

홍수피해 특성에 따른 지역사회 홍수회복력 분석

An Analysis of Community Flood Resilience with a Focus on Flood Damage Characteristics

김청일* · 홍종호**

Cheongil Kim · Jongho Hong

요약: 기후변화와 이상기상 현상으로 인해 홍수위험에 대한 예측가능성이 낮아지면서 기존 예방 중심의 대응방안으로는 홍수피해를 최소화하는 효과를 기대하기 어려워졌다. 이에 따라 홍수위험 요소를 사전에 예측 혹은 방지하는 방식보다는 홍수 발생 이후 신속히 이전 상태로 복구하거나 더 나은 상태로 지역사회 시스템을 개선하는 홍수회복력 중심의 대응방안이 중요해지고 있다. 홍수회복력을 효과적으로 구축하기 위해서는 지역별 홍수피해 특성과 연계한 홍수회복력 변수를 분석할 필요가 있다. 이 연구는 홍수피해 특성에 따른 지역사회 홍수회복력을 분석하기 위해 2018년을 기준으로 전국 229개 기초지자체의 홍수피해 특성을 분류하고, 각 특성을 대표하는 지역들의 홍수회복력 변수를 분석하였다. 다강우-대피해와 다강우-소피해 대표 지역을 비교·분석한 결과, 재정적·자연적·물리적 홍수회복력이 홍수피해와 상관성이 있었다. 특히 인적·물적 피해가 발생한 지역은 물리적 홍수회복력이, 물적 피해만 발생한 지역은 물리적·인적 홍수회복력이 홍수피해와 상관성이 있었다. 저강우-대피해와 저강우-소피해 대표지역을 비교·분석한 결과, 재정적·물리적 홍수회복력이 홍수피해와 상관성이 있었으며, 물리적 홍수회복력이 크지만 저강우-대피해가 발생한 지역의 경우 신규 시설보다는 기존 시설에 대한 운영 및 유지관리 미흡이 문제인 것으로 확인되었다.

핵심주제어: 지역사회 홍수회복력, 홍수회복력 측정지표, 홍수피해 특성

Abstract: As the uncertainty of flood risk has increased due to climate change, flood risk management that focuses on community flood resilience has become more necessary to minimize flood risk and quickly recover or improve conditions. The purpose of this study was to analyze the flood resilience of different communities according to flood damage characteristics. The characteristics of flood damage in 2018 were classified for 229 local governments, and the flood resilience variables for community capitals were compared: each characteristic was related to flood damage reduction in the representative areas. Comparing the representative areas of heavy rainfall/severe damage with the representative areas of heavy rainfall/low damage revealed that financial-natural-physical flood resilience is related to flood damage. In addition, there was a difference in physical-human flood resilience between the areas where human and material damage occurred and those where only material damage occurred. Additionally, comparisons of the representative areas of low rainfall/severe damage with the representative areas of low rainfall/low damage indicated that financial-physical flood resilience is related to flood damage. Furthermore, it was discovered that, in the case of low rainfall/severe damage areas that had a high level of physical flood resilience, the problem was the insufficient operation and maintenance of existing facilities rather than problems related to new facilities.

Key Words: Community Flood Resilience, Flood Resilience Indicators, Flood Damage Characteristics

* 주저자, 울산과학기술원 도시환경공학과 박사후연구원

** 교신저자, 서울대학교 환경대학원 교수, 서울대학교 환경계획연구소 및 지속가능발전연구소 겸무연구원

I. 서론

우리나라 홍수피해는 해마다 유사한 양상이 반복하여 발생하고 돌발적으로 발생하는 특징을 지닌다. 2010년부터 2019년까지 우리나라 호우 및 태풍으로 인한 피해액은 약 3,139억 원에 이르며 이는 연간 국내총생산(GDP)의 약 0.02% 손실이 발생한 금액과 같다(현대경제연구원, 2020). 기후변화로 인한 홍수위험의 예측가능성이 낮아지면서 기존의 예방(anticipation)에 중점을 둔 전략은 더 이상 유효하지 않게 되었다. 홍수위험을 정확히 예측하기 어렵고 대응방법에 대한 충분한 정보나 지식이 없다면, 홍수위험요소를 사전에 차단 혹은 제거하는 전략보다는 홍수피해 이전으로 신속히 복구하고 더 나은 상태로 개선하여 미래의 홍수위험과 피해를 줄이는 홍수회복력 중심 적응전략이 효과적이다(Wildavsky, 1988; Vugrin et al., 2010; 최병선, 1994).

지역사회별 맞춤형 홍수회복력 강화전략 필요성이 커지면서 지역단위(sub-national) 홍수회복력을 측정 및 분석하는 다양한 연구가 수행되었다. Keating et al.(2017)과 Batica(2015)는 전 세계 지역사회에 적용 가능한 홍수회복력 지표를 개발하고, 홍수피해 이후 지속가능발전을 달성하기 위한 학습단계 지표를 강조하였다. 국내연구 중 한우석 등(2016), 김연수 등(2018), 최창현 등(2018)은 우리나라 지자체에 적용할 수 있는 정책활용도가 높은 지표를 제시하였다. 기존 연구들이 제시한 지표들은 우리나라 실정에 맞지 않거나 지역사회 홍수회복력 이론적 개념과 연계가 부족한 면이 있고, 개별 지역사회 홍수회복력을 평가하는 것에 그친 한계점이 있다.

이 연구가 지닌 선행연구와의 차별점 및 학술적 기여점은 다음과 같다. 첫째, 지속가능발전목표(SDGs), 파리협정(PA), 센다이프레임워크(SFDRR)가 공통적으로 강조하는 기후변화 위험에 대응한 회복력 있는 지역사회 구축에 정책적·이론적으로 기여하고자 한다. ‘지속가능발전-기후변화적응-재해위험경감’ 아젠다에 대한 통합적 관점에서 우리나라 실정에 맞는 한국형 지역사회 홍수회복력 지표를 구축하고자 한다.

둘째, 홍수피해 특성과 홍수회복력의 상관성을 분석하고자 한다. 전국 기초지자체 강우강도와 홍수피해 규모 자료를 사용하여 홍수피해 특성 유형을 분류하고, 각 특성을 대표하는 지역사회 간 홍수회복력 차이를 분석하고자 한다.

이 연구에서는 지역사회 홍수회복력 개념을 “지역사회를 구성하는 재정적, 인적, 자연적, 물리적, 사회적 자본(capital)이 홍수위험관리단계별 활동을 통해 홍수위험관리시스템을 개선하여 미래 홍수위험과 피해를 최소화하는 것”으로 정의한다. 지역사회 홍수회복력은 개별 지역사회가 학습단계에서 기울인 노력 정도에 따라 결정되며, 홍수회복력이 클수록 홍수위험의 영향력은 작아진다(Batica, 2015; Pelling et al., 2015; Chang et al., 2020a; Kuang et al., 2020; Zhang et al., 2020; Pettengell et al., 2020). 이에 따라 ‘홍수회복력이 큰 지역사회일수록 홍수피해가 작다.’라는 명제를 바탕으로 다강우-대피해 및 소피해, 저강우-대피해 및 소피해 특성을 대표하는 지역들의 홍수회복력을 분석하였다. 강우강도가 유사한 대표지역을 비교하여 홍수피해와 상관성 있는 홍수회복력 변수와 그 함의를 도출하였다.

이 논문은 제2절 이론 및 선행연구 검토, 제3절 분석 대상 및 방법, 제4절 분석결과로 구성된다. 제2절은 지역사회 홍수회복력 개념을 재정의하고, 기존 지역사회 홍수회복력 측정연구와의 차별점을 제시하였다. 제3절은 홍수피해 특성별 대표지역 선정, 지역사회 홍수회복력 지표 구축 및 측정, 홍수회복력 분석 방법을 제시하였다. 제4절은 전국 기초지자체를 대상으로 홍수피해 특성에 따른 홍수회복력 차이를 검정하고, 대표지역을 대상으로 홍수피해와 홍수회복력의 상관성을 분석하였다.

