출되어 자연재해 피해액이 적게 발생한 지역의 군집이 확인되었다. HH유형과 LL유형의 지역들은 유사한 값이 공간적으로 군집한 지역들로 공간적 자기상관성이 존재하는 지역이라고 할 수 있다. 공간적 이례지역을 나타내는 LH유형과 HL유형의 경우에는 HH유형과 인접하여 5곳의 LH유형이 도출되었고, HL유형은 도출되지 않았다.

구체적으로 HH유형이 도출된 지역은 경기도 이천시, 여주시, 포천시, 가평군, 양평군과 강원도 춘천시, 원주시, 철원군, 화천군, 양구군, 홍천군, 횡성군으로 나타났다. 이들 지역은 2013년 당시 수해 피해를 입은 지역으로 많은 피해액이 발생한 지역들이라는 점에서 HH유형의 군집이 형성된 것으로 판단된다. 반면에 LH유형은 경기도 용인시 및 안성시, 충청북도 충주시 및 음성군, 강원도 강릉시로 이들 지역은 자연재해 피해액이 다소 적었다고 할 수 있다. LL유형은 수도권지역 중 서울특별시의 서측과 인천광역시의 중구, 강화군, 옹진군을 제외한 모든 지역, 경기도의 김포시, 고양시, 시흥시, 안산시, 의왕시로 나타났다. 그리고 남부지역에서는 크게 2개의 LL유형 군집이 확인되었고, 이 중 규모가 큰 영남지역의 군집은 부산광역시의 강서구를 제외한 모든 지역, 울산광역시의

