



도시 리질리언스 향상을 위한 재해별 그린인프라 유형 고찰*

A Study on Categories of Green Infrastructures to Enhance Urban Resilience

이혜민** · 유수진 · 박사무엘 · 전진형***
Lee, Hemin · You, Soojin · Park, Samuel · Chon, Jinyung

Abstract

The purpose of this study is three-fold: 1) to analyze the categories of green infrastructures according to related disciplines through literature review, 2) to draw the categories of green infrastructures according to the natural disasters, and 3) to propose application measures of the green infrastructure to enhance urban resilience. To reach these goals, 381 papers have been studied through literature review and frequency analysis for recent 5 years. The results of the study are as follows: First, 26 categories of green infrastructure are established according to function and scale, and the categories of green infrastructure whether in engineering, natural science, and social science are analyzed through frequency analysis. Second, this study has drawn the major categories of green infrastructures that can reduce damages by flood, heat island, and drought. The major categories of floods are green roofs, permeable pavement, detention ponds, etc; the major categories of heat islands are green roofs, trees and parks; and the major categories of drought are green roofs, parks and detention ponds. Third, we discuss the utilization measures of green infrastructure according to the multi-scale strategy to improve overall robustness to enhance urban resilience. This study emphasizes the necessity of enhancing the robustness of the urban system in response to disaster by establishing networks of hub and link with green infrastructure.

키 워 드 ■ 네트워크 계획, 내구성, 멀티스케일, 핵심지역, 연결지역
Keywords ■ Network Planning, Robustness, Multi-scale, Hub, Link

I. 서론

우리나라의 도시는 1960년대 이후 급격한 도시 팽창 및 산업화와 가파른 인구증가 등의 사회적 요인과 각종 재해 및 환경오염, 생물서식처 감소, 질병 발생 등의 환경적 요인으로 인하여 사회생태

시스템의 교란이 가속화되고 있다. 이러한 교란은 도시를 구성하는 사회생태시스템의 붕괴를 야기하며 도시 리질리언스(Urban Resilience)를 저하시킨다(Walker and salt, 2012). 도시 리질리언스란 교란에 대하여 도시시스템의 구조와 과정이 이전 수준을 유지할 수 있도록 변화를 용인할 수 있는

* 이 논문은 2017년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 2017R1A2B4008866). 또한 2016년도 중소기업기술혁신개발사업 혁신기업기술개발(S2404606)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

** Korea University (First author: leehm0646@gmail.com)

*** Korea University (Corresponding author: jchon@korea.ac.kr)

시스템의 능력으로 정의된다(Alberti and Marzluff, 2004; Godschalk, 2003; Campanella, 2006). 도시에서 발생하는 각종 교란에 대응하기 위해 리질리언스의 중요성이 대두되고 있으며 국내외에서는 도시 리질리언스, 재해 리질리언스(Disaster Resilience) 등 세분화된 연구가 활발히 진행되고 있다(Liao, 2012; Ahern, 2011; Meerow et al., 2016; 김태현 외, 2011). 미국의 록펠러 재단(Rockefeller Foundation)은 21세기 전 세계 도시가 직면한 문제에 대하여 사회적, 경제적, 물리적 리질리언스를 향상시키고자 2013년 ‘100대 리질리언트 시티(100 Resilient Cities, 100RC)’ 프로그램을 구축하였다(100 Resilient Cities, 2017). 6개 대륙에 걸쳐 서울을 포함한 총 100개의 도시를 선정하였으며, 서울의 취약사항으로는 재해, 오염 등의 환경생태 문제를 비롯해 인구 및 주택과 관련된 사회경제 문제를 지적하였다. 실제 서울에서는 도시홍수, 폭염 등의 재해가 빈번하게 발생하고 있다. 특히 집중호우로 인해 주택 및 건물 등이 침수되어 이재민 발생 및 재산 피해가 발생하고, 폭염으로 인한 온열질환자 증가, 홍수와 가뭄의 양극화와 같은 문제가 점차 심화되는 실정이다(국토교통부, 2017; 질병관리본부, 2017). 이에 서울시는 불투수면적 증가에 따른 홍수피해 증대에 대응하여 도시 물 순환의 회복을 목적으로 분산식 빗물관리시설 및 소형 빗물이용시설을 확충하고, 도시계획과 연계한 저영향개발(Low Impact Development; LID) 계획을 수립하여 지역단위로 빗물과 지하수를 관리하고 있다(서울시, 2017). 그러나 개별 시설단위의 방재시설은 여전히 도시 홍수를 막아내지 못하는 한계를 지니고 있다. 도시의 각종 재해, 환경 문제 등을 해결하기 위해 도입된 하드엔지니어링(Hard-Engineering)의 한계를 보완하는 소프트엔지니어링(Soft-Engineering)으로서 그린인프라가 대두되고 있으며 관련 연구들

이 증가하고 있다(김태현 외, 2011; 김승현·조경진, 2015; 신현석 외, 2016). 하드엔지니어링이란 댐, 제방, 둑과 같이 인공재료 및 구조 중심의 공학을 의미하며, 소프트엔지니어링이란 저영향개발 시설, 굴 껍질을 활용한 해안 구조물과 같이 자연 재료 중심의 공학을 의미한다(Granja and de Carvalho, 1995; Mayer-Pinto et al., 2017). 그린인프라(Green infrastructure)는 생태계서비스를 제공하여 수질 및 대기질 보존, 기후변화 완화, 생물 다양성 보전 등 다양한 역할을 수행한다(이은석 외, 2014). 최근에는 도시 홍수 및 우수유출 감소, 각종 오염물질 저감, 열섬 저감 등 그린인프라의 방재기능이 부각되고 있다(박재철 외, 2012; 김승현·조경진, 2015; 박효석 외, 2014; 김동현·송슬기, 2017).

도시에서 발생하는 재해문제 해결을 위한 그린인프라의 활용에 관한 연구는 도시계획, 환경공학, 정책 등 다양한 분야에서 활발히 수행되고 있다(European Commission, 2010; Mell, 2008; Newell et al., 2013; 강정은 외, 2014; 김동현 외, 2014). 그러나 학문 분야별로 그린인프라의 개념과 유형의 범위가 상이한 것으로 나타나, 분야별 그린인프라의 연구 동향을 파악하여 유형을 고찰할 필요가 있다. 또한 그린인프라가 가진 방재기능의 활용 범위가 홍수, 물 순환 관리 등에 치우쳐 있어 열섬, 가뭄 등 기타 재해에 대한 고려는 부족한 실정이다. 국내에서 홍수로 인한 피해를 저감하기 위해 저영향개발의 시설요소를 비롯한 그린인프라를 도입하고 있으나 거시적이고 장기적인 관점에서 그린인프라가 도시 시스템에 미칠 사회적·경제적·생태적 영향에 대한 이론적 기반이 필요하다. 재해에 대한 도시 리질리언스를 향상시키기 위해서는 개별적인 시설요소 단위의 도입이 아닌 도시 안에서 작동하고 있는 사회생태시스템에 대한 이해를 기반으로 그린인프라가 계획되어

야 한다. 따라서 본 연구의 목적은 도시 리질리언스 향상을 위한 재해별 그린인프라의 유형 고찰을 통해 이를 활용할 수 있는 계획을 도출하는 것이다. 세부 연구목적은 첫째, 선행연구를 토대로 학문 분야별 특성을 통합적으로 고찰하여 그린인프라의 유형을 분석함으로써 연구의 동향을 파악하는 것이다. 둘째, 홍수, 열섬, 가뭄을 대상으로 재해별 그린인프라의 주요 유형을 추출하는 것이다. 마지막으로 도시 리질리언스 향상을 목적으로 선행단계의 연구 결과를 종합하여 재해별 그린인프라의 활용 방안을 도출하는 것이다.

