



도시형태가 자연재해 피해에 미치는 영향에 관한 연구*

: Spatial 2SLS를 이용하여

The Impact of Urban form on Damage of Natural Disaster

: Using Spatial 2SLS Analysis Model

장새움** · 염재원*** · 정주철****

Jang, Saewoom · Yeom, Jaeweon · Jung, Juchul

Abstract

The purpose of this study is to analyze the impact factors of natural disaster damages considering the interrelationship with urban forms. Disaster damages are expected to increase owing to climate changes. Therefore, it is necessary to analyze the impact of the disaster and take measures. A compact city is being proposed in the form of a resilient city worldwide. There is an argument about the effectiveness of the urban containment policy. In this regard, there are prior studies on the influence of natural disasters in compressed and dispersed forms. In another respect, a qualitative research has shown that large-scale disasters cause population movement and redistribution. This study is based on the idea that this process would affect the urban form. Further, it aims to prove the need for an urban containment policy, such as land use regulations, by setting the hypothesis that the influence of the urban form is more significant than the area of urbanization. First, the Durbin-Wu-Hausman test is conducted to analyze endogenesis between natural disaster damages and urban forms. The analysis is performed using spatial 2SLS considering the autocorrelation and endogenesis of dependent variables. The study targets 188 areas among all cities, counties, and districts that can subscribe to data. The dependent variable is adopted as the annual average natural disaster damage over 10 years. The explanatory variable uses a split index among landscape matrices to measure the urban forms. Control variables are those that consider climate and natural factors, physical and architectural environmental factors, and social and economic factors. The Durbin-Wu-Hausman test results showed 99% reliability, proving that endogenesis existed between the two variables. In the spatial 2SLS analysis, the confidence level of the urban form was 95% and that of the urban area was 90%, and both showed the (+) impact relationship. The precipitation represented the highest significance with a 99% confidence level. The decrease in the urban area considering the impermeable surface area is also important, but primarily, maintaining the compact form of the city should precede creating a resilient city. Therefore, it can be suggested that an urban containment policy is necessary to manage the city's disaster damage.

주제어 도시형태, 분산된 개발, 자연재해 피해, Spatial 2SLS

Keywords Urban Form, Distributed Development, Damage of Natural Disaster, Spatial 2SLS

* 본 연구는 한국연구재단의 지원으로 작성된 논문입니다(NRF-2020R1F1A1074105).

** Ph.D. Student, Department of Urban Planning and Engineering, Pusan National University (First Author: bb1211@pusan.ac.kr)

*** Ph.D. Student, Department of Urban Planning and Engineering, Pusan National University (jaywo7@naver.com)

**** Professor, Department of Urban Planning and Engineering, Pusan National University (Corresponding Author: jcjung@pusan.ac.kr)

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

매년 여름 집중호우로 국내 여러 지역에서 풍수해를 겪고 있다. 2020년 7-8월에는 2달 동안 이어진 긴 장마로 인해 수해지역이 다수 발생하였다. 정부는 8월 7일, 13일, 24일 3차례에 걸쳐 총 38개 시·군·구 36개 읍·면·동을 특별재난지역으로 선포하였으며,¹⁾ 이 외 대도시지역의 침수로 인한 재산 및 인명 피해들이 각종 언론을 통해 보도되었다.

IPCC(2019)는 앞으로 기후변화로 인해 홍수 발생확률이 높아진다고 예측하고 있으며, 특히나 저지대지역과 연안지역의 도시 취약성이 높아질 것이라고 전망하였다. 또한 기상청(2018)에서는 RCP 시나리오를 통해 한반도는 현재 대비 21세기 후반에 3.3~13.1% 범위의 강수량이 증가할 것으로 예상하고 있으며, 남해 지역은 전 기간에 걸친 강수량 증가를 예측하고 있다.

급격한 기후변화 속에서 재해에 대한 대응책이 중요해지고 있다. 특히, 국내·외적으로 도시화로 인한 유출량 증가로 자연재해의 피해 규모가 증가하고 있다는 의견들이 지속적으로 제기되고 있어, 도시개발 및 도시의 형태에 대한 논의가 필요하다(최충익, 2003; 이미연·홍중호, 2016; Brody et al., 2017). 미국의 경우 스프롤을 규제하기 위해 도시의 이용을 제한한 정책을 옹호해왔으며, 개발을 압축하는 도시 형태를 제안했다. 하지만 성장을 규제하는 정책은 토지 가격의 상승을 야기했고, 홍수 등 위험성이 높은 지역으로의 이주가 발생했다. 이러한 과정은 결국 재해피해의 규모를 증가시키는 결과로 이어졌다(Burbby et al., 2001). 반면, 저밀도의 외연적 확산이 자연재해 피해를 증가시킨다는 논의가 제기되어 도시 외곽 개발을 억제하고 보존하는 정책 수립의 필요성 또한 제기되고 있다(Brody et al., 2013; 강승원 외, 2019). 이러한 논의는 도시의 형태와 자연재해에 대한 고찰과 위험지역에 대한 개발 관리 필요성을 제기했다. 더불어 도시의 위험노출이 높을수록 재해피해가 증가하기 때문에, 도시를 안전하게 관리하기 위해 피해에 노출되는 요소를 감소시키는 방향으로 정책이 수립되어야 함을 시사하였다.

재해피해는 주민들의 일시적 혹은 영구적 이주를 발생시키는데, 이로 인해 도시의 형태 및 물리적 변화가 나타날 수 있다(Hunter, 2005; 이달별, 2020). 지속적으로 호우 위험에 대응하기 위해 도시화의 과정이 자연재해 미치는 영향뿐만 아니라 자연재해가 도시를 변화시키는 과정에도 주목해야한다. 이러한 관계를 이해할 때, 우리는 자연재해에 레질리언스한 도시를 위한 계획과 정책을 제안할 수 있다. 하지만 기존 연구에서는 도시의 개발 등을 통해 발생한 도시형태에 대한 자연재해 피해를 증명해왔지만, 자연재해 피해로 발생한 도시형태의 변화에 대한 영향을 고려한 분석모델은 제시되지 않았다. 이에 본 연구에서는 자연재

해 피해와 도시형태의 상호영향을 고려한 분석을 시도하고자 한다. 2009~2018년 최근 10년의 호우 피해를 행정구역 기준으로 토지피복도의 구득이 가능한 시·군·구 188개 지역을 대상으로 분석을 진행하였다.

II. 선행연구 고찰

1. 도시형태와 자연재해에 대한 이론 고찰

1) 도시형태에 관한 고찰

도시형태는 물리적인 형태 외에도 정보의 흐름, 경제활동과 같은 비물리적인 관계 등 여러 측면을 고려할 수 있으며(오규식 외, 2005; Kropf, 2009), sprawl, compact city의 도시 형태에 관한 연구들이 활발히 수행되고 있다. 이러한 도시의 형태는 환경, 에너지에 영향을 미치며 최근에는 재해 피해와의 영향 관계 또한 제시되고 있다.

sprawl은 저밀도, 분산된 개발, 파편화된 개발, 비지적개발과 같은 외연적 확산의 특징을 가진다(임은선 외, 2006). 반대로 compact city는 고밀·근접하여 에너지 효율적인 도시형태를 말한다(장창호·송재민, 2020). 지속가능한 발전 개념 등장 이후 compact city 도시의 형태에 대한 논의가 제기되고 있으며 고밀·근접 개발, 대중교통 시스템의 연계, 직주근접과 같이 sprawl과 반대되는 특징을 가진 도시 형태로 정의하고 있다(장창호·송재민, 2020).

