

회복탄력성 비용지수를 활용한 회복탄력성 주요 영향 요인 분석*

- 서울시 풍수해를 대상으로 -

Identification of Main Factors Affecting Urban Flood Resilience Using Resilience Cost Index

- A Case of Flooding in Seoul City, Korea-

박한나** · 송재민***
Park, Han-na · Song, Jae-min

Abstract

With an increase in the frequency and strength of natural disasters, building resiliency has become a critical and urgent agenda in many cities. However, there is a lack of literature that investigates and identifies major influential factors of resilience in Korea, especially in the area of flooding control and management. Against this backdrop, the primary purpose of this study is to identify key factors of urban resilience to flooding, with a focus on Seoul Metropolitan Areas. In the study, the urban resilience to flooding has been defined with four components, namely natural disaster, infrastructure, social and institutional components and two or three indicators for each component have been selected through an extensive literature review. For an empirical analysis, a panel data set has been developed for the period of 2009 to 2013 and analyzed. As a proxy for urban resilience to flooding, sum of property loss and recovery cost per capita has been introduced as a dependent variable in the panel analysis. Our results from the empirical analysis demonstrate that except the natural aspects, the physical, economical and social and aspects of the municipalities influence their resilience to flooding, suggesting a need to pay more attention to the social and economic aspects given the strong focus of the current policy on the physical environment in cities.

키 워 드 ▪ 풍수해, 회복탄력성 비용지수, 회복탄력성 영향요인, 서울시, 패널데이터 분석
Keywords ▪ Flooding, Resilience Cost Index, Resilience Factors, Seoul City, Panel Data Analysis

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

2000년대에 들어서면서 전 세계적으로 기후변화로 인한 자연재해의 피해 규모 및 빈도가 크게 증

가하고 있다(최충익, 2014). 특히, 우리나라의 경우 풍수해로 인한 피해가 증가함에 따라, 2012년부터 자연재해대책법 제16조에 따라 시·도 및 시·군·구에서는 방재분야 최상위 종합계획인 풍수해저감종합계획의 수립을 의무화 하고 있다. 이와 함께, 토목공학, 도시계획, 환경공학, 지리정보, 행정학 등

* 이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 임(NRF-2015R1C1A1A02036555).

** University of Seoul (First author: hanna4478@uos.ac.kr)

*** University of Seoul (Corresponding author: jmsong@uos.ac.kr)

다양한 학문 분야에서도 방재에 대한 관심이 증가하고 있으며, 풍수해 저감 전략(문채, 2012; 박채운 외, 2010), 풍수해 취약성 분석 방법(김지숙, 2014; 김태현 외, 2011), 풍수해 원인 분석(이병재 외, 2013) 등 방재에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

하지만 기존의 국내 풍수해 저감 관련 연구는 주로 물리적 기반시설 및 건물의 내구성 분석과 이에 관한 정책적 시사점 도출이 주를 이루어 왔다(김현주 외, 2005; 강양석, 2007; 최열 외, 2013). 그런데 이와 같은 접근은 최근 국제 사회에서 방재의 개념을 물리적 시설뿐만 아니라 사회, 경제, 지역공동체의 영역까지 확대하여 종합적으로 이해하고자 하는 추세에 부합하지 못한다고 하겠다(김태현 외, 2011; 신진동 외, 2012). 특히, 미국, 영국 등에서는 2000년대 후반에 들어 자연재해의 예방 및 피해 저감 전략 수립에 있어 회복탄력성(Resilience)에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Mayunga, 2007; Berke et al., 2009; Cutter et al., 2010; Vurgrin et al., 2011). 따라서 이와 같은, 시스템의 회복탄력성 강화를 위해서는 물리적 부문뿐만 아니라 시스템 전반에 걸친 다양한 요인들이 고려되어야 한다는 것이 공통된 의견이다(Berke et al. 2009; Campanella, 2014). 이와 같은 회복탄력성의 개념은 도시 풍수해의 관점에서 풍수해에 대한 예방 및 저감, 대비, 대응, 복구 전 단계에 걸친 도시의 수용능력으로 이해될 수 있다.

국내에서는 재해 분야의 회복탄력성에 관한 연구가 미진한 형편이고, 개념 설정을 중심으로 논의가 이루어지고 있으며 아직까지 이에 관한 실증적인 연구는 부족한 상황이다(신진동 외, 2012; 유순영 외, 2014). 하지만 효율적인 재해 대책을 시행하기 위해서는 기존의 물리적 부문에 치중하던 논의에서 벗어나 사회, 경제적 부문 등 사회 시스템 전반적 분야에 대한 고려가 필요하며, 특히 회복탄력성에

영향을 미치는 핵심 요인을 파악하는 것이 중요하다고 하겠다. 이와 같은 핵심 요인 분석을 통한 현재 회복탄력성의 평가는 향후 재해 관리에 있어 정책 및 투자의 우선순위 결정에 활용될 수 있으며, 이를 통하여 한정된 자원을 효율적으로 이용하여 재해에 회복탄력적인 도시 건설이 가능하기 때문이다.

서울시의 경우, 2010년 기준 풍수해로 인한 면적당 피해 규모가 51,739천 원/㎢으로 전국 평균 9,120천 원/㎢에 비하여 약 5배 정도 높아 풍수해에 대한 취약도가 높으며, 또한 서울시의 인적·물적 집적정도를 고려할 때 재해 저감에 대한 계획 및 전략 도출이 시급하다고 하겠다. 이와 같은 배경에서 본 연구의 목적은 선행연구를 바탕으로 회복탄력성을 회복탄력성 비용지수를 이용하여 계량화하고 비용지수에 영향을 미치는 주요 요인을 도출하는 것이다. 회복탄력성 비용지수는 선행연구를 바탕으로 1인당 피해액과 복구액¹⁾의 합으로 산출하였다. 이와 같은 연구의 결과는 서울시의 효율적인 재해 대책 수립 및 이행에 시사점을 제시할 것으로 기대되는 바이다.

2. 연구의 흐름

본 연구는 [그림1]과 같이 진행되었다. 우선 선행연구 검토를 통해 회복탄력성을 계량화하는 인자인 회복탄력성 비용지수를 산출하고 회복탄력성 영향 요인을 부문별로 분류하여 선별한다. 이를 바탕으로 서울시를 공간적 분석범위로 하여 패널 분석을 실시하고, 이를 통해 회복탄력성 비용지수에 영향을 미치는 주요 인자를 도출한다. 이러한 분석과정을 거쳐 회복탄력적인 도시 건설을 위한 정책적 시사점을 제시한다.

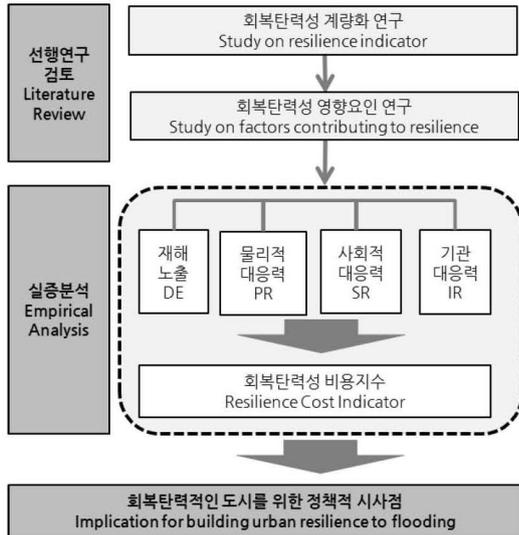


그림 1. 연구의 흐름
Figure 1. Flow of Research

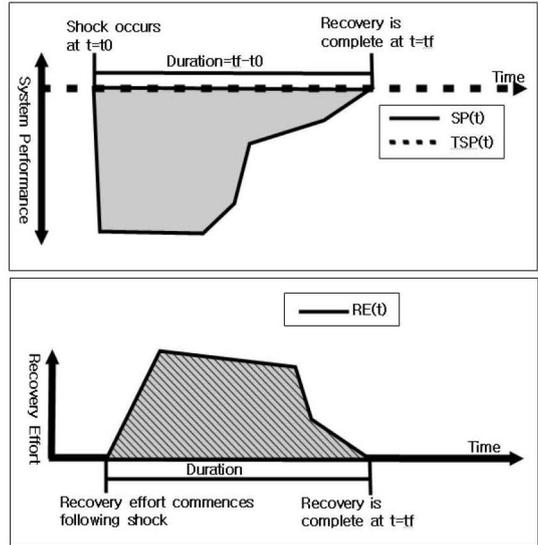


그림 2. 회복탄력성의 개념 (Source: Vugrin et al., 2011)
Figure 2. Concept of Resilience

II. 선행연구 검토

1. 회복탄력성(Resilience) 비용지수

회복탄력성이란 재해 분야보다 심리학, 보건학 등에서 먼저 사용되던 개념으로, 어떠한 시스템에 외부 충격이 주어졌을 때 이를 흡수하거나 혹은 충격으로 인한 시스템의 변형이 그 이전의 정상 상태로 얼마나 빠르게 돌아가는지를 의미한다. 회복탄력성을 계량화하고자 하는 연구가 최근 증가하고 있는데, 그 중 피해액, 복구액 및 노출인자 등의 비용 측면에서 회복탄력성을 수치화한 회복탄력성 비용(Resilience Cost) 개념이 대표적이다. Vugrin et al.(2011)은 회복탄력성의 개념을 '시스템의 피해 영향을 최소화하고 손상된 시스템을 복구하는데 드는 노력을 최소화하는 지역의 역량'이라고 정의하고, 이와 같은 개념을 반영하는 회복탄력성 비용지수를 식(1)과 같이 고안했다. 이와 유사하게 국내에

