

도시공간적 요인에 의한 침수피해의 영향 분석

박기용¹, 오후², 전원식³, 이의훈^{4*}

¹Michigan State University, ²충북대학교 방재공학과, ³청주대학교 휴먼환경디자인학부, ⁴충북대학교 토목공학부

An Analysis of Flood Damage Influence by Urban Spatial Factors

Kiyong Park¹, Hoo Oh², Won-Sik Jeon³, Eui Hoon Lee^{4*}

¹Urban and Regional Planning, Michigan State University

²Department of Disaster Prevention Engineering, Chungbuk National University

³Division of Human & Environmental Design

⁴School of Civil Engineering, Chungbuk National University

요약 본 연구는 도시지역에 침수피해가 발생하였을 경우, 장기적인 측면에서 침수피해를 최소화 할 수 있는 방안을 마련하기 위해 비구조적인 대책에 초점을 맞추어 도시공간적인 요인과 침수피해의 영향 관계를 분석하였다. 도시공간적인 요인에 의한 침수피해 영향을 분석하고자 다중회귀 분석(Multiple Regression Analysis)을 활용하여 적용하였다. 도시공간적인 요인은 Open Space, 방재시설, 도시화 부문으로 유형화하였다. 분석 결과, 침수피해 지역은 일정한 지역에 한정되어 발생하며, 공간적으로 매우 높은 상관성을 보이고 있음을 알 수 있다. Open Space의 면적이 넓을수록 침수피해액이 감소하는 바, 녹지, 공원 등의 감소가 침수피해를 증가시키고 있음을 확인할 수 있어, 도시의 안전이라는 기능적인 부분에 있어서 침수피해를 예방하고 대응하기 위해 매우 중요한 요인임을 알 수 있다. 도시화 부문에 포함되는 인구밀도, 지역내총생산(GRDP) 등의 요인은 그 값이 클수록 침수피해액은 증가하는 것으로 분석되어, 침수피해를 유발시키는 원인으로 판단된다. 따라서 기후변화에 적응하기 위해서는 녹지, 공원 등의 도시공간 계획을 전략적으로 수립해야 하며, 인구밀도, 지역내총생산(GRDP) 등은 침수피해를 유발시키는 주요 요인이므로 회복력 차원에서 적절하게 활용한다면 대응과 복구 역할을 할 것으로 판단된다.

Abstract This study investigated the long-term measures to minimize flood damage in the event of flooding in urban areas. The relationship between urban spatial factors and the impact of flood damage was analyzed, focusing on non-structural measures. The urban spatial factors were categorized into three parts: open space, disaster prevention facilities, and urbanization sectors. Multiple regression analysis was used to investigate how urban spatial factors influence flood damage. As a result of the analysis, the crucial factors, such as the reduced green areas and parks included in the open space sectors, resulted in an increased flood damage potential. The posterior factors, such as the population density and GRDP included in the urbanization sector concurrently led to an increase in the flood damage potential. Therefore, to better adapt to climate change, it is necessary to establish urban spatial plans strategically, such as green areas and parks. Meanwhile, the population density and GRDP are also the main factors causing flood damage. Therefore, when used appropriately in terms of resilience, it will serve as adaptations and recovery.

Keywords : Urban Spatial Factor, Flood Damage, Urban Flood, Multiple Regression Analysis, Non-Structural Solution

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 스마트시티 혁신성장동력 프로젝트 지원으로 수행되었음(20NSPS-B154315-03).

*Corresponding Author : Eui Hoon Lee(Chungbuk National Univ.)

email: hydrohydro@chungbuk.ac.kr

Received May 25, 2020

Revised June 16, 2020

Accepted September 4, 2020

Published September 30, 2020

1. 서론

물 관리의 패러다임이 그동안 시대적인 물 문제 이슈에 따라 조금씩 변천해 온 것은 주지의 사실이다. 1970년대에는 단순히 사람이 사용할 수 있는 깨끗한 물(clean water)이 주된 패러다임이었다면, 1980년대에는 지속가능한 개발(sustainable development)로 그 범위가 확장되었으며, 1990년대 이후에는 기후변화, 인구증가, 수질오염에 의한 물위기 확산, 물 재해의 심각성 등에 따라 세계 물위기(world water crisis)에서 2000년대 물 안보(water security)의 개념으로 확대되었다[1].

국제적으로 2015년을 물 문제에 대한 새로운 전략을 추진하기 위한 중요한 전환점으로 삼으면서, 「Post 2015 개발 아젠다」, 「2단계 효고행동강령」, 「UN 물과 재난에 대한 특별세션」등 여러 국제 행사와 지구촌 아젠다들이 동시다발적으로 논의되고 있다. 이에 대해 자세히 살펴보면, 많은 국가와 지역에서 폭우, 홍수, 가뭄, 해일 등 현재의 물 문제에 대해 큰 우려를 갖고 있음을 확인하게 되며, 특히 우리나라가 위치한 아시아 지역은 홍수로 인한 인명 손실이라던지 가뭄으로 인한 경제적 제약에 있어서 다른 대륙보다 더욱 열악한 상황이고 기후변화 전망을 감안할 때 국가의 지속가능한 개발을 위협할 수 있다는 점에 공감대가 형성되고 있는 것으로 보인다[1].

사회·경제적 발전으로 인해 많은 지역에서 홍수로 인한 사상자와 피해의 가능성이 증가하고 있다. 이는 도시화를 통한 토지이용의 증가를 의미한다. 홍수 위험은 기후변화, 폭우 그리고 강우 유출 등으로 인한 기후변화의 영향을 통해 발생빈도와 심각성이 증가할 것으로 예상되어 진다[2]. 특히, 짧은 시간에 강우가 집중되거나 집중호우 일수가 증가하고 국지성, 돌발성 특성을 지닌 강우가 증가하여 도시지역에 많은 피해가 발생하고 있는 추세이다[3].

도시구역의 침수방지 대책은 구조적 대책(structural solution)과 비구조적인 대책(non-structural solution)으로 분류할 수 있으며, 방재시설 중심의 구조적 대책이 기본적으로 적용되고 있다. 방재시설 중심의 대책은 대상 지역과 시설의 중요도에 따라 규정된 설계기준과 시설용량이 중요한 역할을 하나, 설계기준을 초과하는 집중 호우에 대해서는 방어능력이 취약한 문제점을 갖고 있으므로 방재시설 중심의 대책은 방어능력이 제한적이라는 한계를 갖고 있다[4]. 도시침수와 관련하여 그 피해는 점점 확대되고 있지만 현재 대부분의 대책은 방재시설 중심의 구조적인 대책이 주류를 이루고 있다. 최근에서야 국내외

도시들은 구조적인 대책에 추가적으로 비구조적인 대책을 보완하는 형태의 통합적인 대책으로 전환되고 있는 추세이다.

이러한 점을 고려해 볼 때, 자연재해에 대한 대응으로서 비구조적 대책에 포함되어 있는 도시공간적 특성을 지닌 토지이용 대책은 잠재적으로 다양한 장점을 가지고 있다. 첫째, 토지이용 대책은 장기적으로 인명손실과 재산적 피해를 저감시키는데 매우 효과적이다. 둘째, 다른 대책들과 비교할 때 장기간 실질적인 비용절감을 할 수 있다. 셋째, 자연환경과 생태계의 가치를 보존할 수 있다. 넷째, 친환경적이고 지속가능한 주거 및 도시개발이 이루어질 수 있다[5]. 미국의 재해 전문가들은 재해 후 긴급복구와 같은 위기대응(crisis-oriented)적 접근보다는 위험한 지역에 건물의 입지를 제한하는 토지이용 계획적 접근방안에 대해 최근 관심을 집중하고 있다[6].