II. 이론 및 선행연구 검토

1. 지역사회 홍수회복력 개념

지역사회 홍수회복력(community flood resilience)의 중요성은 기후변

화 위험에 대응한 지속가능한 삶과 발전에 관한 이슈가 재난분야에서 다루어지면서 증가하였다(Klein et al., 2003; Cutter et al., 2008; Etinay et al., 2018). 재난분야 학자들은 기후변화 영향에 대한 불확실성이 높아질수록 홍수위험(flood risk)에 대응해 회복력 있는 지역사회를 구축할 것을 주장하였다(Mayunga, 2009; Batica, 2015; Keating et al., 2017; Oladokun and Montz, 2019).

홍수위험은 기후변화에 따른 위해(hazard)와 노출(exposure), 취약성(vulnerability)이 상호작용하여 나타나는 것으로 지역사회마다 다르고 예측이 어려운 특징을 지닌다(IPCC, 2012, 2014). 홍수피해 규모는 홍수위험 대응방식에 따라 결정되는데 홍수위험요소 중 도시화, 토지이용계획, 기상·기후 요소가 가장 큰 영향을 미친다(Chang et al., 2020b; Lee and Hong, 2016). 인간활동으로 인한 기후변화가 심화 될수록 홍수위험요소를 사전에 방지하는 완화전략은 한계가 있다. 홍수위험에 대한 예측이 어려워질수록 홍수피해 이후 신속히 복구하고, 이전보다 나은 상태로 개선하는 홍수회복력 중심 적응전략이 효과적이다(Wildavsky, 1988; Batica, 2015).

재난분야에서 회복력은 일반적으로 “현재의 위험이 초래하는 상황을 최소화하고 잠재된 미래 위험을 저감하기 위한 개선복구를 수행하는 능력”으로 정의되며, 내구성(Robustness), 가외성(Redundancy), 자원동원성(Resourcefulness), 신속성(Rapidity) (=4Rs)의 속성을 지닌 것으로 본다(Wildavsky, 1988; Miletic, 1999; Bruneau et al., 2003; Walker et al., 2004; Paton, 2007; Tierney et al., 2007; Cutter et al., 2008; Mayunga, 2009; Folke et al., 2010). ‘홍수회복력’은 홍수피해가 발생한 이전 상태로 신속하게 되돌아가거나 더 나은 상태로 개선하여 미래 홍수위험과 피해를 최소화하는 능력을 의미한다고 할 수 있다(Batica and Gourbesville, 2014; Batica, 2015; Pettengell et al., 2020). 이러한 홍수회복력을 강화하는 적응전략은 홍수피해 경험에 대한 학습을 통해 지속가능한 삶과 발전을 달성하는 것을 목표로 삼는다(Cox, 2015; Keating et al., 2017). 빈

곤한 국가나 사회가 홍수피해 이전 상태로 돌아가는 것에 그친다면 빈곤한 상태가 지속되거나 유사한 홍수피해가 반복될 것이기 때문이다.

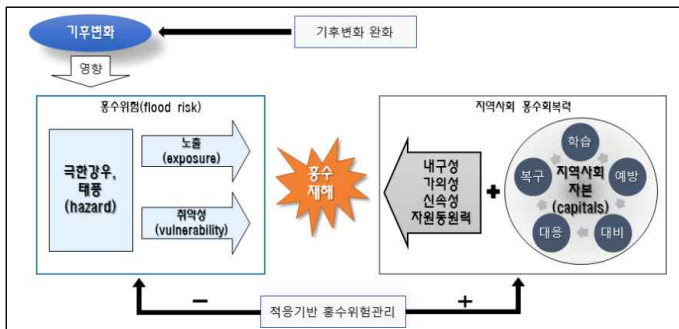
지역사회와 연계한 홍수회복력은 홍수피해 이후 지역사회 이해관계자들 사이에 이루어진 사회적 학습(social learning) 정도에 의해 결정된다. 사회적 학습 증진 요인에 대해서는 다양한 의견이 있으나, 사회적 학습이 잘 이루어지는 지역사회일수록 홍수위험관리 변환을 통해 홍수회복력은 점차 강화된다는 사실은 다수의 연구를 통해 확인되었다(Pelling et al., 2015; Kuang et al., 2020; Zhang et al., 2020; Chang et al., 2020a). 지역사회 홍수회복력의 핵심은 홍수피해 이후 얼마나 사회적 학습이 이루어졌는지와 얼마나 개선된 상태에 도달하였는지가 된다(Vugrin et al., 2010; IPCC, 2012; Batika, 2015). 이점이 바로 홍수회복력과 주로 함께 논의되는 홍수취약성과의 차이점이라 할 수 있다.

지역사회 홍수취약성 개념은 홍수위험요소를 사전에 차단 및 방지하는 완화전략과 관련이 있다. 홍수취약성 완화전략은 손실된 정도와 현상 진단에 초점을 두기 때문에 대부분 위험상태를 나타내는 변인에 관심을 둔다(Balica et al., 2012; Nasiri et al., 2016; Cho and Chang, 2017). 반면에 홍수회복력 중심 적응전략은 시스템 기능 유지와 보호기제에 초점을 두기 때문에 극복과정을 나타내는 변인에 관심을 둔다(IPCC, 2014; Pettengell et al., 2020).

한편, 2015년 기후변화 완화전략과 적응전략의 상호연계성을 강조하는 파리협정(PA)이 채택된 전후에는 지역사회 홍수취약성과 홍수회복력에 대해 사회, 경제, 물리, 제도 등 다차원에서 접근하는 연구가 활발히 수행되었다(Cox, 2015; Cho and Chang, 2017). 특히, 회복력 있는 지역사회 구축 필요성이 대두되면서 지역사회 홍수회복력을 측정하기 위한 다양한 연구들이 수행되었다. 다수의 연구에서는 ‘지역사회 홍수회복력’에 대해 지역사회 자본들(capitals)이 홍수위험관리단계에 결합해 형성된 개념인 것으로 보았다(Mayunga, 2009; Cutter et al., 2008; Peacock et al., 2010; Keating et al., 2017; Pettengell et al., 2020).

이 연구에서는 홍수회복력의 궁극적인 목적이 지속가능한 삶과 발전이라는 점을 고려해 지역사회 홍수회복력을 ‘지속가능한 생계 접근법(Sustainable Livelihood Approach)’(DFID, 2011)에 따라 5대 자본(재정적·인적·자연적·물리적·사회적)을 중심으로 정의하였다. 아래 <그림 1>과 같이 지역사회 홍수회복력은 “지역사회 5대 자본이 홍수위험관리단계별 활동을 통해 홍수위험관리시스템을 개선하여 미래의 홍수위험과 피해를 최소화하는 것”이라고 할 수 있다.

〈그림 1〉 지역사회 홍수회복력 프레임워크



2. 선행연구

지역사회 홍수회복력 지표를 활용한 연구들은 ‘지역사회 홍수회복력’ 개념에 대한 합의된 정의가 없기 때문에 지표체계, 지표구축방식이 다양하고, 지역사회 홍수회복력을 분석하는 방법에서 차이가 있다.

지역사회 홍수회복력을 개별 지역사회 자본이 홍수위험관리단계별 활동에 사용되어 홍수피해 이전보다 나은 상태로 개선하는 것, 즉 지속가능한 삶과 발전을 지향하는 것으로 바라본 Keating et al.(2017)과 Batica(2015)는 5대 자본에 따라 지표체계를 구성하였다. Keating et al.(2017)은 전 세계 지역사회에 적용할 수 있는 지표를 구축하기 위해 홍수피해가 발생한 75개 지역사회를 분석하여 지표를 개발하였다. 재정적, 인적, 자연적, 물리적, 사회적 자본으로 지표를 분류하고, 홍수위험관리단계(예방·저항·대

응·복구·학습)와 지표를 연결하였다. Batica(2015)는 지속가능한 도시 구축에 필요한 지표개발에 목적을 두고 경제적, 자연적, 물리적, 사회적 자본과 제도 영역으로 지표를 분류하였다. 지표와 홍수위험관리단계를 연결하고, 학습단계 활동을 강조하며 이를 규제하는 제도 영역 지표에 비중을 두었다. Keating et al.(2017)은 개별 지역사회 홍수회복력 정보를 제공하는 도구를 마련한 것에 의의를 두고 홍수회복력 비교연구는 수행하지 않은 반면 Batica(2015)는 지표를 활용해 세계 주요 도시의 현재와 미래(2050년) 홍수회복력을 비교하였다. 이처럼 글로벌 수준 지표는 다양한 지역사회를 일관적으로 평가하는 데에 용이하지만, 우리나라 실정에 맞지 않고 적절한 데이터 수집이 어려운 한계점이 있다.