II. 이론적 고찰

1. 도시 리질리언스

리질리언스 이론은 1973년 Holling 에 의하여 처음 등장한 개념으로, 예측불가능한 교란을 흡수하여 안정된 평형상태를 유지하는 시스템의 능력을 의미한다(Holling, 1973). 이후 학계에서는 Holling이 제시한 생태적 리질리언스 뿐만 아니라 공학적 리질리언스, 사회생태적 리질리언스에 관한 연구가 수행되었으며(Berkes et al., 2000; Olsson et al., 2004; Peterson et al., 1998; Walker et al., 2004), 생태학, 생물학, 경영학, 공학, 심리학, 사회학 등 다양한 분야에서 활용되고 있다(Avery and Bergsteiner, 2011; David et al., 2015; Gregory et al., 2009; Holling, 1973; Holling, 1996; Richardson, 2002). 스웨덴의 스톡홀름 리질리언스 센터(Stockholm Resilience Centre: SRC)는 기후변화, 금융위기와 같은 교란에 대응하여 새롭고 혁신적인 사고의 전환을 위해 리질리언스를 강조하고 있다. 또한 리질리언스에 대하여 어떠한 시스템의 수용력으로서, 개인을 비롯하여

사회, 경제, 생태 시스템이 변화를 다루며 지속적으로 발전할 수 있도록 유지하는 능력으로 정의하였다(Stockholm Resilience Centre, 2017).

우리가 살아가고 있는 도시의 시스템은 사회적·경제적·생태적 교란이 빈번하게 발생하여 복잡성과 불확실성이 증가하게 되었다. 최근 도시에서 발생하는 각종 교란에 대응하기 위해 도시 리질리언스가 새로운 적응 전략으로 대두되고 있다(Campanella, 2006; 정은주 외, 2016). 도시 리질리언스를 저하시키는 요인은 인구 증가, 경제 불황, 환경 오염, 재해 등 사회·경제·생태적으로 다양하며, 특히 도시 재해가 대두되고 있다.

최근 도시의 재해 문제를 해결하기 위한 방안으로 그린인프라의 활용이 제안되고 있다(Ahern, 2011). 그린인프라와 도시 리질리언스 간의 이론적 관계는 그림 1과 같다. 생태시스템에 그린인프라를 도입함으로써 그린인프라가 제공하는 생태계 서비스의 다양한 기능 중 방재기능을 활용하는 것이다. 그린인프라의 방재기능은 재해로 인해 발생하는 생태시스템의 피해뿐만 아니라 사회시스템의 피해를 저감함으로써 도시를 구성하는 사회생태시스템의 리질리언스를 강화할 수 있는 것이다.



그림 1. 그린인프라와 도시 리질리언스 간 이론적 관계

Figure1.Theoretical Relationship between Green Infrastructure and Urban Resilience

도시 리질리언스 향상을 위한 그린인프라 도입 방안으로 리질리언스의 구성요소를 활용할 수 있다. 리질리언스의 구성요소는 내구성(Robustness), 중복성(Redundancy), 연결성(Connectivity), 다양성(Diversity) 등 학자마다 다양하게 제시하고 있다(Godschalk, 2003; Walker and Salt, 2012; Cunningham, 2013). 재해와 밀접한 관련이 있는 구성요소는 내구성이다. 내구성은 충격 혹은 교란 발생 시 시스템이 손상을 입지 않고 견뎌낼 수 있는 능력을 의미하며, 견뎌내는 것에 대한 실패 가능성을 낮추는 것에 중점을 두는 개념이다(김태현 외, 2011; Bruneau et al., 2003). 도시 시스템의 내구성을 강화하기 위해서는 멀티스케일(Multi-scale) 전략을 적용하여 그린인프라의 네트워크를 구축하는 것이 핵심이다(Ahern, 2007; Liao et al., 2017). 멀티스케일은 어떠한 요소를 규모에 따라 구분하여 통합적인 체계를 구축하는 것을 의미하며, 본 개념은 사회생태시스템 내의 규모별 요소 간 발생하는 상호작용에 중점을 둔다(Cumming et al., 2015). 따라서 도시 리질리언스를 향상시키기 위해 재해에 대한 도시 시스템의 내구성을 강화하는 것에 중점을 두었으며, 이에 대한 실천적 방안으로서 그린인프라의 네트워크 구축이 필요하다. 그린인프라가 개별 시설단위의 도입이 아닌 네트워크를 구축하기 위해서는 멀티스케일 전략에 따라 크고 작은 그린인프라가 각각의 기능을 통해 방재에 대한 실패 가능성을 낮추는 것이 중요하다.

2. 그린인프라

그린인프라는 자연과 인간의 지속가능한 공존을 위해 도시 안에 활용될 생태적 네트워크의 시스템으로 정의된다(Benedict and McMahon, 2002;

Kambites and Owen, 2006; Walmsley, 2006; 김승현·조경진, 2015; 이은석 외, 2014). 그린인프라는 1999년 미국의 정책보고서(President's Council on Sustainable Development)에 처음 등장하였으며, 지속가능한 지역사회 개발의 5대 전략 중 하나로 제시되었다(Allen, 2012; EPA, 2008). 그린인프라의 이론적 개념은 그린웨이(Greenways)에서 확장되었으며, 생태계서비스의 개념을 포함하여 자연 생태계의 가치와 기능을 보존하고 인간에게 편익을 제공한다(Benedict and McMahon, 2006; Benedict and McMahon, 2012).