과거에는 자연재해를 어쩔 수 없는 재앙으로 받아들이고 예방책은 고려하지 않은 채 사후처리 방법에 치중한 대응을 하였다. 하지만 장기적인 관점에서 토지이용 계획 및 관리는 매우 중요한 요소라고 할 수 있다. 즉, 도시공간적인 차원에서의 예방·대응책은 현대 재해의 대규모성, 불확실성, 복합성 등을 고려해 볼 때에 종합적 견지에서 사전예방중심으로 전환되는 것이 바람직하다. 이러한 관점에서 토지이용 대책은 자연재해로부터 피해를 최소화할 수 있는 가장 효과적인 사전대책 수단으로써, 이는 수해의 위험도가 높은 지역은 토지이용계획의 단계부터 개발을 억제하여 피해를 저감시킬 수 있다는 데에 착안한다. 아울러 토지이용계획은 도시공간적인 측면에서 자연재해에 취약한 지역의 개발을 제한하고 침수피해를 완화시킬 수 있는 공간을 구성함으로써 도시의 안전이라는 소기의 목적을 달성하는 데에도 중요한 정책수단이 될 수 있다. 재해피해에 대한 도시공간적 토지이용의 영향력은 도시가 적정한 토지이용계획 없이 난개발로 치달을 경우에 더욱 커질 수 있음을 주지해야 한다. 이미 난개발적 도시공간을 개발하고 이용하여 지금과 같이 도시지역에 피해가 증가하고 있는 상황과 더불어 앞으로의 침수 피해의 가능성을 배제할 수 없다는 것이다. 물론 도시의 토지이용 면적을 감소시키면 재해피해의 규모가 감소하겠지만 도시개발 이후, 단 한 번도 감소한 적이 없는 도시의 토지이용면적을 감소하는 것은 현실적으로 어렵다. 따라서 그것이 불가능하다면 도시의 토지를 이용하고 개발할 때에 도시의 안전을 고려하여 침수발생 시 피해를 최소화할 수 있는 도시공간을 수립해야 한다.

도시지역 내에서 어떠한 도시공간 요소들이 침수피해

에 영향을 미치는지 확인하고 침수피해를 최소화하기 위해 도시공간적 침수피해 영향인자를 분석할 필요가 있다. 따라서 도시공간적인 특성과 침수피해와의 영향 관계를 명확하게 밝혀 실증적 연구를 위한 초석을 다짐과 동시에 도시공간적인 대책의 필요성을 강조하는 것이 본 논문의 목적이다.

2. 연구방법

2.1 연구의 범위

본 연구는 크게 4개의 장으로 이루어져 있으며, 구조는 다음과 같다. 2장에서는 침수피해의 유형 및 대책에 대한 이론적인 내용과 연구의 배경을 제공한다. 도시침수 피해에 대한 직접적인 피해, 간접적인 피해 그리고 2차 피해를 도시공간적인 차원에서의 관련성과 접근 방법을 설명하며 적정요소의 평가지표를 선정한다. 3장에서는 지방자치단체별로 종속변수인 침수피해액과 도시공간적인 요인 특성인 Open space, 방재시설, 도시화 부문의 독립변수들이 어떠한 영향관계를 가지고 있는지 다중회귀분석(multiple regression analysis)을 적용하여 각 지표들을 비교·분석하는 등의 결과를 제시한다. 4장에서는 이러한 결과의 의미에 대해 고찰하고 도시공간적 요소들이 갖는 강점과 한계점을 논의하고자 한다.

특히, 본 연구는 내용적 범위를 침수피해로 한정하고, 공간적 범위를 도시지역으로 설정하여 연구를 진행하였다. 연구범위 설정의 근거는 다음과 같다.

침수피해는 기상청에서 제시하고 있는 재해연보(2018)를 Table 1과 같이 설정 근거로 제시한다. 최근 10년(2008년~2017년)간 기후변화와 관련된 자연재해

는 집중호우(홍수, 산사태), 폭설, 강풍, 태풍, 지진 등 다양한 피해 형태가 있으나, 최근 10년간 호우나 태풍에 의한 피해가 약 88.39%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 이를 근거로 수해와 관련 되어 있는 집중호우를 대상으로 하되 결과물로 표현되는 침수피해를 내용적 범위를 설정하였다.

동일한 경우에 대해 도시지역은 인구나 자본, 시설이 제한된 공간에 집중되어있어 보다 큰 피해로 연결될 수 있기 때문에 재해취약성(vulnerability)이 비도시지역에 비해 상대적으로 높아 높은 수준의 방재성능이 요구된다. 인구가 밀집되어 있고 자산가치가 높은 시설들이 집약된 도시지역은 침수 피해가 발생하게 되면 그 피해는 더욱 더 크기 때문에 침수피해에 대한 사전 예방이 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 장기적인 관점에서 도시공간적 대책을 마련함으로써 근본적으로 침수피해에 대한 문제를 해결하기 위해 도시지역을 공간적 범위로 설정하였다.

2.2 침수피해의 유형 및 대책

침수피해의 원인을 정리해 보면 크게 자연적 요인, 사회적 요인, 시설적 요인으로 구분할 수 있으며 이는 Fig. 1과 같이 수문-기상학적 요인, 구조적 요인, 그리고 비구조적 요인으로 대변할 수 있다. 또한 이러한 요인들은 외적 요인과 내적 요인으로 설명된다. 외적 요인은 기후변화로 인해 발생되고 있는 집중호우, 해수면 상승 등이 자연재해로까지 이어지고 있다는 점에 주목한다. 반면, 내적 요인은 인구의 증가와 함께 무분별한 도시개발의 확산으로 인해 자연재해를 유발하고 있다는 사실에 주의를 기울인다[7]. 본 연구는 자연재해 피해의 원인 중 내적 요인에 초점을 맞추고 있다.

Table 1. Damage caused by natural disasters(2008-2017) in Korea

(unit: in million KRW)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Average	Proportion (%)
Heavy rain	61,706	271,337	185,353	506,994	36,675	153,358	138,655	1,232	37,129	101,592	149,403	42.85
Heavy snowfall	3,868	13,603	67,987	46,101	19,422	11,000	31,611	13,226	19,335	83	22,624	6.49
Wind wave		25,642	7,215	287		43		339	8,590	605	4,272	1.23
Strong wind	1,184	7,489	179		25,491	904	92	3,952			3,929	1.13
Typhoon	911		176,888	209,783	957,850	1,639	5,159	13,615	221,886		158,773	45.54
Earthquake									11,401	85,022	9,642	2.77
Total	67,669	318,071	437,622	763,165	1,039,438	166,944	175,517	32,364	298,341	187,302	348,643	100.00

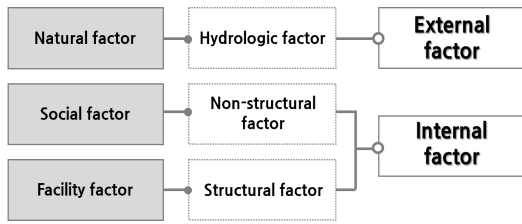


Fig. 1. Frame of flood causes

Fig. 2는 침수피해에 대처하기 위한 구조적 및 비구조적인 대책에 대한 개요를 제공한다. 도시침수의 요인으로 지구온난화와 기후변화, 무분별한 도시화와 도시개발, 도시지역의 불투수면적 등의 인공지반 증가, 배수시설 및 저류시설 용량 초과, 지하공간 개발 등이 있다.