서는 유순영 외(2014)의 연구에서 방재력 비용지수(Resilience Cost Index)를 식(2)와 같이 제안했다. 두 식 모두 다른 지역 간 방재력을 비교하기 위하여 피해액과 복구액의 합을 노출인자로 나누고 있는데, 여기서 노출인자란 지역내총생산, 인구 등의 재난에 노출된 취약인자를 나타낸다.

$$Resilience Cost = \frac{System Impact + Recovery Effort}{Target Market Value} \dots \text{식(1)}$$

$$Resilience Cost Index = \frac{\int_{t_0}^{t_f} L(t)dt + \int_{t_0}^{t_f} R(t)dt}{\int_{t_0}^{t_f} V(t)dt} \dots \text{식(2)}$$

여기서, L(t)는 피해액, R(t)는 복구액, V(t)는 노출인자

이와 같은 회복탄력성 비용지수는 Vugrin et al.(2011)의 연구에서 제시한 회복탄력성 개념을 반영한다. 다음 [그림2]에서 보듯이 손상된 시스템의 상태를 나타내는 면적이 작을수록, 또 재해 피해를

복구하는데 드는 노력의 면적이 작을수록 지역의 회복탄력성이 강하다는 것을 나타낸다. 즉, 회복탄력성 비용 지수가 작을수록 지역의 회복탄력성이 향상되는 것이다.

2. 회복탄력성 영향 요인

재해분야의 회복탄력성에 영향을 미치는 요인들은 선행연구에서 다양하게 분류하고 있다. 이 중에서 일반적으로 재해 노출 요인, 기반시설 대응력 요인, 사회적 대응력 요인, 기관 대응력 요인 등이 공통적으로 논의되고 있는 분류이다. [그림3]은 선행연구에서 제안한 회복탄력성 영향요인들을 재분류하여 정리한 것이고, 이에 대한 대표적인 논의는 다음과 같다.

Tierney et al.(2007)은 회복탄력성에 영향을 미치는 지표를 기술적(Technical) 요인과 조직적

(Organizational) 요인, 사회적(Social) 요인, 경제적(Economical) 요인으로 분류할 것을 제시하고 있다. 기술 부문은 피해 및 손실에 저항하고, 충격에 견딜 수 있는 기술적 능력을 의미하며, 조직 부문은 응급 진료소, 응급구조대 등 물리적 요소와 재난대피계획, 대피 훈련 등 시스템적 요소를 고려한 기관의 재난관리 시스템을 포함한다. 사회 부문에서는 가난, 교육불, 보호 자원의 접근성 등을 평가하고, 기관대응력은 평상시의 지역 경제력과 재난 발생 후 자원동원력을 주요 지표로 제시하였다. 이와 유사하게 Mayunga(2007)는 회복탄력성 지표를 사회적 자본, 인적 자본, 물리적 자본, 자연적 자본 등으로 분류하였으며, Cutter et al.(2008)은 생태적, 사회적, 기관적, 기반시설적, 지역경쟁력 차원으로 고려하였다. 한편, Shaw et al.(2009)은 기후변화에 대한 지역의 회복탄력성을 평가하기 위해 자연적, 물리적, 사회적, 정부기관 차원의 대응력 등으로 분

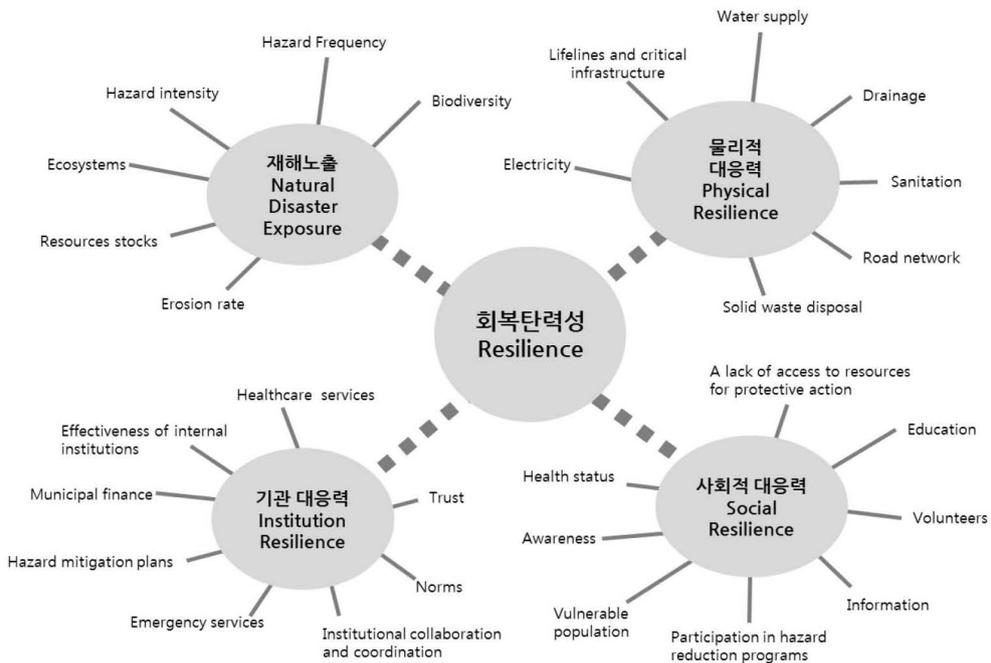


그림 3. 회복탄력성 영향요인 Figure 3. Major factors Affecting Resilience

류하고 있다. 이와 같은 선행 연구에서 제시한 회복탄력성 지표와 세부변수들은 공통적으로 재해 노출 요인, 기반시설 대응력 요인, 사회적 대응력 요인, 기관 대응력 요인으로 재분류될 수 있다.

국외의 선행 연구들이 대부분 재해에 대한 위험 및 대응, 복구 능력을 물리적 환경, 사회적, 정부 및 지역자원 등 다양한 부문에서 평가하고 있는 반면, 국내 재해분야 연구들은 물리적 기반시설의 내구성 평가에 치중하고 있다. 박채운 외(2010)는 우리나라 기성시기까지의 재해 위험도 평가를 통하여 인구 및 주택 구조의 현황 문제나 토지이용의 문제, 교통 노선의 문제 등 물리적 시설문제가 재해 위험요소로 작용한다고 보았다. 특히 우리나라의 도시가 가지고 있는 재해 위험 요소는 무리한 토지이용, 건물의 구조, 좁은 이면도로, 도로의 기능 집중 등 도시화 과정에서 생겨난 것이 대부분이라고 해석된다(강양석, 2007).

3. 회복탄력성 실증 연구

재해관련 회복탄력성에 관한 실증 연구는 크게 두 가지 관점에서 이루어지고 있다. 하나는 경제적 피해에 초점을 맞춘 분석으로, Vugrin et al.(2011)와 유순영 외(2014)는 과거 피해액과 복구액을 바탕으로 재해 피해를 복구하는데 사용되는 비용 예측 모델을 개발했다. 또 다른 방향으로는 회복탄력성을 측정하고 평가하는데 초점을 맞춘 분석으로, Cutter et al.(2010)와 Parvin et al.(2011), 이임열 외(2014)는 사회적, 물리적, 경제적, 정부적 자원 등으로 지표를 분류하고 대리변수를 이용하여 지역의 회복탄력성을 평가했다. 이러한 평가를 통하여 재해 취약지역을 도출하고 지역의 회복탄력성 강화 방안을 제시하고 있다(표1 참조).

유순영 외(2014)는 선행연구 검토를 통하여 방재력 비용 지수를 개발하고, 지역 및 국가의 방재력

을 비교 평가함으로써, 우리나라 복구활동을 분석하였다. 분석 범위를 국가 및 시·군 지역 단위로 각각 시행했으며, 방재력 비용지수 값이 큰 지역일수록 재해저감 사업 우선지역으로 선정하였다. 또한 누적피해액 대비 누적복구액의 값을 연도별로 비교함으로써 복구활동의 효율성을 검증했다. 분석 결과, 우리나라는 호우시 피해액의 3배를 상회하는 복구액이 투입된 바 있고, 전북지역에서는 특히 높은 복구액이 소요되었다. 또한 우리나라는 2011년 도까지 복구활동이 방재력을 강화하는데 기여한 바가 미비한데, 이는 방재력(Resilience)의 개념이 국내에 도입된 지 얼마 지나지 않았고, 복구과정의 예방 및 대비 효과를 고려한지도 얼마 되지 않았기 때문으로 설명하고 있다.