국내연구는 대표적으로 한우석 등(2016), 김연수 등(2018), 최창현 등(2018)이 있다. 이들은 지역사회 홍수회복력에 대한 새로운 개념을 반영한 지표보다는 우리나라 실정에 맞는 지표를 개발하는 것에 목적을 두었다. 특히 한우석 등(2016)은 전국 지자체 홍수회복력을 평가할 수 있는 실무적 성격의 지표를 만들고자 하였다. 2015년 국민안전처가 발표한 재난관리실태 점검항목을 재구성하여 지표를 구축하고, 5개 지자체 홍수회복력을 평가하여 강화방안을 도출하였다. 김연수 등(2018)은 지표개발과정이 연구자 주관적 판단에 의존하는 한계점을 보완하는 차원에서 빅 데이터 분석기법을 사용하였다. 선행연구 검토를 통해 물리, 사회, 경제, 제도, 자연영역으로 지표를 구성하였다. 이어 최창현 등(2018)은 김연수 등(2018)의 지표를 활용해 안양천 유역 지자체 홍수회복력과 지역 안전도 평가결과를 비교하였다. 국내연구 지표는 우리나라 실정에 맞아 정책활용도가 높다는 장점이 있으나, 지역사회 홍수회복력 이론적 개념과의 연계가 부족한 한계가 있다.

이 연구에서는 ‘지속가능발전-기후변화적응-재해위험경감’아젠다에 대한 통합적 관점에서 한국형 지역사회 홍수회복력 지표를 구축하고자 한다. 또한 홍수피해 특성과 홍수회복력 간의 상관성을 분석하기 위하여 홍수피해 특성을 분류하고 대표지역의 홍수회복력 차이를 분석하고자 한다.

III. 분석 대상 및 방법

1. 대표지역 선정

전국 229개 기초지자체를 대상으로 2018년 홍수피해 특성을 4가지 유형으로 분류하고 각 특성에 따른 대표지역을 선정하였다. 홍수피해 특성은 홍수피해가 짧은 시간에 내리는 폭우에 의해 주로 발생한다는 사실을 바탕으로(Bracken et al., 2008; 국립기상과학원: 2018), “강우강도와 홍수피해 규모 사이에 존재하는 관계적 특성”으로 보았다. 대표지역은 홍수피해 특성에 따라 어떠한 홍수회복력 차이 있는지를 분석하기 위하여 선정하였다. 4가지 홍수피해 특성을 구분 짓는 경계에 인접한 지역들은 홍수피해 특성이 모호한 한계가 있어 이러한 문제를 보완하고자 홍수피해 특성을 대표하는 지역을 선정하여 분석하였다.

홍수피해 특성을 분류하는 과정에서 강우강도는 시간당 연최다강수량(mm/hr) 기상청 자료를 사용하였다. 강우강도는 강우량에 시간 개념을 적용한 것으로 기상청 ‘예보용어해설’ 상에서는 지속시간 1시간을 기준으로 설명한다. 시간당 연최다강수량 자료는 지점정보에 해당하므로 티센법(thiessen method)을 적용하여 기초지자체 면적평균강우량¹⁾을 산정하였다. 홍수피해 규모는 행정안전부에서 제공하는 호우 및 태풍으로 인한 피해 데이터를 사용하였다. 홍수피해는 「자연재난 구호 및 복구 비용 부담 기준 등에 관한 규정」(제4조제2항, 별표1)에 따라 이재민, 인명, 사유재산, 공공시설 피해로 분류하였다. 홍수피해 자료는 자료 간 편차가 크기 때문에 스케일재조정(re-scaling)을 통해 표준화하였다.

홍수피해 특성 유형은 229개 기초지자체의 시간당 연최다강수량 평균(0.186)과 홍수피해 규모 평균(0.067)을 기준으로 ‘다강우-대피해’, ‘저강우-대피해’, ‘저강우-소피해’, ‘다강우-소피해’로 분류하였다. 시간당 연최

1) 우리나라 시간당 연최다강수량 자료를 검토하면 여름철 우기(7-8월)에 내린 강우가 74%, 9월 태풍과 6월 장마전선으로 인한 강우가 각각 12%, 9%이다. 이에 따라 본 연구는 ‘강수량’ 극값자료를 ‘강우량’ 극값자료인 것으로 간주하였다.

다강수량이 평균 이상이면 ‘다강우’, 평균 이하이면 ‘저강우’로 분류하고, 홍수피해 규모는 평균 이상이면 ‘대피해’, 평균 이하이면 ‘소피해’로 분류하였다. 홍수피해 특성 유형은 강우강도와 홍수피해 데이터 평균값만을 기준으로 분류하였으므로 각 특성의 의미에 대해서는 상대적으로 이해할 필요가 있다.

대표지역은 동일한 특성으로 분류된 지역(기초지자체)들과 비교하여 해당 특성이 강하게 나타나는 지역을 의미하며, 선정기준은 특성별 회귀선과의 거리와 원점과의 거리로 하였다. 먼저, 회귀선과의 거리를 확인하는 과정에서 이상치를 제거한 후 잔차의 정규성, 독립성, 등분산성을 확인하였다. 정규성은 샤피로-윌크 검정(Shapiro-Wilk)²⁾, 독립성은 더빈-왓슨 검정(Durbin-Watson = 1.788), 등분산성은 잔차 산점도를 통해 확인하였다. 대표지역 수는 일정한 조건에서 홍수회복력을 비교·분석할 수 있도록 홍수피해 특성별로 다섯 지역씩 선정하였다. 2018년 홍수피해 특성별 대표지역 선정 결과는 아래 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 2018년 홍수피해 특성별 지역 비중과 대표지역별 홍수피해 유형

저강우-대피해		다강우-대피해	
5.7%(13개/229개)		13.1%(30개/229개)	
전남 완도군	이재민, 인명, 사유재산, 공공시설	경북 영덕군	인명, 사유재산, 공공시설
서울 강서구	사유재산, 공공시설	경북 경주시	이재민, 사유재산, 공공시설
서울 은평구	사유재산, 공공시설	제주 서귀포시	이재민, 사유재산, 공공시설
부산 남구	사유재산, 공공시설	경기 포천시	사유재산, 공공시설
경기 양주시	사유재산, 공공시설	경기 연천군	사유재산, 공공시설
저강우-소피해		다강우-소피해	
45.4%(104개/229개)		35.8%(82개/229개)	
전북 전주시	사유재산, 공공시설	전남 순천시	사유재산, 공공시설
부산 강서구	공공시설	경북 상주시	사유재산
광주 남구	-	전남 곡성군	사유재산
경기 부천시	사유재산	전북 정읍시	-
서울 양천구	사유재산	전남 나주시	이재민, 사유재산, 공공시설

2) 샤피로-윌크 검정(Shapiro-Wilk)을 실시한 결과 홍수피해($Z(13)=0.94$, $p > .05$)와 강우강도($Z(13)=0.93$), $p > .05$) 모두 정규성을 충족하였다.

2. 홍수회복력 지표 및 측정

‘지역사회 홍수회복력’ 지표는 ‘지속가능발전-기후변화적응-재해위험 경감’에 대한 통합적 관점에서 우리나라 전국 기초지자체에 적용할 수 있는 지표 구축을 목적으로 하였다. 이에 따라 지역단위(sub-national) 홍수회복력, 재난회복력, 기후변화 적응력을 측정한 연구들을 검토하여 지표를 수집하였다. 지표체계는 5대 자본(재정적·인적·자연적·물리적·사회적)으로 구성하고, [부록 1]에서 제시한 5대 자본별 의미에 따라 지표를 분류하였다. 유사한 의미를 지닌 지표들을 통합하여 총 48개의 개념지표를 선정하고, 2016년에서 2018년 사이에 업데이트된 전국 기초지자체 정형데이터를 바탕으로 총 17개의 최종 지표를 선정하였다. 지역사회 홍수회복력 이론적 개념이 반영된 지표를 만들기 위하여 개별지표와 홍수회복력 속성(4Rs), 홍수위험관리단계(예방, 저항, 대응, 복구, 학습)를 연결하였다. 지역사회 홍수회복력 최종 지표는 [부록 2]에 제시하였다.