국내 연구 동향을 살펴보면 그린인프라의 기능에 관한 연구가 주로 수행되고 있으며, 옥상녹화, 빗물저장시설, 레인가든, 인공습지, 생태수로에 관한 연구가 주를 이룬다. 그러나 그린인프라를 이해하는 유형의 범위에서는 학문 분야별로 차이를 보이고 있다(김동현·최희선, 2013; 김승현, 2012; 김용국·손용훈, 2012; 성종상, 2012; 윤상준, 2016). 하지만 그린인프라에 대한 각각의 다른 시각과 유형의 활용에 불구하고 그린인프라는 자연 지역과 각종 오픈스페이스를 연결하여 생태계 시스템의 안정을 유지하는 개념으로 공통성을 가진다. 따라서 그린인프라는 생태계서비스를 제공함에 따라 인간에게 사회적·경제적·생태적 편익을 제공하는 그린네트워크 시스템으로 재정의할 수 있다.

본 정의에서 나타나는 그린네트워크의 시스템은 곧 리질리언스의 이론적 측면에서 도시 시스템의 내구성으로 해석할 수 있다. 내구성은 재해에 대한 도시 리질리언스 향상 계획의 핵심이 되는 개념이기 때문이다(Anderies et al., 2013). 도시 시스템의 내구성 강화를 위한 네트워크 계획을 위해서는 멀티스케일 전략을 활용하기 위해 그린인프라의 유형이 기능 및 규모별 특성에 따라 통합적으로 정립되어야 하며, 학문 분야별 강점을 분석하여 활용 방안을 도출할 필요가 있다. 그린인프라

라의 유형을 분류한 선행연구에 따르면 기능에 따라 핵심지역(Hubs)과 연결지역(Links)으로 분류되며, 공간적 규모에 따라 경관(Landscape)-지역(Region)-특정 지역(Site) 혹은 도시(City)-근린(Neighborhood)-특정 지역(Site)으로 분류된다(표 1).

III. 연구 방법

1. 선행연구 수집

선행연구 수집은 KCI 등재지와 SCI급 저널을 대상으로 RISS 및 KISS, Web of Science, Scopus, Science Direct 등의 논문검색 사이트를

표 1. 그린인프라의 유형 분류 사례
Table 1. Cases of Green Infrastructure Types

참고문헌 References	분류 Classification		그린인프라 유형 Green Infrastructure Types
장수환 (2009)	핵심 지역 Hubs	보류지 Reserves	ecological area or undeveloped well-preserved areas
		야생경관 관리지역 Wildlife management	areas that can utilize resources for improving leisure value as well as natural value.
		생산지역 Working land	agricultural areas, forest areas, pastures
		공원과 오픈스페이스 지역 Parks and open spaces	park, vegetated area, playgrounds, golf courses
	연결 지역 Links	재순환 토지 Recycled Lands	areas that provide environmental functions in whole or in part of land, mines, or landfill damaged by intensive use
		보존 회랑 Conservation corridors	line-shaped areas that provide wildlife transport (greenways, waterside buffer zones)
		그린벨트 Greenbelt	nature area which can be conserve the natural ecosystem, agricultural area or pastures
강정은 (2011)	핵심 지역 Hubs	경관 연결지 Landscape linkage	wildlife conservation area, park, regions where wildlife and plants can live autonomously by connecting controlled areas
		도시공원과 정원 Urban parks and gardens	urban park, neighborhood park, children's park, public garden, community garden
		도시녹지 공간 Urban green spaces	residential green spaces, commercial green spaces, house garden, open ground, playground, recreation, waterside buffer zone,
		기타녹지 공간 Other green spaces	vegetable garden, urban farm, cemetery, rain garden, canal, urban wetland
	연결지역 Links	시설물 및 기법 Facilities and techniques	flood and stormwater management facilities, green roof, trees, tree box, permeable packaging, rain reservoir
자연녹지 공간 Natural green spaces		detention pond, wetland, forest, reservoir, conservation area meadow, wildlife habitat	
Benedict and McMahon (2006)	연결지역 Links		green street, green belt, greenway, landscape linkage, conservation belt
	Landscape		species habitat, wildlife corridor, compatible working landscape
	Region		green space for water quality and supply, greenway
Demuzere et al (2014)	Site		urban forestry for low impact development and stormwater management
	City		large green areas
	Neighborhood		urban street canyons, parks, green roofs and walls, forests, wetlands
	Site		Trees

활용하였다. 검색 키워드는 Green Infrastructure, GI, LID, 그린인프라스트럭처, 그린인프라, 저영향 개발 등으로 설정하였다. 게재 기간은 최신 동향을 파악하기 위해 2013년부터 2017년까지 최근 5년으로 한정하였으며, 문헌 정리를 위해 서지관리 프로그램인 Endnote X7을 사용하였다(표 2).

1차 분류는 논문검색 사이트에서 수립한 선행 연구 수집 기준에 따라 최근 5개년의 범위로 그린인프라와 저영향개발 관련 논문을 수집하였다. 2차 분류는 1차에서 수집한 선행연구를 대상으로 본 연구의 목적에 따라 그린인프라의 유형 혹은

방재기능에 대한 언급 여부를 고려하여 본 연구에 활용할 선행연구로 최종 선정하였다. 1차 분류를 통해 국외 연구 962편, 국내 연구 265편을 수집하였고, 2차 분류를 통해 국외 연구 318편, 국내 연구 63편으로 총 381편의 논문을 최종적으로 선정하였다. 선정된 논문의 분야는 게재된 논문 편수가 많은 상위 100개 학술지를 대상으로 Web of Science와 한국학술지 인용색인(KCI)의 학술지별 분야 구분에 따라 공학, 자연과학, 사회과학으로 분류되었다(표 3).

표 2. 선행연구 수집 기준
Table 2. Search Criteria

구분 Classification	국외 연구 International research	국내 연구 Domestic research
게재 기간 Years	최근 5개년(2012~2016년) 2012 to 2016	
검색 범위 Search range	제목, 키워드 Title, Keywords	
검색 키워드 Keywords	Green Infrastructure, Low Impact Development	그린인프라스트럭처, 그린인프라, 녹색인프라, 녹색기반시설, 저영향개발

표 3. 분야별 문헌 수집
Table 3. Collected Literature by Subject Area

분야 Subject Area	학술지(편 수) Publications(Number)	편 수 Number
공학 Engineering	ECOLOGICAL ENGINEERING(27), FRONTIERS OF ENVIRONMENTAL SCIENCE & ENGINEERING(8), JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING(9), JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING(14), PROCEDIA ENGINEERING(8), 국토계획(5), 대한건축학회연합논문집(1), 대한토목학회지(2), 대한환경공학회지(4), 한국물환경학회지(5), 한국방재학회 논문집(14), 한국산학기술학회 논문집(3), 한국수자원학회 논문집(2), 한국지반환경공학회 논문집(1), 환경영향평가(2)	105
자연과학 Natural Science	ECOLOGY AND SOCIETY(12), ECOSYSTEM SERVICES(14), ENVIRONMENTAL MANAGEMENT(12), JOURNAL OF LANDSCAPE ARCHITECTURE(3), LANDSCAPE AND URBAN PLANNING(47), SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT(20), SUSTAINABILITY(28), URBAN ECOSYSTEMS(16), URBAN FORESTRY & URBAN GREENING(48), CITIES(5), 응용생태공학회지(1), 자원환경지질(1), 한국습지학회지(6), 한국조경학회지(5), 한국환경과학회지(2), 한국환경복원기술학회지(1)	221
사회과학 Social Science	ENVIRONMENTAL SCIENCE & POLICY(9), JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT(22), LAND USE POLICY(16), 도시설계(3), 도시행정학보(1), 한국위기관리논집(2), 환경정책연구(2)	55