강상준 외(2013) 연구에서는 회복탄력성 비용(Resilience Cost)과 회복탄력성 비율로 나누어 살펴보고 있는데, 회복탄력성 비용은 시스템 영향과 총복구노력의 합으로 표현하여 재난발생시 사회적 비용이 필요한 지역에 대한 판단 및 재난대응 정책이 필요한 지역을 선정하기 위한 지표로 고려된다. 반면, 회복탄력성 비율은 재해로 인한 사회시스템영향에 대한 총복구노력의 비율로 판단하여 회복탄력성을 고려한 자연재해 대응체계의 판단기준으로 이해된다.

Cutter et al.(2010)는 총 36개의 변수를 정규화하여 회복탄력성 통합지표를 고안하고, 이를 바탕으로 미국 남부지역의 회복탄력성을 분석하였다. 분석 결과 대도시 지역이 교외 지역에 비해 높은 회복탄력성을 갖는 것으로 나타났는데, 이는 도시의 경우 사회, 경제 및 기관 차원에서 회복탄력성 역량이 높게 나타나기 때문이라고 설명하고 있다. 하지만 해안지역의 경우는 교외 지역임에도 불구하고, 잦은 재해 피해로 풍수해 보험이나 지역공동체의 참여 프로그램을 통해 대응력이 향상되어 정부 차원의 회복탄력성이 높게 나타남을 보여주었다.

표1. 회복탄력성 실증연구 정리 Table 1. Summary of Empirical Analysis Research on Resilience

분류 Category	저자 Author	방법 Methods	분석 대상 Studied Area	분석 결과 Results
회복탄력성 비용지수 산정 Estimation of future restore cost	Vugrin et al. (2011)	회복탄력성 비용지수 개발 Developing resilience cost index	걸프해 연안의 해안 도시 coastal areas near Gulf sea	미래의 회복탄력성 비용을 추산 및 도시 시스템을 복합적으로 평가하여 회복탄력성을 강화하기 위한 방안을 고려함 Estimating disaster damage and restore cost in future and providing comprehensive evaluation of a system's resilience and information on how to further enhance system resilience
	유순영 외 (2014) Yoo et al. (2014)	방재력 비용지수 개발 Developing resilience cost index	국가 및 전국 시·군 Si, Gun all over the Korea	방재력 비용지수 값이 큰 지역일수록 재해저감 사업 우선지역 선정하고 누적 피해액 대비 누적 복구액 값을 연도별로 비교하여 복구활동의 효율성 검토 Giving priority on disaster management areas by using resilience cost index and estimating efficiency of restore activity
회복탄력성 평가 Evaluation of Resilience	Cutter et al. (2010)	지표화 Indexing	미국 남부지역 8개 시 8 States in Southern part of U.S.A.	메트로폴리탄 지역이 지방 도시에 비해 높은 회복 탄력성을 가짐 There are high resilience rate in Metropolitan areas than local areas.
	Parvin et al. (2011)	설문조사 Survey	10 districts in Daka city, Japan	계획된 주거지의 회복탄력성이 큰 반면, 낡고 오래 된 저소득 주거지역의 회복탄력성이 낮음 There are high resilience rate in planned residence areas but there are low resilience rate in old and poor residence areas.
	이임열 외 (2014) Lee et al. (2014)	지표화 및 가중치 적용 Indexing and weighting	안양천 유역의 7개 구, 10개 시 7 Gu and 10 cities located near Anyang river	안양천의 본류 구간에서 높은 총 피해액이 발생했 으며, 복원탄력성 값도 높게 나타남 There are high damage and high rate of resilience in riverside areas located near main stream of Anyang river

방글라데시의 다카시를 대상으로 한 Parvin et al.(2011)은 회복탄력성 25가지 항목에 대한 5점 척도 방식으로 전문가 설문조사를 하였다. 분석 결과 다카시의 경우 오래되고 인구가 밀집되어 있으며, 저소득계층이 거주하는 지역은 기후변화에 대한 회복탄력성이 낮게 나타나고 있는 반면, 계획적으로 정비, 관리된 주거지역은 상대적으로 회복탄력성이 큰 것으로 나타나고 있다.

이임열 외(2014)의 연구는 안양천 유역의 서울시 7개 구 및 경기도 10개시를 대상으로 풍수해에 대

한 회복탄력성을 평가하였다. 지표를 정규화하고 가중치를 반영하여 그 유역의 회복탄력성 값을 산출하였으며, 이를 지역의 면적으로 단위화하여 순위비교를 하였다. 그 결과, 안양천의 본류 구간에서 총 피해액이 가장 높게 나타났으나, 회복탄력성 또한 높은 것으로 나타났다. 이는 해당 지역이 풍수해에 대한 위험도가 크고 과거 피해 규모가 커서, 재해에 대응하기 위한 시설 장비를 보유하고 있기 때문에 총 피해액이 가장 크게 나타나지만 회복탄력성 또한 높게 나타나고 있음을 의미한다.

4. 소결

선행연구에서 회복탄력성 계량화를 위한 시도가 이루어졌으며, 이중 피해액 및 복구액의 합을 대리변수로 하는 회복탄력성 비용 개념이 널리 사용되어 왔다. 이에 있어 작은 회복탄력성 비용은 높은 회복탄력성을 의미한다고 하겠다. 회복탄력성에 영향을 미치는 요소로는 재해노출, 물리적 대응력, 사회적 대응력, 기관 대응력 등의 변수들이 공통적으로 논의되고 있으며, 일부 연구에서 인적 자본, 경제적 자본, 지역경쟁력, 대응·복구성 부문들의 변수를 회복탄력성 영향인자로 고려하고 있다. 하지만 회복탄력성 지수화에 대한 연구가 대부분이며 실제 회복탄력성에 이와 같은 요소들이 어떠한 영향을 미치는 지에 대한 실증연구는 매우 미흡하다.

본 연구에서는 이와 같은 선행연구 결과를 바탕으로 회복탄력성 대리변수로 1인당 피해액과 복구액의 합인 회복탄력성 비용지수를 종속변수에 반영하였으며, 독립변수로 재해 노출, 물리적 대응력, 사회적 대응력, 기관 대응력 관련 변수들을 선행연구를 바탕으로 선별하여 패널 분석을 실시하였다. 이를 통하여 회복탄력성 비용지수에 영향을 미치는 주요 요인을 도출하고, 서울시의 방재 정책 및 계획에 정책적 시사점을 도출하고자 한다.

III. 분석모형 및 변수

1. 분석방법

본 연구에서는 회복탄력성 핵심요소를 도출하기 위하여 선행연구를 바탕으로 주요 요인 변수를 선별하고, 서울시 자치행정구 25개를 분석 단위로 연구를 수행하였다. 분석 자료는 2009년부터 2013년까지 5년 연속 패널데이터 자료를 이용하였다.

분석의 패널 선형회귀분석 기본 모형식은 다음

식(3)과 같다. 종속변수는 1인당 피해액과 복구액의 합인 회복탄력성 비용지수를 사용하고, 독립변수는 재해노출, 물리적 대응력, 사회적 대응력, 기관 대응력으로 구분하여 관련 변수들을 선별하였다.

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 DE_{it} + \beta_2 PR_{it} + \beta_3 SR_{it} + \beta_4 IR_{it} + u_i + e_{it} \dots \dots \dots \text{식(3)}$$

$i = 1, 2, \dots, 25$ 및 $t = 1, 2, \dots, 5$

여기서,

Y_{it} : i지역의 t시간에서 회복탄력성 비용지수

DE_{it} : i지역의 t시간에서 재해 노출 변수

PR_{it} : i지역의 t시간에서 물리적 대응력 변수

SR_{it} : i지역의 t시간에서 사회적 대응력 변수

IR_{it} : i지역의 t시간에서 기관 대응력 변수

u_i : 지역별 차이만 반영하는 오차항

e_{it} : 지역과 시간에 따라 변하는 오차항

본 연구에서는 변수의 적합성 및 모형의 적합성을 검증하기 위하여 다음의 과정을 거쳤다. 첫째, 다중공선성 여부를 검증하기 위하여 VIF값을 확인하고, 10이상의 값을 나타내는 변수는 다중공선성을 유발하므로 제외한다. 둘째, 패널 데이터 변수에 있어 분석 모형으로는 pooled OLS, 고정효과 및 확률효과 모델을 이용하였다.