홍수회복력 지수를 산출하기 위하여 수리적 가중치 부여방식 중 하나인 요인분석(factor analysis) 방식을 통해 가중치를 산정하였다. 주관적 가중치 부여방식을 사용할 경우 홍수회복력 개념은 다양한 견해가 존재하므로 직관적 판단 오류 문제가 발생할 가능성이 있다. <식 1>과 같이 고유치(eigenvalue)와 공통성(communality)을 활용하여 가중치를 산정하였다. 5대 자본별 홍수회복력 변수 가운데 고유치가 1 이상인 요인들을 추출하고, 추출된 요인별 고유치와 각 변수의 공통성을 활용하여 가중치를 산정하였다.

$$\text{가중치} = \frac{\text{각 변수의 공통성(communality)}}{\text{추출된 요인별 고유치(eigenvalue)}} \quad (1)$$

홍수회복력 지수는 5대 자본별 홍수회복력 변수에 가중치를 적용한 후 가중결합해 산출하였다. 종합 홍수회복력 지수(FRI)는 <식 2>와 같이 5대 자본 홍수회복력 지수를 합산한 후 자본의 수로 나누어 산출하였다.

$$FRI = \frac{\sum_{j=1}^6 FRI_j}{5} \quad (2)$$

2018년 전국 기초지자체 홍수회복력 지수는 전국 기초지자체 홍수회복력 지수 분포가 고르지 않다는 점을 고려해 내추럴브레이크(Natural Breaks Classification) 방법으로 1등급에서 5등급으로 구분하였다. 재난 분야에서 주로 사용하는 등간격(equal interval) 방법은 동일 간격으로 공통 척도를 세워 등급을 구분하므로 데이터 분포가 고르지 않으면 특정 등급 내 피처가 0인 경우가 발생하거나 비슷한 값의 데이터가 서로 다른 등급에 포함되어 등급별 특성이 왜곡될 수 있다(Hwang and Ham, 2013; Lee et al., 2021 재인용). 내추럴브레이크는 등급 내 전체 값들의 평균을 기준으로 평균편차는 최소화하고 등급간 분산은 극대화하는 방법으로써 데이터 분포가 고르지 않을 때 분기점 구분이 쉽고, 등급별 의미에 대해 합리적 설명이 가능하다(Lee et al., 2021). 이 연구에서는 지역사회 홍수회복력이 1등급에 가까울수록 홍수회복력이 크다는 것을 의미한다.

3. 홍수회복력 분석방법

2018년을 기준으로 각 대표지역이 지닌 홍수회복력이 당해 연도 홍수피해 규모와 상관성이 있는 것으로 보고, 2018년 다강우-소피해 및 대피해 대표지역과 저강우-소피해 및 대피해 대표지역 홍수회복력을 비교분석 하였다. 제2장에서 논의하였듯이 지역사회 홍수회복력은 초기대응과 복구시간을 줄이고, 장기적으로 홍수위험관리시스템을 개선해 홍수피해를 감소시키기 때문이다.

먼저, 맨-휘트니 검정(Mann-Whitney U test)을 통해 전국 다강우-대피해 30개 지역과 다강우-소피해 82개 지역, 저강우-대피해 지역 12개 지역과 저강우-소피해 104개 지역의 홍수회복력 차이를 분석하였다. 맨-휘트니 검정은 분석 자료가 서열척도거나 집단 표본수가 30개 미만으로 정규성을 만족하지 못할 때 서로 다른 두 집단 간 차이를 분석하는 비모수 검

정 방법³⁾이다(Hart, 2001; Nachar, 2008). 귀무가설(H0)은 '다강우-대피해 및 소피해 지역, 저강우-대피해 및 소피해 지역의 홍수회복력은 차이가 없다.'이고, 대립가설(H1)은 '다강우-대피해 및 소피해 지역, 저강우-대피해 및 저강우-소피해 지역의 홍수회복력은 차이가 있다.'이다.

다음으로, 홍수피해와 상관성 있는 홍수회복력 변수를 분석하기 위하여 유사한 강우강도가 내린 소피해 및 대피해 대표지역을 비교하였다. 홍수회복력 등급을 비교하여 홍수회복력 수준과 홍수피해 규모와의 상관성을 분석하고, 상관성 있다면 어떠한 홍수회복력 변수 차이가 있는지를 분석하였다.

IV. 분석결과

1. 홍수회복력 차이 검정결과

2018년 다강우-대피해 및 소피해 지역과 저강우-대피해 및 소피해 지역의 홍수회복력에 대하여 맨-휘트니(Mann-Whitney U test) 검정을 수행한 결과 강우강도가 같고 홍수피해 규모는 상이한 지역 사이에 홍수회복력 차이가 존재하는 것으로 확인되었다.

아래 <표 2>를 보면 다강우-대피해 및 소피해 지역($Z = -5.06, p < .01$)과 저강우-대피해 및 소피해 지역($Z = -3.13, p < .01$) 모두 유의수준이 0.01 미만으로 나타나 다강우-대피해 지역과 다강우-소피해 지역 사이, 저강우-대피해 지역과 저강우-소피해 지역 사이에 통계적으로 유의한 홍수회복력 차이가 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 홍수피해 특성별 대표지역에 대한 구체적인 홍수회복력 변수 차이를 분석하였다.

3) 두 집단 모수를 비교하는 대신 두 모집단 위치가 같은지를 검정한다.

〈표 2〉 대피해 vs 소피해 지역의 종합 홍수회복력 맨-휘트니 검정결과

집단	N	평균순위	순위합	U	Z
다강우-대피해	30	80.90	2427.00	498.00	-5.06***
다강우-소피해	82	47.57	3901.00		
저강우-대피해	13	85.81	1115.50	327.50	-3.13***
저강우-소피해	104	55.65	5787.50		

주: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

2. 다강우-대피해/소피해 홍수회복력 비교

다강우-대피해 대표지역 영덕군, 경주시, 서귀포시, 포천시, 연천군과 다강우-소피해 대표지역 순천시, 상주시, 곡성군, 정읍시, 나주시의 홍수회복력을 비교·분석하였다. 먼저, 다강우-소피해 대표지역과 다강우-대피해 대표지역의 종합 홍수회복력을 비교한 결과, 다강우-소피해 대표지역 종합 홍수회복력이 다강우-대피해 대표지역보다 큰 것으로 확인되었다. 다강우-대피해 및 소피해 대표지역 사이에는 재정적, 물리적, 자연적 홍수회복력에서 차이가 있었다. 〈표 3〉을 보면 재정적 홍수회복력은 다강우-소피해 대표지역(1~2등급)이 다강우-대피해 대표지역(3~4등급, 영덕군 제외)보다 크고, 물리적 홍수회복력과 자연적 홍수회복력은 다강우-대피해 대표지역(4~5등급, 5등급)이 다강우-소피해 대표지역(2~4등급, 2~4등급)보다 작은 것을 알 수 있다.

홍수피해와 상관성 있는 홍수회복력 변수를 분석한 결과, 재정적 홍수회복력은 재난방재·민방위예산 변수가 상관성이 있었다. 자연적 홍수회복력은 지하수관정 수, 공원면적, 녹지면적 변수가 홍수피해와 상관성이 있었고, 물리적 홍수회복력은 병상확보 수 변수가 상관성이 있었다. 〈표 4〉를 보면 다강우-소피해 대표지역의 재난방재·민방위예산, 지하수관정 수, 병상확보 수 변수 측정값은 전국 평균과 다강우-대피해 대표지역 측정값보다 전반적으로 큰 것을 알 수 있다. 공원면적 변수 및 녹지면적 변수는 다강우-소피해 대표지역의 측정값이 전국 평균보다는 크지 않으나, 다강우-대피해 대표지역 측정값보다 크게 나타나 홍수피해와 어느 정도 상관성 있는 변수라 할 수 있다.