침수피해는 피해 대상에 따라 인명피해, 재산피해, 도시기능상의 피해 등으로 구분할 수 있으며, 대부분의 침수피해가 기상조건, 즉 호우나 태풍에 의해 발생함에 따라 일정수준 예측 가능성이 있기 때문에 인명피해보다는 재산피해와 도시기능상의 피해가 주를 이룬다[8].

기후변화에 대한 대책은 구조적 대책(structural solution)을 의미하는 완화(mitigation)와 비구조적 대책(non-Structural solution)을 의미하는 적응(adaptation)으로 나눌 수 있다[4]. 구조적 대책(structural solution)은 도시유역의 침수방지 및 완화를 위한 기본적인 대책으로써, 제방 등의 홍수벽 설치, 투수성 포장, 저류시설 설치, 배수로 및 지하저류시설 설치, 지반고 승고, 차수판

설치, 빗물 펌프장 설치 등이 있다[9]. 구조적 대책을 의미하는 완화는 기후변화와 관련된 위해요소를 감소시키는 행위 및 정책으로써[10], 정량화가 가능하며 감축 목표 수립과 효과 평가가 상대적으로 용이하다. 또한 정책의 내용이나 방법 면에서 국가 및 지역에 따른 큰 차이는 없다[11]. 비구조적 대책(non-structural solution)은 법이나 규제 등의 정비와 조직 체제 확립, 방비체제 충실, 인재육성, 재해관리기술 향상(토지이용계획, 건축규제, 시가화예정지 선정, 도시기반시설 정비계획, 인구배치계획, 교통망 정비계획 등), 방재정보시스템 정비(토지이용현황, 도로이용 및 관리현황, 건축물 정보현황 등 도시의 물리적 현황에 대한 조사분석 및 hazard map 작성) 등이 있다[9]. 비구조적 대책을 의미하는 적응은 기후변화의 부정적 영향으로부터 취약성과 노출을 줄이는 노력으로써[10], 현재에 나타나고 있거나 미래에 예측되는 기후변화의 영향에 대해 자연·인위적인 시스템의 조절을 통해 피해를 줄이는 활동을 말한다[11]. 완화가 고밀개발 및 기술적인 대책을 활용해 자연재해의 피해를 줄이는 것이라면, 적응은 도시공간의 효율적인 활용을 통해 녹지공간·Open space 확대, 재해대응 정책 등을 계획하여 불확실하고 대형화된 재해 위험으로부터 도시공간을 보호하고자 하는 것이다.

침수방지를 위한 기본적인 대책은 방재시설을 중심으로 한 구조적인 대책이라고 할 수 있다. 하지만 구조적인 대책이 시행되더라도 저류시설의 용량 초과로 인한 반복

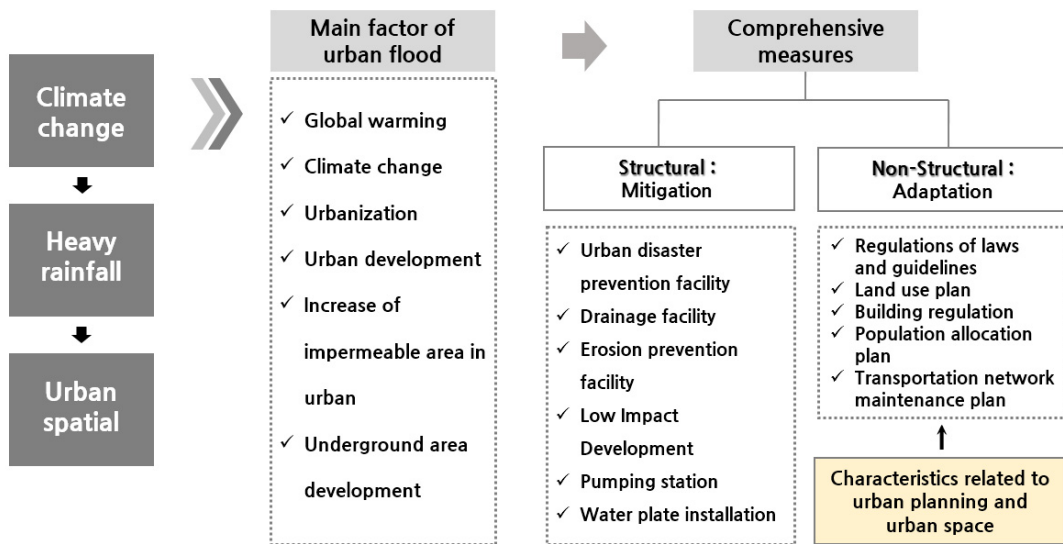


Fig. 2. Influence factors and measures of urban flood

적인 침수피해 지역이 발생하는 것을 감안하면 구조적인 대책만으로는 분명한 한계가 있다. 또한, 기후변화에 따른 도시침수 피해에 일시적으로 대응하는 구조적인 대책은 인명피해 측면에서는 효과를 얻을 수 있지만, 재산 피해, 도시기능상의 피해 측면에서는 효과가 제한적이므로 공간계획적이고 시스템적으로 접근하는 비구조적 대책을 수립하여야 하며, 이는 토지이용 측면에서의 도시공간적인 대응이 필요함을 시사해준다.

이처럼 기존의 저류시설, 하수도, 펌프장 등의 방재 시설 중심의 구조적 대책에 더하여 도시계획적 방재대책으로 전환의 필요성이 높아지고 있는 만큼, 장기적으로 침수피해에 노출된 도시지역의 취약성을 감소시키고 보다 효율적이고 지속가능한 대응을 하기 위해 도시공간적 요인을 도출하고자 한다.

2.3 도시계획 차원에서 침수피해와 도시공간과의 관련성

도시공간은 인구와 시설의 집중 및 고밀화, 각종 도시 시설과 활동들의 상호의존성 증대, 저지대 및 비탈면 개발, 지하공간 개발 등으로 재난에 매우 취약하여 대규모 연쇄적이고 복합적인 인적·물적 피해의 위험이 높다[12].

한편, IPCC 제5차 보고서에 의하면 기후변화의 가장 큰 원인으로 인간의 인위적 활동이 95%라는 절대적 비중을 차지하고 있다. 그러나 역설적으로 기후변화로 인한 각종 재해로부터 다양화되고 대형화된 피해를 받는 대상 역시 인간이다. 도시는 이와 같은 인간의 활동이 집약된 공간이며, 도시와 인간을 둘러싼 환경 모두 기후변화에 영향을 주면서 동시에 영향을 받는 존재이며, 최근에 진행된 재난 관련 연구들에 의하면 자연재난의 영향은 자연현상과 인간의 상호작용으로 발생한다는 점에 주목하고 있다[13]. 이러한 현상을 설명할 수 있는 공간들이 모여서 결국에는 도시를 형성하게 된다.