2. 종속변수 설정

본 연구에서는 종속변수로 재해 회복탄력성을 나타내는 대리변수인 회복탄력성 비용지수를 이용하였다(표2 참조). 회복탄력성 비용지수는 선행연구를 참고하여 총피해액²⁾과 총복구액³⁾의 합을 인구수로 정규화한 값이다. 이는 Vugrin et al.(2011)와 유순영 외(2014)의 연구에서 이용된 개념으로 회복탄력성은 “자연재해 발생시 1)지역사회의 시스템 성능을 정상적 상황에서의 수준으로부터 크게 떨어뜨리

지 않음과 동시에 2)정상적 상황에서의 시스템 성능수준으로 신속히 회복할 수 있는 지역사회의 시스템 능력”이라는 관점에 기반을 둔 것이다. 즉, 총피해액은 첫 번째 요건, 즉 외부 충격시 피해 정도를 나타내며 총복구액은 두 번째 요건, 피해가 발생했을 때 원상태로 되돌아오는 능력을 나타내는 대리변수로서 사용된 것이다. 이에 있어 회복탄력성 비용지수가 낮을수록 지역의 재해 회복탄력성이 높음을 반영하며, 이는 시스템의 내구성이 강건하여 재해에 대한 피해가 작고, 대응체계의 효율성이 높아 적은 복구액이 소요된다는 것이다.

하지만 재해 발생의 피해 및 복구비용은 특정 시점에 매우 크게 발생하기도 하고, 지역에 따라 편차가 크기도 하여 자료의 분포가 매우 불균일한 특징이 있다. 이에 로그화를 해줄 필요가 있는데, 피해액 및 복구액이 전혀 발생하지 않은 특정 지역, 특정 시간의 경우 0의 값이 발생한다. 이럴 경우 로그값이 존재할 수 없는 한계를 보정하기 위하여 모든 회복탄력성 비용지수에 1을 더하여 로그화를 해준다.

3. 독립변수 구성 및 설정

본 연구에 이용된 독립변수들은 다음과 같이 선행연구를 바탕으로 다음과 같이 선정하였다(표3 참조).

재해노출 변수는 최대강우량과 집중호우 일수로

구성되며 이는 해당 지역의 호우 및 태풍에 대한 노출 정도를 나타낸다. 본 연구에서는 Shaw et al.(2009) 등 다수의 연구에서 이용되고 있는 강수 강도 변수와 강수 빈도 변수를 나타내는 대리변수로 최대강우량과 집중호우 빈도 변수를 사용하였다. 최대강우량은 일 최대 강우량으로 측정되며, 집중호우 빈도는 일 강우량 80mm 이상인 일수로 측정된다.

물리적 대응력 변수는 홍수 발생을 억제하고, 강우 영향을 저감하며, 재해 복구를 수행하는데 기본이 되는 물리적 기반시설의 역량을 나타내며 하수관거 용량, 도로 용량으로 구성된다. ISET(2014)에서 회복탄력성 영향 인자로 고려하고 있는 하수관거 용량은 우수를 처리하는 하수관거의 길이를 시가화 면적으로 단위화한 것으로, 하수관거의 길이가 길수록 처리할 수 있는 빗물의 용량이 증가하여 홍수 발생 가능성이 낮아질 수 있음을 반영한다. Shaw et al.(2009)의 연구에서 사용하고 있는 도로 네트워크를 본 연구에서는 도로시설 용량으로 반영하고 있고, 도로 용량은 도로 길이를 행정구역 면적으로 단위화한 값을 나타내어 도로길이의 연장을 통한 도로 연결망 확보를 반영한다. 이는 도로의 설치로 인해 발생지역의 대피로 확보 및 구조구급 활동을 신속하게 할 수 있음을 가정한다. 하지만 도로의 증가는 불투수 면적의 증가로 이어져 홍수 발생 가능성이 늘어날 수 있는 부정적 영향 또한 내제하고 있다.

사회적 대응력은 재해 발생에 대처하는 개인의

표2. 모형 설명 Table 2. Model Description

종속변수 Dependent variable	종속변수 해석 Interpretation of the dependent variable	단위 Unit	출처 Source
인구당 피해액과 복구액의 합 Sum of property loss and recovery cost per capita	$\frac{damage + recovery}{population}$ ↓ = resilience ↑	천 원/인 thousand won per capita	소방방 재청 NEMA

표 3. 변수 설정 Table 3. Variables

구분 Classification	변수 Variables		내용 Contents	단위 Unit	자료출처 Reference
종속변수 Dependent Variable	회복탄력성 비용지수 Resilience Cost Index		$\frac{\text{피해액} + \text{복구액}}{\text{인구수}}$ Sum of Damage and Recovery per Capita	천 원/인 thousand won per capita	소방방재청 NEMA
독립변수 Independent Variables	재해 노출 Disaster Exposure	최대 강우량 Strength of rainfall	일 최대 강우량 the largest rainfall per day	mm	기상청 Meteorological Administration
		집중호우 일수 Days of heavy rainfall	강우량 80mm 이상인 일수 number of days with over 80mm rainfall	일 Days	
	물리적 대응력 Physical Resilience	하수관거 용량 Drain capacity	하수관거 길이/시가화면적 Length of drain pipe per living area	m/m ²	서울통계 Seoul Statistics
		도로 용량 Road Capacity	도로 길이/행정구역면적 Length of Road Extension	m/m ²	
	사회적 대응력 Social Resilience	응급처치교육 Emergency education	응급처치교육 받은 시민비율 Ratio of emergency training participation	%	
		자원봉사자 Volunteers	자원봉사자등록인구 / 인구수 number of volunteers per capita	인/인 person per person	
	기관 대응력 Institutional Resilience	소방공무원 Fire fighter	소방공무원 수 / 인구수 number of fire fighters per capita	인/인 person per person	
		재정자립도 Financial independent	지자체 재정자립도 Municipal financial independent rate	%	

능력으로 응급처치교육률과 자원봉사자수로 구성된다. Mayunga(2007) 및 Shaw et al.(2009), Cutter et al.(2010)의 연구에서 주민의 교육과 인식에 대한 변수를 고려하고 있듯이, 응급처치교육은 각종 재난재해 발생시 상황에 따른 국민행동요령에 대한 안전교육으로 시민들의 신속한 대처로 피해를 줄일 것으로 가정한다. Simpson(2008)의 연구에서 자원봉사단체 및 비영리기구의 유무를 고려하고 있는 것을 반영하여 본 연구에서는 자원봉사 참여인구수를 독립변수로 선정한다. 자원봉사 참여인구수는 전국 자원봉사센터에 등록된 성인 자원봉사 인원으로 자원봉사 참여인구가 많을수록 취약인구에 대한 교육 및 지원에 동참하고, 재해 복구상황에 투입될

수 있는 자원동원력이 향상됨을 가정한다.

기관 대응력 변수는 재해예방 및 대응활동을 시행하는 주체로서 정부기관의 역량을 반영하며 소방공무원과 재정자립도로 구성된다. Cutter et al.(2010)의 연구와 Simpson(2008)의 연구에서 소방서 및 응급구조서비스를 독립변수로 고려하고 있는 것을 반영하여 본 연구에서는 인구당 소방공무원 수를 고려한다. 소방공무원 수는 재해발생시 구조구급에 투입될 수 있는 인력을 나타내므로 비율이 높을수록 회복탄력성을 강화시키는 요인이다. Cutter et al.(2008) 및 Shaw et al.(2009), Simpson(2008)의 연구에서 사용하고 있듯이 재정자립도는 재정수입의 자체 충당 능력을 나타내는

표 4. 기초통계량 분석 Table 4. Basic Statistic Analysis

변수 Variables		Mean	Ob.	Category	Std. Dev.	Min	Max
회복탄력성 비용지수 Resilience Cost Index		3.4083	125	overall	17.2819	0.0000	188.5734
			25	between	8.7456	0.0058	44.7546
			5	within	14.9881	-41.2082	147.2270
재해 노출 Disaster Exposure	최대 강우량 Strength of rainfall	201.9093	125	overall	57.7416	98.0000	348.5000
			25	between	16.6584	170.4000	227.8000
			5	within	55.3674	109.5093	348.5093
	집중호우 일수 Days of heavy rainfall	4.248	125	overall	1.4167	1.0000	8.0000
			25	between	0.5108	3.4000	5.2000
			5	within	1.3246	1.2480	7.0480
물리적 대응력 Physical Resilience	하수관거 용량 Drain capacity	27806.59	125	overall	5486.505	18207.03	42268.71
			25	between	5293.495	20417.52	39500.86
			5	within	1727.585	17521.36	32798.81
	도로 용량 Road Capacity	14565.39	125	overall	5048.336	7385.851	25522.99
			25	between	5130.874	7908.617	25503.39
			5	within	95.1468	14042.63	15082.18
사회적 대응력 Social Resilience	응급처치교육 Emergency education	10.8896	125	overall	9.5345	0.7	53.5
			25	between	5.6915	5.72	28.2
			5	within	7.7175	-2.4104	43.6496
	자원봉사자 Volunteers	0.1305	125	overall	0.0405	0.0529	0.2598
			25	between	0.0295	0.0841	0.2111
			5	within	0.0282	0.0719	0.211
기관 대응력 Institutional Resilience	소방공무원 Fire fighter	0.0006	125	overall	0.0004	0.0000	0.0021
			25	between	0.0004	0.0000	0.0020
			5	within	0.0001	0.0004	0.0009
	재정자립도 Financial independent	47.1192	125	overall	16.7447	22.3000	85.7000
			25	between	16.5811	25.8600	79.1400
			5	within	3.7843	36.4192	56.6192

세입분석지표로 재정자립도가 높을수록 유동적으로 사용할 수 있는 예산의 증가로 방재 및 복구에 투자가 용이할 수 있다는 가정을 반영한다.