2. 그린인프라 유형 분석의 틀

그린인프라의 유형이 정책 결정과정에서 체계적인 계획으로 활용될 수 있도록 선행연구에서 활용된 유형 구분 사례를 기반으로 그린인프라의 기능과 규모에 따른 분석의 틀을 마련하였다. 그린인프라의 기능에 따라 핵심지역과 연결지역으로 구분하고, 기능이 발현되는 공간적 위계의 포함관계에 따라 스몰(Small)-미디엄(Medium)-라지(Large)의 규모로 구분하였다. 여기에서 공간적 위계의 포함관계란 경관생태학적 분류와 같이 스몰 스케일에 해당하는 그린인프라는 미디엄과 라지 스케일에 요소로 포함될 수 있고, 마찬가지로 미디엄 스케일의 그린인프라는 최상위의 라지 스케일에 포함되는 것을 의미한다.

분석의 틀을 기반으로 다음과 같이 연구를 수행하였다. 첫째, 수집한 선행연구를 고찰하여 각 학문 분야를 통합한 그린인프라의 유형을 정립하고, 논문별 그린인프라 유형 연구의 빈도를 분석하여 분야별 그린인프라 유형을 분석하였다. 빈도

는 분야별 특성 및 전문성을 비교·분석하기 위한 표준화 과정에 해당하며, 각 그린인프라 유형을 연구한 논문의 수를 수집된 분야별 전체 논문의 수로 나누어 도출한 값을 나타낸다. 예를 들어 사회과학 분야에서 우수침투시설(Infiltration Tools)의 빈도인 0.20은 해당 분야의 논문 다섯 편당 한 번꼴로 우수침투시설에 관한 연구가 수행되었음을 의미한다. 또한 각 분야 및 그린인프라 유형별로 빈도의 총합을 산출하여 분야 및 유형별 그린인프라에 대한 연구 동향을 파악하였다. 빈도 분석은 MS-Excel 2013프로그램을 활용하였다. 둘째, 선행연구의 고찰을 바탕으로 재해별 그린인프라의 주요 유형을 도출하였다. 재해의 구분은 서울시의 재해 현황과 리질리언스 평가결과를 기반으로 내용적 범위를 홍수, 열섬, 가뭄으로 한정하였다. 셋째, 도시 리질리언스 향상을 위하여 그린인프라를 정책 결정과정에서 계획할 수 있도록 재해별 그린인프라의 유형을 분류하여 활용 방안을 제시하였다.

표 4. 그린인프라의 유형 구분
Table 4. Classification of Green Infrastructure Categories

기능 Function	규모 Scale	그린인프라 유형 Green Infrastructure Categories
핵심지역 Hub	소 Small	우수침투시설, 생태저류지, 투수성 포장, 수목, 빗물저장통 Infiltration Tools, Detention Pond, Permeable Pavement, Trees, Rain Barrel
	중 Medium	어린이공원, 숲, 텃밭정원, 정원(커뮤니티/도시), 옥상녹화, 벽면녹화, 공원(일반/농업), 주차장, 빗물정원, 체육공원, 습지 Children Playground, Forest, Garden(Allotment), Garden(Community/Urban), Green Roof, Green Walls, Park(Natural/Agricultural), Parking Lot, Rain Garden, Sports Playground, Wetland
	대 Large	녹지지역, 농경지, 야생동물 서식공간 Vegetated Surface, Farm, Wildlife-Habitat
연결지역 Link	소 Small	생태수로, 실개천 Bio-Swale, Creek
	중 Medium	녹색길, 호수 Green Street(Alley), Lake
	대 Large	블루웨이(물길), 그린웨이, 하천 및 강 Blue Way(Water Way), Green Way, Stream & River

IV. 연구 결과

1. 분야별 그린인프라 유형

기능과 규모에 따라 구축한 그린인프라 유형 분석의 틀을 기반으로 수집한 선행연구에서 활용한 그린인프라의 유형을 통합한 결과 총 26개의 유형이 정립되었다(표 4). 우수침투시설, 생태저류지, 투수성 포장, 빗물저장통, 빗물정원, 생태수로 등 저영향개발 기법의 유형이 포함되는 것을 알 수 있다. 그러나 그린인프라의 유형이 작은 규모로 수목과 정원, 큰 규모로 그린웨이와 블루웨이

까지 해당되는 것을 통해 그린인프라가 저영향개발 기법의 유형을 포함하는 것을 확인하였다.

26개의 그린인프라의 유형 구분을 기반으로 수집한 선행연구의 학문 분야별 특성 및 동향을 파악하기 위해 논문당 각 유형별 연구수행 빈도를 활용하여 그린인프라의 유형을 분석하였다(그림 2).

105편의 공학 분야의 그린인프라 유형별 평균 연구 빈도를 분석한 결과 그린인프라의 26개 유형 중 옥상녹화, 투수성 포장, 생태저류지, 생태수로, 우수침투시설 순으로 높게 나타났으며, 일반적으로 LID시설로 분류되는 유형에 대한 연구에 전문성을

(Unit: Average usage frequency of categories of green infrastructure per article)

Green Infrastructure			Subject Area			Weighted Average	
			Engineering	Natural Science	Social Science		
Hub	Small	detention pond	0.27	0.12	0.33	0.19	
		infiltration tools	0.15	0.06	0.20	0.11	
		permeable pavement	0.34	0.11	0.40	0.22	
		rain barrel	0.09	0.05	0.18	0.08	
		trees	0.06	0.27	0.25	0.21	
	Medium	children playgrounds	0.01	0.02	0.05	0.02	
		forest	0.05	0.21	0.18	0.16	
		garden(allotment)	0.01	0.05	0.07	0.04	
		garden(community/urban)	0.00	0.18	0.18	0.13	
		green roofs	0.37	0.28	0.53	0.34	
		green walls	0.04	0.09	0.09	0.07	
		park(natural/agricultural)	0.05	0.26	0.29	0.21	
		parking lot	0.01	0.02	0.05	0.02	
		rain garden	0.21	0.11	0.31	0.17	
		sports playgrounds	0.01	0.02	0.04	0.02	
		wetland	0.10	0.15	0.27	0.15	
		Large	farm	0.01	0.06	0.13	0.06
			vegetated surface	0.04	0.17	0.20	0.14
			wildlife-habitat	0.04	0.03	0.05	0.04
bio-swales	0.20		0.14	0.27	0.17		
Link	Small	creeks	0.01	0.01	0.00	0.01	
		green streets(alley)	0.04	0.08	0.13	0.08	
	Large	lake	0.02	0.05	0.02	0.04	
		blue way(water way)	0.01	0.03	0.02	0.02	
		green way	0.04	0.03	0.07	0.04	
		Stream & river	0.04	0.13	0.05	0.09	
Total			2.19	2.73	4.38	2.82	