Ewing et al.(2003)은 sprawl을 거주 인구 밀도, 혼합토지이용, 도시 중심의 집중도, 도로 접근성을 활용하여 측정하고 이러한 요소들이 교통 통행에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다. Kang et al.(2019)과 Bereitschaft and Debbage(2013)은 도시 형태와 대기의 질의 관계를 측정하였다. 두 연구는 Ewing et al.(2003)의 연구에서 제안된 sprawl index를 검토하여 인구밀도, 혼합 토지 이용, 집중도를 공통적으로 활용하였다. 다수의 선행 연구에서 밀도에 중점을 맞추었는데, 밀도의 측정에 집중할 경우 다중심적이거나 분산적 대도시권의 sprawl 정도가 낮게 측정될 수 있으며, 비지적 개발과 같은 sprawl의 특성을 측정하기 어렵다(임수진·김감영, 2015; 양재석 외, 2018; 장창호·송재민, 2020). 반면 Bereitschaft and Debbage(2013)는 기존 sprawl을 측정하는 지수들이 연결성과 복잡성을 측정하기 어려움을 지적하며 토지의 파편화를 측정하는 경관지수를 도시형태를 분석하는 지표로 제안하였다. sprawl의 비계획적인 도시형태에 의해 토지의 패턴이 변형되어 도시 및 농지, 녹지 등의 토지가 비연속적이고 파편화(fragmentation)된 토지의 패턴을 나타내게 된다(Irwin and Bokstael, 2007; Shahraki et al., 2011; Jang and Jung, 2020). 이러한 토지의 패턴은 비도시지역의 보전정책의 결과를 살펴보는 지표로 활용되며(Lewis and Knaap, 2012), 최근

자연재해 피해의 영향을 파악하는 연구에도 사용되고 있다 (Brody et al., 2013; 강승원 외, 2019).

2) 도시와 자연재해 피해

극한의 자연 이벤트가 발생하였을 때, 자연이 위험을 대응·흡수하고 방어할 수 있는 역량이 초과되면서 자연재해가 발생한다 (Kates, 1971). 인간이 구축한 시스템을 대표하는 도시의 자연피해 규모가 커지면서 이에 대한 정책적·학문적 관심이 높아졌다. 1990년대 미국의 허리케인 Andrew와 캘리포니아 대규모 지진으로 인해 큰 손실이 발생하면서 세계적으로 자연재해 피해와 이를 저감하는 방법들이 주목을 받게 되었다(Burby et al., 1999). 국내외적으로 재해를 관리하기 위해 피해 결정요인을 밝혀내는 연구가 진행되었다. 다수의 선행연구에서는 사회·경제적 요소, 물리적·건축 환경적 요소, 자연적 요소 등이 기상학적 요소와 결합하여 재해 위험이 발생하는 것을 밝혀냈다(최충익, 2003; 2004; Brody, 2013; 이미연·홍종호, 2016; Brody et al., 2017; 하경준·정주철, 2017). 사회·경제적 요소는 인구적 측면을 중점적으로 인구밀도, 인구수를 기본으로 분석하며 자연재해와 사회적 취약성에 중점을 두었을 때는 취약계층 비율을 활용한다. 경제적 요소는 정부 혹은 개인의 부를 측정할 수 있는 주민세액, 재정자립도 등의 변수들을 활용한다(최충익, 2004; 이미연·홍종호, 2016). 물리적·건축 환경적 요소는 토지이용(시기화지역, 도시적 토지이용), 토양투과율, 불투수면적과 같이 도시화로 인해 발생하는 토지피복의 상태를 나타내는 변수를 살펴보고 있다(최충익, 2004; Brody, 2013; 이미연·홍종호, 2016). 기후 및 자연적 요소는 하천면적, 산림면적, 습지의 변화와 같은 지구물리적 상태 변화와 강우량과 강우의 세기와 같이 기상 패턴을 변수로 고려하고 있다(최충익, 2004; Brody et al., 2013; 이미연·홍종호, 2016). 특히 호우로 인한 수해는 강수량과 도시의 물리적 노출이 증가할수록 피해가 커진다. 선행연구에서는 도시와 재해를 언급할 때, 공통적으로 도시화로 인해 발생한 도시적 토지이용과 불투수면적에 초점을 맞추고 있다. 도시개발로 인해 토지의 형질이 변화되면서 도시의 토지는 투수율이 낮아지게 된다. 집중강우가 발생할 시 이러한 토지는 자연배수를 할 수 없게 되어, 지표면으로 강우를 유출하는 현상을 유발하고 이는 곧 도시의 홍수를 야기하게 된다(EPA, 2013; 하경준·정주철, 2017; 강승원 외, 2019).

3) 도시형태와 자연재해 피해

호우로 인한 자연재해를 야기하는 주요 원인으로 도시개발로 인해 변형된 토지의 면적이 고려되고 있다. 더 나아가 면적뿐만 아니라 도시의 개발패턴도 자연재해 피해에 영향을 미치는 요인으로 지적되고 있다. Brody et al.(2013)과 강승원 외(2019)의 연구에서는 도시의 개발패턴과 자연재해 피해의 관계를 알아보기 위해 경관매트릭스를 활용한 연구를 진행했다. Brody et al.(2013)

은 멕시코 연안지역을 대상으로 집중된 개발패턴이 홍수량의 감소로 이어짐을 도출하였다. 고밀도 개발 패치의 총 면적이 높은 곳은 재해피해에 (-)영향을 미치며, 저강도 개발패턴 비율이 증가할 시 잠재적 홍수 피해를 악화시키며 중밀도 개발은 연결성이 좋을수록 자연재해 피해에 (-)영향을 나타냈다. 중밀도 개발의 경우 근접하게 개발될 경우 지역단위에서 홍수에 대응하는 인프라가 구축된다고 해석하였다. 이러한 결과를 통해 기개발지를 중심으로 한 고밀·압축 개발을 강조하는 스마트 성장을 지지하고 지역 계획과 설계의 중요성을 강조하면서, 무질서한 저밀도 개발 패턴보다 고강도의 클러스터형 개발을 장려했다. 강승원 외(2019)는 데이터 구득이 가능한 국내 182개 시·군·구를 대상으로 개발패턴과 자연재해 피해 간의 관계를 분석했다. 연구 결과 시기화지역의 크기·면적은 피해에 (-)영향을 나타냄으로 재해피해에 저항하는 값을 나타냈으나, 응집도를 나타낸 지수가 자연재해 피해를 감소시킨다는 결과를 도출했다. Brody et al.(2013)의 연구에서는 호우에 취약한 연안지대를 연구의 범위로 지정하였고, 강승원 외(2019)의 경우 전국을 대상으로 연구를 시행하였다. 연구 범위는 달랐지만, 도시화된 토지의 양적 증가보다 도시 개발의 밀도와 응집력 및 연결성이 자연재해 피해에 영향을 미친다는 공통된 결과를 도출하였다. 특히 두 연구는 공통적으로 도시형태를 토지 피복 자료를 활용해 도출한 경관지수를 개발 패턴으로 정의하였고 연결성이 낮고 점적으로 확산된 도시형태가 자연재해 피해를 증가시킨다는 공통적인 결과를 도출했다. 이러한 결과는 도시의 형태가 레질리언스한 도시를 형성하는 데 주요한 체크리스트임을 시사하고 있다.