IV. 분석결과

1. 기초통계량 분석

회복탄력성과 관련된 변수들의 기초통계량을 분석한 결과는 다음과 같다(표4 참조). 서울시 25개 자치행정구의 5년 연속 패널데이터를 이용하여 총 125개의 관측대상을 갖는다.

종속변수인 회복탄력성 비용지수는 평균적으로

3,408원/인이며, 피해액 및 복구액이 전혀 없던 시기의 지역을 대변하는 최하 0원에서 최대 188,573원/인까지 상당한 편차를 보였다. 회복탄력성 비용지수와 재해노출 요인의 최대강우량 및 집중호우일수, 사회적 대응력 요인 중 응급처치교육률은 within 표준편차가 between 표준편차보다 크게 나타남에 따라 시계열 특성에 따른 편차가 크을 알 수 있다. 반면, 나머지 물리적 대응력 및 경제적 대응력, 사회적 대응력, 기관 대응력의 변수들은 모두 between 표준편차가 within 표준편차보다 크게 나타났다. 따라서 지역별 분포의 편차가 시계열 편차보다 더 크고, 지역별 차이가 뚜렷함을 알 수 있다.

2. 회복탄력성 핵심요인 분석

1) 패널데이터 분석

본 연구에서는 선행연구를 토대로 자연재해 노출, 물리적, 사회적, 기관 대응력 요인들을 선별했다. 변수들 간에는 높은 상관관계로 인하여 다중공선성이 존재할 수 있으므로 VIF(분산팽창계수)를 통해 다중공선성을 검증하였다. 분석결과 VIF(분산팽창계수)가 모두 2이하의 값을 나타내므로 변수 간 다중공선성이 낮음을 확인하였다.

선별된 종속변수와 독립변수를 이용하여 패널데이터분석에서 통상적으로 많이 사용되는 합동 OLS와 고정효과모형, 확률효과모형 분석을 실시한 결과는 다음 [표5]와 같다. 고정효과모형과 확률효과모형 중 적합한 모형은 하우스만 검정(Hausman Test) 결과 $Prob > \chi^2 = 0.4391$ 이 나옴에 따라 1% 유의수준에서 고정효과모형과 확률효과모형이 일치 추정량이라는 귀무가설을 기각하지 않는다. 즉, 고정효과모형과 확률효과모형에는 체계적 차이가 존재하지 않으므로 귀무가설 하에서는 고정효과모형보다 확률효과모형을 선택하는 것이 더 효율적인 추정량을 얻는다는 것을 알 수 있다.

또한 시계열데이터에 존재할 수 있는 자기상관 여부를 검증해보면, 1계 자기상관이 존재하지 않는다는 귀무가설을 $Prob > F = 0.3500$ 로 기각하지 않으므로 자기상관이 존재하지 않음을 확인할 수 있다. 이에 하우스만 검정과 자기상관 검정 결과 확률효과모형을 선택한다.

확률효과모형에서 각 변수들이 회복탄력성 비용지수에 미치는 영향력을 살펴보면, 재해노출 요인 중 최대강우량은 정(+)의 영향을 미치지만 그 외의 집중호우 일수 및 하수관거 용량, 도로용량, 자원봉사자 수, 응급처치교육률은 부(-)의 영향을 미치고 있다.

재해 노출요인에서 최대강우량이 정(-)의 영향관계를 가짐에 따라 단시간의 최대 강우량 증가가 해당 지역의 배수용량을 초과하여 침수를 초래하거나 또는 강 유역이 범람하는 사태가 일어나 피해액 및 복구액의 증가에 영향을 미침을 알 수 있다. 한편, 집중호우 일수의 경우 일반적으로 집중호우 일수가 높을수록 피해액 및 복구액이 클 것으로 예상하나, 부(-)의 영향관계가 나타남에 따라 결과는 상이했다. 이는 강우량은 클수록 집중호우 일수는 적을수록 피해가 커진다는 것은 많은 양의 강우가 짧은 시간에 집중적으로 내리는 폭우 현상을 반영한 결과이다. 단시간에 많이 내리는 폭우로 인한 피해가 장기간에 걸쳐 적게 내리는 비보다 더 큰 피해를 준다는 것을 알 수 있다.

물리적 대응력 요인에서 하수관거 용량은 회복탄력성 비용지수에 부(-)의 영향관계를 나타내는데, 이는 하수관거의 설치확대로 인해 처리할 수 있는 우수용량이 증가할수록 침수피해가 줄어드는 효과가 있음을 반영한다. 한편, 도로용량이 회복탄력성 비용지수에 부(-)의 영향관계를 나타내는 것은 도로용량이 증가됨에 따라 재해 발생시 대피로의 확보 및 구조구급을 위한 경로가 확보되어 피해를 줄일 수 있는 것으로 판단된다.

사회적 대응력 요인 중 자원봉사자수가 회복탄력성 비용지수에 부(-)의 영향력을 갖는 것은 자원봉사자가 많을수록 지역의 취약인구를 돕고, 안전 홍보에 참여하는 등 재해 예방 차원뿐만 아니라 재해 발생 이후 복구활동을 지원하여 지역의 방재력을 증가시키는 것으로 볼 수 있다. 또한 응급처치교육률의 경우도 회복탄력성 비용지수에 부(-)의 영향력을 갖는 것으로 나타났는데, 이는 위급상황 발생 시 대피 요령 및 안전교육을 통해 시민들의 위기대처능력을 함양시켜 재해 발생시 능동적으로 대처하고, 안전하게 대피할 수 있도록 시민역량을 강화한 결과 재해피해를 줄일 수 있었던 것으로 판단된다.

표 5. 패널분석결과 Table 5. Results of Panel Analysis

변수 Variables		합동 OLS Pooled OLS	고정효과모형 FEM	확률효과모형 REM
상수항 cons		1.04698 (1.57)	-14.47768 (-1.34)	1.20526 (1.54)
재해 노출 Disaster Exposure	최대 강우량 Strength of rainfall	0.00997*** (8.50)	0.00962*** (7.94)	0.00990*** (8.74)
	집중호우 일수 Days of heavy rainfall	-0.12651** (-2.56)	-0.10617* (-1.97)	-0.12489*** (-2.58)
물리적 대응력 Physical Resilience	하수관거 용량 Drain capacity	-0.00004*** (-2.69)	-0.00009** (-2.31)	-0.00004** (-2.46)
	도로 용량 Road Capacity	-0.00003** (-2.27)	0.00123 (1.59)	-0.00003* (-1.85)
사회적 대응력 Social Resilience	응급처치교육 Emergency education	-0.01238 (-1.52)	-0.01887* (-1.94)	-0.01510* (-1.84)
	자원봉사자 Volunteers	-2.86621 (-1.65)	-7.47218* (-1.94)	-3.22807* (-1.67)
기관 대응력 Institutional Resilience	소방공무원 Fire fighter	-257.90380 (-1.30)	-115.03410 (-0.14)	-220.50350 (-0.95)
	재정자립도 Financial independent	0.00342 (0.65)	-0.01078 (-0.44)	0.00311 (0.50)
sigma-u		-	6.5485	0.2509
sigma-e			0.6680	0.6680
rho			0.9897	0.1236
R^2 -within		0.4826	0.5200	0.4999
R^2 -between			0.0236	0.4187
R^2 -overall			0.0001	0.4819
하우스만 검정 Hausman Test		-	Prob > chi2 = 0.4391	
자기상관 검정 Test of Autocorrelation		-	Prob > F = 0.3500	

***, 1%, **, 5%, *, 10%에서 통계적으로 유의하게 나타남

2) 표준화 계수 비교

앞에서 살펴본 회귀계수는 변수별로 단위가 다르기 때문에 상대적인 영향력을 비교할 수 없다. 이에 상관계수의 단위가 다르게 나오는 것을 보정하는 방법으로 표준화된 회귀계수(Standardized Coefficient)가 있다. 표준화된 회귀계수는 각각의 변수들의 단위를 정규화하여 회귀계수의 크기비교가 가능하도록 한다. 이에 따라 가장 적절한 것

로 판단된 확률효과모형에서 표준화된 회귀계수 값은 다음 [표6]과 같다.

