pISSN : 1226-7147 eISSN : 2383-9171
http://dx.doi.org/10.17208/jkpa.2017.08.52.4.237

Journal of Korea Planning Association Vol.52, No.4 (2017)
대한국토·도시계획학회지「국토계획」제52권 제4호 p.237~252

도시화와 강우량이 도시홍수 피해에 미치는 영향에 관한 연구*

The Impact of Urbanization and Precipitation on Flood damages

하경준** · 정주철***
Ha, Gyoungjun · Jung, Juchul

Abstract

The study aims to conduct theoretical verification of the impact that urbanization and precipitation has on flood damages in urban areas. The study works with the following hypotheses, it assumes that in describing the impact of urbanization and precipitation on flood damages, a exponential-linear model is more appropriate than a classical-linear model. And, it assumes that in the exponential-linear model, flood damages on the impact of urbanization and precipitation will be increased rapidly. An analysis of the hypotheses that used a statistical analysis model has resulted in the following. As a result of verifying the basic hypothesis of the regression function, the heteroscedasticity and autocorrelation, both were analyzed as valid. As a result, with panel GLS model, it was analyzed that when the impervious area increased by 10%, the flood damages amount increased by 19.7%, and when the rainfall amount increased by 10%, the flood damages amount increased by 13.6%. Next, the analysis of the baseline statistic of urban flood damages, which is the dependent variable used in this study, analyzed the panel tobit model together because the ratio of 0 was more than 50%. As a result, urban flood damages increased by 29% while urbanization (impervious area) progressed by 10%, and urban flood damages increased by 44% when rainfall increased by 10%.

키 워 드 ■ 도시홍수, 도시화, 강우량, 지수선형모형, 패널GLS모형, 패널토빗모형
Keywords ■ Flood, Urbanization, Precipitation, Exponential-Linear Model, Panel GLS Model, Panel Tobit model

Ⅰ. 연구의 배경 및 목적

1960년 국내 도시화율이 39.1%에서 2014년 기준 91.7%까지 확대되었다(국토교통부, 2015). 같은 기간, 자연재해 피해 또한 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 국내 자연재해피해 추이를 살펴보면, 최근 10년('99~'08)동안 자연재해로 인해 연평균 약 1.9조 원의 재산피해를 경험했으며, 이는 과거 20년('79~'98) 연평균 피해액의 약 6배에 달한다(국민안전처, 2009; 강정은 외, 2011). 도시화에 따라 자연재해 피해가 확대되고 있는 근거는 과거부터 현재까지 두 요인의 변화 곡선의 상관성을 살펴보더라

* 본 논문은 주저자의 박사학위논문 일부를 수정·보완한 것이며 환경부「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었습니다.
** Pusan National University(First author: hkj13579@hanmail.net)
*** Pusan National University(Corresponding author: jcjung@pusan.ac.kr)

도 충분히 인지 할 수 있을 것이다. 또한 국내외 자연재해 사례를 분석하면 이는 더 명확해진다.

2005년 8월 미국 남동부를 강타한 허리케인 카트리나(Hurricane Katrina)는 2,541명이 사망 또는 실종되고 총 피해액이 2천억이 넘는 미국 역사상 최대규모의 자연재해를 유발하였다(Levine, 2007). 특히 80% 이상이 해수면보다 지대가 낮은 뉴올리스언스(New Orleans)에서 가장 피해가 크게 발생하였다(Burby, 2006). 뉴올리스언스(New Orleans)는 대표적으로 도시화에 따른 자연재해의 위험성이 확대되어 온 사례로 손꼽히고 있다. 이렇듯 과거에 비해 자연재해의 위험성이 확대되어 온 원인 중에 하나로 도시개발 확대에 따른 불투수면적의 확대가 주 원인 임을 밝히는 이론이 제시되어 왔다(Burby et al. 1985; Eliasson, 2000; OECD, 2009; WDR, 2010; 정주철, 2007).

또한 최근 온실가스 배출량의 증가에 따른 범지구적인 기후변화 문제가 이슈화되고 있다(IPCC, 2011). 기후변화에 의해 단시간에 많은 강우량을 동반한 집중강우의 빈도가 들어나고 도시홍수피해로 확대되고 있다(World Bank, 2009; IPCC, 2011). 최근 동아시아에서 발생한 집중강우가 기후변화에 따른 자연재해 피해의 전조현상으로 보고 있다(World Bank, 2009). 이러한 집중강우는 도시화에 따른 불투수면적의 증가함에 따라 지표유출수(Runoff)가 증가하여 더욱이 도시홍수피해를 가속화 시키고 있다(Satterthwaite, 2011).

기존 도시홍수 피해에 관한 연구 중 도시화가 홍수피해에 미치는 영향을 살펴보면, 도시화와 강우량의 영향을 별도의 변수로 인식하고 있다(Brody et al., 2007; Kang, 2009; 최충익, 2004). 즉, 도시화와 강우량이 홍수피해에 미치는 이론적 모델을 일차선형함수 관계로 인식하고 있다. 따라서 하나의 변수가 고정적일 때, 도시홍수는 다른 하나의 변수의 영향에만 의존된다고 볼 수 있다. 예를 들어, 강우량이 고정적이라고 할 때, 홍수피해는 도시화의 정도에 의해서만 영향을 받는, 일차식의 기울기 계수가 산출되는 것이 기존 연구의 관계식이다.

하지만 수문학 분야의 연구에 따르면, 홍수피해에 절대적 영향을 미치는 지표유출수는 집중강우에 따른 지표면의 속성 및 면적에 의해 결정된다(Randolph, 2015). 즉, 홍수피해는 지표면의 속성과 집중강우의 복합적 영향에 의해 발생 한다는 것이다. 따라서 홍수피해는 기존 도시화와 집중강우의 개별적 영향으로 보는 모델이 아니라 두 요인의 복합관계에 의해 발생하는 모델 일 것이라는 이론적 의문을 가지게 된다. 본 연구는 이러한 이론적 고찰의 결과에서 시작되었다.

본 연구의 목적은 도시홍수 피해에 미치는 도시화와 강우량의 영향을 검증 하는 것이다. 본 연구는 도시홍수 피해는 도시화와 강우량의 개별적 인자에 영향을 받는 것이 아니라 복합적인 관계에 의해 영향을 받을 것이라는 이론적 가설을 검증하는 것이다. 나아가 본 연구는 연구 결과를 기반으로 향후 도시화와 기후변화에 따른 위험성과 이를 저감하기 위한 정책적 제언을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 이론 및 선행연구 고찰

1. 도시화와 자연재해 관계의 이론적 고찰

도시화는 인구의 집중에 따른 도시 공간의 변화 양상을 일컫는 개념이다(Satterthwaite, 2011). 특히 도시화가 활발히 진행되었던 산업혁명 이후의 도시는 산업을 발전시키기 위해 공장을 건설하고 몰려드는 인구의 거주지를 확충하며 생산한 제품을 수송하기 위한 교통망 정비 등이 주된 도시 내의 활동 이라 할 수 있다(Mair, 1986). 따라서 도시의 기반시설은 건설이 용이하고, 내구성이 강한 재료로