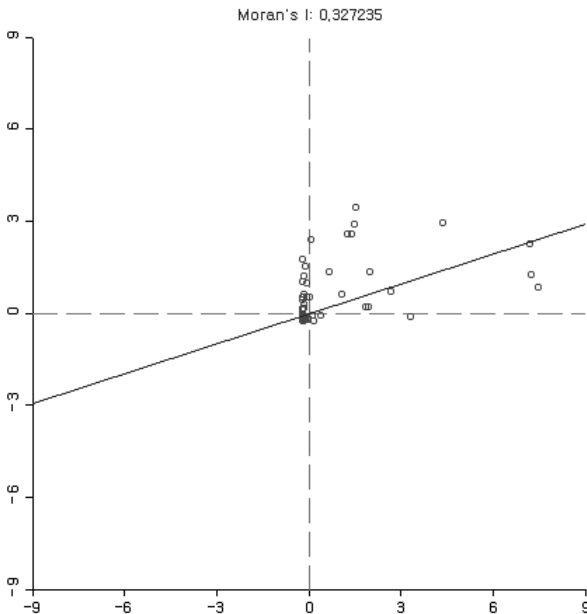


Fig. 2. Output Result of Global Moran's I

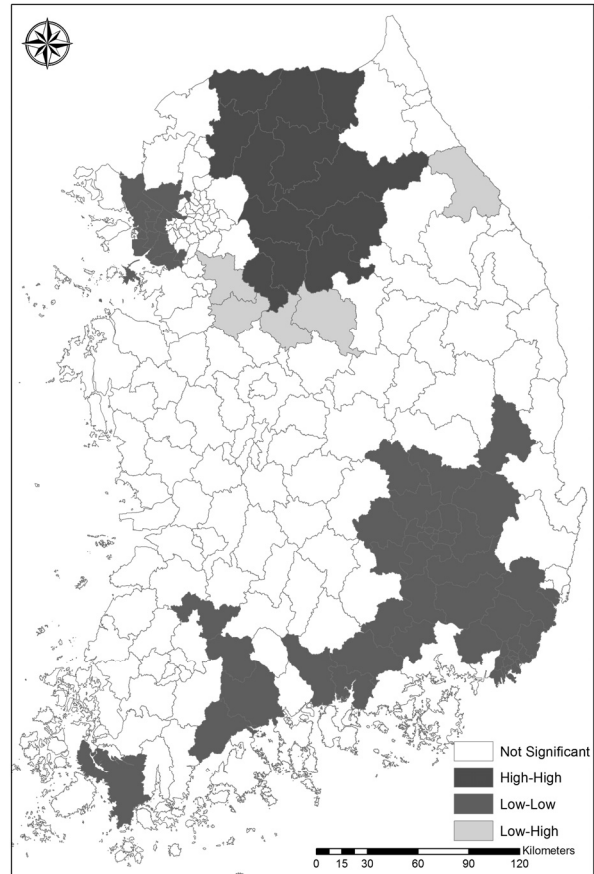


Fig. 3. LISA Cluster Map

남구와 울주군, 대구광역시 전역, 경상남도의 김해시, 양산시, 밀양시, 진주시, 사천시, 하동군, 의령군, 함안군, 창녕군, 경상북도의 경산시, 영천시, 구미시, 청도군, 고령군, 성주군, 칠곡군, 군위군, 청송군으로 나타났다. 그리고 전라남도의 순천시, 보성군, 곡성군과 전라북도의 순창군에서도 LL유형이 도출되었고, 전라남도 해남군은 다른 지역과의 군집을 이루지 못하는 단독 LL유형으로 나타났다. LL유형의 지역들은 자연재해가 발생하지 않아 산출된 피해액이 없거나 매우 작은 지역들이라고 판단할 수 있다.

### 4.3 공간회귀모형을 활용한 도시특성 요소가 자연재해 피해액에 미치는 영향 분석

공간적 자기상관성의 분석 결과, 전국적으로 자연재해 피해액의 공간적 상관관계가 존재하는 것으로 나타났고, 특정 지역을 중심으로 공간적 자기상관성을 나타내는 군집이 있는 것으로 확인되었다. 이를 근거로 본 연구에서는 공간회귀모형을 활용하여 자연재해 피해액에 영향을 미치는 도시특성 요소를 추정하기 위한 분석을 실시하였다.

우선, 공간회귀모형은 공간시차모형과 공간오차모형으로 나누어 추정하고, 추가적으로 OLS회귀모형을 추가하여 총 3개의 모형 중 가장 분석에 적합한 모형을 도출하고자 하였다. 최적합 모형 도출을 위하여 Lagrange Multiplier (LM) 검증을 실시하였고, 그 결과는 Table 3과 같다. LM 통계량이 통계적으로 유의한 경우, 해당 모형이 가장 적합하다고 판단한다. 공간시차모형과 공간오차모형 모두 통계적으로 유의하지 않으면, OLS회귀모형이 가장 적합한 모형인 것으로 판단한다. 만약 두 모형이 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타나면 robust LM 통계량으로 판단한다(Florax and de Graaff, 2004; Choi and Lee, 2014). 그러나 본 연구에서 산출된 LM 통계량은 공간시차모형과 공간오차모형 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났고, robust LM 통계량도 마찬가지로 나타났다.

Table 3. Summary of LM Test

Test	MI/DF	Value	Prob
LM (lag)	1	52.1465	0.0000
Robust LM (lag)	1	36.1032	0.0000
LM (error)	1	25.6504	0.0000
Robust LM (error)	1	9.6071	0.0019

Table 4. Summary of LL, AIC and SC Statistics

Classification	OLS	SLM	SEM
LL	-3690.43	-3673.42	-3679.24
AIC	7414.86	7382.84	7392.48
SC	7473.09	7444.49	7450.70

비록 OLS회귀모형에 비해서는 공간회귀모형이 적합한 것으로 확인되었지만, 공간회귀모형 중에서는 최적합 모형을 도출하지 못하였으므로, 다른 지표를 통해서 판단할 필요가 있었다.