표준화 회귀계수의 절대값이 가장 큰 변수는 재해노출요인의 최대강우량변수로 0.60867의 값을 갖는다. 재해강도가 회복탄력성 비용지수에 영향을 미치는 가장 큰 영향요인임을 알 수 있다.

표준화 회귀계수의 절대값이 두 번째로 큰 변수는 물리적 대응력 요인 중 하수관거용량으로

-0.22530의 값을 갖는다. 우리나라는 재해피해의 80% 이상을 호우 및 태풍피해가 차지하기 때문에 재해피해를 저감하는 주된 대응요인으로 물리적 대응력 중 하수관거용량으로 나타난 것으로 판단된다. 집중된 폭우 및 호우에도 배수시설이 이를 처리할 수 있도록 용량을 증대시키면 침수 발생을 저감하여 피해액 및 복구액의 발생을 줄일 수 있다.

표준화 회귀계수의 절대값이 세 번째로 큰 변수는 사회적 대응력 요인 중 응급처치교육률로 -0.15329의 값을 갖는다. 이는 자연재해의 대응력에 사회적 대응력이 물리적 대응력 못지않게 중요함을 시사한다. 이는 Cutter et al.(2008)의 연구에서 강조하듯이 지역사회 역량이 자연재해 회복탄력성을 강화하는데 중요한 요인임을 실증적으로 보여주는 결과이다.

그 다음으로 표준화 회귀계수의 크기는 재해노출요인의 집중호우 일수가 네 번째로 큰 절대값으로 -0.18836을 보이고, 다섯 번째는 물리적 대응력 요인의 도로용량이며 -0.15985을 나타낸다. 마지막으로 사회적 대응력 요인의 자원봉사자 수는 표준화 회귀계수 값 -0.13918으로 가장 작은 절대값을 보이고 있다. 이를 통해 회복탄력성 비용지수에는 재해노출요인과 물리적 대응력 요인, 사회적 대응력 요인이 약간의 영향력 차이는 존재하지만 공통적으로 회복탄력성에 실질적인 영향을 미치는 요인으로 작용함을 알 수 있다.

3. 회복탄력성 핵심요인의 서울시 추세비교

위의 분석을 통해 도출된 회복탄력성 실질적 영향요인 중 재해노출 요인은 인위적으로 관리 및 계획할 수 있는 요인이 아니기 때문에 이를 제외하고 물리적 대응력과 사회적 대응력 요인의 서울시 평균 시계열 추세를 살펴본 바는 다음 [그림 4]와 같다. 먼저 회복탄력성의 실질적 영향요인을 살펴

표 6. 표준화 회귀계수
Table 6. Standardized Coefficient

변수 Variables		확률효과모형 REM	
		회귀계수 Coef.	표준화 회귀계수 Std. Coef.
재해 노출 DE	최대 강우량 Strength of rainfall	0.00990*** (8.74)	0.60867*** (8.74)
	집중호우 일수 Days of heavy rainfall	-0.12489*** (-2.58)	-0.18836*** (-2.58)
물리 적 대응 력 PR	하수관거 용량 Drain capacity	-0.00004** (-2.46)	-0.22530** (-2.46)
	도로 용량 Road Capacity	-0.00003* (-1.85)	-0.15985* (-1.85)
사회 적 대응 력 SR	응급처치교육 Emergency education	-0.01510* (-1.84)	-0.15329* (-1.84)
	자원봉사자 Volunteers	-3.22807* (-1.67)	-0.13918* (-1.67)
기관 대응 력 IR	소방공무원 Fire fighter	-220.5035 (-0.95)	-0.10498 (-0.95)
	재정자립도 Financial independent	0.00311 (0.50)	0.05548 (0.50)

면, 물리적 대응력 요인인 하수관거 용량과 도로용량은 2003년부터 2013년까지 연도별 서울시 평균 값을 살펴보고, 사회적 대응력 요인인 응급처치교육률과 자원봉사자 등록률은 자료취득 여부에 따라 2005년부터 2013년까지 서울시 평균값을 살펴보았다. 이를 통해 서울시의 회복탄력성 역량은 어떻게 관리되고 변화해 왔는지 살펴볼 수 있다.

물리적 대응력에 해당하는 도로용량은 시간이 흐름에 따라 점차 증가하는 것을 알 수 있고, 이는 회복탄력성 비용지수를 감소하는 영향을 미침으로써 서울시의 회복탄력성은 강화하는 결과를 가져오고 있다. 반면, 하수관거 용량은 시가화면적 대비 하수관거 길이로 측정되는데, 시가화면적과 하수관거 길이는 모두 시간이 지남에 따라 꾸준히 증가하나 시가화면적의 증가율이 하수관거 길이 증가율보

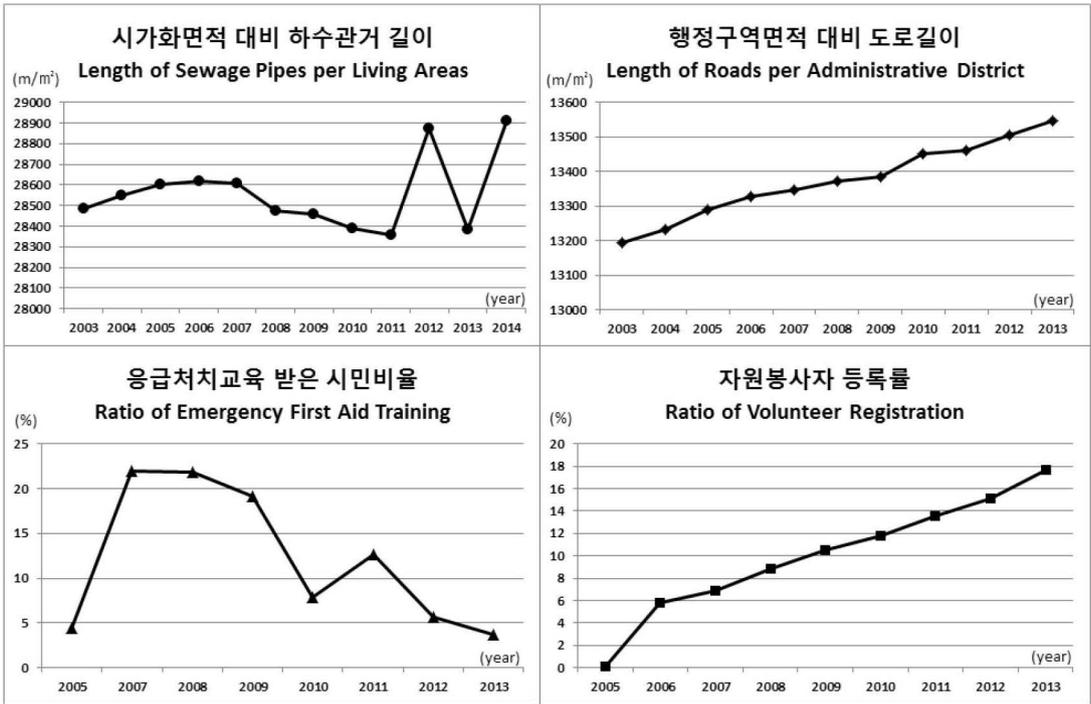


그림 4. 서울시 평균 회복탄력성 핵심요인의 시계열 추세변화
Figure 4. Average Trends of Resilience Main Factors in Seoul

다 커서 하수관거 용량은 점차 감소하는 추세를 보이고 있다⁴⁾. 이는 회복탄력성 비용지수를 증가시킴에 따라 서울시의 회복탄력성은 약화되는 영향을 받는다.

사회적 대응력의 경우도 자원봉사자 등록률은 2005년 이후 꾸준히 증가하는 추세를 보이는 반면, 응급처치 교육률은 2007년 급등한 이후로 2013년까지 지속적으로 감소하는 추세를 보이고 있다. 이에 따라 자원봉사자 등록률은 회복탄력성을 강화하는 영향을 주지만, 응급처치 교육률은 회복탄력성을 약화시키는 영향을 미치고 있다.

이와 같은 결과는 서울시의 물리적 대응력 요인과 사회적 대응력 요인 중 일부는 회복탄력성을 강화하는 방향으로 관리되어가고 있는 반면, 다른 일부는 회복탄력성을 약화시키는 방향으로 변화함을

반영한다. 이에 따라 재해에 대응하여 회복탄력성 있는 도시를 건설하기 위해서는 물리적 요인 및 사회적 요인에 해당하는 인자들이 회복탄력성을 강화하는 방향으로 관리되어야 함을 시사한다.