도시화와 기후변화 현상은 도시공간 내에서의 재난·재해 발생에 직간접적 영향을 주거나 원인을 제공한다. 도시공간의 모든 영역에 걸쳐 높은 연관성을 갖고 있는 도시화와 기후변화는 자연재해와 관련된 중요한 패러다임이라고 사료된다. 1900년대 전 세계가 주목한 현상이 도시화였다면, 2000년대의 국제적 이슈는 기후변화라고 할 수 있다. 가속화되는 도시화 추세 속에 기후변화의 영향력은 앞으로 우리사회에서 더욱 극명하게 나타날 것이라는 것이 전문가들의 공통된 견해이다[14]. 기후변화가 전 세계의 자연재난피해를 증가시키고 있으며, 도시화 추

세는 이를 더욱 가속화시키고 있다고 주장한다[15].

세계의 도시화 비율은 1950년 23.8%에서 2010년 50%로 확대되었다. 도시화는 일정 공간에 다양한 시설과 기능이 집중됨에 따르는 인구집중 현상으로 여러 가지 환경문제를 동반한다[16]. 전 세계 도시화율을 KOSIS 국가통계포털에서 2020년 5월 기준으로 살펴보면 1970년 36.6%에서 2000년 46.6%, 2010년 51%, 2015년 54%를 나타내고 있으며, 2050년에는 68.4% 이상에 이를 수 있다고 예측하였다. 2010년 50% 이상 달성 이후 도시화율 증가 속도는 감소하지만, 도시화율 자체는 지속적으로 증가될 것으로 예측되어, 현재와 같은 환경이라고 가정하면 자연재난 발생 시 피해가 증가 되리라는 예상은 명백하다[9].

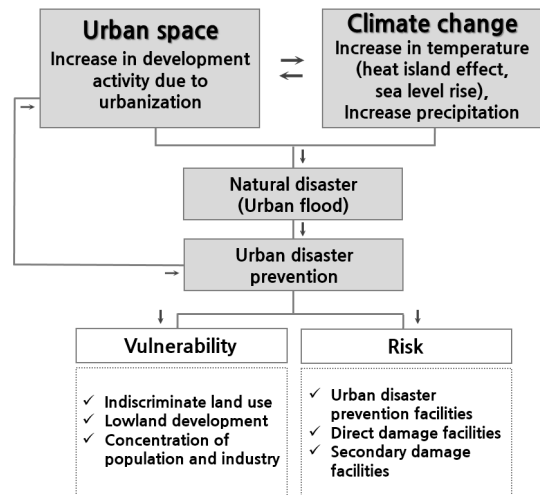


Fig. 3. Relationship between urban space and urban disaster prevention

Fig. 3은 도시공간과 도시침수의 관계성을 통해 도시 방재적인 부분에서의 취약성과 위험성을 나타내고 있다.

인간의 무분별한 개발행위로 인해 한정된 도시공간에 도시화가 진행됨으로써 산업, 인구, 시설 등의 인위적 요인들이 집중되고 자연재해로부터 취약한 도시공간을 지속적으로 증가시킨다. 특히, 기후변화와 도시화로 인해 불확실성을 가진 자연재해가 발생하게 된다면 취약성이 높은 도시공간은 그 위험성이 더욱 증대될 뿐만 아니라 자연재해에 대한 피해가 대형화되고 반복적으로 발생하는 악순환적인 관계가 이루어지게 된다.

2.4 적정요소의 평가지표 선정

기후변화와 관련하여 무분별하게 개발되고 있는 도시 지역의 문제점을 지적하면서 도시침수에 대한 피해를 저감시키기 위한 노력의 일환으로 국내·외에서 많은 연구가 이루어져 왔다. 하지만 기존의 선행연구를 살펴보면, 도시공간적 요인의 지표에서는 Open space에 초점을 맞추어 진행된 연구와 도시화에 초점을 맞춘 편향적인 연구가 대부분이었다. 본 연구에서는 선행연구에서의 Open space, 도시화 요인들을 토대로 지속적인 Brainstorming을 통해 공간적 분석과 정량적으로 지표 추출이 가능한 요인들을 도시공간적 요인으로 선정하여 Table 2와 같이 도출 하였다.

Table 2. Urban spatial factors in previous research

Main factors			Previous research								
			a	b	c	d	e	f	g	h	i
Urban spatial factor	Open space	Green area	○	○	○	○	○				
		Park	○	○	○		○				
	Disaster prevention facility	Stream		○		○	○				
		Embankment				○					○
		Drain system	○	○			○				
	Urbanization	Population density						○	○	○	○
Impermeable area			○		○	○				○	
GRDP							○	○	○	○	

a: Meerow and Newell, 2017[17], b: Shin and Kim, 2011[8], c: Kang et al., 2011[18], d: Lee et al., 2016[19], e: Park et al., 2013[20], f: Shepherd, 2006[21], g: Balling and Brazel, 1987[22], h: Oh and Moon, 2019[23], i: Kim et al., 2011[3]

선행연구로부터 도시공간적 요인으로 선정된 지표는 크게 Open space, 방재시설, 도시화 부문의 3가지 유형으로 분류되었다.

침수피해를 완화시키는 Open space 유형에는 녹지, 공원, 도시공원 등이 있다. 최근 해외 선진국에서는 환경적 지속가능성(sustainability), 스마트 성장(smart growth), 기후변화적응(climate change adaptation)의 목표를 모두 달성하고 회복력(resilience)이 높은 도시공간을 구축하기 위한 중심수단으로 다양한 측면에서 효과를 발휘할 수 있는 그린인프라(green-infra)를 강조하고 있다 [24]. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」을 근거로 그린 인프라는 공간시설인 광장, 공원, 녹지, 유원지, 공공공지

등의 시설들을 대체로 포함한다. Howard, Olmsted 등 많은 저명한 도시계획가들이 도시의 녹화는 도시의 물리적, 사회적 문제들을 해결하는 데 도움을 주는 것을 주장하면서 녹지와 공원의 중요성을 강조하고 있다[25]. 본 연구에서 Open space 부문에는 볼투수 공간이 다수 포함될 수 있는 시설을 제외시키고, 과거부터 각종 도시의 문제를 해결하는데 중요한 요소라고 할 수 있는 공간시설 중에서 공원, 녹지에 한정하도록 한다.

침수피해를 직접적으로 대응하기 위한 방재시설에는 하천, 제방, 하수도 시스템 등이 있다. 침수피해의 직접적인 대책은 방재시설이 중요한 역할을 할 수 있다. 방재시설에는 저류시설, 배수펌프장, 우수관망, 차수막, 제방 등이 있다. 배수체계는 우수, 오수 등을 흘려보내기 위해 구축된 자연적이고 인위적인 체계로 도시지역을 유지시키는 중요한 기반시설이다. 강우는 일반적으로 배수체계에 따라 유출 과정을 거쳐 하천, 해안, 호수 등으로 유입되게 된다. 배수체계의 허용한계를 넘어서게 되면 침수가 발생된다. 따라서 하수도 시스템은 침수에 있어서 중요한 역할을 하게 되며, 하천의 유무에 따라 하천범람 등의 이유로 직접적인 피해가 발생하게 된다. 즉, 하천이나 해안, 호수 등의 물을 일정한 유로 내로 제한해서 범람을 방지하고 해당지역을 보호하기 위해 조성된 제방은 하천과 함께 도시공간적인 특성을 갖는 지표라고 할 수 있다. 도시공간을 형성하는 이러한 요인들은 토지이용 계획 시 적재적소에 계획된다면 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