LM 검증을 통하여 최적합 모형을 도출하지 못하였으므로, 모형의 설명력을 통하여 최적합 모형을 도출하고자 하였다. 공간회귀모형의 설명력은 일반적으로 회귀모형에서 활용하는 R<sup>2</sup>로 진단하지 않는다. 이는 공간회귀모형의 추정이 최대우도법(maximum likelihood method)로 이루어지기 때문이다. 즉, 공간회귀모형에서는 pseudo-R<sup>2</sup>가 산출되기 때문에 최소자승법으로 추정되는 OLS회귀모형의 R<sup>2</sup>와 비교가 불가능하다. 그래서 공간회귀모형과 OLS회귀모형의 설명력 비교는 Log Likelihood (LL), Akaike Information Criterion (AIC), Schwarz Criterion (SC) 통계량으로 통하여 실시한다. 산출된 통계량을 바탕으로 LL 통계량이 가장 크면서 AIC 및 SC 통계량이 가장 작은 모형이 설명력 높은 모형이라 판단할 수 있고, 최적합 모형이라 할 수 있다(Pace et al., 2004; Lee and Noh, 2013). 본 연구에서 산출된 각 모형별 LL, AIC, SC 통계량은 Table 4와 같다. 산출된 통계량을 살펴보면, 공간오차모형이 가장 큰 LL 통계량을 가지면서 AIC 및 SC 통계량은 가장 작은 것으로 도출되어 3개의 모형 중 가장 적합한 모형인 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서의 모형 추정 결과에 관한 분석 공간시차모형을 중심으로 실시하였다.

Table 5는 일반회귀모형, 공간시차모형, 공간오차모형의 추정 결과이다. 아울러, 독립변수 간의 다중공선성(multicollinearity)을 진단하기 위하여 Variance Inflation Factor (VIF)를 함께 산출하였다. 일반적으로 VIF가 10을 초과하게 되면, 독립변수 간에 다중공선성이 존재한다고 판단한다(Montgomery and Peck, 1992; Choi and Kong, 2003). 이러한 기준에서 분석에 반영된 독립변수들은 VIF가 10 이하의 값이 산출되었으므로 다중공선성이 존재하지 않는다고 추정할 수 있다. 모형 추정 결과에서도 알 수 있듯이, 최적합 모형인 공간시차모형은 통계적으로 유의한 변수가 5개인 반면에 공간오차모형과 OLS회귀모형은 각각 4개인 것으로 추정되었다. 유의한 변수의 통계적 유의수준도 공간시차모형이 다른 모형들에 비하여 향상되는 것을 확인할 수 있다. 추가적으로 Likelihood Ratio를 통하여 살펴본 공간시차모형의 회귀계수 적합성은 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하여 추정된 공간시차모형의 회귀계수가 적합한 것으로 나타났다.

공간시차모형에 초점을 맞추어 통계적으로 유의한 변수에 대한 구체적인 내용을 살펴보면, 우선 통계적으로 유의한 변수는 주거지역 면적(RESI), 녹지지역 면적(GREEN), 하천 면적(RIVER), 연강수량(RAINFALL), 강우강도(INTENSITY)로 추정되었다. 특히, 하천 면적의 경우에는 1% 유의수준에서, 주거지역 면적 및 연 강수량은 5% 유의수준에서, 나머지 변수들은 10% 유의수준에



Table 5. Estimation Summary of Models

Variables	OLS	SLM	SEM	VIF
Constant	-3435964.21	1349185.00	347865.30	-
POP	1.04	1.42	0.69	8.549
Ln_AREA	-125910.90	-191792.60	-130330.40	4.149
BUDGET	-0.14	0.09	0.12	6.377
RESI	-0.09	-0.09*	-0.06	8.597
GREEN	0.01*	0.01**	0.01*	3.090
PARK	1117.65	522.83	-1341.12	7.512
HOUSE	-2083.67	-14628.64	-15225.50	1.451
PERMIT	813.05	517.21	185.31	3.652
ROAD_A	-0.03	-0.01	-0.004	4.113
ROAD_L	-1.06	-1.12	-1.05	2.272
WORK	-1.31	-1.20	-1.28	3.235
RIVER	0.09***	0.07***	0.08***	2.519
RESERVOIR	-66726.52*	-51455.37	-50213.41	2.272
SEWER	0.73	0.50	0.83	5.325
RAINFALL	4061.59***	1953.00**	2187.93*	1.486
INTENSITY	28783.25	32230.68*	34809.96*	1.481
$\rho$	-	0.54	-	-
$\lambda$	-	-	0.55	-
Likelihood Ratio	-	34.03***	22.39***	-