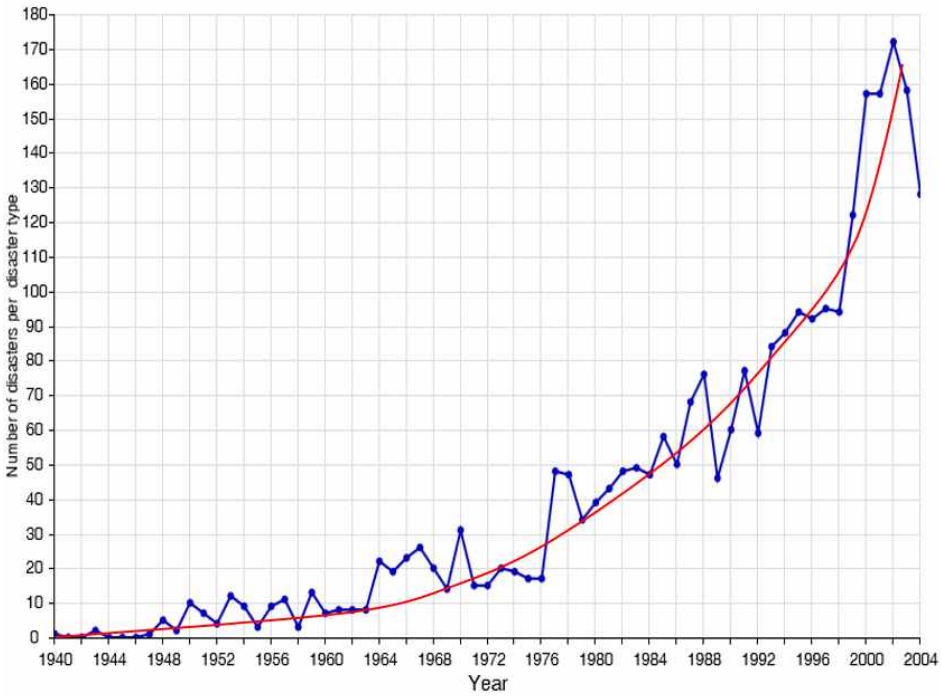

Figure 1. Total Number of reported Natural Disasters(Flood) between 1940 and 2004
Source : http://www.emdat.be/disaster_trends/

채워지기 시작하였고 기술이 발달함에 따라 시멘트, 아스팔트의 종류가 주를 이루게 되었다. 일명 회색 도시화(Gray City)가 진행되었다(Dekay et al., 2001). 이러한 재료는 내구성이 강하고 작업이 편리한 장점이 있으나 투수력이 없어 집중강우 시 빗물이 지표 위로 급격히 흐르는 현상(Runoff)을 유발한다(EPA, 2013).

또한 과거 도시는 집중강우에 대비한 하수관거 등의 기반시설을 도입하여 대비하였지만 최근 예측하지 못한 집중강우에 기반시설의 용량이 따라가지 못하는 실정이다(Godschalk et al, 1999). 인간의 기술력은 자연현상으로부터 재해를 대비하기 위해 제방을 축조하거나 하수관거를 확장하는 방식의 대안이 주를 이루었다. 이러한 현상은 아이러니하게도 자연재해로부터 위험한 지역의 개발을 부추기는 결과를 낳았다(Burby, 1998; Mileti, 1999). <Figure 1>을 살펴보면, 도시화가 급격히 진행 된 1940년 이후 전세계의 홍수 발생 빈도가 지수함수 모형과 같이 급격히 증가하였다. 이는 현대 도시가 자연재해를 대비하는 기술력이 높아진 반면, 자연재해로부터 위험 노출이 과거에 비해 높아졌음을 시사한다. Randolph (2015)는 위험지역으로의 도시 확장이 침수위험의 확대를 야기했다는 연구 이론을 제시하였다. 또한 Burby(1998)는 현대의 도시는 자연재해를 방어하는 도시가 아닌, 자연재해를 대비하고 적응하여 피해를 저감 할 수 있는 방향으로 도시의 패러다임이 변화해야 한다고 주장하고 있다.

선행연구에서는 경험적 이론을 통해 도시화의 진행이 자연재해 피해를 확대시키고 있다는 것을 충분히 밝히고 있다. 보다 구체적으로 도시화에 따른

자연재해 피해에 대해 정량적 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Coutu(2007)는 도시화가 도시유출수에 미치는 영향을 검증을 위해 Pennsylvania에 위치한 크릭수계(Creek Watershed) 사례지역으로 분석한 결과, 도시화는 자연재해에 정(+)의 방향으로 영향을 미치는 것을 밝혔다. 본 연구의 내용을 해석하면, 도시화가 33.36% 진행하는 동안 도시유출수가 32.94% 확대된 것으로 분석되었다. Coutu(2007)는 도시화의 조작적 정의로 '녹지가 도시지역으로 변경된 면적'으로 정의하였다. 또한 최충익(2004) 연구에서는 도시화가 자연재해 피해에 결정적인 변수로 영향을 미치는 것으로 분석하였으며, 도시화는 불투수면적, 자연재해는 홍수피해액으로 각각 정의하여 분석하였다. 이 외의 연구에서도 자연재해 피해를 산정하기 위해 사용한 조작적 정의로 홍수피해액을 제시하였으며, 자연재해피해에 미치는 독립변수로 불투수면적을 사용하고 있다(Brody et al., 2007).

2. 도시홍수피해에 미치는 영향에 관한 이론 고찰

자연재해는 도시의 다양한 요인에 의해 복합적으로 발생한다(Blaikie, 1994). 도시홍수는 짧은 시간 집중되는 강우에 의해 유발되며 도시의 유형 등에 의해 피해 규모가 달라지는 경향을 보인다(IPCC, 2007). 따라서 도시홍수피해에 미치는 요인에 대한 선행연구를 살펴보면, 도시의 불투수면적과 강우량을 중점적으로 다루고 있다.

Schwab et al.(1998)와 Brody et al.(2007)는 도시홍수피해에 영향을 미치는 주요요인으로 강우빈도, 강우강도 등을 포함하는 자연환경(Natural Environment Factors)요인과 불투수면적, 제방 등을 포함하는 건조환경(Built Environment Factors) 요인 및 인구, 제정 등을 포함하는 사회경제적(Socio-economic Factors)요인으로 구분하고 있다. 특히 Brody et al.(2007)는 텍사스(Texas)를 사례지역으로 홍수피해에 미치는 요인을 분석 한 결과, 자연환경(Natural Environment Factors)요인 중 강우량과 홍수기간이 유효한 변수로 분석되었으며, 건조환경(Built Environment Factors)요인 중에서는 불투수면적, 습지변화, 제방이 유효한 변수로 분석되었다. Kang(2009)은 플로리다를 사례지역으로 종합계획(Comprehensive Planning)이 홍수피해저감에 영향을 미치는 영향을 분석하면서, Schwab et al.(1998)의 3가지 분야의 요인을 통제변수로 적용하여 통계분석을 수행하였다. 분석결과, 홍수터 면적, 해안까지의 거리, 습지 변화, 제방, 보험정책이 통계적 유의성을 가지는 것으로 분석되었다.