V. 결론

본 연구는 회복탄력성 비용지수를 산출하여 이에 영향을 주는 주요 요인을 도출하여 그간 회복탄력성의 영향요인에 대한 개념적 논의를 실증적 분석으로 검증하였다. 이를 위해서 선행연구를 바탕으로 풍수해를 대상으로 회복탄력성 비용지수를 산출하고, 회복탄력성 영향요인을 재해노출 요인 및 물리적, 사회적, 기관 대응력 요인으로 구분하여 변수를 선정하였다. 분석 범위는 자료취득의 여부에 따라

서울시를 대상으로 2009년부터 2013년까지 5년 연속 패널데이터를 이용하여 분석을 수행하였다. 이와 같은 연구는 재해대응에 대한 사회적 관심이 늘어나고 있는 상황에서 회복탄력성에 실질적으로 영향력 있는 변수를 도출함으로써 방재 정책 및 풍수해 저감계획을 시행하는데 필요한 실증적 근거를 제공하는데 의의가 있다. 본 연구의 주요 결과 및 정책적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 회복탄력성 비용지수로 측정된 회복탄력성에는 재해 노출 요인뿐만 아니라 물리적 대응력과 사회적 대응력 요인도 통계적으로 유의한 영향을 미친다. 특히, 인위적으로 관리가 불가능한 재해노출요인을 제외하고, 하수관거 용량, 도로용량, 자원봉사자 수, 응급처치교육률은 회복탄력성 비용지수에 실질적으로 부(-)의 영향력을 갖는 것으로 나타났다. 이는 물리적 대응력과 사회적 대응력이 증대됨에 따라 피해 저감 및 복구 활동의 효율성이 향상되어 회복탄력성을 강화하는 요인으로 작용함을 반영한다. 이와 같은 결과는 기존의 방재계획은 물리적 기반시설을 중심으로 이루어져왔으나 앞으로의 회복탄력성을 고려한 재해대응에는 물리적 요인뿐만 아니라 사회적 대응력 또한 중요한 고려요인이 되어야함을 시사한다. 이는 회복탄력성에 있어 지역사회 및 지역주민의 역량이 중요함을 강조한 선행연구의 이론적 주장과 일치하는 결과이다 (Cutter, 2008; 김태현 외, 2011). 따라서 앞으로의 방재계획 및 재해 대응 정책을 시행함에 있어 물리적 시설 요인뿐만 아니라 비물리적·비구조적 정책 및 계획에 대한 고려가 필요하겠다.

둘째, 물리적 대응력 요인 중 하수관거의 우수처리용량은 회복탄력성을 강화하는 중요한 요인으로 나타나 향후 추가 개발 및 재생 사업시 하수관거의 설치 확보를 통하여 침수예방효과로 자연재해 피해를 저감할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 도로용량은 피해지역의 대피로 확보 및 연결망의 다

양화를 반영하여 재해피해를 감소하는 영향을 미치고 있다. 즉, 도로용량이 확보되는 것은 회복탄력성을 강화하는 요인으로 작용한다. 이에 따라 재해 발생시 대피 및 구조구급 활동을 위해서는 단일 도로보다는 다른 도로와 연결되어 피해 지역의 도로를 대체할 수 있는 도로망을 구축하는 것이 중요함을 시사한다.

셋째, 사회적 대응력 요인 중 응급처치교육은 위기상황에서 시민들의 대처능력을 향상시켜 피해를 줄일 수 있게 하는 것으로 나타났다. 하지만 이에 대한 서울시의 시계열적 변화는 감소하는 것으로 나타나 회복탄력성을 약화시키고 있는 상황이다. 따라서 서울시는 시민들을 대상으로 소방서에서 실시하고 있는 응급처치교육을 장려하여 회복탄력성을 강화하는 방향으로 관리해야할 것이다. 또한, 자원봉사자는 재해 발생 전 교육 및 복지 활동을 통해 지역사회의 역량을 강화하고, 재해 발생 시에는 복구활동에 참여함으로써 회복탄력성을 강화하는 핵심요소이다. 따라서 지역의 자원봉사참여율을 높일 수 있도록 봉사활동 점수제와 같은 정책적 인센티브가 필요하겠다.

넷째, 재해노출 요인에서 최대강우량은 증가할수록, 집중호우 일수는 감소할수록 재해의 피해액 및 복구액이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 단기간에 집중적으로 내리는 폭우가 재해 피해에 부정적인 영향을 미치는 것을 의미한다. 현재 자연재해의 발생 현황을 보면 기후변화로 인하여 단기 집중적 폭우 빈도 및 규모가 빠르게 증가하고 있는 추세이다. 따라서 이는 향후 방재에 회복탄력성 개념 도입이 시급하며, 재해에 안전한 도시 정립의 중요성이 증가하고 있음을 시사한다.

본 연구의 한계로는 우선 분석이 자치구 대상으로 이루어져 물리적 대응력 지표 설정에 있어 풍수해와 밀접한 관계가 있는 지형의 경사나 하천유역의 영향 등의 미시적 지형적 특성이 반영되지 못하

었다는 것이다. 추후 좀 더 미시적, 지역적 차원에 서의 연구가 필요하다. 또한 데이터 취득의 어려움으로 인해 패널데이터의 시계열 기간이 다소 짧다는 것이다. 자연재해의 특성상 불규칙적으로 특정 연도에 대규모의 피해가 발생하는 경향이 있기 때문에 긴 시계열에서 영향관계를 살펴보는 것이 수해피해양상의 시계열적 현상을 반영하기에 적합하다. 향후 지역별로 긴 시계열 자료가 제공될 경우 보다 정확한 분석이 가능할 것이다.

이러한 한계에도 불구하고 본 연구는 지역적 효과와 시계열적 효과를 동시에 반영하여 회복탄력성에 유의한 영향을 미치는 요인을 밝힘으로써, 방재 계획 및 정책이 물리적 대응력뿐만 아니라 사회적 대응력과 정부 차원의 대응력을 복합적으로 고려해야 함을 역설하고 있다. 본 연구가 회복탄력적인 도시 건설에 기여할 것으로 기대되는 바이다. 또한, 향후 본 연구를 기반으로 훌륭한 학술적인 연구가 등장하길 바란다. 이를 위해서는 탄탄한 통계자료의 구축이 지속적으로 이루어져야하고, 이러한 연구가 사회에 실질적으로 반영되기 위해서 법령 및 행정 규칙, 자치법규 등 법적 측면과 연계되는 연구가 앞으로 더욱 중요할 것으로 생각된다.

- 주1. 본 연구에서 사용된 피해액 및 복구액은 풍수해를 대상으로 산출되었다.
- 주2. 총피해액은 건물, 선박, 농경지, 농작물, 공공시설, 기타의 자연재해 총 피해액을 환산가격으로 나타낸 것이다(소방방재처, 2013)
- 주3. 총복구액은 소방방재청 및 산림청을 비롯하여 국토해양부, 교육과학기술부, 농림수산부 등 총 15개 부처에서 수행하는 자연재해 복구사업에 투입되는 모든 비용을 합산한 값이다(국회예산정책처, 2012)
- 주4. 시가화 면적 대비 하수관거 길이 변수는 시가화면적은 지속적으로 늘어나는 반면 하수관거 길이에 변화가 생겨 변수 값의 변동폭이 크게 나타났다. 이는 노후불량 하수관거의 정비에 위한 하수관거의 증설 개량의 과정에서 발생한 증감의 차이로 판단된다.

인용문헌

References

1. 강양석, 2007. “도시기본계획의 방재계획 부문에서 설정되어야 할 지표”, 「국토계획」, 42(2): 17-29.
Kang, Y.S., 2007. “A Study on Indicators for Disaster Prevention in Developing Urban Master Plan”, *Journal of Korea Planners Association*, 42(2): 17-29.
2. 경기연구원, 2013. 「자연재해로부터의 지역사회 회복탄력성 도입방안」, 수원.
Geonggi Research Institute., 2013. *A Policy Implication for Community Resilience from Natural Disaster*, Suwon.
3. 국립재난안전연구원, 2010. 「도시방재기준 개발을 위한 요소별 분류 및 방향 설정」, 서울.
National Disaster Management Institute, 2010. *Classifying the urban elements and setting up the directions for developing urban disaster prevention standard*, Seoul.
4. 국회예산정책처, 2012. 「재해복구사업 집행실태 분석」, 서울.
National Assembly Budget Office, 2012. *Analysis on Execution of Disaster Recovery Business*, Seoul.
5. 한국조세연구원, 2003. 「지방자치단체 재정편익과 지역 간 균형 발전에 관한 연구」, 서울.
Korea Institute of Public Finance, 2003. *Net Fiscal Benefit of Local Governments and Balanced Regional Development Policy*, Seoul.
6. 김지숙, 김호용, 이성호, 2014. “도시 기후변화 재해 취약성분석 방법의 개선방안 검토 : 해수면상승 재해를 중심으로”, 「한국지리정보학회지」, 17(1): 50-60.
Kim, J.S., Kim, H.Y., Lee, S.H., 2014. “Review on Improvements of Climate Change Vulnerability Analysis Methods: Focusing on Sea Level Rise Disasters”, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 17(1): 50-60.
7. 김태현, 김현주, 이계준, 2011. “재난관리를 위한 도시 방재력(Urban Resilience) 개념 및 기능적 목표 설정”, 「한국안전학회지」, 26(1): 65-70.