\*\*\* : p<0.01, \*\* : p<0.05, \* : p<0.10

서 통계적으로 유의하였다. 통계적으로 유의한 변수 중에서 자연재해 피해액을 감소시키는 효과가 있는 것으로 추정된 변수는 예상과 달리 주거지역 면적으로 나타났다. 피해액을 증가시키는 효과 있는 것으로 추정된 변수는 피해액 감소가 기대되었던 녹지지역 면적 및 하천 면적을 비롯하여 통제변수로 반영되어 피해액 증가가 예상되었던 연 강수량 및 강우강도로 도출되었다. 반면에 피해액 증가의 요인으로 예상되었던 인구, 행정구역 면적, 주택보급률, 건축허가 건수, 도로 면적, 도로 연장, 산업 종사자수와 피해액 감소의 요인으로 예상되었던 예산규모, 공원, 유수지, 하수관거 연장은 통계적으로 유의하지 않아 자연재해 피해액에 영향을 미치지 못하는 것으로 확인되었다.

감소 효과가 있는 변수의 자연재해 피해액에 대한 영향력을 살펴보면, 주거지역 면적이 100m<sup>2</sup> 증가할 때, 자연재해 피해액은 약 9천원 감소하는 것으로 추정되었다. 비록 그 효과가 작기는 하지만 이는 Kazmierczak and Cavan (2011)의 연구와 유사한 결과이다. 한정된 토지에서 주거지역 면적이 증가한다는 것은 비교적 밀도가 높고 피해액 규모가 커질 수 있는 상업지역 또는 공업지역의 면적이 감소할 수 있는 것을 의미하기 때문에 이러한 결과가 도출된 것으로 판단된다.

증가 효과가 있는 변수의 자연재해 피해액에 대한 영향력을 살펴보면 다음과 같다. 녹지지역 면적은 100m<sup>2</sup> 증가할 때, 피해액이 약 1천원 증가하는 것으로 추정되었고, 하천 면적은 100m<sup>2</sup> 증가할 때, 피해액이 약 7천원 증가하는 것으로 추정되었다. 통제변수로 반영된 연 강수량과 강우강도의 경우에는 100% 풍수해 피해액으로 이루어진 종속변수에 큰 영향을 미치고 있었고, 구체적으로 연 강수량 1mm가 증가하면 약 195만 3천원, 강우강도가 1mm/hr 증가하면 약 3,223만원의 피해액 증가 효과 있는 것으로 추정되었다. 녹지지역 면적의 경우에는 이전의 선행연구에서 고려하지 못하였던 요소이면서 기대와 달리 자연재해 피해액을 증가시키는 것으로 추정되었다. 이는 녹지지역이 주로 산지에 지정되는 경우가 많기 때문에 풀이된다. 산지는 자연재해에 취약하기 때문에 이러한 부분에서의 녹지지역의 증가는 오히려 자연재해 피해액의 증가로 이어질 수 있을 것이다. 하천 면적의 경우에는 Shim and Kim (2012) 및 Im (2013)의 연구와 동일한 결과가 나타났다. 두 연구에서도 지적하고 있듯이 하천이 도시·군계획시설의 방재시설로 분류되고는 있지만, 오히려 범람이나 홍수를 유발하여 그 역할을 제대로 못하고 있기 때문으로 풀이된다. 추가적으로 방재의 효과가 있을 것으로 예상되었던 공원, 유수지, 하수관거 연장의 경우에는 통계적

으로 유의하지 않아 자연재해 피해액에 영향을 미치고 있지 않는 것으로 나타났다. 그러나 회귀계수의 부호가 +로 추정되어 피해액을 증가시키는 경향성이 존재하는 것으로 확인되었다. 이는 해당 시설들이 방재 역할을 충분히 하지 못하고, 오히려 자연재해 피해를 가중시키는 역효과를 야기시킨다고 판단되는 부분이다.