2. 자연재해로 인한 도시의 형태 변화

재난 후 push-pull의 요인들이 작동(Belcher and Bates, 1983)하면서 인구, 인구밀도, 주택 및 인구의 다양성에 변화를 준다(이달별, 2020). push 요인 작동은 임시·장기 이주를 이끌며 재해로 인해 발생한 심각한 자원의 파손, 위험 및 정책 등으로 볼 수 있다. 반대로 pull 요인은 재해 후 피해 지역으로 들어오는 이동을 유발시키는 힘으로 재해 복구과정에 발생한 경제적 기회, 새로운 고용기회 등으로 볼 수 있다(Belcher and Mates, 1983). 더불어 복구과정에서 건축의 재건 및 재산 피해에 대한 대응 등으로 인해 도시의 물리적 변화가 발생한다. 복구과정에서 발생하는 자원과 새로운 힘은 환경에 악영향을 미치는 공격적인 개발을 확장시키기도 한다(Pais and Elliot, 2008).

Belcher and Bates(1983)는 라틴아메리카를 대상으로 재해 이후의 이동에 대한 연구에서 재해가 개선의 기회가 될 수도 있고 인구의 재분배를 가속시킬 수도 있음을 시사하였다. 재난을 겪은 사람들은 다양한 스트레스를 겪고, 사람들의 이동을 야기하기도 한다(Morrow-Jones and Morrow-Jones, 1991). 미국의

Katrina, 인도의 쓰나미와 같은 대규모 자연재해를 통해 발생한 임시적 이주가 영구적 이주로 이어지기도 한다. 이는 재해 노출에 대한 두려움, 높아진 주거 기준과 새로운 생계 기회 등이 push의 원인이 된다(Afifi and Jäger, 2010).

2005년 카트리나 이후 미국은 연안 재해위험지역에 위험에 대한 노출을 감소시키기 위해 buyout, 이주와 같은 비구조적 대책을 제안했다(Cigler, 2009). 국내에서도 2003년 태풍 매미로 인한 대규모 피해 이후 경남의 거제 와현, 산청 송계, 거창 다전 등에 거주하는 주민들이 집단 이주를 했다. 강원도는 2020년 여름에 발생한 재해 이후 상습 침수 지역인 이길리 마을을 대상으로 집단 이주를 추진하고 있다.²⁾

선행연구 및 보도 자료를 통해 상습적 피해, 재해 피해가 큰 지역에서 개인적 혹은 정부의 비구조적 대책에 의해 인구의 재분배가 진행되고 있음을 파악할 수 있다. 특히 집단이주의 경우 이주 단지를 새롭게 조성함으로써 도시적 개발이 야기된다. Belcher and Bates(1983)는 라틴아메리카의 대규모 재해 이후 비도시지역의 인구가 경제적 기회 혹은 안전을 위해 도시외곽지역으로 이주가 일어났으며 다른 나라의 경우에도 패턴은 다르지만 자연재해 이후 인구의 재분배를 가속화 된다는 것을 시사했다. 이러한 변화는 토지의 변화 및 도시 기반시설이 형성되는 과정을 거치며 도시형태의 변화에 영향을 줄 수 있음을 암시한다. 자연재해가 도시의 물리적 변화를 야기해 도시형태의 변화에 영향을 미치기 때문에 이런 관계를 고려한 자연재해 피해 요소에 대한 분석이 필요하다.

3. 종합

대규모 재해는 인구의 재분배를 야기하며 이는 곧 도시형태의 변화에 영향을 미친다. 선행연구를 통해 자연재해의 피해와 도시의 형태가 서로 영향을 미칠 수 있는 가능성이 존재함을 도출할 수 있다. 그렇기에 도시형태와 자연재해 피해의 분석모형을 설계할 때, 두 변수사이에 내생성이 발생할 것이라는 가설을 세울 필요가 있다. Brody et al.(2013), 강승원 외(2019)의 연구를 통해 도시의 양적인 성장보다 도시의 형태가 자연재해에 더 주요한 요인이 될 수 있음을 제안해본다. 도시형태가 내포하는 요소는 많지만, 본 연구에서는 sprawl의 도시형태 특징으로 나타난 토지의 패턴에 집중하고자 한다. sprawl 형태일 경우 분산되고 연결성이 낮은 파편된 형태의 패턴이 나타날 것이다. 이러한 관계를 밝혀, 자연재해에 대한 취약성을 낮추기 위해 토지이용을 통한 비구조적 대책이 필요함을 합리적으로 설명할 수 있을 것이다. 또한 레질리언스한 도시를 형성하기 위해 도시의 형태를 고려해야한다는 논의를 지지할 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 다음과 같은 연구 문제와 가설을 설정하고자 한다.

- 연구 문제: 도시의 형태가 자연재해 피해에 영향을 미치는가?

가설1. 자연재해 피해와 도시의 형태는 서로 영향을 주어 내생성이 존재할 것이다.

가설2. 도시화면적뿐만 아니라 도시형태로 인한 개발패턴 역시 자연재해 피해에 유의한 영향을 줄 것이다.

III. 도시형태가 자연재해 피해에 미치는 영향에 대한 분석

1. 분석 방법 및 변수 구성

1) 분석 방법

본 연구에서는 이론 및 선행연구 고찰을 토대로 도시의 형태와 자연재해 피해 간 상호 영향관계가 존재하여 내생성 문제가 존재할 것이라는 가설을 수립하였다. 내생성 문제가 발생할 경우 고전적 선형 회귀모형의 “설명변수가 종속변수와 독립적으로 분포되어 있다.”는 중요 가정을 위배하게 되므로 추정량이 편의를 지니고 있을 뿐만 아니라 불일치 추정량이 될 수밖에 없다. 즉 내생성 문제가 존재할 경우 모형의 추정치를 신뢰할 수 없게 되며 표본의 크기가 무한대로 늘어나더라도 모집단의 값에 수렴되지 않는다. 본 연구에서는 이론적으로 확인한 도시형태와 자연재해 피해 사이의 내생성을 통계적으로 확인하기 위하여 Durbin-wu Hausman Test를 활용하였다. Durbin-wu Hausman Test를 통해 분석한 결과 약 99% 수준에서 종속변수인 자연재해 피해와 독립변수인 도시형태 변수 사이에 내생성이 존재한다는 귀무가설을 채택하는 것으로 나타났다(Table 1).