국내 연구를 살펴보면, 최충익(2004)은 자연재해에 영향을 미치는 요인으로 강우량, 인구, 하천면적, 토지면적의 영향을 분석하였다. 분석 결과, 강우량, 인구, 하천면적, 토지면적 모두 통계적으로 유의한 변수로 해석되었다. 이미연(2015)은 자연재해에 영향을 미치는 요인으로 지역내총생산, 1인당 주민세액, 재정자립도, 하천면적, 강우량 등을 주요 요인으로 제시하였다. 연구결과, 1인당 주민세액, 하천면적, 불투수면적, 지방정부 방재예산, 강우량이 자연재해 피해액에 영향을 미치는 변수로 분석되었다. 또한, 정준호 외(2014)와 오준범 외(2014) 연구에 따르면, 자연재해에 관한 피해액 추정 시 패널토빗 모델을 활용하고 있으며 이는 연구의 방법론적 측면에서 시사점이 있다.

앞서 살펴본 도시홍수피해에 영향을 미치는 요인 중 도시 불투수면적과 강우량은 도시홍수피해에 각각의 독립된 변수로 영향을 주는 것으로 해석하고 있다. 즉 도시 불투수면적과 자연재해 피해는 정(+)의 영향을, 강우량과 자연재해 피해 또한 정(+)의

Table 1. Models and Significant Variables for Flood-caused Damage

Classification Scheme	Models	Significant Variables		
		Natural Environment	Built Environment	Socio-economic
Brody et al.(2007)	Linear Model	Precipitation Duration of Flood	Impervious Surface Wetland Alteration Dams	FEMA rating
Kang(2009)	Linear Model	Floodplain Area Costal Location	Wetland Permit Dams	Insurance Policy
Choi(2003)	Linear Model	Precipitation River	Landuse	Population
Lee(2015)	Linear Model	Precipitation River	Impervious Surface	Tax financial independence rate Budget

영향을 주는 것으로 해석되어진다. 따라서 도시 불투수면적과 강우량은 각각이 서로 독립적으로 도시홍수에 영향을 미치며 이를 일차선형함수 관계로 가정하고 있다(Table1). 하지만, 수문학적 이론 관점에서는 도시홍수는 강우량과 불투수면적의 복합적 영향에 따라 지표유출수에 의해 발생되며 지표유출수를 산정하는 식은 강우량과 불투수면적의 곱으로 정의하고 있다(Randolph, 2015). 따라서 기존 연구에서 불투수면적과 강우량을 일차선형함수로 보는 연구에 수문학적 이론이 줄 수 있는 논쟁이 있을 수 있다.

3. 지표유출수에 관한 수문학적 이론

일반적인 자연환경에서 비가 내렸을 경우, 빗물의 40%가 증발(Evapotranspiration)하고, 50%가 지하로 흡수(Infiltration)되며, 10%만이 지표면으로 유출(Runoff)된다(Randolph, 2015). 이것이 기본적인 수문학적 순환 과정이다. 연구에 따르면 도시화에 따라 불투수면적이 증가하면 지표유출수(Runoff)가 급격히 증가 할 것으로 예측하고 있다(Randolph, 2015). Randolph(2015)는 10~20%의 불투수면적이 증가했을 때, 지표유출수가(Runoff)가 20%까지 증가할 것으로 예측하며, 도시의 불투수면적이 75~100%일 경우, 지표유출수가 55%까지 증가 할 것으로 추정한다. 따라서 도시화 이전과 이후의 지표유출수가 확연히 차이가 발생한다.

도시에서 발생하는 도시홍수 피해는 단순히 강우량에 의해 결정된다고 할 수는 없다. 물론 강우량이 절대적인 영향을 미치는 것은 확실하다. 이미 현대도시는 적정 강우량을 통제할 수 있는 기반시설을 구축한 상태이다. 하지만 도시침수가 발생하는 이유는 강우량과 강우가 지속되는 시간이 복합적으로 발생 했을 때, 위험성이 존재한다는 것이다. 이를 첨두유량(Peak Discharge)이라고 한다. 즉 짧은 시간에 집중적으로 내리는 강우가 도시침수의 주요한 원인이 되는 것이다(Randolph, 2015). 예를 들어, 두 공간에 내리는 강우를 시뮬레이션 한다면 같은 강우량이라 할지라도, 집중적으로 짧은 시간에 내리는 강우가 재해피해를 야기 시킨다고 할 수 있다. 따라서, 도시공간의 침수피해 발생은 불투수면적 증가로 인한 첨두유량의 증가가 주요 원인으로 분석되고 있다(Bronstert et al., 2002).

그렇다면 도시공간에서 첨두유량에 미치는 요인은 무엇인가. Mubraney's 공식을 바탕으로 Kuichling에 의해 정립된 토지이용 형태와 첨두유

$$Q = CiA \text{ (식 1)}$$

$Q = peak\ discharge (cubic\ ft\ per\ second)$
$C = runoff\ coefficient$
$(based\ on\ land\ cover)$
$i = rainfall\ intensity (inches/hour)$
$A = drainage\ area (acres)$

량의 상관관계식(합리식:Rational Method)을 살펴보면, 첨두유량은 토지이용형태에 따른 지표유출계수와 강우량, 그리고 배수면적의 곱으로 정의하고 있다(식 1). 본 상관관계식(Rational Method)은 지표유출수를 평가하는 기본적인 방법이면서 지표유출수를 모델링하는 프로그램의 근간으로 평가받고 있다(Randolph, 2015).

본 방정식에서 지표유출계수(Runoff Coefficient)는 토지이용 형태에 의해 결정되며, 0.05에서 0.95까지 유형별 계수가 적용된다. 토지이용 형태는 크게 도시지역, 녹지지역으로 구분되며, 도시지역의 지표유출계수는 0.9, 녹지지역의 유출계수는 0.05로 정의된다. 강우강도는 시간당 내리는 강우량으로 정의되며 면적은 배수면적으로 정의된다. 따라서 지표유출계수와 면적의 곱은 간단하게 도시의 불투수면적으로 치환할 수 있다(Figure 2). 이를 수식으로 표현하면 다음 (식2)와 같다.

$$Q = impervious \times rainfall \text{ (식2)}$$

4. 선행연구 종합 및 연구질문

앞서 제시한 선행연구를 종합하면 다음과 같은 결론을 정립할 수 있다. 첫째 도시화에 따라 불투수면적이 증가하였고 이는 도시홍수 피해를 확대시켰다. 둘째, 도시홍수 피해에 영향을 미치는 영향에 관한 선행연구는 도시홍수피해와 변수들 간의 관계를 일차선형함수 모델로 가정하고 있다. 셋째, 수문학적 이론을 살펴보면, 도시홍수피해에 영향을 미치는 요인은 첨두유량이며, 첨두유량은 토지이용 형태에 따른 지표유출계수, 강우량, 배수면적의 곱으로 정의된다.