## 5. 결론 및 정책적 시사점

본 연구는 자연재해 피해액이 지역 간의 상관관계를 가지는지에 대한 공간적 자기상관성 분석을 실시하였다. 그리고 공간적 자기상관성 분석 결과를 토대로 어떠한 도시특성 요소가 자연재해 피해액에 영향을 미치는지에 관하여 공간회귀모형을 구축하여 실증분석하였다. 기존의 선행연구에서는 자연재해 피해액에 대한 공간적 자기상관성에 관한 분석과 공간회귀모형을 통한 분석이 없었다는 점에서 본 연구의 첫 번째 의의가 있다고 할 수 있다. 그리고 기존의 선행연구에서 고려하지 못하였던 다양한 도시특성 요소를 모형에 반영하여 분석한 점이 두 번째 의의가 있다고 할 수 있다. 분석 결과, 자연재해 피해액은 공간적 자기상관성이 존재한다는 것이 밝혀졌고, 자연재해 피해액에 영향을 미치는 도시특성 요소의 도출을 위한 공간회귀모형은 공간시차모형이 가장 적합한 것으로 밝혀졌다. 공간시차모형은 공간오차모형과 OLS회귀모형에 비하여 LL이 높고, AIC와 SC가 낮아 모형의 적합도가 향상되는 것을 확인할 수 있었고, 통계적으로 유의한 변수도 보다 명확하게 추정되는 것을 확인할 수 있었다.

공간시차모형을 통하여 도출된 통계적으로 유의한 변수는 5개로, 이 중에서 주거지역 면적은 자연재해 피해액에 부(-)의 효과가 있는 것으로 추정되었다. 즉, 주거지역 면적이 증가하면 자연재해 피해액이 감소된다고 할 수 있다. 반면에 녹지지역 면적, 하천 면적, 연 강수량, 강우강도는 자연재해 피해액에 정(+)의 효과가 있는 것으로 추정되었다. 이는 해당 변수들 증가하면 자연재해 피해액이 증가된다고 해석할 수 있다. 그리고 방재 효과가 있을 것으로 예상되었던 공원, 유수지, 하수관거 연장의 경우에는 통계적인 유의성은 없었으나 자연재해 피해액을 증가시키는 경향성이 있다는 점도 함께 도출되었다.

자연재해를 증가시키는 녹지지역 면적과 하천 면적 요인에 대해서는 그 효과를 저감 또는 역전시키기 위한 방안이 필요하고 다음과 같은 정책적 방향을 고려할 수 있을 것이다. 우선, 녹지지역과 관련해서는 일반적인 공원에 지정되어있는 녹지지역보다 산지 등에 지정된 녹지지역을 대상으로 어떠한 요소가 자연재해에 취약한 지에 관한 조사와 분석이 필요할 것으로 보인다. 이를 통하여 용도지구에 해당하는 자연방재지구를 지정하여 사전에 자연재해 피해를 예방할 수 있는 조치를 강구해야 한다. 아울러, 취약점 보완을

위한 예산을 충분히 확보할 수 있도록 해야 할 것이다. 그리고 하천을 비롯한 방재 효과 있을 것으로 예상된 시설들이 현재 그 역할을 제대로 하고 있지 못한 것으로 나타났으므로, 해당 시설의 방재효과를 증대시킬 수 있는 방안에 대한 학술적 및 기술적 연구가 우선적으로 필요하다고 판단된다. 아울러 지자체 차원에서 자연재해 취약한 방재시설에 대한 보강 공사 등의 재원 투입을 적극 고려하여야 할 것이다.