〈표 3〉 다강우-대피해/소피해 대표지역 홍수피해 유형 및 홍수회복력 등급

	지역명	피해 유형	홍수회복력 등급					
			종합	재정	인적	자연	물리	사회
대피해	영덕군	인명, 사유재산, 공공시설	5	1	5	5	5	3
	경주시	이재민, 사유재산, 공공시설	5	3	4	5	4	3
	서귀포시	이재민, 사유재산, 공공시설	4	3	3	5	5	3
	포천시	사유재산, 공공시설	5	3	4	5	4	1
	연천군	사유재산, 공공시설	5	4	5	5	4	1
소피해	순천시	사유재산, 공공시설	2	2	2	4	2	3
	상주시	사유재산	3	2	3	4	4	3
	곡성군	사유재산	2	1	3	3	4	3
	정읍시	-	3	2	4	2	3	2
	나주시	이재민, 사유재산, 공공시설	3	2	5	4	2	3

〈표 4〉 다강우-대피해/소피해 대표지역 홍수회복력 변수별 측정값

홍수회복력 변수		전국 평균	다강우-소피해					다강우-대피해				
			순천	상주	곡성	정읍	나주	영덕	경주	서귀포	포천	연천
재정	자연재해안전예산 (재난방재·민방위 예산)	0.044	0.114	0.065	0.054	0.036	0.076	0.135	0.020	0.074	0.016	0.027
인적	수해폐기물관리 인식 (일반폐기물 재활용률)	0.160	0.232	0.071	0.312	0.104	0.143	0.069	0.156	0.176	0.042	0.069
	교육 수준 (고등교육자 수)	0.108	0.112	0.084	0.039	0.070	0.090	0.039	0.110	0.084	0.059	0.056
자연	공원확대 (공원면적)	0.038	0.013	0.002	0.001	0.007	0.014	0.003	0.003	0.004	0.002	0.002
	녹지 보전 (녹지면적)	0.030	0.014	0.002	0.002	0.007	0.010	0.001	0.013	0.001	0.002	0.005
	비상식수·생활용수 (지하수 관정 수)	0.084	0.093	0.079	0.181	0.234	0.104	0.006	0.011	0.023	0.046	0.020
물리	방수설비 구축 (배수 및 방수시설 수)	0.010	0.034	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.007
	유수지시설 구축 (유수 및 저류시설 수)	0.015	0.009	0.001	0.001	0.001	0.009	0.001	0.002	0.001	0.001	0.012
	보건의료시설 확보 (병상확보 수)	0.075	0.080	0.059	0.063	0.106	0.185	0.031	0.085	0.015	0.070	0.058

* 지표별 측정값과 전국 평균값은 원시자료를 표준화한 수치

* ()는 대리변수로 인구, 면적, 예산을 기준으로 비율을 계산

재난방재·민방위예산 변수는 직접적인 자연재해 관련 예산은 아니나 개별 지자체가 재난위험관리에 얼마나 노력을 기울이고 있는지를 나타낸다. 따라서 재난방재·민방위예산이 적은 다강우-대피해 대표지역의 경우 다강우-소피해 대표지역에 비해 다강우 영향에 대한 대비가 상대적으로

미흡한 상태인 것을 나타낸다. 지하수관정 수 변수는 다강우-소피해 및 다강우-대피해 대표지역 사이에 뚜렷한 차이가 나타난 변수로써 홍수 기간 식수 및 생활용수 오염에 대비하는 수자원의 의미 뿐만 아니라 지하로 침투한 빗물을 사용하여 물순환을 돕고 홍수피해를 최소화하는 변수인 것을 알 수 있다. 병상확보 수 변수는 다강우로 인한 부상자나 수인성 전염병에 신속히 대응하는 능력을 나타내는 변수로 인적 피해를 최소화하는 기능과 관련이 있으며, 공원면적과 녹지면적 변수는 강과 하천 범람으로부터 주거 및 생활공간을 보호하고, 토사유출과 빗물침투구조에 영향을 미쳐 홍수위험을 완화하는 기능과 관련이 있다.

한편, 홍수피해 유형이 동일한 다강우-대피해 및 소피해 대표지역을 비교하면 인적·물적 피해가 복합적(이재민, 사유재산, 공공시설)으로 발생한 경우 물리적 홍수회복력이 홍수피해와 상관성이 있는 것으로 나타났다. 물적 피해(사유재산, 공공시설)만 발생한 경우에는 물리적 홍수회복력과 인적 홍수회복력이 홍수피해와 상관성이 있었다. <표 4>에서 이재민·사유재산·공공시설 피해가 복합적으로 발생한 경주시, 서귀포시, 나주시의 물리적 홍수회복력 변수 측정값을 비교하면 우수 및 저류시설 수 변수가 홍수피해와 상관성이 있는 것을 알 수 있다. 사유재산·공공시설 피해가 발생한 포천시, 연천군, 순천시의 물리적 홍수회복력 및 인적 홍수회복력 변수 측정값을 비교하면 배수 및 방수시설 수, 일반폐기물 재활용률, 고등교육자 수 변수가 홍수피해와 상관성이 있는 것을 알 수 있다.

사유재산·공공시설 피해와 상관성 있는 변수 중 인적 홍수회복력 변수인 일반폐기물 재활용률은 수해폐기물을 신속하게 처리하는 의식 수준을 나타내는 변수로써 '수해폐기물 처리 신속성' 의미를 지닌 것으로 이해하면 물적 피해와의 상관성이 깊어진다. 고등교육자수 변수는 홍수위험에 대한 정보습득능력을 나타내는 변수이므로 '홍수예방행동 및 지식수준'의 의미를 지닌 변수로 이해할 필요가 있다.

지금까지 결과를 다강우-대피해와 다강우-소피해 특성이 나타난 전국 지자체에 확대해 보면 다음과 같은 정책적 시사점을 도출할 수 있다.

첫째, 재정적·자연적·물리적 홍수회복력을 중심으로 등급이 낮은 자본순으로 정책 우선순위를 두어야 한다. 예를 들어, 영덕군은 재정적 홍수회복력이 1등급, 자연적 홍수회복력과 물리적 홍수회복력이 각각 5등급이므로 자연적 홍수회복력과 물리적 홍수회복력을 중심으로 강화전략을 수립할 필요가 있다. 구체적으로는 공원면적, 녹지면적, 지하수관정 수, 의료기관 병상확보수를 확충하는 것에 우선순위를 두어야 한다.

둘째, 인적·물적 피해가 복합적(이재민·사유시설·공공시설)으로 발생하는 지자체는 물리적 홍수회복력을 중심으로 강화전략을 수립하여야 한다. 특히 우수 및 저류시설을 구축하고 정비하는 데에 정책적 우선순위를 둘 필요가 있다.

셋째, 물적 피해(사유시설·공공시설)가 주로 발생하는 지자체는 물리적 홍수회복력과 인적 홍수회복력에 우선순위를 둔 전략을 수립하여야 한다. 물리적 홍수회복력은 배수 및 방수시설을 확충하고, 인적 홍수회복력은 폐기물관리에 대한 중요성 인식과 홍수예방 행동 및 지식수준을 높이는 전략이 필요하다.

3. 저강우-대피해/소피해 홍수회복력 비교

저강우-대피해 대표지역 완도군, 서울 강서구, 서울 은평구, 부산 남구, 양주시와 저강우-소피해 대표지역 전주시, 부산 강서구, 광주 남구, 부천시, 서울 양천구 홍수회복력을 비교·분석하였다. 먼저, 저강우-소피해 대표지역과 저강우-대피해 대표지역의 종합 홍수회복력을 비교하였다. <표 5>를 보면 저강우-소피해 대표지역 종합 홍수회복력(1~2등급)이 저강우-대피해 대표지역(2~5등급)보다 전반적으로 큰 것을 알 수 있다. 그러나 저강우-대피해 대표지역 중에는 저강우-소피해 대표지역과 동일한 수준의 종합 홍수회복력을 지닌 곳도 있어(2등급), 저강우 환경에서는 종합 홍수회복력이 큰 편이지만 대피해가 발생한 지역이 존재하는 것으로 분석되었다.