현재의 자연재해 피해가 확대되는 것은 도시화가 확대 현상에 기인한 것으로 볼 수 있다. 또한 자연재해는 강우량이라는 절대적 요인에 영향을 받는다. 기존 선행연구는 도시화와 강우량이 도시홍수피해에 미치는 관계를 일차선형함수 관계로 인식하고 분석하였다. 하지만 도시홍수피해는 도시화에 따른 불투수면적에 강우량이 집중되면서 발생하는 첨두유량이 주요 원인이라는 이론을 대입하면, 도시화와 강우량이 서로의 곱에 의해 영향을 미친다는 이론적 가설을 성립 할 수 있다. 이 이론을 관계식으로 정립하면 도시홍수피해와 도시화 및 강우량의 이론적 관계 모델을 지수함수 모델로 가정하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 도시홍수피해에 영향을 미치는 도시화와 강우량의 지수함수 관계 모형을 검증해보고자 한다.

$$Q(peak\ discharge) \rightarrow flood$$
$$impervious \times rainfall \rightarrow flood$$

Figure 2. Relationship between flood and peak discharge

Ⅲ. 연구설계

1. 가설 설정

본 연구는 도시화와 강우량이 도시홍수피해에 미치는 이론적 모델에 대한 검증을 목적으로 한다. 기존 연구에서 도시화와 강우량은 도시홍수에 미치는 영향을 일차선형함수 모델로 가정하였다. 즉 기존 연구를 기반으로 관계식을 정립하면 다음 (식

$$y_i = \beta_1 + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + u_i \text{ (식 3)}$$

y_i = 도시홍수피해
x_{2i} = 도시화(불투수면적)
x_{3i} = 강우량

3)와 같다.

(식 3)에서 도시홍수피해가 종속변수(Dependent Variable)이며, 도시화와 강우량이 독립변수(Independent Variable)에 해당된다. 따라서 본 관계식에서 독립변수와 종속변수의 관계는 일차선형함수 관계에 해당된다.

하지만 기존 선형관계는 자연적인 홍수 발생 이치에 위배된다. 일반적으로 도시화가 0(자연상태) 또는 강우량이 0 일 때 홍수 피해는 발생하지 않는다. 하지만 <Table2>와 같이 기존 일차선형함수 모델에서는 강우량이 0일 때, 도시화가 0이 아니더라도 Y값인 홍수피해가 발생하는 문제가 있다.

본 연구는 선행연구에서 제시한 일차선형함수의 문제점을 인식하고, 홍수피해와 도시화, 강우량의 새로운 관계식을 검증하기 위해 다음과 같은 연구가설을 설정한다.

연구가설 : 도시홍수피해에 미치는 도시화와 강우량의 영향 관계는 지수함수 관계모델이며, 도시화와 강우량의 증가에 따라 도시홍수피해가 급격히 증가할 것이다.

따라서 본 연구는 기존 도시화와 강우량이 도시홍수피해에 미치는 관계식의 비판적 관점에서 Rational Method 이론에 근거하여 도시화와 강우량이 미치는 모델을 검증하고자 한다. 연구가설을 바탕으로 본 연구에서 제시하는 개념을 관계식으로 표현하면 (식 4)와 같으며, 그래프로 표현하면 다음 (Figure 3)과 같다. 또한 새로 정립한 지수함수모형 관계식은 <Table2>와 같이, 도시화가 0(자연상태) 또는 강우량이 0 일 때 홍수 피해는 발생하지 않는다. 따라서 <Table2>는 지수함수모형의 가정에 대해 통계적 기법 적용 이전에 수학적 관계식에 위배가 되는지를 우선적으로 밝혔다.

$$y_i = \beta_1 x_{2i}^{\beta_2} x_{3i}^{\beta_3} e^{u_i} \text{ (식 4)}$$

y_i = 도시홍수피해
x_{2i} = 도시화(불투수면적)
x_{3i} = 강우량

2. 공간적 범위 및 분석자료

본 연구의 분석 단위는 시·군·구로 한다. 2015년 기준 통계청 발표에 따르면 국내 시·군·구는 총

Table 2. Result of Linear and Exponential Model

Classification	Equation	Urbanization	Precipitation	Flood Damage
Linear Model	$y_i = \beta_1 + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + u_i$	$x_{2i} = 0$	$x_{3i} = 0$	$y_i = 0$
		$x_{2i} = 0$	$x_{3i} \neq 0$	$y_i \neq 0$
		$x_{2i} \neq 0$	$x_{3i} = 0$	$y_i \neq 0$
Exponential Model	$y_i = \beta_1 x_{2i}^{\beta_2} x_{3i}^{\beta_3} u_i$	$x_{2i} = 0$	$x_{3i} = 0$	$y_i = 0$
		$x_{2i} = 0$	$x_{3i} \neq 0$	$y_i = 0$
		$x_{2i} \neq 0$	$x_{3i} = 0$	$y_i = 0$

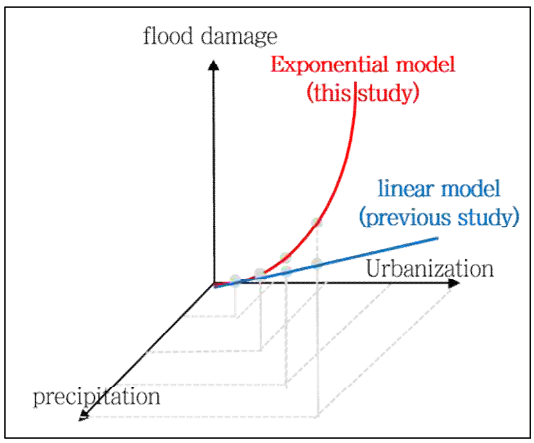

Figure 3. Hypothesis Graph of This Study
※본 그래프는 이해를 돕고자 도시화와 강우량이 일정하게 증가한다는 가정 하에 표현함

252개로 집계된다. 본 연구에서는 도시홍수에 미치는 도시화의 영향을 면밀히 살펴보기 위해, 도시지역으로 공간적 범위를 한정시키고자 한다. 현재 국민안전처에서 발간하는 재해연보 상의 홍수피해액은 도시홍수를 비롯하여 농작물 및 농경지 침수 피해 등이 포함되어 집계되고 있다(국민안전처, 2013). 따라서 본 연구의 목적인 도시홍수의 영향을 고려하기 위해서는 도시지역으로 한정하는 것이 바람직할 것이다. 본 연구에서는 도시지역으로 한정하기 위해 2014년 국내 도시화율(91.6%) 이상 도시화가 진행된 전국 시·군·구 104개를 연구 대상으로 선정하였다.

본 연구의 분석자료는 104개 시·군·구의 1995년부터 2014년까지의 20년간 시계열자료를 이용하였다. 또한 본 연구의 이론적 관계식인 (식4)에 따라, 종속변수는 도시홍수피해, 독립변수는 도시화(불투수면적), 강우량을 선정하였다. 도시홍수피해는 국민안전처에서 제공하는 재해연보 중 홍수피해액 자료를 사용하였으며, 불투수면적은 20년간 시계열 자료의 데이터 구축의 한계성이 높아 자료의 합리성을 확보하기 위해 선행연구(최충익, 2004)에서 제시하고 있는 시·군·구의 지목 중 대지, 도로, 공장용지의 합계 데이터를 사용하였다. 또한 선행연구에서 제시한 바와 같이, 도시홍수는 짧은 시간에 집중적으로 발생하는 강우에 의해 발생하므로, 일정량 이하의 강우량은 도시홍수에 큰 영향을 미치지 않는다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 호우주의보 시 기준(6시간 기준, 70mm이상)으로 일별 강우량을 합산하여 강우량으로 산정하였다(Table 3).