그림 2. 분야별 그린인프라 유형 분류

Figure 2. Classification of Green Infrastructure Categories according to the Subject Area

갖고 활발한 연구가 이루어지고 있었다. 그러나 공학 분야의 그린인프라 평균 연구 빈도의 총합은 2.19로 전 분야의 평균 연구 빈도인 2.82와 비교해봤을 때, 그린인프라의 다양한 유형에 대한 연구가 고루 이루어지지 않았다. 상대적으로 정원, 어린이놀이터, 주차공간, 체육공원, 농경지, 실개천, 블루웨이에 대한 연구는 부족한 것으로 나타났다.

221편의 자연과학 분야의 그린인프라 유형별 평균 연구 빈도는 옥상녹화, 가로수, 공원, 녹지지역, 습지가 높게 나타나 공학분야와 달리 전통적인 조경공간에 대한 연구가 중점적으로 수행되었다. 그러나 상대적으로 실개천, 어린이공원, 주차공간에 대한 활용 연구는 부족한 것으로 나타났다.

55편의 사회과학 분야의 그린인프라 유형별 평균 연구 빈도는 옥상녹화, 투수성 포장, 생태저류지, 빗물정원 순으로 저영향개발 시설에 대한 연구가 활발하였으나, 그 외에도 공원, 습지, 생태수로, 가로수 등의 전통적인 조경 공간에 대한 연구도 고르게 수행되었다. 사회과학 분야에서 수행된 그린인프라 연구의 총 수는 타 분야보다 부족하지만, 평균 연구 빈도의 총합은 4.38로 공학 및 자연과학 분야에 비해 그린인프라의 다양한 유형에 대한 포괄적인 연구가 수행되고 있음을 알 수 있었다. 그러나 상대적으로 실개천, 호수, 블루웨이 등 링크로 활용할 수 있는 수공간에 대한 연구는 부족한 것으로 나타났다.

분야별 그린인프라 유형의 특성을 알아보기 위해 연구 빈도를 분석한 결과 세 분야가 모두 공통적으로 옥상녹화에 대한 연구를 활발히 수행하고 있으며, 투수성 포장, 생태저류지, 생태수로, 빗물정원 등 LID 시설과 같은 핵심지역에 주력하고 있었다. 그러나 분야 전반에 걸쳐 개별 시설단위로서 네트워크에 대한 고려는 부족하여 연결지역에 해당하는 그린인프라 유형에 관한 연구는 미진하였다. 따라서 도시 내 다양한 기능 및 유형의

그린인프라의 네트워크를 구축함으로써 도시에 발생하는 각종 교란에 대한 내구성을 증진시키기 위해(Ahern, 2011; Cumming et al., 2015), 공학, 자연과학, 사회과학 분야 간 융합 연구가 필요하다. 각 학문 분야별 그린인프라에 관한 연구는 해당 분야의 영향을 받아 주력하는 유형에 특징이 나타났지만, 연구 경향을 분석함에는 한계가 나타났기 때문이다.

2. 재해별 그린인프라의 주요 유형 도출

그린인프라의 방재기능을 모색하기 위해 수집한 선행연구를 대상으로 연구자가 주장한 홍수, 열섬, 가뭄에 대응 및 적응할 수 있는 그린인프라의 유형을 추출하여 주요 유형으로 선정하였다. 먼저 홍수로 인한 피해를 저감할 수 있는 그린인프라 유형은 옥상녹화, 투수성 포장, 생태저류지, 생태수로, 빗물정원이 주된 기능을 하는 것으로 나타났다(Alyaseri and Zhou, 2016; Cipolla et al., 2016; Guo and Luu, 2015; Kratky et al., 2017; Qin et al., 2013). 이 밖에 빗물저장통, 우수침투 시설, 가로수, 정원, 습지, 숲, 공원, 텃밭정원, 농경지, 실개천, 녹색길, 그린웨이, 블루웨이가 홍수에 대응할 수 있는 유형으로 추출되었다(Chini et al., 2017; Connop et al., 2016; Dhakal and Chevalier, 2017; Gittleman et al., 2017; Hakimdavar et al., 2014; Jia et al., 2014; Keeley et al., 2013; Kim et al., 2015; Lewellyn et al., 2016; Middle et al., 2014; Pappalardo et al., 2017; Pennino et al., 2016; Sirina et al., 2017). 둘째로 열섬으로 인한 피해를 저감할 수 있는 그린인프라 유형은 옥상녹화, 가로수, 공원, 녹지지역, 정원이 주된 기능을 하는 것으로 나타났다(Gunawardena et al., 2017; Hagen et al.,

2017; Koc et al., 2016; MacIvor et al., 2016; Ramos-González, 2014). 이 밖에 투수성 포장, 벽면녹화, 습지, 숲, 야생동물 서식공간, 녹색길, 호수, 그린웨이, 블루웨이, 하천 및 강이 열섬현상에 대응할 수 있는 유형으로 추출되었다(Alexander et al., 2016; Doick et al., 2014; Emmanuel and Loconsole, 2015; Feyisa et al., 2014; Heusinger and Weber, 2017; Kim et al., 2016; Lanza and Stone, 2016; Lin et al., 2016; Mazhar et al., 2015; Vollmer et al., 2015; Warhurst et al., 2014). 마지막으로 가뭄으로 인한 피해를 저감할 수 있는 그린인프라 유형은 옥상녹화, 공원, 생태저류지, 가로수, 습지가 주된 기능을 하는 것으로 나타났다 (Campbell et al., 2016; Razzaghmanesh et al., 2014; Wamsler, 2015; Wamsler et al., 2016; Zhang et al., 2016). 이 밖에 투수성 포장, 빗물정원, 녹지지역, 농경지, 생태수로, 실개천, 녹색길, 호수, 그린웨이, 블루웨이, 하천 및 강이 가뭄에 대응할 수 있는 유형으로 추출되었다(Geneletti and Zardo, 2016; Gruwald et al., 2017; Irga et al., 2017; La Rosa et al., 2014; McWilliam et al., 2014; Mekala et al., 2015; Radulovic et al., 2014; Raquel et al., 2016; Richards et al., 2017; Spano et al., 2017; van de Ven et al., 2016)

3. 도시 리질리언스 향상을 위한 재해별 그린인프라 활용 방안

홍수, 열섬, 가뭄의 도시 문제를 해결하기 위해 그린인프라를 활용할 수 있는 방안을 도출하였다 <표 5>. 선행단계의 연구 결과를 기반으로 규모와 재해에 따라 유형을 분류하였으며, 각 유형별 방재기능을 중심으로 주요 유형, 해당 유형, 비해당

유형으로 구분하였다.