침수피해의 가장 근본적이면서도 비중이 큰 원인으로 지목되고 있는 도시화 부문에서는 인구밀도, 볼투수면적, 지역내총생산(GRDP; Gross Regional Domestic Product) 등이 있다. Shepherd(2006)은 도시화에 따른 강수변화를 분석한 결과 도시화가 진행 된 도시지역일수록 평균강수량과 강수일수가 증가하고 있음을 밝혔으며 [21], Balling and Brazel(1987) 역시 도시지역의 강수량이 증가하고 있음을 분석하였다[22]. Sebal(2010)은 침수로 인한 영향을 평가하기 위해서 인간의 거주로 인해 발생하는 사회·경제적인 상태를 적극적으로 반영할 것을 강조하고 있다[26]. 침수피해는 기상학적, 지리적 요인만으로 결정되는 것이 아니라 사회경제적 요인이 영향을 미침을 강조하고 있는 것이다[27]. 강수의 형태는 도시화와 밀접한 관련이 있음을 확인할 수 있으며, 침수 위험 지역에서 재산, 인구의 집중은 재해에 대한 노출 정도를 나타내며 실제 인명·재산피해에 직·간접적으로 영향을 미치게 된다. 따라서 침수피해 관련 영향 인자인 도시화 지표를 선정하였다. 구체적으로 도시화 부문에 인구

밀도와 지역내총생산(GRDP)을 설정한 이유는 도시화로 인해 산업이 고도화 될수록 인구가 집중하여 인구밀도가 높아지고 도시의 가치가 높아지게 되기 때문이다. 이는 곧 지역별 경제 상황을 파악하고 비교하는 데에 이용되는 경제지표인 지역내총생산(GRDP)과도 깊은 관련성을 갖는다. 도시가 개발되면서 불투수면적 또한 증가하게 되는데 이로 인해 침투홍수량의 증가와 하천에 도달되는 시간의 단축, 도시 내수배제 능력의 불량으로 인한 침수 발생 가능성이 크게 증대되고 있음을 함께 고려하였다.

요약하여 설명하면, Table 3과 같이 분석모형의 종속 변수는 침수 발생으로 인한 침수피해를 객관적이고 직접적으로 제시할 수 있는 침수피해액으로 선정하였으며, 독립변수는 도시공간적인 요인을 가장 잘 표현할 수 있는 Open space, 방재시설, 도시화 부문으로 구분하여 도시 공간과 관련된 도시침수 위험요인을 분석지표로 도출하였다. Open space 부문에는 녹지, 공원, 도시공원이 포함된다. 방재시설 부문에는 하천, 제방이 포함되며 도시화 부문에는 인구밀도, 지역내총생산(GRDP)을 최종적으로 선정하였다. 선행연구에서 고려되었던 하수도시스템은 도시공간적인 요인으로 보기에는 다소 무리가 있으며, 불투수 면적은 Open space에 상반되는 내용으로써 범 위설정, 자료구축 등의 어려움이 있어 제외하였다.

Table 3. Selection of urban spatial factor

Dependent variable	Flood damage	
Independent variable	Open space	Green area
		Park
	Disaster prevention facility	Stream
		Embankment
	Urbanization	Population density
		GRDP

2.5 분석방법

회귀분석은 종속변수(dependent variable)와 독립변수(independent variable) 간의 관계를 검증하여 독립 변수가 종속변수에 미치는 영향력을 알아보거나, 독립 변수의 변화에 따라 종속변수의 변화를 예측하기 위해서 사용되는 통계적 분석방법이다. 회귀분석은 독립변수의 개수에 따라 독립변수가 한 개인 경우는 단순회귀분석(simple regression analysis), 둘 이상인 경우는 다중 회귀분석(multiple regression analysis)이라 한다[28].

회귀분석이 사용되는 이유는 두 변수 사이의 관계를

파악하여 한 변수 값으로부터 다른 변수의 값에 대한 예측을 하고 두 변수 사이의 함수관계에 대한 추정 및 검정을 할 수 있으며[29], 결과(종속변수)에 대한 여러 원인(독립변수)들을 한 번에 분석할 수 있기 때문이다. 그뿐만 아니라 회귀분석에서는 종속변수에 대한 개별 독립 변수들의 순수한 영향을 따로 분석할 수 있기 때문에 다른 변수를 통제하였을 때 각 독립변수가 종속변수의 변화에 기여 하는 정도를 판단할 수 있다[30].

다중회귀분석은 독립변수가 하나인 단순회귀분석을 여러 개의 독립변수로 확장시킨 형태이며, 독립변수와 종속변수간의 인과관계를 통계적 방법을 활용하여 추정하는 방법을 말한다. 다중회귀분석에서 독립변수가 종속변수에 미치는 영향을 회귀방정식으로 표현을 하기 위해서는 독립변수 간 다중공선성이 존재하지 않음을 검증해야 한다. 독립변수 간 상관관계가 없다는 것이 회귀분석에서의 기본 가정인데, 다중공선성은 독립변수 간 상관관계가 발생할 가능성을 의미하기 때문이다. 따라서 각각의 독립 변수가 일정 범주 내에서 다중공선성에서 벗어나 있다고 검증되어야 각각의 독립변수는 변수로서의 역할을 수행할 수 있다고 판단이 가능하며 해당 독립변수는 종속변수에 독립적으로 영향을 끼친다는 판단이 가능하다[31]. 다중공선성에 대한 판단과 잔차에 대한 상관관계를 알아보기 위해서는 분산팽창계수(VIF: Variance Inflation Factor)와 Durbin-Watson이 활용되며, 이는 보통 최소제곱으로 계산된 잔차를 이용하는 선형모형에서 오차항의 계열상관(serial correlation)을 검증하는 것을 의미한다[32].

종속변수 Y 에 대한 n 개의 독립변수 $\chi_1, \chi_2, \chi_3, \dots, \chi_n$ 의 관계를 선형함수라고 가정하여 식(1)과 같이 표현된다.

$$Y = \alpha + \beta_1\chi_1 + \beta_2\chi_2 + \dots + \beta_n\chi_n + \epsilon \quad (1)$$

여기서 α 는 상수항, β_1, \dots, β_n 는 독립변수의 회귀 계수, ϵ 는 종속변수를 추정할 때 발생하는 오차를 의미한다. 일반적으로 오차 ϵ 에 대한 가정은 단순회귀분석 식과 동일하며, 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\epsilon_j \sim N(0, \sigma^2), \text{Cov}(\epsilon_i, \epsilon_j) = 0, i \neq j \quad (2)$$

오차들 간에는 상관관계가 없으며 오차의 분포는 정규 분포를 따른다. 다중회귀모형의 회귀계수를 추정하기 위

해서는 최소제곱법(OLS; Ordinary Least Square)을 사용하여, 오차의 제곱합이 최소화 되는 회귀계수를 추정한다[33].

본 연구에서는 다중회귀분석을 활용하여 다양한 도시공간적 특성을 갖는 독립변수들이 침수피해액이라는 종속변수에 미치는 영향력을 분석하였다.

3. 분석결과 및 고찰

3.1 침수피해 요인의 현황 분석

다음 Table 4, 5, 6, 7은 전국 도시침수 피해와 관련된 지표별 현황을 보여준다.

우리나라 각 지방자치단체별 태풍과 호우에 의한 침수 피해액 현황은 2018년 기준 재해연보(2009-2018)를 근거로 조사한 결과 Table 4와 같다. 전라남도가 635,266,460천원으로 전체의 18.44%로 피해가 가장 큰 것으로 나타났으며, 경기도 569,088,205천원 (16.52%), 경상남도 487,996,292천원 (14.17%)의 순으로 높게 나타났다. 이는 우리나라의 지리적인 특성상 남해안 부근이 태풍의 영향을 많이 받기 때문인 것으로 풀이된다.