마지막으로 본 연구의 한계점은 우선 2013년 한 해만을 대상으로 하였기 때문에 다른 연도와의 비교분석이 불가능하였다는 점이다. 그러나 2013년을 기준의 분석에 자연재해 피해액의 공간적 자기상관성이 존재함이 밝혀졌고, 여러 요소가 자연재해 피해액에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났기 때문에 추후에는 다년도에 걸친 비교 연구를 통하여 시계열적 관점에서의 연구도 필요하다고 하겠다. 그리고 통계자료 수집의 한계로 인하여 전국의 사군구 기초자치단체를 대상으로 분석할 수밖에 없었기에 다소 분석이 거시적이었다. 향후에 통계자료가 읍·면·동 단위까지 공개가 확대된다면, 보다 미시적인 관점에서의 연구도 가능할 것으로 사료된다. 또한, 거시적 관점에서 진행된 연구라는 점에서 자연재해 피해액에 영향을 미치는 지형적 요인을 반영하지 못하였다는 한계점도 있다. 추후의 연구에서는 이를 보완할 수 있는 방향으로 연구가 진행될 필요가 있을 것으로 보인다. 그리고 추후의 연구에서는 본 연구에서 반영하지 못하였던 사군구 간의 차이를 분석하여 결과를 제시하는 것도 의의가 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 BK21 플러스 사업의 지원을 받아 수행된 연구(부산대학교 기후변화 적응형 안전도시 구축을 위한 도시계획 전문인력 양성 사업팀)이며, 서만훈의 박사학위 논문을 수정·보완 및 발전시킨 것임.

## References

- Anselin and Luc (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*, Kluwer Academic Publishers.
- Anselin and Luc (1995). "Local Indicators of Spatial Association-LISA." *Geographical Analysis*, Vol. 27, No. 3, pp. 186-206.
- Anselin, Luc, Florax, Raymond J. G. M., Rey, and Sergio, J. (2004). "Econometrics for spatial models: Revent Advances." in *Spatial Econometrics: Methodology Tools, and Application*, edited by Luc Anselin, Raymond J. G. M. Florax, and Sergio J. Rey, pp. 1-25, Springer.
- Baltagi, B. H. and Li, D. (2004). "Prediction in the panel data model with spatial correlation." in *Spatial Econometrics: Methodology Tools*,