홍수 피해에 대한 도시 시스템의 내구성 강화를 위해 그린인프라의 우수 유출량 및 유출 속도 저감 기능을 활용할 수 있다. 이러한 기능을 강화하기 위해서는 개별 시설단위의 그린인프라 도입이 아닌 네트워크 차원의 그린인프라가 도입되어야 한다. 구체적으로는 핵심지역으로서 스몰 스케일의 저류 및 침투시설(Detention Pond, Infiltration Tools, Permeable Pavement)을 도입하여 빗물을 관리하고, 홍수 시 미디엄 스케일의 옥상녹화, 빗물정원, 커뮤니티 및 도시 정원, 습지, 숲, 공원의 우수 저류 및 침투공간을 활용하여 우수 유출량을 조절할 수 있다. 또한 연결지역으로서 생태수로, 실개천부터 녹색길, 그린웨이, 블루웨이 등으로 우수의 흐름을 분산시켜 빗물이 순환할 수 있도록 도시 내에 그린인프라를 활용하고, 핵심지역과 연결지역을 연계하여 네트워크를 구성해야 한다.

홍수에 대한 주요 유형은 공학분야의 연구를 통해 정량적 효과를 입증할 수 있으며, 사회과학분야의 연구에서는 해당 유형이 사회생태시스템에 통합적으로 기여할 수 있음을 강조한다. 실제 이를 활용하기 위한 방안으로 기존 건물의 옥상녹화, 벽면녹화 조성과 더불어 주거 및 상업지역 혹은 시설 내에 자체적인 우수지로 습지, 숲, 공원 조성을 제안한다. 일본 사이타마 월드컵경기장과 같이 자체 우수지의 기능을 수행할 수 있도록 그린인프라를 도입함으로써 홍수 시 우수유출 저감 방안으로 활용할 수 있다. 또한 토지의 혼합사용 전략을 활용하여 기존 불투수 면적에 그린인프라를 도입함으로써 홍수 시 우수 유출량을 조절할 수 있다. 소규모로는 어린이공원, 체육공원 및 시설부터 대규모로는 주차장, 학교, 운동장, 캠퍼스에 적용이 가능하다.

열섬의 경우 그린인프라의 냉각효과(Cooling

effect)를 강화하는 것이 전략으로 활용된다. 핵심 지역으로 수목, 커뮤니티 및 도시 정원, 옥상녹화, 공원을 비롯한 녹지지역의 확충이 필요하다. 열섬에 대한 주요 유형은 자연과학 분야의 연구를 통해 도시의 미기후를 관리하는 효과를 정량적으로 입증하였으며, 사회과학 분야의 연구에서는 해당 유형이 제공하는 생태계서비스를 전반적으로 다룸으로써 효과를 강조하였다. 특히 옥상녹화의 경우

라 벽면에 식재된 식물이 풍속을 감소시켜 대류의 흐름을 조절할 수 있다. 또한 연결지역으로서 녹색길 등의 그린웨이와 물길 조성을 통한 블루웨이를 활용하여 도시 내의 미기후를 조절할 수 있다. 열섬에 대응하여 실제 적용 및 활성화를 제안하는 유형은 옥상녹화이다. 본 연구의 결과에 따르면 옥상녹화는 그린인프라의 대표 유형으로 정의할 수 있으며, 이는 주거 및 상업지역을 대상으로 시

표 5. 규모와 재해에 따른 그린인프라의 유형 분류

Table 5. Categories of Green Infrastructure according to scale and disaster

Green Infrastructure		Disaster				
		Flood	Heat island	Drought		
Hub	Small	detention pond	●	-	-	
		infiltration tools	◎	-	●	
		permeable pavement	●	◎	◎	
		rain barrel	◎	-	-	
		trees	◎	●	●	
	Medium	children playgrounds	-	-	-	
		forest	◎	◎	-	
		garden(allotment)	◎	-	-	
		garden(community/urban)	◎	●	-	
		green roofs	●	●	●	
		green walls	-	◎	-	
		park(natural/agricultural)	◎	●	●	
		parking lot	-	-	-	
		rain garden	●	-	◎	
		sports playgrounds	-	-	-	
		wetland	◎	◎	●	
		Large	farm	◎	-	◎
			vegetated surface	-	●	◎
wildlife-habitat	-		◎	-		
Link	Small	bio-swale	●	-	◎	
		creek	◎	-	◎	
	Medium	green street(alley)	◎	◎	◎	
		lake	-	◎	◎	
	Large	green way	◎	◎	◎	
		blue way(water way)	◎	◎	◎	
		Stream & river	-	◎	◎	

(●: Major Type, ◎: Applicable Type, -: Non-applicable Type)

태양 복사열을 차단·흡수하여 증발산을 통해 도시의 열을 완화시키며, 일사량을 반사시켜 알베도를 증가시킨다. 더불어 벽면녹화를 통해 건물 내부에 단열 공동을 구축하여 에너지를 절약할 뿐만 아니

범사업과 인센티브 제도의 도입, 관련 조례의 개정 및 제도화를 통해 활성화할 필요가 있다. 또한 열섬을 일으키는 교란에 대하여 작은 규모부터 큰 규모까지 멀티스케일 전략에 따라 그린인프라의

양적 확보를 통해 내구성을 증진시킬 수 있으며, 이는 그린인프라 도입을 위한 공간 확보의 현실적 어려움을 해소할 수 있다.

가뭄의 경우 생활·공업·농업 용수의 확보를 위해 그린인프라를 활용하여 빗물을 저류하고 이를 재이용하는 것이 중요하다. 그린인프라의 핵심지역과 연결지역을 활용한 도시 내 물길을 조성하고 지하수를 함양하는 것이다. 핵심지역으로서 작은 규모의 저류시설과 함께 도로변 가로수의 관개수로를 조성하고, 중규모의 옥상녹화와 공원, 습지를 활용하여 빗물을 저류한다. 가뭄에 대한 주요 유형은 사회과학 분야의 연구를 통해 생태시스템에서의 활용뿐만 아니라 각종 용수로 활용할 방안에 대하여 사회시스템을 고려함으로써 효과를 강조하고 있다. 이를 실제 적용하기 위한 방안으로 도시 전체를 대상으로 빗물을 저장 및 포집하여 비상식수, 조경용수, 화장실용수 등의 생활·공업 용수 공급을 조절하는 것이다. 또한 연결지역에 해당하는 다양한 스케일의 그린인프라로 물길을 조성함으로써 가뭄 시 관개수로로 활용하여 농업용수를 확보한다. 가뭄에 대응하기 위한 그린인프라 계획은 홍수 시 우수유출을 관리하는 방안과 연관되어 시너지 효과를 기대할 수 있다. 따라서 스몰 스케일에 해당하는 생태수로부터 미디엄, 라지 스케일의 인공 물길, 하천, 강을 통해 블루·그린웨이를 통합함으로써 가뭄에 대비하여 빗물을 자원화하고 나아가 생태네트워크를 구축함으로써 해마다 교란으로 작용하는 가뭄에 대해 도시 시스템의 내구성이 강화하여 도시 리질리언스를 향상시킬 수 있다.