내생성 문제를 해결하기 위한 방법으로 연립방정식 모형을 활용하는 방법이 있는데 본 연구에서는 최소자승법 모형을 2단계에 걸쳐 적용하는 2SLS(2단계 최소자승법) 모형을 활용하고자 한다. 2SLS 분석에서 내생성 문제를 해결하기 위해서는 독립변수와는 강한 상관관계를 가지되 종속변수에는 영향을 미치지 않는 도구 변수를 선정하는 것이다. 본 연구에서는 도구변수 선정을 위해 상관관계 분석을 수행한 후 시군구 내 개별입지 공장 수를 도구변수로 설정하였다.

공간기반 데이터는 서로 상호의존적인 특징을 가진다. 강승원 외(2019)는 후유에 의한 자연재해 피해가 공간적 자기상관을 가지고 있음을 증명하고 공간회귀를 연구방법으로 택했으며, 서만

Table 1. Durbin-wu Hausman Test results

Tests of endogeneity	
Ho: variables are exogenous	
Durbin (score) chi2 (1)	6.36255 (p=0.0117)
Wu-Hausman F (1,185)	6.48033 (p=0.0117)

훈 외(2016) 또한 공간적 자기상관성을 고려하여 자연재해 피해를 분석하였다. 공간적 자기상관성이 존재할 경우 내생성 문제와 동일하게 고전적 선형 회귀모형의 독립변수와 관련한 중요 가정을 위배하게 되므로 결과에 오차를 내포하게 되어 불일치 추정량이 될 수밖에 없다. 공간자기상관성이 존재할 경우 공간자기회귀 변수를 모형에 반영하여 자기상관성을 통제하는 공간회귀모형을 활용해 BLUE(Best Linear Unbiased Estimator)값을 추정한다.

자연재해 피해의 공간적 자기상관성을 탐색하기 위해 Moran's I 검증을 실시하였다. Moran's I 계수 값은 -1부터 1의 값을 가지며 1에 가까워질수록 유사한 값을 가진 지역이 인접하여 위치한 것으로 해석하고 0에 가까운 값일수록 약한 공간자기상관성을 가지고 있다고 본다. Moran's I 검증을 수행하기 위해서는 공간가중치 매트릭스를 구축해야 하는데 본 연구에서는 퀸 인접 정의(Queen Contiguity)를 활용하였다. 퀸 인접 정의의 공간가중치 매트릭스를 적용한 자연재해 피해의 Moran's I 값은 99% 유의수준에서 0.294로 나타났다(Figure 1). 즉 선행연구의 결과와 마찬가지로 자연재해 피해는 통계적으로 유의한 수준에서 인접한 지역의 피해에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 공간자기상관성 문제로 인해 발생가능한 과소 또는 과대 추정을 방지하기 위해 공간자기회귀변수를 분석 모형에 반영해야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서 분석하고자 하는 자연재해 피해 변수는 내생성 문제와 공간적 자기상관성 문제로 인해 고전적 선형 회귀모형으로 분석할 경우 추정량에 편의가 발생할 것으로 예상된다. 즉 도시의 형태와 자연재해 피해 사이의 영향 관계를 정확하게 실증하기 위해서는 Spatial 2SLS 분석방법을 활용해야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 Spatial 2SLS 분석을 위해서 GeoDaSpace 프로그램을 활용하였다.

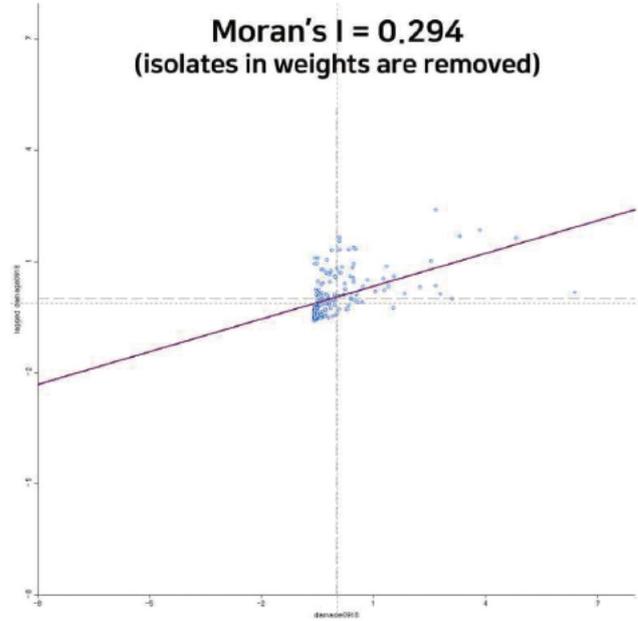


Figure 1. Moran's I analysis result

2) 변수 및 자료

본 연구는 전국 시·군·구를 대상으로 변수를 구축하였다. 경기도와 강원도의 일부지역의 토지피복 자료 구득이 불가능하였으며, 공간 자기상관을 가정하기 때문에 도서지역을 제외한 188개 시·군·구 지역을 대상으로 하였다. 분석을 위한 변수는 선행연구에서 도출한 사회·경제적 요소, 물리적·건축 환경적 요소, 자연적·기후적 요소들을 고려하여 구성하였다(Table 2).

종속변수는 자연재해연보의 자료를 활용하여 2009~2018년 최근 10년간 연평균 호우피해액을 사용하였다. 국내외 다수의 연구에서 자연재해연구에서 호우피해와 관련된 종속변수를 채택하고 있다. 자연피해의 주요 요인을 찾기 위해 다수의 연구에서 호우

Table 2. Variables

Large category		Detail category	Variables	Reference
Dependent variable	Natural disaster damage	Heavy rain damage	Average annual heavy rain damage (10years)	Ha & Jung(2017), Choi(2004), Lee & Hong(2016), Kang et al.(2019)
	Physical and Architectural environment	Urban form	Urbanization area Landscape Index (SPLIT)	Jaeger(2000)
Impermeable area		Urbanization area	Lee & Hong(2016), Kang et al.(2019), Brody et al.(2013)	
Independent variable	Climate and Nature	Precipitation	Average annual precipitation (10years)	Choi(2004), Lee & Hong(2016)
		River area	River area	Choi(2004), Lee & Hong(2016)
	Social and Economic	Population size	Number of population	Jung & Heo(2014)
		Financial independence	Degree of financial independence	Choi(2004), Lee & Hong(2016)
Instrument variable			Number of unplanned locations of industrial firms	Lee & Gwon(2012)

피해액을 활용하고 있으며, 단독년도는 피해액이 “0”이 발생하여 분석이 어려우므로 최근 10년간 데이터를 모았다. 최충익(2003; 2004), 강승원 외(2019)의 연구를 통해 재해피해액 값의 지역 차가 크기에 종속변수인 자연피해액에 로그 값을 취했을 때, 모형의 설명력이 적정한 것으로 나타났다. 또한 반로그모형의 경우 독립변수들의 변화에 따라 종속변수의 탄력성을 해석할 수 있기에 이를 채택하였다(최충익, 2003).