저강우-소피해 및 대피해 대표지역 사이에는 물리적 홍수회복력과 재정적 홍수회복력에 차이가 있었다. <표 5>를 보면 물리적 홍수회복력은

저강우-소피해 대표지역(1~2등급)이 저강우-대피해 대표지역(3~5등급, 서울 강서구 제외)보다 전반적으로 크고, 재정적 홍수회복력은 저강우-대피해 대표지역(4~5등급, 완도군 제외)이 저강우-소피해 대표지역(1~4등급, 양천구 제외)보다 전반적으로 작은 것을 알 수 있다. 홍수회복력 변수를 분석한 결과, 물리적 홍수회복력은 배수 및 방수시설 수 변수와 우수 및 저류시설 수 변수가 홍수피해와 상관성이 있고, 재정적 홍수회복력은 재난방재·민방위예산 변수가 홍수피해와 상관성이 있었다. <표 6>을 보면 저강우-소피해 대표지역의 배수 및 방수시설 수 측정값과 우수 및 저류시설 수의 측정값이 전국 평균 및 저강우-대피해 대표지역 측정값보다 큰 것을 알 수 있다. 재난방재·민방위예산 변수 역시 저강우-소피해 대표지역의 측정값이 전국 평균 및 저강우-대피해 대표지역 측정값보다 큰 것으로 확인되었다.

〈표 5〉 저강우-대피해/소피해 대표지역 홍수피해 유형 및 홍수회복력 등급

	지역명	피해 유형	홍수회복력 등급					
			종합	재정	인적	자연	물리	사회
대피해	완도군	이재민, 인명, 사유재산, 공공시설	5	2	5	4	5	5
	서울 강서구	사유재산, 공공시설	2	5	1	3	1	3
	서울 은평구	사유재산, 공공시설	4	5	3	2	4	4
	부산 남구	사유재산, 공공시설	2	4	2	2	4	3
	양주시	사유재산, 공공시설	2	4	2	2	3	3
소피해	전주시	사유재산, 공공시설	2	3	3	2	2	2
	부산 강서구	공공시설	1	1	2	2	1	4
	광주 남구	-	1	3	1	4	1	1
	부천시	사유재산	2	4	2	2	2	3
	서울 양천구	사유재산	1	5	2	1	1	3

〈표 6〉 저강우-대피해/소피해 대표지역 홍수회복력 변수별 측정값

홍수회복력 변수		전국 평균	저강우-소피해					저강우-대피해				
			전주	부산 강서	광주 남구	부천	서울 양천	완도	서울 강서	서울 은평	부산 남구	양주
재정	자연재해안전예산 (재난방재·민방위 예산)	0.044	0.034	0.226	0.039	0.021	0.014	0.039	0.000	0.009	0.010	0.012
물리	방수설비 구축 (배수 및 방수시설 수)	0.010	0.001	0.229	0.144	0.001	0.028	0.001	0.040	0.001	0.001	0.001
	유수지시설 구축 (유수 및 저류시설 수)	0.015	0.025	0.036	0.008	0.034	0.186	0.001	0.169	0.016	0.003	0.011

* 지표별 측정값과 전국 평균값은 원시자료를 표준화한 수치

* ()는 대리변수로 인구, 면적, 예산을 기준으로 비율을 계산

한편, 저강우-소피해 및 대피해 대표지역 사이에 종합 홍수회복력 차이가 존재하지 않는 경우는 물리적 및 재정적 홍수회복력 변수에 차이가 있었다. 종합 홍수회복력이 동일한 저강우-소피해 대표지역인 전주시, 부천시와 저강우-대피해 대표지역인 서울 강서구, 부산 남구, 양주시를 비교한 결과, 유수 및 저류시설 수 변수와 재난방재·민방위예산 변수가 홍수피해와 상관성이 있는 것으로 확인되었다. 〈표 6〉을 보면 저강우-소피해 대표지역의 유수 및 저류시설 수 측정값이 전국 평균보다 크면서 저강우-대피해 대표지역 측정값보다도 큰 편인 것을 알 수 있다. 저강우-소피해 대표지역 재난방재·민방위예산 측정값은 전국 평균보다 작았으나 저강우-대피해 대표지역 측정값보다는 크게 나타나 홍수피해와 어느 정도 상관성이 있는 변수임을 알 수 있다.

저강우-대피해 대표지역 가운데 저강우-소피해 대표지역과 종합 홍수회복력이 동일한 지역에 대해서는 홍수회복력이 큰 편이지만 대피해가 발생한 원인에 대해 분석할 필요가 있다. 저강우-대피해 대표지역 중 서울 강서구를 분석해보면, 서울 강서구는 종합 홍수회복력이 2등급으로 높은 편이며 특히 물리적 홍수회복력이 1등급으로 높은 지역이다. 특히, 물리적 홍수회복력 변수 중 배수 및 방수시설 수 변수와 유수 및 저류시설 수 변수의 측정값이 나머지 소피해 및 대피해 대표지역들에 비해 큰 편이어서 홍수피해를 최소화하는 시설이 상대적으로 잘 갖추어진 곳이라 할 수 있다.

실제로 서울 강서구는 2011년 자연재해위험지구로 지정이 된 이후 대형 홍수방지시설 사업에 총 1,380억원을 투입하였다. 2013년에는 2019년 6월 준공을 목표로 시간당 100 mm 강우에 대응할 수 있는 대심도 지하터널인 신월빗물저류배수시설 공사를 착수하였다. 2019년 6월 신월빗물저류배수시설을 준공하기 전까지는 임시적으로 수동가동하는 것을 계획으로 삼았으나, 2018년 8월 시간당 최대 67 mm 강우가 내리면서 주택 167세대가 침수되는 대형 홍수피해가 발생하였다.

물리적 홍수회복력을 강화하는 충분한 시설을 갖추었는데도 대형 홍수피해가 발생한 것은 신규 시설이 지닌 문제보다는 기존 시설을 제대로 운영 및 관리하지 못한 것이 문제인 것으로 분석되었다. 급작스러운 강우에 수동가동 인력 배치가 지연되면서 홍수피해를 최소화할 수 있는 시간을 놓친 것이 대형 피해를 유발한 것으로 확인되었다(환경미디어, 2017.8.1.; 서울로컬뉴스, 2018.11.14.). 이처럼 시설의 운영 및 관리 문제는 홍수회복력 측정결과만으로는 파악하기가 어려우므로 홍수회복력이 크지만 저장우-대피해가 발생한 지역은 홍수회복력이 높은 변수를 중심으로 문제점을 분석하는 학습단계활동을 확대할 필요가 있다.

지금까지의 결과를 저장우-대피해 및 소피해 특성을 지닌 전국 지자체에 확대하여 보면 다음과 같은 정책 시사점을 도출할 수 있다.

첫째, 저장우-대피해 지자체 가운데 종합 홍수회복력이 작은 지자체는 물리적 홍수회복력과 재정적 홍수회복력 중심의 강화전략이 필요하다. 특히 물리적 홍수회복력 변수인 배수 및 방수시설과 우수 및 저류시설을 확충하고, 재정적 홍수회복력 변수인 재난방재·민방위예산을 확대하는 것에 정책적 우선순위를 둘 필요가 있다.

둘째, 저장우-대피해 지자체 가운데 저장우-소피해 지자체 수준으로 종합 홍수회복력이 큰 지자체는 재정적 홍수회복력 변수인 재난방재·민방위예산과 물리적 홍수회복력 변수인 우수 및 저류시설을 확충하고, 특히 기존 물리적 시설에 대한 유지관리 노력을 기울일 필요가 있다.

V. 결론

전국 229개 기초지자체를 대상으로 2018년 홍수피해 특성을 다강우-대피해 및 소피해, 저강우-대피해 및 소피해로 분류하고, 홍수피해 특성별 대표지역을 대상으로 홍수피해와 상관성 있는 홍수회복력 변수를 분석하였다. 정책적 측면에서 우리나라 「국가기후변화적응대책」 정책사업 중 하나인 '지속가능성(Sustainability)을 위한 적응기반(Adaptation) 회복력(Resilience) 갖춘 도시 및 지역(=STAR Place)'을 구축하는 데에 기여하고, 학술적 측면에서 '지속가능발전-기후변화적응-재해위험경감'에 대한 통합적 접근을 통한 기후회복력 담론에 기여하고자 하였다.