3. 분석모형

최근 사회과학 분야에서는 횡단면 데이터(Cross-Sectional)와 시계열 데이터(Time-Series)가 합성된 패널모델 분석이 활발히 사용되고 있다(이희연 외, 2013). 본 연구는 연구의 특성상 시·군·구의 공간단위를 기반으로 시계열 데이터를 통계적으로 분석하는 것이 횡단면 또는 시계열 연구의 유의성 보다 효과적이다. 따라서 본 연구에서는 전국 104개 횡단면 데이터와 20년간의 시계열 데이터를 이용하여 패널모델 분석을 이용하였다.

Table 3. Dependent and Independent Variables

Classification	Variables	Measure	Unit
Dependent Variable	Flood Damage	Flood Loss	1,000 Won
Independent Variables	Urbanization	Impervious Area	km^2
	Precipitation	Precipitation (Over 70mm/day)	mm

패널 모델은 개체특성 효과와 시간특성 효과를 고려 할 수 있으며, 두 가지 효과 중 하나만 고려하는 일원효과모델(One-way)과 개체특성과 시간특성을 함께 고려하는 이원효과모델(Two-way)효과모델로 구분된다(Gujarati, et. al., 2009; 이희연 외, 2013). 패널 모델의 간단하게 회귀모델로 표현하면 (식5)와 같다.

$$y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad (식5)$$
$$(\varepsilon = \mu_i + \lambda_t + \nu)$$

여기서 μ_i는 관찰되지 않은 개체특성 효과(individual effect)이며, λ_t는 관찰되지 않은 시간특성 효과(time effect)를 의미한다. 본 연구에서 개체특성 효과는 도시홍수피해에 미치는 영향 중, 관찰되지 않은 시·군·구 지역의 다양한 특성 효과를 확인 할 수 있으며, 시간특성 효과는 시·군·구의 시계열 효과에 의해 발생하는 영향을 모델에 고려할 수 있다. 또한 패널모델 분석에서는 각 효과가 고정적인지 확률적인지에 따라 고정효과(Fixed effect) 모델과 확률효과(Random effect)모델로 구분하여 분석할 수 있다(Gujarati, et. al., 2009; 이희연 외, 2013). 하지만, 회귀모델은 오차들의 분산이 등질성을 가져야 하며, 특정 개체의 서로 다른 시점에서의 오차항 사이에도 상관성이 없어야 한다(Gujarati, et. al., 2009, 이희연 외, 2013). 패널모델은 데이터 특성 상 오차항의 자기상관(autocorrelation) 및 이분산성(heteroscedasticity)의 문제들이 흔히 나타나므로, 반드시 기본가정에 대한 검증을 먼저 실시하여야 한다(이희연 외, 2013) 따라서 본 연구에서는 자기상관성과 이분산성을 먼저 검증한 후 그에 맞는 모델을 선정하고자 한다. 또한 본 연구에서는 도시홍수피해액이 종속변수에 해당하므로, 종속변수가 0 보다 작거나 0 인 경우에 $Y_{it} = 0$ 으로 관찰된다. 종속변수에 이러한 중도절단이 발생할 경우, 최소제곱추정치가 0으로 편의 되는 경향을 가진다(Greene, 2003). 따라서 본 연구에서는 패널토빗모형(Panel Tobit Model)을 함께 고려하고자 한다.

본 연구에서 지수함수모델의 추정은 콥더글라스 생산함수(Cobb-Douglas Production Function)의 풀이 방법을 따른다. 지수함수모델의 대표적인 콥더글라스 생산함수는 본 연구에서 제안한 이론적 관계식과 같은 모형이다. 콥더글라스 생산함수는 (식6)와 같이 노동력과 자본의 투입이 생산량을 결정하는 지수함수 모델을 가정한다(Gujarati, et. al., 2009). 본 함수는 통계적 풀이를 위해 양 변에 자연로그를 취한다. 따라서 본 연구에서도 (식4)의 지수함수 모형을 통계적으로 검증하기 위해 다음 (식7)과 같이 양변에 자연로그를 취한 후 패널모델을 이용하여 검증하고자 한다.

$$y_i = \beta_1 x_{2i}^{\beta_2} x_{3i}^{\beta_3} e^{u_i} \quad (식6)$$

$y_i = output$
$x_{2i} = labor\ input$
$x_{3i} = capital\ input$

$$\ln y_i = \ln \beta_1 + \beta_2 \ln x_{2i} + \beta_3 \ln x_{3i} + u_i \quad (식7)$$

y_i = 도시홍수피해
x_{2i} = 도시화(불투수면적)
x_{3i} = 강우량

IV. 실증분석

1. 기초통계량 분석

본 연구에서 수집한 자료는 104개 시·군·구의 지역별 홍수피해액(Dependent Variable)과 불투수면적 및 강우량(Independent Variables)이다. 먼저, 지역별 홍수피해액의 경우, 1995년부터 1999년도까지 지역별 평균 1,220,052(천원)의 피해가 발생하였으며, 2000~2004년도에는 이 보다 많은 1,292,415(천원)의 피해액을 기록하였다. 하지만 2005년부터 2014년까지 홍수피해액이 상당히 줄어든 경향을 나타내었다(Table 4). 이는 일평균 70mm 이상의 강우량이 현저히 줄어든 결과로 해석 할 수 있다. 또한 <Figure4>에 따르면, 전체 홍수피해액 중 0원이 차지하는 비율이 50%가 넘는 것으로 분석되었다. 이는 모델 분석 시, 패널토빗모델의 필요성을 보여주는 지표가 될 것이다. 0원을 제외한 홍수피해액은 1995년부터 2014년까지 지역별 연평균 기준으로, 1억에서 10억원 사이가 가장 높은 분포를 나타내었다.

독립변수인 불투수면적과 강우량은 기초통계량의 분포가 다소 차이가 있는 것으로 조사되었다. 우선 불투수면적은 1995년~1999년을 기준으로 지역별 평균 15km^{2}을 나타내었으며, 5년 단위로 증가할수록, 약 2km^{2}의 면적이 증가하는 추세를 나타내었다. 이는 도시화가 꾸준히 지속되고 있음을 보여준다. 반면 일 기준, 70mm 이상 강우량은 1995년~1999년에서 5년~10년 후 큰 폭으로 감소하였다가, 최근 들어 다소 증가하는 추세이다.