연구의 가설에 따라 도시화된 면적과 도시의 형태(도시화의 형태) 중 무엇이 더 주요한 영향을 미치는지를 고려해야 한다. 때문에 설명변수인 도시 형태는 도시가 분산의 형태로 개발되었는지를 분석할 수 있는 경관지수를 활용했다. 생태학에서는 산림 및 서식지의 파편형태를 관찰하기 위해 경관지수를 활용하며, 도시 연구에서는 sprawl과 같이 도시의 형태를 파악할 수 있다(Jang and Jung, 2020). Brody et.al.(2013), 강승원 외(2019)의 연구에 따라 토지피복 자료를 Fragstats 프로그램을 통해 경관지수를 도출하였다. 환경공간정보서비스에서 제공하는 2010년대 말(2018~2019년) 대분류 토지피복도의 시가화·건조지역을 중심으로 분석을 실시하였다. 대분류 토지피복도는 30M급의 해상도이며 7개 항목(시가화·건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역)으로 분류되어있다. 그중 시가화·건조지역은 주거지역, 공업지역, 상업지역, 교통지역(공항, 항만, 철도, 도로) 등을 포함하고 있다. 행정구역에 맞추어 공간을 편집하기 위해 Arc GIS 프로그램을 통해 토지피복도를 시군구단위로 추출하고 Fragstats 프로그램에서 시군구마다 경관지수를 도출했다. 여러 경관지수 중 본 연구에서는 SPLIT 인덱스를 활용하였다.

Jaeger(2000)는 경관의 파편성(Land fragmentation) 측정을 위해 Division(D), Splitting index(S), effective mesh

size(m)) 인덱스를 제안했다. 이 세 인덱스는 subdivision metrics로 분류되는데, <Figure 2>와 같이 높은 subdivision은 연결성이 낮고 파편된 패턴을 보인다.

경관의 전체 면적과, 패치의 부분 면적을 활용하여 값을 도출하는데 일관성을 나타내는 Coherence(C) 인덱스를 기초로 한다. 그중 Splitting index(이하 SPLIT)는 일관성을 역수로 계산한 값으로 그 값이 커질수록 패치의 일관성이 낮아지고 파편화 정도가 높은 분산된 개발을 나타내는 도시형태로 해석할 수 있다. 세 인덱스와 종속변수의 영향을 고려한 결괏값을 구독할 때, SPLIT 인덱스를 활용하는 것이 가장 용이할 것으로 판단된다. SPLIT 인덱스는 다음과 같은 계산식을 가진다.

$$SPLIT = \frac{A^2}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2} \tag{1}$$

a_{ij} = area(m²) of patch ij
 A = total landscape are(m²)

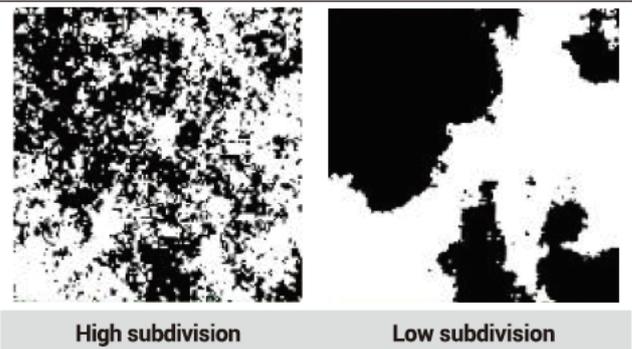


Figure 2. Insights on subdivision Metrics

Source: McGarigal, K. (2017)

Table 3. OLS and Spatial 2SLS analysis results

Parameter	OLS			Spatial 2SLS		
	Coef.	Std. Err	Probability	Coef.	Std. Err	Probability
Intercept	-3.4824921	5.2415554	0.5064340	-4.0984534	1.6204937	0.0114343
W_damage				0.1763925	0.0711539	0.0131742
Urbanization area Landscape Index (SPLIT)	0.0000231	0.0001284	0.8574693	0.0000098	0.0000046	0.0346982
Urbanization area	0.0006879	0.0038833	0.8593993	0.0003047	0.0001849	0.0993340
Average annual precipitation (10years)	0.0087051	0.0053150	0.1014533	0.0087209	0.0011556	0.0000000
River area	-0.0000000	0.0000006	0.9896572	0.0000000	0.0000000	0.0933090
Population size	-0.0000021	0.0000111	0.8511772	-0.0000009	0.0000013	0.5076052
Degree of financial independence	0.0696367	0.2156102	0.7467141	0.0378188	0.0194657	0.0520348
R-squared		0.1515			0.3752	
Spatial Pseudo R-squared					0.3148	
Anselin-Kelejian Test (Probability)		0.176(0.6745)			12.717 (0.0004)	

N=188

더불어 도시 홍수의 주요한 요인인 도시화로 인한 불투수 면적을 살펴보기 위해 해당 항목(시기화·건조지역)의 면적을 나타내는 CA(Class Area)를 통제변수로 활용하였다. 기후적 요소의 변수는 2009년부터 2018년의 10년간 연평균 강수량을 사용했다. 이 자료는 기상자료개방포털에서 수집하였으며 지점별로 구성이 되어 시군구 분석단위를 고려하여 공간보간을 시행하였다. 자연적 요소로는 하천면적으로 이미연·홍종호(2016)와 최충익(2004)의 연구에서 호우 시 하천의 범람으로 발생하는 피해를 고려하여 채택한 통제변수이다. 이는 한국토지주택공사의 2018년 도시계획현황의 자료를 수집하여 사용하였다. 사회·경제적 요소로는 인구규모와 지방재정자립도를 선택하였으며 KOSIS(통계청)에서 2018년도 자료를 수집하였다.

2SLS 분석을 위해 종속변수와는 상관성이 없지만 설명변수에 영향을 주는 도구변수를 선정하여 내생성을 통제하여야 한다. Lee and Gwon(2012)은 공장의 개별입지가 도시의 난개발에 영향을 미친다는 연구를 통해 개별입지 공장의 개수가 SPLIT의 값에 영향을 미칠 것이라 고려하였다. 이에 KOSIS(통계청)에서 2018년 도시지역 개별입지 공장등록 현황의 공장개수 자료를 활용하였다.

IV. Spatial 2SLS 분석 결과

본 연구에서는 도시형태가 자연재해 피해에 미치는 영향을 분석하기 위해서 Spatial 2SLS 분석을 활용하였다. 또한 Spatial 2SLS 분석결과 내생성과 공간적 자기상관성 문제 해결여부를 파악하기 위해 OLS 분석도 함께 수행하였다(Table 3).

OLS 분석 결과 도시형태, 도시화면적, 강수량, 하천면적, 인구, 재정자립도 변수 모두 자연재해 피해에 통계적으로 유의미한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이론 및 선행연구 고찰 결과와 비교해 볼 때 OLS 분석 모형의 추정치를 신뢰할 수 없다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 본 연구에서 구축한 모형 내 존재하는 내생성 및 자기상관성 문제 때문인 것으로 판단된다. 특히 모형 적합도를 분석해주는 Anselin-Kelejan Test 결과도 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 나타나 OLS 모형 분석을 통해 도출한 결과는 일반화하기 어려울 것으로 판단된다.