향후 그린인프라의 발전 및 연구 개발 방향으로 방재기능이 적용되지 않은 어린이공원과 체육공원, 주차공간에 대해 그린인프라로서 녹지공간 확충과 더불어 침투 및 저류시설, 투수포장 등을 도입하여 방재기능을 부여하고, 구조물품 및 재난 알림시스템을 도입하여 재해 시 대피소의 역할 부

여를 할 수 있도록 제안한다. 결과적으로 방재효과를 비롯하여 그린인프라가 제공하는 생태계서비스는 도시 내의 사회적·경제적·생태적 시스템의 상호작용을 통해 하드 엔지니어링과 소프트 엔지니어링, 그레이인프라와 그린인프라 간의 피드백 관계를 형성하여 도시 시스템의 내구성을 강화한다는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 연구는 도시 리질리언스 향상을 위하여 재해의 특성에 따라 그린인프라 활용 방안을 도출하였다. 이를 위해 첫째, 선행연구 고찰을 통해 그린인프라의 기능과 규모에 따라 총 26개의 유형을 정립하였으며, 유형별 빈도분석을 통해 공학, 자연과학, 사회과학 분야의 그린인프라 유형을 고찰하여 특징 및 전문성을 파악하였다. 둘째, 방재기능을 중심으로 홍수, 열섬, 가뭄에 적용할 그린인프라의 주요 유형을 도출하였다. 셋째, 도시 리질리언스 향상을 위해 내구성을 증진시킬 수 있도록 재해별 그린인프라의 유형을 분류하고, 이를 활용할 수 있도록 구체적인 방안을 도출하였다. 본 연구의 결과를 통해 도시 리질리언스의 이론적 원리에 따라 그린인프라 계획의 실천적인 적용을 위하여 다음 사항을 제안한다. 첫째, 본 연구의 결과를 통해 그린인프라 관련 연구는 핵심지역 위주로 진행되어 온 것을 알 수 있다. 그러나 그린인프라가 제공하는 방재기능이 도시 리질리언스를 향상시킬 수 있도록 계획하기 위해서는 연결지역을 강화하여 멀티스케일 전략에 따라 도시 내 그린인프라의 긴밀한 네트워크를 구축함으로써 사회경제생태적 측면에서 재해 등 각종 교란에 대한 도시 시스템의 내구성을 강화해야 할 것이다. 둘째, 본 연구의 결과인 그린인프라의 계획이 정책 결정과정에서

통합적이고 체계적으로 이루어질 수 있도록 관련 계획 과정부터 도입되어 국가 정책 및 국가사업 계획의 지침 및 일환이 되어야 한다. 관련 계획으로 국토의 계획 및 이용에 관한 법률에 따른 도시 계획, 환경정책 기본법에 따른 환경보전계획, 택지 개발 촉진법에 따른 신도시계획 차원에서 그린인프라의 계획이 적용되어야 하며, 환경영향평가법에 따른 환경영향평가에 이를 반영하여 관리해야 한다. 셋째, 의사결정에 있어 방재학, 수문학 등 재난 관리를 담당할 수 있는 전문가와 조경학, 생태학, 도시 및 환경공학, 환경정책 분야의 그린인프라 전문가가 협업하여 초학문적 접근으로 통합적인 도입 및 관리가 필요하다. 궁극적으로 시대의 흐름에 따라 각종 도시 문제로 인한 변화를 흡수하여, 지속가능한 도시를 실현할 수 있도록 학제간 융합연구가 이루어져야 한다.

본 연구는 그린인프라의 이론적 고찰을 통해 관련 분야별 그린인프라 연구에 대한 강점과 주력하는 유형을 분석하여 통합적인 그린인프라 유형의 범위를 파악하였으며, 홍수, 열섬, 가뭄에 대응할 수 있는 방재기능의 활용을 제시함으로써 도시 리질리언스와 그린인프라의 관계를 규명함에 의의가 있다. 또한 이와 같은 재해를 관리하기 위해 정부에서 도입해왔던 댐, 제방, 둑 등의 그레이 인프라는 재해의 원인이 되는 궁극적인 원인을 관리함에 있어 효과적이지만, 해당 공간은 인간이 이용할 수 있는 공간이 아닌 점을 비롯하여 각 시설이 획일화, 균일화되어 있으며 효과가 단기적 특성을 가진다는 점에 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 그린인프라를 도입하여 각 인프라의 순기능을 통합함으로써 장기적으로 더욱 효율적이며 지속가능한 계획을 마련할 수 있다는 점에 본 연구의 결과에 의의가 있다. 그러나 최근 5개년의 시간적 범위를 기준으로 선행연구를 수집함에 따라 양적인 데이터가 충분하지 않았으며, 학

문 분야의 구분에 연구의 방법론적 측면에서 한계가 있었다. 또한 현재 도입된 그린인프라의 현황을 파악하여 개선 방안을 모색할 필요가 있다. 따라서 향후 후속 연구는 특정 재해를 중심으로 현황에 대한 평가를 실시하여, 전문가의 의견을 반영한 그린인프라의 활용 계획을 수립하고 이에 대한 효과를 정량적으로 분석하고자 한다. 또한 도시 내 그린인프라의 체계적인 구축을 위해 활용 가능한 그린인프라 유형의 범위를 점진적으로 확대해 나가 도시에서 발생하는 각종 예기치 못한 교란에 대해 리질리언스를 향상시킬 수 있도록 정책적 함의를 이끌어낼 수 있는 계획 연구가 수행되어야 할 것이다.

인용문헌

References

1. 강정은, 2011. 「기후변화 적응형 도시 리뉴얼 전략 수립: 그린인프라의 방재효과 및 적용방안 기본연구보고서」, 한국: 한국환경정책·평가연구원. Kang, J.E., 2011. *Urban Renewal Strategy for Adapting to Climate Change: Use of Green Infrastructure on Flood Mitigation*, Korea: Korea Environment Institute.
2. 강정은·이명진·구유성·조연희, 2014. "도시물순환 개선을 위한 그린인프라 계획 프레임워크 개발 및 시범적용 - 부산시 연제구 및 남구를 대상으로", 「환경정책연구」, 13(3): 43-73. Kang, J.E., Lee, M.J., Koo, Y.S., and Cho, Y.H., 2014. "Development and Application of Green Infrastructure Planning Framework for Improving Urban Water Cycle: Focused on Yeonje-Gu and Nam-Gu in Busan, Korea", *Journal of Environmental Policy*, 13(3): 43-73.
3. 강정은·이명진·구유성·조연희, 2014. "도시물순환 개선을 위한 그린인프라 계획 프레임워크 개발 및 시범적용 - 부산시 연제구 및 남구를 대상으로", 「환경정책연구」, 13(3): 43-73.