- and Application*, edited by Luc Anselin, Raymond J. G. M. Florax, and Sergio J. Rey, pp. 283-295, Springer.
- Choi, C. I. (2004). "Panel models about determining factors of urban flood damages." *Journal of Korea Planners Association*, Vol. 39, No. 7, pp. 49-67 (in Korean).
- Choi, Y. and Kong, Y. K. (2003). "The influence of expectations of reconstruction in future on price of the multi-family attached house", *Journal of Korea Planners Association*, Vol. 38, No. 5, pp. 103-113 (in Korean).
- Choi, Y. and Lee, B. H. (2006). "A study on the estimation of land price considering characteristic of the adjacent land use and spatial autocorrelation in residential zone." *Journal of Korea Planners Association*, Vol. 41, No. 5, pp. 45-60 (in Korean).
- Choi, Y. and Lee, J. S. (2014). "Correlates between industries and zoning characteristics and environmental pollution employing spatial regression model." *Journal of Korea Planners Association*, Vol. 49, No. 1, pp. 247-261 (in Korean).
- Choi, Y., Moon, S. H. and Yim, H. K. (2007). "Assessing the impact of the factors of urban characteristics on air pollution using panel model." *Journal of Korea Planners Association*, Vol. 42, No. 3, pp. 191-202 (in Korean).
- Eliste, P. and Fredriksson, P. G. (2004). "Does trade liberalization cause a race-to-the bottom in environmental policies? A Spatial Econometric Analysis." in *Spatial Econometrics: Methodology Tools, and Application*, edited by Luc Anselin, Raymond J. G. M. Florax, and Sergio J. Rey, pp. 383-396, Springer.
- Florax, Raymond J. G. M. and de Graaff, Thomas (2004). "The performance of diagnostic tests for spatial dependence in linear regression models: A Meta-Analysis of Simulation Studies." in *Spatial Econometrics: Methodology Tools, and Application*, edited by Luc Anselin, Raymond J. G. M. Florax, and Sergio J. Rey, pp. 29-65, Springer.
- Ford, David, McFadden, Dudley, and Hilmes-Robinson, Marsha, (2002). "Early Warning." *Civil Engineering*, Vol. 72, No. 8, pp. 62-67.
- Im, H. J. (2012). "A study on factors affecting urban flood damage." Master Dissertation, Yonsei University (in Korean).
- Kaźmierczak, A. and Cavan, G. (2011). "Surface water flooding risk to urban communities: Analysis of vulnerability, hazard and exposure." *Landscape and Urban Planning*, Vol. 103, pp. 185-197.
- Kellenberg, D. K. and Mobarak, A. M. (2008). "Does rising income increase or decrease damage risk from natural disasters?" *Journal of Urban Economics*, Vol. 63, pp. 788-802.
- Kim, B. K, Jang, D. W., Jang, N. and Yang, D. M. (2011). "The deduction of urban flood risk factor considering climate change." *Journal of Safety and Crisis Management*, Vol. 7, No. 1, pp. 125-142 (in Korean).
- Lee, H. Y. and Noh, S. C. (2012). *Advanced Statistical Analysis*, Bobmunsa (in Korean).
- Monthomery, D. C. and Peck, E. A. (1992). *Introduction to linear regression analysis*, John Wiley & Sons, Inc.
- Moran, Patrick Alfred Pierce (1950). "Note on continuous stochastic phenomena." *Biometrika*, Vol. 37, No. 1, pp. 17-23.
- Moreno, Rosina, Lopez-Bazo, Enrique, Vaya, Esther, and Artis, Manuel (2004). "External effects and cost of production." in *Spatial Econometrics: Methodology Tools, and Application*, edited by Luc Anselin, Raymond J. G. M. Florax, and Sergio J. Rey, pp. 297-317, Springer.
- National Emergency Management Agency (2014). 2013 Disaster Statistics Annual Report, Seoul.
- Pace, R. Kelley, Barry, Ronald, Slawson Jr., V. Carlos, and Sirmans, C. F. (2004). "Simultaneous spatial and functional form transformations." in *Spatial Econometrics: Methodology Tools, and Application*, edited by Luc Anselin, Raymond J. G. M. Florax, and Sergio J. Rey, pp. 197-224, Springer.
- Pauleit, Stephan, Ennos, Roland, and Holding, Yvonne (2005). "Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change – a study in Merseyside, UK." *Landscape and Urban Planning*, Vol. 71, pp. 295-310.
- Perdomo, J. L. and Pando, M. A. (2014). "Using information technology to incorporate natural hazards and mitigation strategies in the civil engineering curriculum." *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, Vol. 140, No. 1, pp. 04013004-1-04013004-10.
- Peña-Mora, Feniosky, Thomas, Joyce K. and Golparvar-Fard, Mani (2012). "Supporting civil engineers during disaster response and recovery using a segway mobil workstation chariot." *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 26, No. 3, pp. 448-455.
- Rey, S. J. and Boarnet, M. G. (2004). "A taxonomy of spatial econometric models for simultaneous equations system." in *Spatial Econometrics: Methodology Tools, and Application*, edited by Luc Anselin, Raymond J. G. M. Florax, and Sergio J. Rey, pp. 99-119, Springer.
- Shim, J. H. and Kim, J. E. (2012). "An analysis on the inter-relationship between land-use characteristics and damages caused by natural hazards." *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 13, No. 9, pp. 4319-4325 (in Korean).
- Thomalla, Frank, Downing, Tom, Spanger-Siegfried, Erika, Han, Guoyi, and Rockström, Johan (2006). "Reducing hazard vulnerability: towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation." *Disasters*, Vol. 30, No. 1, pp. 39-48.
- Vallero, D. A. and Letcher, T. M. (2012). "Engineering risks and failures: Lessons Learned from Environmental Disasters." *Leadership & Management in Engineering*, Vol. 12, No. 4, pp. 199-209.
- Wang, J.-A., Shi, P.-J., Yi, X.-S., Jia, H.-C. and Zhu, L.-Y. (2008). "The regionalization of urban natural disasters in China." *Natural Hazard*, Vol. 44, pp. 169-179.