2. 패널모형 분석

Table 4. Basic Statistic Analysis

Classification	Variables	Measure	Unit	Mean			
				'95~`99	`00~`04	`05~`09	`10~`14
Dependent Variable	Flood Damages	Flood Damages	1,000 Won	1,220,052	1,292,415	429,158	467,898
Independent Variables	Urbanization	Impervious Area	km^2	15	17	19	21
	Precipitation	Precipitation (Over 70mm/day)	mm	502	424	378	394

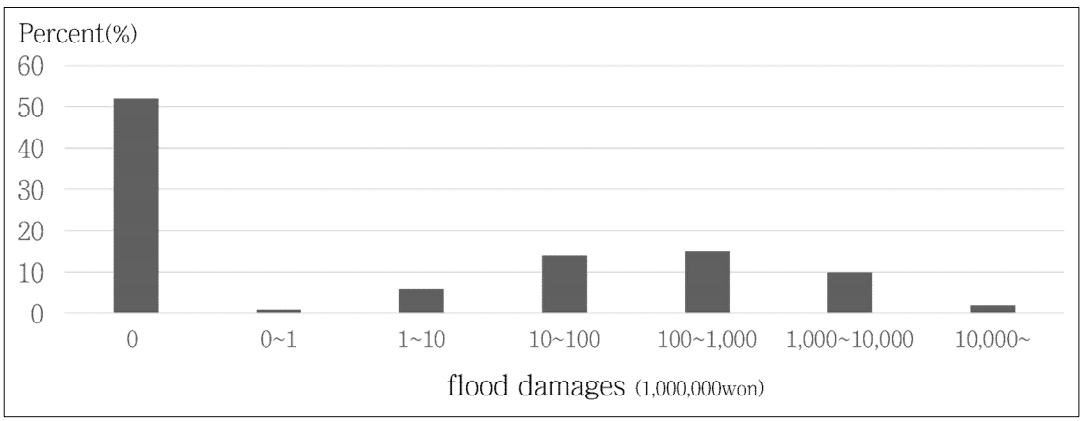

Figure 4. Frequency of Flood Damages (%)

1)기본가정 검정

회귀모델은 오차들의 분산이 등질성을 가져야 하며, 개체들의 오차항은 서로 상관없이 없어야 하는 기본 가정을 만족해야 한다(Gujarati, et. al., 2009; 이희연 외, 2013). 그러나 패널 데이터를 이용한 패널 모델의 경우 오차항의 자기상관(autocorrelation) 및 이분산성(heteroscedasticity)이 발생할 확률이 높으므로, 이에 대한 검증 후 적절한 모델을 적용할 필요가 있다(이희연 외, 2013). 본 연구에서 자기상관성 및 이분산성의 검증은 각각 wooldridge 검정과 Wald 검정을 수행하였다.

먼저 자기 상관성은 wooldridge 검정을 이용하여 '1계(AR1)에 자기상관성이 없다'는 귀무가설을 검정하였다. 자기상관성의 검정 결과, <Table 5>와 같이 p=0.0007으로 나타나서 귀무가설이 기각되어 본 패널 모델은 1계 자기상관성을 갖고 있음을 말해준다.

다음으로, 이분산성은 Wald검정을 이용하였으며, 이 경우 귀무가설은 '모든 개체의 분산은 동일하다'이다. 검정 결과, 다음 <Table 6>과 같이 p=0000으로 나타나서 개체 간에 이분산성이 존재하고 있음을 말해준다. 따라서 본 연구에서 사용하고자 하는 데이터는 자기상관성과 이분산성이 존재한다.

Table 5. Test for Autocorrelation

Test	Wooldridge Test
Null Hypothesis	H0: no first order autocorrelation
Result	F(1, 103) = 12,352 Prob > F = 0.0007

Table 6. Test for Heteroskedasticity

Test	Wald Test
Null Hypothesis	H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i
Result	chi2(104) = 336.34 Prob > chi2 = 0.0000

2)패널모형 분석 결과

위의 기본가정 검정 결과와 같이 회귀모델의 기본 가정이 위배되는 경우, OLS(ordinary least squares) 추정량에 문제가 있다. 따라서 패널데이터에서 오차항에 자기상관성 및 이분산성이 존재하는 경우, GLS(generalized least squares)를 이용하여 효율적인 추정량을 구할 수 있다(민인식 외, 2013; 이희연 외, 2013). GLS을 이용한 추정은 STATA 프로그램을 이용하였으며, 두 개의 옵션을 이용하였다. 첫 번째 옵션은 이분산성이지만 오차구조가 독립적인 경우와 이분산성이면서 오차구조가 상관성을 갖는 경우이다. 두 번째 옵션은 시계열 상관관계에 대한 가정으로 1계(AR1) 시계열 자기상관관계를 가지고 있는 것으로, 자기상관계수의 추정방법은 시차를 이용한 회귀분석을 실행하면서, 분석의 동태적 특성을 반영하였다.

GLS 분석 결과는 다음 <Table 7>과 같다. 먼저, 불투수면적과 강우량의 p값이 0.01 이하이므로 둘 다 유효변수로 분석되었다. 계수 값을 살펴보면, 불투수면적의 계수 값은 1.97로 분석되었으며, 강우량은 1.36의 값이 도출되었다. 이를 해석하면, 불투수면적이 10%증가하면 홍수피해액이 19.7% 증가한다고 볼 수 있으며, 강우량 10% 증가 시, 홍수피해액은 13.6% 증가한다고 해석 할 수 있다. 따라서 도시홍수피해액에 미치는 변수의 영향은 강우량 보다 불투수면적이 다소 높다고 할 수 있다.

또한 본 연구에서는 앞 서 살펴본 기초통계량을 기반으로 패널토빗(Panel Tobit)모델을 함께 분석하였다. 이는 전체 홍수피해액 중 0원이 차지하는 비율이 50%가 넘는 것으로 분석되었으므로, 이론적

Table 7. Result of Panel GLS Model

	Classification	Panel GLS Model
Variable Estimate	Intercept	-7.36**
	Impervious	1.97**
	Precipitation	1.36**
Model Fit	Wald X^2	322.47**
Number of obs		2080
Number of Groups		104
Time Periods		20
Coefficients		GLS
Panels		Heteroskedastic
Correlation		0.2292

*p<0.05, **p<0.01

Table 8. Result of Panel Tobit Model

	Classification	Panel Tobit Model
Variable Estimate	Intercept	-31.51**
	Impervious	2.87**
	Precipitation	4.37**
Model Fit	Wald X^2	233.13**
Number of obs		2080
Number of Groups		104
Time Periods		20
left-censored observations		1081
uncensored observations		999

*p<0.05, **p<0.01

으로 독립변수의 계수 값이 과소추정 될 것이라는 우려에 기반하여, 패널토빗모형을 이용하였다. 패널토빗모형은 최우추정(maximum likelihood)방법을 사용하기 때문에, 앞서 기본가정에서 문제가 된 오차항의 자기상관성 및 이분산성 문제를 해결 할 수 있다(Kennedy, 2001; Greene, 2003).