한편 Spatial 2SLS 분석 결과 도시형태, 강수량 변수가 95% 수준에서 자연재해 피해에 통계적으로 유의미한 영향을 미치며, 도시화면적 하천면적, 재정자립도 변수가 90% 수준에서 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구에서 중점적으로 분석하려고 했던 도시의 형태(SPLIT)의 경우 도시가 확산된 형태일수록 자연재해 피해가 증가하는 것으로 나타났다. 특히 OLS 분석 결과에 비해 도시형태의 계수 값이 작아졌다는 점에서 내생변수가 미치는 영향이 과대평가되는 문제를 해결한 것으로 판단된다. 또한 강우량이 많은 지역일수록 자연재해 피해가 증가하는 것으로 나타났다. 이외에도 불투수면적이 증가할수록, 하천

면적이 증가할수록, 재정자립도가 높아질수록 자연재해 피해가 증가하는 것으로 나타났다. 특히 하천면적의 경우 계수 값이 크지 않음에도 불구하고 OLS에서 자연재해 피해에 음의 영향을 미쳤으나 Spatial 2SLS 분석에서는 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 점도 주목해야 한다. OLS에서 과다 추정되고 있던 외연적 확산 변수의 내생성 문제 및 공간자기상관성이 해결되면서 이외의 변수가 자연재해 피해에 미치는 영향이 정확하게 추정된 것으로 판단된다. 종속변수에 가중치를 곱한 공간자기회귀변수(W_damage)의 경우 95% 수준에서 유의미한 것으로 나타나 본 연구에서 활용한 종속변수가 공간적 자기상관성이 존재함을 확인해주었다. 또한 모형 적합도 분석에서도 99% 수준에서 통계적으로 유의미한 것으로 나타나 도시의 외연적 확산이 자연재해 피해에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 두 변수 간 상호영향을 고려해야 한다는 점을 다시 확인해주었다. 뿐만 아니라 R-squared 값이 37.52%, Spatial Pseudo R-squared 값이 31.48%로 나타나 OLS에 비해 Spatial 2SLS 분석 모형이 더 적합하다는 것으로 판단할 수 있다. 일반적으로 사회과학에서 정량 분석 연구 시 R-squared 값이 30% 이상이면 모형 구성이 적절했다고 판단할 수 있는 바(서혜정 외, 2018) 본 연구의 모형도 적절히 구성된 것으로 판단된다.

이후 2SLS를 통해 90% 수준에서 통계적으로 유의미하다고 나타난 변수들(도시형태(SPLIT), 도시면적(CA), 10년간 강수량 평균(Average annual precipitation))과 10년간 연평균 호우피해액 데이터를 살펴보았다. 호우피해액이 높은 상위 10개 지역에서 도시형태(SPLIT) 변수가 가장 높은 4개 지역이, 도시면적(CA)이 넓은 상위 지역 1개가 포함되어 있어 도시면적뿐만 아니라 도시의 형태가 재해피해에 많은 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 피해액의 상위 지역 중 강원도 평창군, 정선군, 전라북도 진안군과 장수군의 SPLIT 변수가 높은 것으로 나타나 지역의 도시형태 및 개발 형태에 대한 검토가 필요한 것으로 판단된다.

V. 요약 및 결론

본 연구는 ‘도시의 형태가 자연재해 피해에 영향을 미치는가?’를 연구문제로 채택하고 두 가지 가설을 구축하였다. 첫 번째 가설은 “자연재해 피해와 도시의 형태는 서로 영향을 주어 내생성이 존재할 것이다.”이다. 이를 증명하기 위해 Durbin-wu Hausman Test를 통해 종속변수인 자연재해 피해와 독립변수인 도시 형태(SPLIT) 변수 사이에 내생성이 존재하는 것을 확인하였다. 또한 재해피해가 공간적으로 영향을 미친다는 선행연구에 따라 자기상관분석을 실시하고, 내생성과 공간적 자기상관을 동시에 고려할 수 있는 Spatial 2SLS를 분석 방법으로 선택했다. 두 번째 가설은 “도시화면적뿐만 아니라 도시형태로 인한 개발패턴 역시 자연재해 피해에 유의한 영향을 줄 것이다.”로 도시화 면적을 통

제변수로 도시형태 변수를 설명변수로 설정하고 분석을 실시하였다. 그 결과 도시형태 변수는 0.05 미만, 도시화 면적이 0.1 미만의 유의 수준을 보여줌으로 0.1미만의 유의수준에서 도시면적과 형태 모두 통계적으로 유의성을 보임으로, 도시가 분산된 형태인지 연결성이 높은 형태로 배치되어 있는지가 재해피해에 영향을 미친다는 연구 가설을 증명하였다. 2개의 가설에 대한 결과를 취합하면 도시형태는 자연피해에 영향을 미치고, 자연피해 이후 도시가 분산되는 악순환이 지속된다면 변화하는 기후변화로 인한 피해가 증가할 것이라는 것을 예측할 수 있다.

Brody et al.(2013), 강승원 외(2019)의 연구와 더불어 본 연구의 결과를 통해 확산된 도시형태가 재해피해에 (+) 영향력을 나타내고 있음을 증명하였다. 보다 레질리언스한 도시를 위해 고밀도의 연결성 높은 도시 형태가 필요함을 제안한다. 더불어 노출이 높은 곳에 제대로 된 규제가 함께 작동해야함을 제안한다. Burby et al.(2001)는 성장관리정책을 시행하는 정부들이 토지 이용을 규제하여 도시의 형태를 관리했음에도 불구하고 높은 수준의 재난 손실을 경험하며, 이러한 결과는 규제정책 자체가 잘못되었기보다는 자연재해 위험 노출이 높은 곳에 제대로 된 규제가 함께 작동되어야 피해를 감소시킬 수 있음을 밝혔다. 성장관리정책이 토지의 경제적 비용이 증가함에 따라 문제가 발생할 수 있음(Burby et al., 2001)과 교통에너지 효율 및 대기오염 등을 고려한 보다 지속가능한 도시 형태를 위해 분산된 집중(Decentralized Concentration) 형태의 도시를 제의해 본다(김승남 외 2009).

또한 도시의 형태를 고려하지 않은 타 연구에서는 불투수면적으로 정의되는 도시화 면적이 자연재해에 주요 요인으로 나타나고 있다. 호우로 인한 도시홍수에 대응하기 위해 도시의 물순환을 개선시켜 나가야 할 것이다. 강정은 외(2014)는 그린인프라의 물순환 개선기능과 방재적 측면에 집중하여, 홍수 취약 지역에 적합한 그린인프라 계획모형을 제안했다. 그린인프라의 예시로 자연녹지 공간, 도시에서 형성한 녹지 및 공원, 빗물관리를 위한 저영향개발(LID) 기법과 시설들을 제시하였다. Alves et al.(2019)은 그린-블루 인프라의 홍수 위험감소 외 물절약, 냉각 사용량 감소를 통한 에너지 절약, 대기질 개선, 탄소저감과 같은 여러 가지 혜택을 고려하였을 때, 전통적으로 제안되는 구조적저감 대책보다 효익이 더 높은 것을 밝혀냈다. 개발의 밀도가 높은 지역은 기본적으로 도시에 대응하는 인프라 또한 갖추어져 있는데, 자연적인 물순환과 기후변화를 고려하여 그린인프라를 최대한 확충해 나가야 한다.