독립변수에 해당하는 Open Space, 방재시설, 도시화 부분의 현황은 KOSIS 국가통계포털을 활용하여 각 지방자치단체별로 녹지면적, 공원면적, 하천, 제방, 인구밀도, 지역내총생산(GRDP) 등의 자료를 Table 5, 6, 7과 같이 구축하였다.

Table 4. Current status of flood damage for local government

	Area(m ²)	Dependent variable: flood damage	
		Thousand won	%
Seoul Metropolitan City	605,238,966	58,937,525	1.71
Busan Metropolitan City	769,939,357	197,451,981	5.73
Daegu Metropolitan City	883,519,269	836,785	0.02
Incheon Metropolitan City	1,063,271,304	25,528,863	0.74
Gwanju Metropolitan City	501,175,533	20,833,056	0.60
Daejeon Metropolitan City	539,532,358	8,440,141	0.25
Ulsan Metropolitan City	1,061,543,885	78,819,315	2.29
Sejong Metropolitan Autonomous City	464,912,495	1,830,902	0.05
Gyeonggi-do	10,187,788,175	569,088,205	16.52

Province			
Gangwon-do Province	16,827,911,962	248,474,542	7.21
Chungcheongbuk-do Province	7,407,846,534	147,886,000	4.29
Chungcheongnam-do Province	8,229,199,360	284,682,173	8.26
Jeollabuk-do Province	8,069,069,517	323,371,990	9.39
Jeollanam-do Province	12,343,575,972	635,266,460	18.44
Gyeongsangbuk-do Province	19,032,867,577	255,213,902	7.41
Gyeongsangnam-do Province	10,540,116,574	487,996,292	14.17
Jeju Special Self-Governing Province	1,850,159,471	99,789,441	2.90

Table 5. Current status of open space for local government

	Independent variable: open space			
	Green area		Park	
	Area(m ²)	%	Area(m ²)	%
Seoul Metropolitan City	234,848,783	38.80	21,584,145	3.57
Busan Metropolitan City	546,228,649	70.94	10,999,668	1.43
Daegu Metropolitan City	617,503,124	69.89	11,688,471	1.32
Incheon Metropolitan City	287,669,507	27.06	26,194,637	2.46
Gwanju Metropolitan City	358,764,406	71.58	6,692,487	1.34
Daejeon Metropolitan City	402,981,331	74.69	9,480,038	1.76
Ulsan Metropolitan City	515,078,500	48.52	4,384,915	0.41
Sejong Metropolitan Autonomous City	98,705,006	21.23	4,240,992	0.91
Gyeonggi-do Province	2,609,090,987	25.61	77,410,038	0.76
Gangwon-do Province	794,355,604	4.72	6,206,442	0.04
Chungcheongbuk-do Province	562,555,068	7.59	12,059,349	0.16
Chungcheongnam-do Province	588,537,441	7.15	15,306,029	0.19
Jeollabuk-do Province	607,914,845	7.53	9,551,225	0.12
Jeollanam-do Province	1,175,930,564	9.53	19,293,532	0.16
Gyeongsangbuk-do Province	1,364,764,124	7.17	11,621,884	0.06
Gyeongsangnam-do Province	1,474,575,866	13.99	15,308,923	0.15
Jeju Special Self-Governing Province	388,960,010	21.02	3,885,213	0.21

Table 6. Current status of disaster prevention facility for local government

	Independent variable: disaster prevention facility			
	Stream		Embankment	
	Area(m ²)	%	Area(m ²)	%
Seoul Metropolitan City	52,166,221	8.62	3,851,092	0.64
Busan Metropolitan City	43,749,812	5.68	2,507,521	0.33
Daegu Metropolitan City	44,215,831	5.00	3,988,876	0.45
Incheon Metropolitan City	6,691,802	0.63	3,799,252	0.36
Gwanju Metropolitan City	20,920,929	4.17	1,356,191	0.27
Daejeon Metropolitan City	19,645,345	3.64	1,096,814	0.20
Ulsan Metropolitan City	30,100,002	2.84	2,057,363	0.19
Sejong Metropolitan Autonomous City	24,796,294	5.33	1,664,294	0.36
Gyeonggi-do Province	404,988,530	3.98	19,806,199	0.19
Gangwon-do Province	380,396,078	2.26	18,976,012	0.11
Chungcheongbuk-do Province	208,399,061	2.81	13,078,137	0.18
Chungcheongnam-do Province	216,402,523	2.63	23,596,336	0.29
Jeollabuk-do Province	275,550,200	3.41	21,319,454	0.26
Jeollanam-do Province	245,541,356	1.99	28,159,344	0.23
Gyeongsangbuk-do Province	566,610,346	2.98	30,960,839	0.16
Gyeongsangnam-do Province	294,919,643	2.80	32,840,080	0.31
Jeju Special Self-Governing Province	24,473,332	1.32	407,469	0.02

Table 7. Current status of urbanization for local government

	Independent variable: urbanization		
	population density	GRDP	
	Persons/km ²	Won	%
Seoul Metropolitan City	16,364	422,394,886	22.23
Busan Metropolitan City	4,479	89,726,236	4.72
Daegu Metropolitan City	2,791	56,669,394	2.98
Incheon Metropolitan City	2,755	88,390,043	4.65
Gwanju Metropolitan City	2,998	39,814,505	2.10
Daejeon Metropolitan City	2,852	41,187,774	2.17
Ulsan Metropolitan City	1,099	75,636,003	3.98

Sejong Metropolitan Autonomous City	439	11,108,745	0.58
Gyeonggi-do Province	1,226	473,845,098	24.94
Gangwon-do Province	90	46,981,996	2.47
Chungcheongbuk-do Province	214	69,657,517	3.67
Chungcheongnam-do Province	256	117,691,807	6.19
Jeollabuk-do Province	227	50,967,668	2.68
Jeollanam-do Province	146	76,465,519	4.02
Gyeongsangbuk-do Province	140	109,022,995	5.74
Gyeongsangnam-do Province	316	110,535,700	5.82
Jeju Special Self-Governing Province	327	19,910,936	1.05

3.2 침수피해 요인의 다중회귀 분석

중속변수인 침수피해액에 대하여 도시공간적 특성을 지닌 유의미한 독립변수는 녹지, 공원, 하천, 제방, 인구 밀도, GRDP로 총 7개이다. 이들에 대한 다중회귀분석 결과는 Table 8과 같이 분석되었다.

Table 8. Analysis results of multiple regression

Model	Unstandardized coefficients variables		Standardized coefficients	t	p	Collinearity statistic		
	B	Standard error				Tolerance	VIF	
Constant	5.939	3.402		1.746	.115			
Open space	Green area	-.121	.050	-.534	-2.393	.036	.758	1.320
	Park	-5.247	3.429	-.886	-2.530	.016	.105	9.550
Disaster prevention facility	Stream	-1.099	1.790	-.350	-.614	.554	.108	9.245
	Embankment	18.254	16.045	.436	1.138	.285	.239	4.192
Urbanization	Population density	.635	.250	.739	2.539	.032	.414	2.414
	GRDP	.515	.219	.600	2.357	.038	.583	1.714

$R^2 = .827, R^2 = .684, \text{Durbin-Watson} = 2.207$

먼저 Durbin-Watson = 2.207로 2에 가깝고 0 또는 4와 가깝지 않기 때문에 잔차의 독립성이 충족되어 회귀 모형이 적합한 것으로 나타났다. 독립변수의 상관관계를 나타내는 다중공선성은 공선성 통계량인 공차한계 (tolerance)와 분산팽창계수(VIF; Variance Inflation Factor) 값으로 진단하였다. 공차한계 값은 모두 0.1 이하로 나타났고, VIF 값 역시 10 이하로 분석되어 다중공

선성에 문제가 없는 것으로 나타났다.