<Table 8>과 같이 패널토빗모델 분석 결과, 불투수면적의 계수 값이 2.87로 나타났으며, 강우량은 4.37로 분석되었다. 이는 앞 서 분석한 패널 GLS모형과 비교 했을 때, 도시홍수 피해에 영향을 미치는 불투수면적의 영향이 1.4배 이상 증가하였으며, 강우량에 미치는 영향은 3배 이상 증가하였다. 즉, 도시화(불투수면적)가 10% 진행되는 동안 도시홍수피해는 약 29% 증가하였으며, 강우량이 10% 늘어나면 도시홍수 피해는 약 44% 확대되는 것으로 분석되었다. 이는 국내의 도시의 불투수면적이 증가하는 것이 잠재적으로 도시홍수피해의 위험성을 지속적으로 확대시키고 있다는 연구결과로 해석할 수 있다. 또한 강우량이 도시홍수 피해에 미치는 영향이 불투수면적 증가 보다 영향력이 높다는 것은 상당히 주목할 문제이다. 기후변화가 지속될수록 강우량이 늘어가는 것은 부인할 수 없는 사실이므로, 미래 증가하는 강우량에 따른 도시홍수피해의 위험성을 낮추기 위해서는 상당히 도시 불투수면적을 낮춰야 한다. 따라서 최근의 도시개발방식의 변화 또는 도시 투수면적 확대를 위한 법적·제도적 보완장치가 반드시 필요하다고 할 수 있다.

본 연구결과는 '종속변수(Dependent Variable)에 중도절단 된 값의(Y=0) 비율이 높을 시, 독립변수의 계수 값이 과소추정 될 수 있다(Greene, 2003)'는 선행연구 결과와도 일치한다. 또한 패널토빗모형은 이분산성 및 자기상관성을 보정 할 수 있고, 무엇보다 종속변수인 홍수피해액의 0원 비율이 50%보다 높으므로, 독립변수 인 도시화와 강우량의 계수 값에 상당한 영향을 미칠 수 있으므로, 본 연구에서는 이론적으로 패널토빗모형을 최종적으로 채택하고자 한다.

본 연구에서는 앞서 제시한 (식4)와 같이, 지수

함수식을 가정하였다. 최종적으로 패널토빗모형 결과를 바탕으로, 함수식을 제시하면 다음 (식8)과 같다.

$$y_i = 2.07*10^{-14} x_{2i}^{2.87} x_{3i}^{4.37} e^{u_i} \text{ (식 8)}$$

y_i = 도시홍수피해
x_{2i} = 도시화(불투수면적)
x_{3i} = 강우량

V. 결론

본 연구는 도시홍수 피해에 미치는 도시화와 강우량의 영향을 검증 하는 것이다. 본 연구는 선행연구에서 제시한 도시홍수 피해에 미치는 도시화와 강우량의 일차선형함수 관계 영향을 검토하고 이에 대한 비판적 시각에서 시작하였다. 또한 도시화와 강우량을 0이라 가정한 이론적 가정 분석 결과, 두 변수 중 하나의 변수가 0일 때, 도시홍수 피해액이 0으로 추론되어야 하는 이론적 가정은 일차선형함수 관계에서는 부적합 하지만 지수함수 모형에 부합되는 것으로 분석되었다. 이에 대해 본 연구에서는 '도시홍수피해에 미치는 도시화와 강우량의 영향 관계는 지수함수 관계모델이며, 도시화와 강우량의증가에 따라 도시홍수피해가 급격히 증가할 것이다'를 연구 가설로 설정하였다. 본 가설에 대해 통계분석 모형을 이용해 분석한 결과는 다음과 같다.

우선, 패널데이터는 자기상관성 및 이분산성이 나타날 가능성이 높으므로, 이에 대한 기본 검정을 수행한 결과, 본 연구의 데이터에서 자기상관성 및 이분산성이 나타나는 것으로 분석되었다. 따라서, GLS를 이용하여 오차항의 이분산성을 가지면서 1계 시차를 이용한 회귀분석을 실행한 결과, 불투수면적이 10%증가하면 홍수피해액이 19.7% 증가하고, 강우량 10% 증가 시, 홍수피해액은 13.6% 증가하는 결과 값이 도출되었다.

둘째, 홍수피해액의 데이터 전체 샘플 수(2,080개) 중, 1,081의 샘플이 중도절단된 것으로 분석되었으며, 이 비율이 52%에 달하기 때문에 본 연구에서는 패널토빗모형이 이론적으로 적절하다고 판단되어 해당 분석 방법을 함께 수행하였다. 패널토빗모형 분석 결과, 도시화(불투수면적)가 10% 진행되는 동안 도시홍수 피해는 29% 진행되었으며, 강우량이 10% 늘어나면 도시홍수 피해는 44% 확대되는 것으로 분석되었다. 이를 패널 GLS모형 결과값과 비교했을 때, 도시홍수 피해에 미치는 도시불투수면적과 강우량의 영향이 기존 선행연구에서 과소평가 되고 있음을 알 수 있으며, 패널토빗모형으로 모델을 보완했을 때, 불투수면적과 강우량의 증가시 도시홍수 피해가 급격히 증가할 것으로 분석되었다.

본 연구를 통해 제시할 수 있는 학문 및 정책적 함의는 다음과 같다. 첫째, 도시홍수 피해에 미치는 영향에 대한 도시화 및 강우량의 영향 분석 시, 일차선형함수 관계모형 보다 지수함수 관계모형으로 분석 하는 것이 분석의 정확성을 높일 수 있을 것으로 기대 된다. 또한 도시홍수 피해액의 다수가 0일 경우 과소추정 될 우려가 있으므로 패널토빗모형을 이용하는 것이 바람직 할 것이다.

둘째, 향후 도시화(불투수면적)가 진행될수록 도시홍수 피해에 미치는 영향이 상당할 수 있으므로 도시계획 시 불투수면적을 최소화 할 수 있는 방안이 필요하다. 현재 도시기본계획을 살펴보면 인구가 감소함에도 불구하고 각 지자체는 무리하게 인구증가를 예측하여 도시화를 진행하고자 한다. 이는 결국 도시홍수 피해를 야기할 수 있는 주된 요인이 되므로 도시계획 수립 시 인구 감소를 반영한 도시계획이 필요할 것이다.

셋째, 강우량이 도시홍수 피해에 미치는 영향이 가장 크다고 할 수 있으므로 최근 기후변화에 따른 강우량 증가에 대한 대처가 필요하다고 할 수 있

다. 미래 기후변화 시나리오는 인간의 이산화탄소 저감 노력 등이 반영되므로 범지구적인 관심과 적극적인 저감 노력이 필요하다고 할 수 있다.

본 연구의 한계는 다음과 같다. 도시홍수 피해액과 도시화 및 강우량의 관계 분석 시 도시홍수 피해에 미치는 다른 통제변수를 고려하지 못하였다. 특히 최근 도시홍수 피해에 미치는 영향 중 인문사회·경제적 영향관계가 관한 연구가 활발하다. 그러나 이를 본 연구에서 고려하지 못한 것은 도시홍수 피해에 미치는 통제변수의 관계가 일차선형함수 형태인지 지수함수 형태인지에 대한 이론적 가설이 불분명한 상태에서 도시화와 강우량과 함께 지수함수 관계식을 정립하지 못하는 이유에서이다. 따라서 향후 이에 대해 이론적 가설을 바탕으로 통제 변수를 추가하여 분석하는 연구가 필요할 것으로 보인다.