다강우-대피해 대표지역과 다강우-소피해 대표지역 홍수회복력을 비교한 결과 재정적 홍수회복력 변수인 재난방재·민방위예산, 자연적 홍수회복력 변수인 공원면적, 녹지면적, 지하수관정 수, 물리적 홍수회복력 변수인 병상확보 수가 홍수피해와 상관성이 있는 것으로 분석되었다. 다강우가 내린 지역에서는 어떠한 홍수피해 유형이 발생하였는가에 따라 홍수피해와 상관성 있는 홍수회복력 변수가 다르게 나타났다. 인적·물적 피해가 복합적으로 발생한 경우 물리적 홍수회복력 변수 중 유수 및 저류시설 수가 홍수피해와 상관성이 있었다. 물적 피해만 발생한 경우 물리적 홍수회복력 변수인 배수 및 방수시설 수와 인적 홍수회복력 변수인 주민들의 폐기물관리 중요성 인식, 전반적인 교육수준이 홍수피해와 상관성이 있었다.

저강우-대피해 대표지역과 저강우-소피해 대표지역 홍수회복력을 비교한 결과 물리적 홍수회복력과 재정적 홍수회복력이 홍수피해와 상관성이 있었다. 물리적 홍수회복력은 배수 및 방수시설 수, 유수 및 저류시설 수 변수가 홍수피해와 상관성이 있었고, 재정적 홍수회복력은 재난방재·민방위예산 변수가 홍수피해와 상관성이 있었다. 저강우가 내린 지역 중에는 대피해가 발생하였으나 소피해가 발생한 지역의 종합 홍수회복력 수준으로 큰 지역이 존재하였다. 종합 홍수회복력이 큰 편이지만 대피해가 발생한 대표지역은 재정적 홍수회복력 변수인 재난방재·민방위예산과 물리

적 홍수회복력 변수인 우수 및 저류시설 수를 충분히 확보하지 못한 것이 문제인 것으로 분석되었다. 예외적으로, 우수 및 저류시설 수를 충분히 확보하였는데도 대피해가 발생한 대표지역은 신규 시설에서 나타난 문제보다는 기존 시설에 대한 운영 및 유지관리가 미흡한 것이 문제인 것으로 확인되었다.

이 연구는 지역사회 홍수회복력 이론적 개념을 반영한 한국형 지표를 구축하고, 홍수피해 특성에 따라 홍수회복력을 분석한 탐색적 연구로서 정책적·학술적 의의를 지닌다. 그러나 데이터의 한계로 총 17개 지역사회 홍수회복력 지표만을 사용해 홍수위험관리 5단계와 홍수회복력 속성 4Rs와 연결된 지표를 고르게 사용하지 못한 한계점이 있다. 또한 2018년에 기반한 연구를 수행하였기에 홍수피해 특성과 홍수회복력의 변화를 고려하지 못한 한계가 있다. 이는 기초지자체 수준에서 홍수회복력 관련 시계열 데이터가 부족한 것에 기인한 문제로 추후 데이터가 보완된다면 홍수피해 특성과 홍수회복력 변화까지 고려하는 실증분석을 수행할 수 있을 것이다.

■참고문헌■

- 국립기상과학원, 2018, 『한반도 100년의 기후변화』, 서귀포: 국립기상과학원 기후연구과.
- 김연수·최창현·배영혜·김동현·김덕환·김형수, 2018, “빅 데이터 분석 기법을 이용한 풍수해 복원탄력성 지표 개발 및 평가: (1) 복원탄력성 지표 개발,” 『2. 한국방재학회 논문집』, 18(4), pp.97-107, DOI: 10.9798/KOSHAM.2018.18.4.97.
- 서울로컬뉴스, 2018.11.14., “지난 8월 양천구 강서구 일대 침수피해, 골든타임 놓친 탓,” <http://www.slnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=14059>.
- 자연재난 구호 및 복구 비용 부담기준 등에 관한 규정, 2019, 대통령령 제30002호.
- 최병선, 1994, “현대사회와 위험관리: 위험문제의 특성과 전략적 대응,” 『한국행정연구』, 3(4), pp.4027-4049.
- 최창현·김연수·김종성·김동현·김정옥·김형수, 2018, “빅 데이터 분석 기법을 이용한 풍수해 복원탄력성 지표 개발 및 평가: (2) 복원탄력성 평가,” 『2. 한국방재학회 논문집』, 18(4), pp.109-123, DOI: 10.9798/KOSHAM.2018.18.4.109.

- 한우석·하수정·남기찬·이상은·홍사흠·유진욱 등, 2016, 『기후변화 홍수재해 대응을 위한 복원력 제고방안 연구 I, 복원력 평가방법 개발 및 적용』, (경제인문사회 연구회 협동연구 총서; 16-30-01, 기본; 16-29), 안양 :국토연구원.
- 현대경제연구원, 2020, 『여름철 집중호우의 경제적 피해 분석』, (현안과 과제; 20-04호), 서울: 현대경제연구원.
- 환경미디어, 2017.8.1., “신월빛물저류배수시설 임시사용 시작. 양천 강서구 침수 막는다,” <http://www.ecomedia.co.kr/news/newsview.php?ncode=1065603515558931>.
- Balica, S. F., N. G. Wright, and F. Van der Meulen, 2012, “A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts,” *Natural Hazards*, 64(1), pp.73-105, DOI: 10.1007/s11069-012-0234-1.
- Batica, J., 2015, “Methodology for flood resilience assessment in urban environments and mitigation strategy development,” Doctoral dissertation, Université Nice Sophia Antipolis, Nice, France.
- Batica, J. and P. Gourbesville, 2014, “Flood resilience index-methodology and application,” *11th International Conference on Hydroinformatics HIC 2014*, New York City, USA.
- Bracken, L. J., N. J. Cox, and J. Shannon, 2008, “The relationship between rainfall inputs and flood generation in south-east Spain,” *Hydrological Processes*, 22(5), pp.683-696, DOI: 10.1002/hyp.6641.
- Bruneau, M., S. E. Chang, R. T. Eguchi, G. C. Lee, T. D. O'Rourke, and A. M. Reinhorn et al., 2003, “A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities,” *Earthquake Spectra*, 19(4), pp.733-752, DOI: 10.1193/1.1623497.
- Chang, H., D. J. Yu, S. A. Markolf, C. Y. Hong, S. Eom, and W. Song et al., 2020a, “Understanding urban flood resilience in the anthropocene: A social-ecological-technological systems (SETS) learning framework,” *Annals of the American Association of Geographers*, 111(3), pp.837-857, DOI: 10.1080/24694452.2020.1850230.
- Chang, H., S. Eom, Y. Makido, and D. H. Bae, 2020b, “Land use change, extreme precipitation events, and flood damage in South Korea: A spatial approach,” *Journal of Extreme Events*, 7(03), 2150001, DOI: 10.1142/S2345737621500019.
- Cho, S. Y. and H. Chang, 2017, “Recent research approaches to urban flood vulnerability, 2006-2016,” *Natural Hazards*, 88(1), pp.633-649, DOI: 10.1007/s11069-017-2869-4.

- Cox, R. S., 2015, *Measuring community disaster resilience: A review of current theories and practices with recommendations*, (ISR Report 6052-01-01), Ottawa: International Safety Research.
- Cutter, S. L., L. Barnes, M. Berry, C. Burton, E. Evans, and E. Tate et al., 2008, "A place-based model for understanding community resilience to natural disasters," *Global Environmental Change*, 18(4), pp.598-606, DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013.
- DFID, 2011, *Defining disaster resilience: A DFID approach paper*, London: UK Department for International Development.
- Etinay, N., C. Egbu, and V. Murray, 2018, "Building urban resilience for disaster risk management and disaster risk reduction," *Procedia Engineering*, 212, pp.575-582, DOI: 10.1016/j.proeng.2018.01.074.
- Folke, C., S. R. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Chapin, and J. Rockström, 2010, "Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability," *Ecology and Society*, 15(4), 20, DOI: 10.5751/ES-03610-150420.
- Hart, A., 2001, "Mann-Whitney test is not just a test of medians: Differences in spread can be important," *BMJ*, 323(7309), pp.391-393, DOI: 10.1136/bmj.323.7309.391.
- Hwang, S. H. and D. H. Ham, 2013, "Evaluation of spatial downscaling methods for enhancement of spatial precipitation estimation," *Journal of KOSAM*, 13(4), pp.149-163, DOI: 10.9798/KOSHAM.2013.13.4.149.
- IPCC, 2012, *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*, (A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change), In C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, and K. L. Ebi et al., (Eds.), Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- _____, 2014, *Summary for policymakers. : Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: Global and Sectoral aspects*, (Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change), In C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, and T. E. Bilir et al., (Eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Keating, A., K. Campbell, M. Szoenyi, C. McQuistan, D. Nash, and M. Burer, 2017, "Development and testing of a community flood resilience measurement tool," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(1), pp.77-101, DOI: 10.5194/nhess-17-77-2017.