결정계수 R^2 값은 독립변수가 종속변수에 대해서 얼마만큼의 설명력을 가지고 있는지를 나타내는 통계량으로, 다중회귀분석 결과, $R^2=.684$ 로 회귀식에 대하여 68.4%의 높은 설명력을 보이고 있음을 의미한다.

독립변수 간 영향력 분석결과를 구체적으로 비교하여 살펴보면, 독립변수 중 녹지($t = -2.393, p = 0.036$)와 공원($t = -2.530, p = 0.016$)은 음의 상관관계를 보이는 것으로 분석되었다. 인구밀도($t = 2.539, p = 0.032$)와 GRDP($t = 2.357, p = 0.038$)는 양의 상관관계를 보이는 것으로 분석되었다. 하지만 방재시설에 해당되는 하천 및 제방은 침수피해액에 아무런 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 다른 독립변수들에 비해 방재시설 현황은 일부 지역에서만 제한적으로 나타날 수 있는 현황으로 다소 축소되어 나타난 것으로 미루어 짐작해볼 수 있다.

영향요인 간 영향력의 크기는 표준화계수인 β 값의 절대치를 통해 알 수 있는데, 공원($\beta = -5.247$)이 가장 큰 수치로 분석되어 다른 독립변수와 비교하여 상대적으로 가장 많은 영향을 미치고 있음을 의미한다. 그 다음으로 인구밀도($\beta = .635$), GRDP($\beta = .515$), 녹지($\beta = -.121$) 순으로 분석된다.

이러한 분석결과를 종합해보면, 음의 상관관계를 보이는 녹지와 공원은 그 면적이 넓어질수록 침수피해액이 감소함을 의미한다. 이러한 특성은 도시지역에서 발생하는 침수피해를 예방하기 위해 침투 및 저류 특성이 강한 Open space의 공원, 녹지를 중심으로 도시공간적인 측면에서의 공간 확보가 필요함을 의미한다. 반대로 양의 상관관계를 보이고 있는 인구밀도와 GRDP는 해당 값이 클수록 침수피해액이 증가함을 의미한다. 이는 도시가 개발되고 도시화가 진행됨에 따라 사회·경제적인 가치가 증가하면서 침수피해의 규모 역시 증가하고 있음을 의미한다.

4. 결론

재해피해의 빈도와 강도는 점차 증가하고 있어 장기적인 관점에서 도시지역에 대한 재해관리 및 예방의 필요성이 증대되고 있다. 도시가 개발되면서 인간이 기본적으로 추구해야 할 방재와 안전이라는 요소는 충분히 계획되지 못한 채 성장 위주의 개발을 해왔던 것은 주지의 사실이다. 따라서 현재의 도시 구조는 재해에 구조적으로

취약한 부분이 많이 존재하고 있어 기후변화에 적응하기 위해서는 장기적인 측면에서 도시공간을 효율적으로 변화시킬 필요가 있다.

본 연구는 자연재해 중에서도 가장 큰 피해를 미치고 있는 수해와 관련된 침수피해에 초점을 두고 침수피해에 영향을 주는 도시공간적 요인을 도출함으로써, 침수피해를 최소화할 수 있는 실제적인 방안을 구축하고자 하였다. 이를 위해 장기적인 대안의 필요성을 강조하고 도시공간적인 요인에 대한 영향관계를 분석하였다.

침수피해 지역은 일정한 지역에 한정되어 발생하며, 공간적으로 높은 상관성을 보인다. 이는 이상기후와 관련하여 국지성 호우가 점차 증가하고 있고 도시화로 인한 도시 공간적 특성이 침수피해에 영향을 미치고 있다는 것을 의미한다. 따라서 우리나라 17개의 지방자치단체를 대상으로 침수피해의 객관적이고 직접적인 지표가 되는 침수피해액을 종속변수로 설정하고, 도시공간 내에서 유기적인 관계를 형성하고 있는 도시공간적 요인들을 독립변수로 선정하여 다중회귀분석을 실시하였다. 이때, 독립변수는 Open space, 방재시설, 도시화 부문으로 유형화하여 특성화시켰다. 침수피해에 대한 도시공간적 요인의 영향 관계 분석결과, 공원, 녹지 등의 Open space로 분류되는 독립변수가 음의 상관관계를 보이고 있어 면적이 넓을수록 침수피해액이 감소함을 보여주고 있다. GRDP, 인구밀도 등의 도시화 부문으로 분류되는 독립변수는 양의 상관관계로 나타나 값이 클수록 침수피해액 역시 증가하고 있음을 의미한다. 독립변수 간 영향력은 공원과 GRDP가 가장 많은 영향을 미치고 있는 것으로 분석되었다.

전체적인 결과를 종합하면 Open space 부문은 침수피해 예방과 침수피해를 최소화하기 위해서 장기적으로 마련되어야 할 대책이다. 즉, 공원, 녹지 등은 도시 경관적·생태적인 관점에서도 중요하지만, 침수피해로부터 예방하고 대응하기 위한 도시의 안전이라는 기능적인 부분에 있어서도 매우 중요한 요소임을 뜻한다. 인구밀도와 GRDP로 대변되는 도시화 부문은 침수피해를 유발시키는 원인이라고 할 수 있지만, 대응·복구 차원에서도 매우 중요한 역할을 할 것으로 판단된다. 또한, 비구조적 대책은 재해 발생의 불확실성, 상당한 경제적 규모의 자산이 필요하고, 오랜 시간을 두고 적용해야 하기 때문에 접근이 실질적으로 어렵다. 하지만 도시침수 피해가 대형화되고 반복적으로 발생되고 있는 현 시점에서 도시공간적인 요인이 침수피해에 영향력을 미치고 있음을 밝혀낸 본 연구의 분석결과를 토대로 도시공간적인 요인은 기존의

구조적인 방재대책들과 더불어 지속가능하고 장기적인 측면에서의 잠재적 가치는 매우 크다고 할 수 있다. 한편 분석결과 방재시설인 하천과 제방은 모두 침수피해액과 영향관계가 없는 것으로 나타나 도시계획적 방재대책으로의 전환에 대한 필요성을 시사하고 있다. 방재시설은 과거부터 추진되어 온 직접적인 대응대책으로써 중요한 부분을 차지하지만, 단기적인 구조적 대책으로 한계성이 분명한 바, 비구조적 대책과 상호보완하는 통합적 접근으로 전환되어야 하겠다.

향후 연구과제로 토지이용계획 및 침수위험도를 분석함에 있어 침수피해에 긍정적인 역할을 할 수 있는 도시 공간적인 요인들이 적극적으로 활용되길 기대한다.