본 연구에서 차별성으로 제안했던 자연재해와 도시형태의 내생성을 고려한다면, 재해 이후 발생하는 도시의 분산을 어떻게 관리할 것인가를 고민해보아야 한다. 도시의 분산이 일어나는 영향 원인을 밝혀내기 위해, 후속적으로 대규모 자연재해가 발생한 지역에 대한 심도 깊은 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 재해

로 인해 발생하는 임시·영구 이주민 개개인을 대상으로 한 질적 연구가 함께 수행된다면, 재해에 대해 레질리언스한 도시를 형성하기 위한 실질적 방안을 제안할 수 있을 것으로 기대된다.

- 주1. 정부는 2020년 8월 24일에 집중호우로 큰 피해를 입은 20개 시·군·구, 36개 읍·면·동 특별재난지역 선포(3차)하였다.(행정안전부 보도자료)
주2. 경남과 강원도는 대규모 태풍 및 호우 이후 집단이주를 추진 및 과정을 진행하였다. 이러한 자료는 부산일보, 매일일보, 강원일보 등 언론을 통해 공개되었다.

인용문헌

References

1. 기상청, 2018. 「한반도 기후변화 전망분석서」, 서울.
Korea Meteorological Administration, 2017. *Analysis of Climate Change Forecasts on the Korean*, Seoul.
2. 강승원·이달별·정주철, 2019. “도시개발 패턴이 자연재해 피해에 미치는 영향: 경관지수를 이용하여”, 「환경정책」, 27(4): 189-210.
Kang, S.W., Lee, D.B., and Jung, J.C., 2019. “The Impact of Urban Development Patterns on Natural Disaster Damages”, *Journal of Environmental Policy and Administration*, 27(4): 189-210.
3. 강정은·이명진·구유성·조연희, 2014. “도시물순환 개선을 위한 그린인프라 계획 프레임워크 개발 및 시범적용-부산시 연제구 및 남구를 대상으로”, 「환경정책연구」, 13(3): 43-73.
Kang, J.E., Lee, M.J., Koo, Y.S., and Cho, Y.H., 2014. “Development and Application of Green Infrastructure Planning Framework for Improving Urban Water Cycle: Focused on Yeonje-Gu and Nam-Gu in Busan”, *Journal of Environmental Policy and Administration*, 13(3): 43-73.
4. 김승남·이경환·안건혁, 2009. “압축도시 공간구조 특성이 교통에너지 소비와 대기오염 농도에 미치는 영향”, 「국토계획」, 44(2): 231-246.
Kim, S.N., Lee, K.H., and Ahn, K.H., 2009. “The Effects of Compact City Characteristics on Transportation Energy Consumption and Air Quality”, *Journal of Korea Planning Association*, 44(2): 231-246.
5. 서만훈·이재송·최열, 2016. “공간적 자기상관성과 도시특성 요소를 고려한 자연재해 피해 분석”, 「대한토목학회논문집」, 36(4): 723-733.
Seo, M.H., Lee, J.S., and Choi, Y., 2016. “Estimation of the Natural Damage Disaster Considering the Spatial Autocorrelation and Urban Characteristics”, 36(4): 723-733.
6. 서혜정·정주철·이달별, 2018. “지방정부 재정이 자연재해피해에 미치는 영향에 관한 연구”, 「한국방재학회논문집」, 18(3): 381-389.
Seo, H.J., Jung, J.C., and Lee, D.B., 2018. “The Impact of Local Financial Capability on Damage from Natural Disasters”, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, 18(3): 381-389.