- Klein, R. J., R. J. Nicholls, and F. Thomalla, 2003, "Resilience to natural hazards: How useful is this concept?," *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 5(1), pp.35-45, DOI: 10.1016/j.hazards.2004.02.001.
- Kuang, D. and K. H. Liao, 2020, "Learning from floods: Linking flood experience and flood resilience," *Journal of Environmental Management*, 271, 111025, DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111025.
- Lee, H. J., H. S. Yun, and H. Han, 2021, "Comparison of rating methods by disaster indicators," *Journal of the Society of Disaster Information*, 17(2), pp. 319-328, DOI: 10.15683/kosdi.2021.6.30.319.
- Lee, M. and J. H. Hong, 2016, "Analysis of the determining factors on natural disaster damage using panel model," *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 16(4), pp.247-257, DOI: 10.9798/KOSHAM.2016.16.4.247.
- Mayunga, J. S., 2009, "Measuring the measure: A multi-dimensional scale model to measure community disaster resilience in the U.S. Gulf coast region," Doctoral dissertation, Texas A&M University, Texas.
- Miletti, D. S., 1999, *Disasters by design: A reassessment of natural hazards in the United States*, Washington, D.C.: Joseph Henry Press.
- Nachar, N., 2008, "The Mann-Whitney U: A test for assessing whether two independent samples come from the same distribution," *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 4(1), pp.13-20, DOI: 10.20982/tqmp.04.1.p013.
- Nasiri, H., M. J. M. Yusof, and T. A. M. Ali, 2016, "An overview to flood vulnerability assessment methods," *Sustainable Water Resources Management*, 2(3), pp.331-336, DOI: 10.1007/s40899-016-0051-x.
- Oladokun, V. O. and B. E. Montz, 2019, "Towards measuring resilience of flood-prone communities: A conceptual framework," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(6), pp.1151-1165, DOI: 10.5194/nhess-19-1151-2019.
- Paton, D., 2007, *Measuring and monitoring resilience in auckland*, Auckland: GNS Science.
- Peacock, W. G., S. D. Brody, W. A. Seitz, W. J. Merrell, A. Vedlitz, and S. Zahran et al., 2010, *Advancing resilience of coastal localities: Developing, implementing, and sustaining the use of coastal resilience indicators: A final report*, Texas: Hazard Reduction and Recovery Center, Texas A&M University.
- Pelling, M., J. Sharpe, L. Pearson, T. Abeling, A. Gerger Swartling, and J. Forrester et al., 2015, *Social learning and resilience building in the emBRACE framework*, (Deliverable 4.3. emBRACE Working Paper Series), Brussels:

- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED).
- Pettengell, C., C. McQuistan, M. Szönyi, A. Keating, F. Laurien, and F. Lanni et al., 2020, *Flood resilience measurement for communities: Project set up, study set up, data collection, and grading*, Zurich: Zurich Flood Resilience Alliance.
- Tierney, K. and M. Bruneau, 2007, "Conceptualizing and measuring resilience: A key to disaster loss reduction," *TR News*, (250), pp.14-17.
- Vugrin, E. D., D. E. Warren, M. A. Ehlen, and R. C. Camphouse, 2010, A framework for assessing the resilience of infrastructure and economic systems, In K. Gopalakrishnan and S. Peeta (Eds.), (pp.77-116), *Sustainable and resilient critical infrastructure systems*, Berlin, Heidelberg: Springer,
- Walker, B., C. S. Holling, S. R. Carpenter, and A. Kinzig, 2004, "Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems," *Ecology and Society*, 9(2), 5, DOI: 10.5751/ES-00650-090205.
- Wildavsky, A. B., 1988, *Searching for safety*, (Vol. 10), New Brunswick: Transaction publishers.
- Zhang, Q., J. Hu, X. Song, Z. Li, K. Yang, and Y. Sha, 2020, "How does social learning facilitate urban disaster resilience?," *A Systematic Review, Environmental Hazards*, 19(1), pp.107-129, DOI: 10.1080/17477891.2019. 1671786.

■ 부록1 ■

〈표 7〉 지역사회 홍수회복력 5대 자본별 의미

구분	의미
재정적 자본	• 소득원의 수준, 변동성, 다양성 • 부(富)를 구축하기 위한 다른 재정적 재원에 대한 접근성 • 홍수위험감소 및 홍수대응에 필요한 자금확보능력
인적 자본	• 개개인이 지닌 지식, 기술, 건강 상태 • 홍수위험감소, 긴급 대피, 수인성 질병 예방, 신속한 복구 등에 대한 능력
자연적 자본	• 생명유지를 위한 물과 기타 생물자원 • 자연자원 및 토지생산성을 보전하는 능력
물리적 자본	• 서로 다른 자본의 경제활동을 통해 생산되는 것 • 홍수방지시설 및 장비, 사회기반시설, 건축물 등을 유지·관리하는 능력
사회적 자본	• 사회적 연결, 네트워크, 협력적 활동을 돕는 유대감 • 아이디어, 자원의 교류 • 사람들 간의 상호작용

자료: Keating et al.(2017); Pettengell et al.(2020)을 바탕으로 작성

■ 부록2 ■

〈표 8〉 최종 기초지자체 홍수회복력 지표

주제	개념지표	대리지표	영향	홍수관리 단계	4R
재정적 홍수회복력					
재난관리예산	자연재해안전예산 규모	재난방재·민방위 예산 비율	+	예방, 저항, 대응	내구성, 가외성
	재난관리기금 규모	재난재해관리기금 확보율	+	예방, 대응, 복구	내구성, 신속성, 자원동원력
가계소득	가계소득 수준	세대당 지방세 부담액	+	저항, 대응	내구성
가계자산	자가소유주택	자가주택소유가구 비율	+	복구	내구성
인적 홍수회복력					
폐기물 관리인식	폐기물관리 중요성 인식	일반폐기물 재활용률	+	대응, 복구	신속성, 자원동원력
교육 및 훈련	교육 수준	고등교육자 비율	+	대응, 학습	신속성, 자원동원력
건강유지	기본건강상태	EQ-5D	+	대응	신속성
자연적 홍수회복력					
자연자원	녹지보전	녹지면적률	+	예방, 저항	내구성
	비상식수(지하수)	지하수개발밀도	+	대응	가외성
환경친화적 개발정책	공원확대	공원면적률	+	예방, 저항	내구성
물리적 홍수회복력					
홍수관리시설 및 장비	방수설비 구축	만명당 배수 및 방수시설 수	+	예방, 저항	내구성
	유수지시설 구축	만명당 유수시설 및 저류시설 수	+	예방, 저항	내구성
교통운송시설	교통망 구축	도로연장률	+	대응	신속성, 가외성
보건의료시설	보건의료시설 확보	병상확보율	+	대응	신속성, 가외성
사회적 홍수회복력					
긴급대응서비스	홍수기간 구조 및 구급서비스	만명당 119안전센터 대원수	+	대응	신속성
사회적 참여	시민참여활동	만명당 자원봉사센터 등록인원수	+	복구	자원동원력
보건의료서비스	보건의료서비스 형평성	만명당 건강보험 적용 인구수	+	대응, 복구	신속성

김청일: 서울대학교 환경대학원에서 도시계획학 박사학위를 취득하고 현재 울산과학기술원(UNIST) 도시환경공학과 박사후연구원으로 근무 중이다. 주요 관심 분야는 기후변화 적응정책, 재난관리, 도시 회복력이다(kblue1@unist.ac.kr).

홍종호: 한국개발연구원(KDI)과 한양대학교 경제금융대학을 거쳐 현재 서울대학교 환경대학원 교수로 재직 중이다. 주요 관심 분야는 환경·에너지 경제학, 지속가능발전 및 재정공공 정책이다(hongjongho@snu.ac.kr).

투 고 일: 2021년 06월 29일
심 사 일: 2021년 07월 02일
게재확정일: 2021년 09월 03일