인용문헌
References

1. 강정은・이명진・구유성・조광우・이재욱, 2011.「기후변화 적응형 도시 리뉴얼 전략 수립: 그린인프라의 방재효과 및 적용방안」, 세종: 환경정책평가연구원.
   Kang, J. E., Lee, M. J., Goo, Y. S., Jo, G. W. and Lee, J. W., 2011. *Urban Renewal Strategy for Adapting to Climate Change: Use of Green Infrastructure on Flood Mitigation*, Sejong: Korea Environment Institute.
2. 국민안전처, 2009.「재해연보 2008」, 세종.
   Ministry of Public Safety and Security, 2009. *Disasters Report*, Sejong.
3. 국민안전처, 2013.「재해연보 2012」, 세종.
   Ministry of Public Safety and Security, 2009. *Disasters Report*, Sejong.
4. 국토교통부, 2015.「도시계획현황」, 세종.
   Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015. *Urban Planning Statistics*, Sejong.
5. 민인식・최필선, 2013.「STATA 패널데이터분석」, 서울: 지필미디어.
   Min, I. S., Choi, P. S., 2013. *STATA Panel Data Analysis*. Seoul: Jiphil Media.
6. 오준범・주원, 2014. "지속가능 성장을 위한 VIP 리포트: 눈과 경제",「VIP Report」, 554:1-25.
   Oh, J. B., Joo, W.,, 2014. "The VIP Report for Sustainable Growth: Snow and Economy", *VIP Report*, 554:1-25
7. 이미연, 2015. "자연재해 피해의 결정요인 및 경제적 파급효과", 서울대학교 대학원 박사학위논문.
   Lee, M. Y., 2015. "The Determining Factors and the Economic Impact of Natural Disaster Damage", Ph. D. Dissertation, Seoul National University.
8. 이희연・노승철, 2013.「고급통계분석론」, 서울: 문우사.
   Lee, H. Y., Noh, S. C., 2013. *Advanced Statistical Analysis*, Seoul: MoonWooSa.
9. 정주철・이상범・사공희・이지현・이달별, 2007.「자연친화적인 자연재해완화정책에 관한 연구」, 세종: 환경정책평가연구원.
   Jung, J. C., Lee, S. B., Sa, G. H., Lee, J. H., and Lee. D. B., 2011. *Hazard Mitigation Policy for Sustainable Development: Flood Mitigation through Land Use Planning and Management*, Sejong: Korea Environment Institute.
10. 정준호・허인혜, 2014. "자연재해 직접 피해액의 추세 및 그 결정요인에 대한 분석-강원도의 사례",「사회과학연구」, 53(1):77-99.
    Jeong, J. H., 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

11. 최충익, 2004. “패널모형을 이용한 도시지역 수해결정요인에 관한 고찰”, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
Choi, C. I., 2004. “Panel models about determining factors of urban flood damages in Korea and policy implications flood vulnerability ”, Ph. D. Dissertation, Seoul National University.
12. Blaikie, P., Cannon, T., Davies, I., and Wisner, B., 1994. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disaster*, Abingdon: Routledge
13. Brody, S. D., Zahran, S., Highfield, W. E., Grover, H., and Vedlitz, A., 2007. “Identifying the Impact of the Built Environment on Flood Damage in Texas”, *Disasters*, 32(1):1-18.
14. Bronstert, A., Niehoff, D. and Burger G., 2002. “Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modelling capabilities”, *HYDROLOGICAL PROCESSES*, 16:509-529
15. Burby, R. J., French, S. P. and Cigler, B. A., 1985. *Flood Plain Land Use Management: A National Assessment,* Boulder, CO: Westview Press
16. Burby, R. J., 1998. *Cooperating with Nature: Confronting Natural Hazards with Land Use Planning for Sustainable Communities*, Washington, DC: Joseph Henry/National Academy Press
17. Burby, R. J., 2006. “Hurricane Katrina and paradoxes of government disaster policy: Bringing about wise governmental decisions for hazardous areas”, *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 604:171-191.
18. Coutu, G. W. and Vega, C., 2007. "Impacts of Land Use Changes on Runoff Generation in the East Branch of the Brandywine Creek Watershed Using a GIS-Based Hydrologic Model", *Middle States Geographer* 40:142-149
19. Dekay, M, and O'Brien, M., 2001. "Gray City, Green City", *Forum for Applied Research and Public Policy* 16(2):19-27
20. Eliasson, I., 2000. "The Use of Climate Knowledge in Urban Planning", *Landscape and Urban Planning,* 48:31-44
21. EPA(U.S. Environmental Protection Agency), 2013. *Water-Smart Landscapes*, Washington, DC: EPA
22. Godschalk, D. R., Beatley, T.,Berke P., Brower, D. J., and Kaiser, E. J., 1999. *Natural Hazard Mitigation: Recasting disaster Policy and Planning*, Washington, DC: Island Press
23. Greene, W. H., 2003. *Econometric Analysis*, New Jersey: Prentice Hall
24. Gujarati, D. N., Porter, D. C., 2009. *Basic Econometrics*, New York: McGraw-Hill
25. IPCC, 2007. *Climate Change 2007*, Cambridge: Cambridge University Press
26. IPCC, 2011. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, Cambridge: Cambridge University Press
27. Kang, J. E., 2009. “Mitigating Flood Loss Through Local Comprehensive Planning in Florida”, Ph. D. Dissertation, Texas A&M University.
28. Kennedy, P., 2001. *A Guide to Econometrics: Fourth Edition*, Cambridge: The MIT Press.
29. Levine, J. N., Esnard, A. M. and Sapat, A., 2007. “Population Displacement and Housing Dilemmas Due to Catastrophic Disasters”, *Journal of Planning Literature* 22(1):3-15
30. Mair, A., 1986. "The Homeless and the Post-industrial City", *Political Geography Quarterly* 5(4):351-368

31. Mileti, D., 1999. *Disaster by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*, Washington, DC: A Joseph Henry Press
32. OECD, 2009. *Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation: Policy Guidance*, Paris.
33. Randolph, J., 2015, *Environmental Land Use Planning and Management*, Washington DC: Island Press
34. Satterthwaite, D., 2011. "How urban Societies can adapt to resource shortage and climate change", *Philosophical Transactions of the Royal Society A,* 369:1762-1783
35. Schwab, J., Topping, K. C., Eadie, C. C., Deyle, R. E., and Smith, R. A., 1998. *Planning for Post-Disaster Recovery and Reconstruction*. Chicago: American Planning Association.
36. WDR(World Development Report), 2010. *Development and Climate Change*, Washington DC: World Bank.
37. World Bank, 2008. *Climate Resilient Cities, 2008 Primer: Reducing Vulnerabilities to Climate Change Impacts and Strengthening Disaster Risk Management in East Asian Cities*, Washington DC: World Bank

Date Received 2016-12-14
Reviewed(1st) 2017-02-14
Date Revised 2017-03-22
Reviewed(2nd) 2017-04-13
Date Accepted 2017-04-13
Final Received 2017-07-20