7. 양재석·송하진·강경빈·권민지·신휴석, 2018. “복합시설 접근성을 이용한 대도시권 스프롤 측정: 광주광역시권을 사례로”, 「한국도시지리학회지」, 21(1): 77-91.
Yang, J.S., Song, H.J., Kang, K.B., Gwon, M.J., and Shin, H.S., 2018. “Metropolitan Sprawl Measures Using Multi-Facility Accessibility: A Case Study of Gwangju Metropolitan Area”, *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 21(1): 77-91.
8. 오규식·구자훈·조창제, 2005. “도시형태 구성요소가 지역별 대기오염에 미치는 영향: 서울시를 사례로”, 「국토계획」, 40(3): 159-170.
Oh, K.S., Koo, J.H., and Cho, C.J., 2005. “The Effects of Urban Spatial Elements on Local Air Pollution”, *Journal of Korea Planning Association*, 40(3): 159-170.
9. 이경주·권일, 2012. “비도시 지역의 공장 개별입지 난개발에 관한 실증적 분석”, 「한국지역개발학회지」, 24(5): 145-159.
Lee, K.J. and Gwon, I., 2012. “Empirical Study on Examining the Haphazard Land Use Pattern due to Unplanned Locations of Industrial Firms at the Urban Fringe”, *Journal of The Korean Regional Development Association*, 24(5): 145-159.
10. 이달별, 2020. “대규모 자연재해의 근린 다양성에 미치는 영향”, 「한국방재학회논문집」, 20: 71-78.
Lee, D.B., 2020. “The Impacts of Large Natural Hazards on Neighborhood Diversity”, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, 20: 71-78.
11. 이미연·홍종호, 2016. “패널모형을 이용한 자연재해 피해의 결정 요인에 관한 고찰”, 「한국방재학회논문집」, 16(4): 247-257.
Lee, M.Y. and Hong, J.H., 2016. “Analysis of the Determining Factors on Natural Disaster Damage Using Panel Model”, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, 16(4): 247-257.
12. 임수진·김감영, 2015. “도시 스프롤 측정 방법으로서 밀도 기반 스프롤 지수 특성 평가”, 「한국도시지리학회지」, 18(2): 67-79.
Lim, S.J. and Kim, K.Y., 2015. “Evaluating Characteristics of Sprawl Index Based on Population Density as a Measure of Urban Sprawl”, *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 18(2): 67-79.
13. 임은선·이종열·이희연, 2006. “도시성장관리를 위한 공간구조의 확산-압축패턴 측정”, 「국토연구」, 51: 223-247.
Lim, E.S., Lee, J.Y., and Lee, H.Y., 2006. Measurement of Urban Form in Urban Growth Management: Urban Sprawl versus Compactness, *The Korea Spatial Planning Review*, 51: 223-247.
14. 장창호·송재민, 2020. “밀도가 높은 도시는 근접성이 좋은가?: 야간조명데이터와 POI 빅데이터를 활용한 세계 도시 압축 특성 비교”, 「국토계획」, 55(6): 5-20.
Jang, C.H. and Song, J.M., 2020. “Do High-Density Cities Have Better Proximity?: Global Comparative Study on Urban Compactness Using Nighttime Light Data and POI BIG Data”, *Journal of Korea Planning Association*, 55(6): 5-20.
15. 정준호·허인혜, 2014. “자연재해 직접 피해액의 추세 및 그 결정 요인에 대한 분석: 강원도의 사례”, 「사회과학연구」, 53(1): 77-99.
Jung, J.H. and Heo, I.H., 2014. “An Analysis of the Time Trend of Direct Economic Damages from Natural Disasters and Their Determinants: The Case of Gangwon-do”, *Journal of Social Science*, 53(1): 77-99.
16. 최충익, 2003. “도시적 토지이용의 변화가 도시의 자연재해 취약성에 미치는 영향에 관한 연구-경기도를 사례로-”, 「국토계획」, 38(2): 35-48.
Choi, C.I., 2003. “A Study on Natural hazards Vulnerability in Urban Area by Urban Land Use Change-In case of Kyonggi Province-”, *Journal of Korea Planning Association*, 38(2): 35-48.
17. 최충익, 2004. “패널모형에 의한 도시지역 수해결정요인 분석”, 「국토계획」, 39(7): 49-67.
Choi, C.I., 2004. “Panel Models about Determining Factors of Urban Flood Damages”, *Journal of Korea Planning Association*, 39(7): 49-67.
18. 하경준·정주철, 2017. “도시화와 강우량이 도시홍수 피해에 미치는 영향에 관한 연구”, 「국토계획」, 52(4): 237-252.
Ha, K.J. and Jung, J.C., 2017. “The Impact of Urbanization and Precipitation on Flood Damages”, *Journal of Korea Planning Association*, 52(4): 237-252.
19. Afifi, T. and Jäger, J. (Eds.), 2010. *Environment, Forced Migration and Social Vulnerability*, Springer Science & Business Media.
20. Alves, A., Gersonius, B., Kapelan, Z., Vojinovic, Z., and Sanchez, A., 2019. “Assessing the Co-Benefits of Green-blue-grey Infrastructure for Sustainable Urban Flood Risk Management”, *Journal of Environmental Management*, 239: 244-254.
21. Belcher, J.C., Bates, F.L., 1983. “Aftermath of Natural Disasters: Coping through Residential Mobility”, *Disasters*, 7(2): 118-128.
22. Bereitschaft, B. and Debbage, K., 2013. “Urban form, air pollution, and CO2 emissions in large US metropolitan areas”, *The Professional Geographer*, 65(4): 612-635.
23. Brody, S.D., Highfield, W.E., Blessing, R., Makino, T., and Shepard, C.C., 2017. “Evaluating the Effects of Open Space Configurations in Reducing Flood Damage along the Gulf of Mexico Coast”, *Landscape and Urban Planning*, 167: 225-231.
24. Brody, S.D., Kim, H., and Gunn, J., 2013. “Examining the Impacts of Development Patterns on Flooding on the Gulf of Mexico Coast”, *Urban Studies*, 50(4): 789-806.
25. Burby, R.J., Beatley, T., Berke, P.R., Deyle, R.E., French, S.P., Godschalk, D.R., and Paterson, R.G., 1999. “Unleashing the Power of Planning to Create Disaster-resistant Communities”, *Journal of the American Planning Association*, 65(3): 247-258.
26. Burby, R.J., Nelson, A.C., Parker, D., and Handmer, J., 2001. “Urban Containment Policy and Exposure to Natural Hazards: Is There a Connection?”, *Journal of Environmental Planning and Management*, 44(4): 475-490.
27. Cigler, B.A., 2009. “Post-Katrina Hazard Mitigation on the Gulf Coast”, *Public Organization Review*, 9(4): 325.
28. EPA(U.S. Environmental Protection Agency), 2013. *Water-Smart Landscapes*, Washington, DC: EPA.
29. Ewing, R., Pendall, R., and Chen, D., 2003. “Measuring Sprawl and Its Transportation Impacts”, *Transportation Research Record*, 1831(1): 175-183.
30. Hunter, L.M., 2005. “Migration and Environmental Hazards”, *Population and Environment*, 26(4): 273-302.
31. IPCC, 2019. *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*

32. Irwin, E.G. and Bockstael, N.E., 2007. "The Evolution of Urban Sprawl: Evidence of Spatial Heterogeneity and Increasing Land Fragmentation", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52): 20672-20677.
33. Jaeger, J.A.G., 2000. "Landscape Division, Splitting Index, and Effective Mesh Size: New Measures of Landscape Fragmentation", *Landscape Ecology*, 15(2): 115-130.
34. Jang, S.W. and Jung, J.C., 2020. "Segmentation of Control Areas and Land Fragmentation in Non-Urban Area: Focusing on Hwaseong", *Journal of Korea Planning Association*, 55(3): 17-28.
35. Kang, J.E., Yoon, D.K., and Bae, H.J., 2019. "Evaluating the Effect of Compact Urban form on Air Quality in Korea", *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(1): 179-200.
36. Kates, R.W., 1971. "Natural Hazard in Human Ecological Perspective: Hypotheses and Models", *Economic Geography*, 47(3): 438-451.
37. Kropf, K., 2009. "Aspects of Urban Form", *Urban Morphology*, 13(2): 105.
38. Lewis, R. and Knaap, G.J., 2012. "Targeting Spending for Land Conservation: An Evaluation of Maryland's Rural Legacy Program", *Journal of the American Planning Association*, 78(1): 34-52.
39. Morrow-Jones, H.A. and Morrow-Jones, C.R., 1991. "Mobility Due to Natural Disaster: Theoretical Considerations and Preliminary Analyses", *Disasters*, 15(2): 126-132.
40. Pais, J.F., and Elliott, J.R., 2008. "Places as Recovery Machines: Vulnerability and Neighborhood Change after Major Hurricanes", *Social Forces*, 86(4): 1415-1453.
41. Shahraki, S.Z., Sauri, D., Serra, P., Modugno, S., Seifolddini, F., and Pourahmad, A., 2011. "Urban Sprawl Pattern and Land-use Change Detection in Yazd, Iran", *Habitat International*, 35(4): 521-528.
42. McGarigal, K., 2017. "Landscape metrics for categorical map patterns. Lecture Notes", Accessed July 3 2018. http://www.umass.edu/landeco/teaching/landscape_ecology/schedule/chapter9_metrics.pdf
43. Busan Ilbo, "Typhoon Damaged Wahyeon Village Group Immigrants Release", Accessed January 22, 2020. <http://www.busan.com/view/busan/view.php?code=20051019000173>
44. Maeilkyungje, "[Typhoon 'Maemi' 1 Year] (3) Recovery of damage in Gyeongnam Province", Accessed January 22, 2020. <https://www.mk.co.kr/news/home/view/2004/09/315958/>
45. Kangwondominilbo, "Will 'Group Migration' be held in Igilri, Cheolwon", Accessed January 22, 2020. <http://www.kado.net/news/articleView.html?idxno=1042822>

Date Received	2020-09-21
Reviewed(1 st)	2021-12-10
Date Revised	2021-03-04
Reviewed(2 nd)	2021-03-10
Date Accepted	2021-03-10
Final Received	2021-03-18