References

- [1] S. E. Lee, S. H. Kim, "New water resource technology paradigm for the water generation", *Korea Water Resources Association*, Vol. 48, No. 1, pp. 68-75, 2015.
- [2] Q. Dihn, S. Balica, I. Popescu, A. Jonoski, "Climate change impact on flood hazard, vulnerability and risk of the Long Xuyen quadrangle in the mekong delta", *International Journal of River Basin Management*, Vol. 10, pp. 103-120, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/15715124.2012.663383>
- [3] B. K. Kim, D. W. Jang, N. Jang, D. M. Yang, "Derivation of risk factors for urban floods considering climate change", *Crisisonomy*, Vol. 7, No. 1, pp. 125-142, 2011.
- [4] K. Park, J. H. Won, "Analysis on distribution characteristics of building use with risk zone classification based on urban flood risk assessment", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 38:101192, pp. 1-10, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101192>
- [5] T. Beatley, "Planning and sustainability: The elements of a new(improved?) paradigm", *Journal of Planning Literature*, Vol. 9, No. 4, pp. 383-395, 1995.
DOI: <https://doi.org/10.1177/088541229500900405>
- [6] P. R. Berke, T. Beatley, "After the hurricane: Linking recovery to sustainable development in the caribbean", *Disaster Prevention and Management*, Vol. 8, No. 5, pp. 370-452, 1999.
DOI: <https://doi.org/10.1108/dpm.1999.8.5.370.8>
- [7] K. Park, M. H. Lee, "The development and application of the urban flood risk assessment model for reflecting upon urban planning elements", *Water*, Vol. 11, No. 5, pp. 1-17, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.3390/w11050920>
- [8] S. Y. Shin, H. R. Kim, Analyzing Relationships between Land Use Characteristics and Flood Damage Areas, Seoul Development Institute, Korea, pp.1-67, 2011.
- [9] K. Hideki, Urban disaster prevention. Tokyo, Japan, 2011.
- [10] D. McEvoy, S. Lindley, J. Handley, "Adaptation and mitigation in urban areas: synergies and conflicts", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers -Municipal Engineer*, Vol. 159, No. 4, pp. 185-191, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1680/muen.2006.159.4.185>
- [11] H. S. Hwang, *An Index and Evaluation of Vulnerability to Climate Change in Urban Area*, Master's thesis, Inha University, pp. 1-72, 2012.
- [12] S. Y. Shin, C. Y. Park, "Analyzing relationships between land use characteristics and flood damage areas: The case of Seoul", *Korea Research Institute for Human Settlements*, Vol. 81, pp. 3-20, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.15793/kspr.2014.81.001>
- [13] I. Burton, R. W. Kates, G. F. White. The environment as hazard(2nd ed), New York: The Guilford Press, 1993.
- [14] B. Norman, "Principles for an intergovernmental agreement for coastal planning and climate change in australia," *Habitat International*, Vol. 33, No. 3, pp. 293-299, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2008.10.002>
- [15] IPCC, Climate Change 2007: Impact, adaptation and vulnerability, fourth assessment report, Cambridge: Cambridge University Press, UK, 2007.
- [16] United Nations Inter-Agency Secretariat, Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives, I.S.D.R Editor. UN Publications, Geneva, Switzerland, 2002.
- [17] S. Meerow, J. P. Newell, "Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit", *Landscape and Urban Planning*, Vol. 159, pp. 62-75, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.10.005>
- [18] J. E. Kang et al., Urban Renewal Strategy for Adapting to Climate Change: Use of Green Infrastructure on Flood Mitigation, Korea Environment Institute, Korea, pp. 1-206, 2011.
- [19] H. J. Lee et al., "A study on model of heavy rain risk prediction using influencing factors of flood damage", *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 16, No. 3, pp. 39-45, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.3.39>
- [20] C. Y. Park, S. Y. Shin, E. J. Son, "Classifying flood prone areas in Seoul using multivariate analysis", *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 13, No. 2, pp. 245-255, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.2.245>
- [21] J. M. Shepherd, "Evidence of urban-induced precipitation variability in arid climate regimes", *Journal of Arid Environments*, Vol. 67, pp. 607-628,

2006.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.03.022>

[22] R. C. Balling Jr, S. W. Brazel, "Recent changes in Phoenix, Arizona summertime diurnal precipitation patterns", *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 38, pp. 50-54, 1987.
DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00866253>

[23] T. S. Oh, Y. I. Moon, "Effect analysis of precipitation events according to an urbanization", *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 30, No. 4, pp. 413-427, 2013.

[24] J. Foster, A. Lowe, S. Winkelman, The value of green infrastructure for urban climate adaptation, The Center for Clean Air Policy, Washington, DC 20002, 2011, pp. 1-35.

[25] G. Lindsey, G. Knaap, "Willingness to pay for urban green projects". *Journal of the American Planning Association*, Vol. 65, pp. 297-313, 1999.
DOI: <https://doi.org/10.1080/01944369908976059>

[26] C. Sebald, Towards an integrated flood vulnerability index : A flood vulnerability assessment, Master of Science (MSc), 2010.
DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4933.8000>

[27] R. A. Pielke, M. W. Downton, "Precipitation and damaging floods: trends in the United States, 1932-97". *Journal of Climate*, Vol. 13, No. 20, pp. 3625-3637, 2000.
DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<3625:PA DFTI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<3625:PA DFTI>2.0.CO;2)

[28] Y. S. Kim, *MRA Revision Model based on CBR for Cost Prediction in Early Stage*, Master's thesis, University of Seoul, pp. 1-92, 2010.

[29] W. K. Ko, An analysis of input social sciences data by step of the SPSS, Kyeongmunsa, 2011, pp. 1-461.

[30] T. K. Kim, U-can regression analysis, Human and Welfare, 2006, pp. 1-330.

[31] H. C. Kim, Statistical analysis completed by oneself, Hakjisa, 2013, pp. 1-460.

[32] K. Y. Kwak, Business statistics analysis: IBM SPSS statistics, Kyeongmunsa, 2011, pp. 1-555.

[33] J. O. Lim, *Estimation of Flood Damage Based on Multi-Dimensional Flood Damage Assessment and Multiple Regression Analysis: A Case Study for the PyeongChang River Basin*, Master's thesis, Inha University, pp. 1-91, 2019.

박 기 용(Kiyong Park)

[정회원]



- 2018년 8월 : 충북대학교 도시공학과 (공학박사)
- 2018년 9월 ~ 2020년 2월 : 충북대학교 방재공학과 연구교수
- 2020년 3월 ~ 현재 : Adjunct Professor, Urban and Regional Planning, Michigan State University

<관심분야>

도시계획, 기후변화

오 후(Hoo Oh)

[정회원]



- 2017년 2월 : 충북대학교 도시공학과 (공학석사)
- 2017년 1월 ~ 2019년 12월 : 충북재난안전연구센터 위촉연구원
- 2020년 1월 ~ 현재 : 충북재난안전연구센터 전문연구원
- 2019년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 방재공학과 박사과정

<관심분야>

도시계획, 재난안전

전 원 식(Won-Sik Jeon)

[종신회원]



- 2008년 2월 : 충북대학교 환경도시공학과 (공학석사)
- 2013년 9월 : 충북대학교 환경도시공학과 (공학박사)
- 2019년 7월 ~ 현재 : URC(어번 르네상스컴퍼니) 대표

- 2015년 3월 ~ 현재 : 청주대학교 휴먼환경디자인학부 조경도시계획전공 겸임교수

<관심분야>

도시재생, 도시계획

이 의 훈(Eui Hoon Lee)

[종신회원]



- 2003년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 2005년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 수자원공학 (공학석사)
- 2017년 2월 : 고려대학교 고려대학교 건축사회환경공학과 수자원공학 (공학박사)

• 2018년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 토목공학부 교수

<관심분야>

수문학, 수리학, 수자원공학