- Kim, T.H., Kim, H.J., Lee, K.J., 2011. "The Concept and Functional Objectives of the Urban Resilience for Disaster Management", *Journal of the Korean Society of Safety*, 26(1): 65-70.
8. 김현주, 강양석, 2005. "방재관점에서 도시정비를 위한 구조·구급 및 대피위험도 평가", 「국토계획」, 40(3):219-234.
- Kim, H.J., Kang, Y.S., 2005. "A Study on the Emergency and Evacuation Vulnerability Assessment for the Urban Improvement", *Journal of Korea Planners Association*, 40(3): 219-234.
9. 문채, 2012. "도시기본계획과 풍수해저감종합계획의 연계방안에 관한 연구", 「한국정책연구」, 12(3): 157-176.
- Moon, C., 2012. "Making Linkages between the Urban Master Plan and Comprehensive Hydrological Disaster Management Plan", *The Journal of Korea Policy Studies*, 12(3):157-176.
10. 민인식, 최필선, 2012. 「STATA 패널데이터 분석」, 서울: 지필미디어.
- Min, I.S., Choi, P.S., 2012. *STATA Panel Data Analysis*, Seoul: Jipilmedia.
11. 박재운, 이주형, 2010. "기성시가지 위험도 평가를 통한 재해피해 저감방안: 성남시 기성시가지(수정구, 중원구) 일원을 중심으로", 「국토계획」, 45(6): 191-208.
- Park, C.U., Lee, J.H., 2010. "Analyzing the Measures of Decreasing Disaster Damage Through Assessing the Risk of Built Up Area-Focusing on built-up areas (Sujeong-gu, Jungwon-gu) of Seongna City in Korea", *The Journal of Korea Planners Association*, 45(6): 191-208.
12. 법제처 국가법령정보센터, 2014. 「재난구호 및 재난 복구 비용 부담기준 등에 관한 규정, 대통령령 제 25653호」, 서울.
- Korea Ministry of Government Legislation, 2014. *Regulation for disaster aid and standard of disaster restoration cost, Presidential decree 25653*, Seoul.
13. 소방방재청, 2013. 「2013 재해연보」, 서울.
- National Emergency Management Agency, 2013. *2013 Disaster Yearbook*, Seoul.
14. 신진동, 김태현, 김현주, 2012. "방재력 관점의 법률 분석을 통한 도시방재력 강화방안", 「국토계획」, 47(1): 185-197.
- Shin, J.D., Kim, T.H., Kim, H.J., 2012. "The Measures to Strengthen Urban Resilience through the Legal Analysis from the Viewpoint of Resilience", *Journal of Korea Planners Association*, 47(1): 185-197.
15. 유순영, 안현욱, 김성욱, 이길하, 김진만, 2014. "방재력 비용 지수를 이용한 복구활동의 효과 분석", 「환경정책」, 22(1): 31-54.
- Yu, S.Y., An, H.U., Kim, S.W., Lee, K.H., Kim, J.M., 2014. "Impact Analysis of Disaster Recovery Using Resilience Cost Index", *Journal of Environmental Policy and Administration*, 22(1):31-54.
16. 이병재, 김원현, 송주일, 심우배, 2013. "공간분석을 통한 중소도시 수해특성 및 도시계획적 대응방안 연구", 「한국위기관리논집」, 9(6): 45-64.
- Lee, B.J., Kim, W.H., Song, J.I., Sim, W.B., 2013. "Spatial Analysis of Flood Dam age Characteristics of Small and Medium-sized Cities and a Study on Urban Planning Methods for Flood Risk Reduction", *Korean Review of Crisis & Emergency Management*, 9(6): 45-64.
17. 이임열, 김수전, 김연수, 김형수, 2013. "풍수해 대응을 위한 안양천 유역의 회복탄력성 평가", 「한국방재학회논문집」, 13(2): 291-298.
- Lee, L.Y., Kim, S.J., Kim, Y.S., Kim, H.S., 2013. "Evaluation of Resilience in Anyang River Basin for Flood Damage Mitigation", *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 13(2): 291-298.
18. 정준호, 이승호, 2012. "극한 기후변화가 농업에 미친 경제적 효과 추정: 강원도의 사례". 「대한지리학회」, 47(3): 459-470.
- Jeong, J.H., Lee, S.H., 2012. "Estimating the Economic Impacts of Extreme Climate Events on Agriculture: the Case of Gangwon-do", *Journal of the Korean Geographical Society*, 47(3):459-470.
19. 최열, 서만훈, 2013. "도시특성 요소가 자연재해에 의한 피해액에 미치는 영향에 관한 연구", 「국토계획」, 48(5):309-318.
- Choi, Y., Sea, M.H., 2013. "Assessing the Impact

- of the Factors of Urban Characteristics on the Damages Caused by Natural Disaster Using Panel Model”, *Journal of Korea Planners Association*, 48(5):309-318.
20. 최충익, 2013. “현대 서울의 재난·재해 발생 특성에 관한 역사적 연구”, 『한국지역개발학회지』, 25(1): 159-182.
- Choi, C.I., 2013. “A Historical Research on the Disaster Characteristics in Modern History of Seoul”, *Journal of the Korean Regional Development Association*, 25(1): 159-182.
21. 최충익, 2014. “도시화와 재해피해 그리고 경제성장에 관한 지수분해분석”, 『국토계획』, 49(3): 195-209.
- Choi, C.I., 2014. “Index Decomposition Analysis for Urbanization, Disaster Damages and Economic Growth”, *Journal of Korea Planners Association*, 49(3): 195-209.
22. 한국환경평가·정책연구원, 2008. 「기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안」, 서울. Korea Environment Institute, 2008. *Development and application of a climate change vulnerability index*, Seoul.
23. Berke, P., Smith, G., 2009. *Hazard Mitigation, Planning, and Disaster Resiliency: Challenges and Strategic Choices for the 21st Century*, Amsterdam : IOS Press.
24. Burton, C.G., 2012. “The Development of Metrics for Community Resilience to Natural Disasters”, Ph. D. Dissertation, University of South Carolina.
25. Capaella T.J., 2014. “Urban Resilience and the Recovery of New Orleans”, *Journal of the American Planning Association*, 72(2):141-146.
26. Cutter, S.L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., Webb, J., 2008, “A place-based model for understanding community resilience to natural disasters”, *Global Environmental Change*, 18:598-606.
27. Cutter, S.L., Burton. C.G., Emrich, C.T., 2010. “Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions”, *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 7(1):1547-7355.
28. Eraydin, A., Tasan-Kok, T., 2013. *Urban Resilience and Spatial Dynamics*, Dordrecht; New York: Springer.
29. ISET, 2014. *Developing Indicators of Urban Climate Resilience*, Vietnam.
30. Mayunga, J.S. 2007. “Understanding and Applying the Concept of Community Disaster Resilience: A capital-based approach”, Paper presented at Summer academy for social vulnerability and resilience building, Munich: United Nations University Institute for Environment and Human Security.
31. Mayunga, J.S., 2009. “Measuring the Measure: A Multi-dimensional Scale Model to Measure Community Disaster Resilience in the U.S. Gulf Coast Region”, Ph. D. Dissertation, Texas A&M University
32. Parvin, G.A., Shaw, R., 2011, “Climate Disaster Resilience of Dhaka City Corporation: An Empirical Assessment at Zone Level”, *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy*, 2(2): 1-30.
33. Shaw, R., Razafindrabe, B., Gulshan, P., Takeuchi, Y., Surjan, A., 2009. “Climate Disaster Resilience: Focused on Coastal Urban Cities in Asia”, *Asian Journal of Environment and Disaster Management*, 1: 101-116.
34. Simpson, D.M. 2008. “Disaster preparedness measures: a test case development and application”, *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 17(5): 645-661
35. Tierney, K.J., 1995, “Impact of Recent U.S. Disasters in Businesses: The 1993 Midwest Floods and the 1994 Northridge Earthquake”, Paper presented at the National Center for Earthquake Engineering Research Conference on the Economic Impacts of Catastrophic Earthquakes — Anticipating the Unexpected, New York: the National Center.
36. Tierney, K., Bruneau, M., 2007. “Conceptualizing and Measuring Resilience: A key to disaster loss reduction”, *TR NEWS*, 250:14-17.

37. Vugrin, E.D., Warren, D.E., Ehlen, M.A., 2011. "A Resilience Assessment Framework for Infrastructure and Economic Systems: Quantitative and Qualitative Resilience Analysis of Petrochemical Supply Chains to a Hurricane" *Process Safety Progress*, 30(3):280-290.
38. US Department of Energy. 2001. *Vulnerability to climate change: a quantitative approach*, U.S.

Date Received 2015-07-14
Reviewed(1st) 2015-10-19
Date Revised 2015-11-20
Reviewed(2nd) 2015-12-14
Date Accepted 2015-12-14
Final Received 2015-12-16