- Kang,J.E., Lee,M.J., Koo,Y.S., and Cho,Y.H., 2014. "Development and Application of Green Infrastructure Planning Framework for Improving Urban Water Cycle: Focused on Yeonje-Guand Nam-GuinBusan, Korea", *Journal of Environmental Policy*, 13(3): 43-73.
4. 김동현·서혜정·이병국, 2014. "비도시화 토지의 지속가능한 토지이용을 위한 그린인프라 적용기법 : 에코델타시티 사례를 중심으로", 「대한환경공학회지」, 36(6): 402-411.
 - Kim,D.H., Seo,H.J., and Lee,B.K., 2014. "Method of Green Infrastructure Application for Sustainable Land Use of Non-urban Area : The Case Study of Eco-delta City", *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 36(6): 402-411.
 5. 김동현·송슬기, 2017. "그린인프라의 커뮤니티 편익에 대한 사례연구", 「국토계획」, 52(1): 185-195.
 - Kim,D.,and Song,S.K.,2017. "Case Study on Community Benefits of Green Infrastructure", *Journal of Korea Planning Association*, 52(1): 185-195.
 6. 김동현·최희선, 2013. "수변지역에서의 저영향개발 기법(LID) 적용을 위한 계획과정 도출 및 모의효과", 「환경정책연구」, 12(1): 37-58.
 - Kim,D.H.and Choi,H.S., 2013. "The Planning Process and Simulation for Low Impact Development(LID) in Waterfront Area", *Journal of Environmental Policy*, 12(1): 37-58.
 7. 김승현, 2012. "녹색기반시설에 의한 도시 강우유출 저감방안 연구 : 뉴욕시의 녹색기반시설 계획을 중심으로", 「국토계획」, 47(4): 283-292.
 - Kim,S,H., 2012. "A Study on the Reduction Strategy for Stormwater Runoff in Cities through Green Infrastructure -Focused on the Green Infrastructure Plan of New York City", *Journal of Korea Planning Association*, 47(4): 283-292.
 8. 김승현·조경진, 2015. "도시물순환 개선을 위한 그린인프라 계획 프레임워크 개발 및 시범적용-부", 「도시설계」, 16(3): 37-51.
 - Kim, S. H., and Zoh, K. J., 2015. "Green Infrastructure Plan and Design for Urban Hydrological Cycle Restoration -Focused on the Overseas Case Studies of Landscape Architecture Plan and Design-", *Journal of The Urban Design Institute of Korea*, 16(3): 37-51.
 9. 김용국·손용훈, 2012. "도시계획체계와 연계한 그린 인프라 적용 사례연구 : 영국 그린 인프라 계획 및 정책을 중심으로", 「국토계획」, 47(5): 69-86.
 - Kim, Y. G., and Son, Y. H., 2012. "Study on the Green Infrastructure Application with Planning System -Focused on Green Infrastructure Planning and Policy in the UK", *Journal of Korea Planning Association*, 47(5): 69-86.
 10. 김태현·김현주·이계준, 2011. "재난관리를 위한 도시 방재력 (Urban Resilience) 개념 및 기능적 목표 설정", 「한국안전학회지」, 26(15): 65-70.
 - Kim, T. H., Kim, H., and Lee K. 2011. "The Concept and Functional Objectives of the Urban Resilience", *Journal of the KOSOS*, 26(15): 65-70.
 11. 박재철·양홍모·장병관, 2012. "녹색 인프라 구축을 위한 정책", 「한국조경학회지」, 40(5): 73-50.
 - Park, J. C., Yang, H. M., and Jang B. K., 2012. "Policy for Establishment of Green Infrastructure", *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 40(5): 73-50.
 12. 박효석·오규식·이상헌, 2014. "도시 그린인프라 확충에 따른 탄소저감 증진효과 분석", 「도시행정학보」, 27(4): 1-23.
 - Park, H., Oh, K., and Lee, S. 2014. "Analysing Effects of CO2 Absorption Capability through Enhancing Urban Green Infrastructure in Seoul", *Journal of the Korean Urban Management Association*, 27(4): 1-23.

13. 성종상, 2012. "작동하는 복합 환경 조절장치 및 녹색기반시설로서 조경 - 국립해양생물자원관 옥외공간 설계", 「한국조경학회지」, 15(2): 41-56.
Sung, J., 2012. "Constructing Landscape as an Operational Multi - Environmental Control Utility and Green Infrastructure -Landscape Design for National Marine Biology Resource Institute", *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 15(2): 41-56.
14. 신현석·박종빈·이재혁, 2016. "그린인프라와 저영향개발 기술의 검증 및 인증 기법 개발", 「응용생태공학회지」, 3(2): 92-99.
Shin, H. S., Park, J. B., and Lee, J. H., 2016. "Development of a Verification and Certification Method of Green Infrastructure and Low Impact Development Technologies", *Ecology and Resilient Infrastructure*, 3(2): 92-99.
15. 윤상준, 2016. "그린 인프라스트럭처 정책의 확대와 적용 - 런던플랜과 런던 그린그리드를 중심으로", 「한국조경학회지」, 44(2): 83-95.
Yoon, S. J., 2016. "The Consolidation and Implementation of Green Infrastructure Policy in Urban Spatial Planning -Focused on the London Plan & the All London Green Grid", *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 44(2): 83-95.
16. 이은석·노초원·성종상, 2014. "그린인프라스트럭처의 의미구조 - 기존문헌의 정의를 분석을 중심으로", 「한국조경학회지」, 42(2): 65-76.
Lee, E. S., Noh, C. W., and Sung, J. S., 2014. "Meaning Structure of Green Infrastructure -A Literature Review about Definitions", *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 42(2): 65-76.
17. 장수환, 2009. 「신도시의 물순환 건전화를 위한 그린인프라 조성 기준에 대한 연구 기초연구보고서」, 출판지역: 출판사명.
Jang, S. H., 2009. *Criteria for Construction of Green Infrastructure to Upgrade Water Management in New Cities*, 출판지역: 출판사명.
18. 정은주·정봉현·나주몽, 2016. "도시의 지속가능성 (Sustainability) 과 리질리언스(Resilience) 에 관한 연구", 「한국지역개발학회지」, 28(4): 87-108.
Jung, E. J., Jeong, B. H., and Na, J. M., 2016. "A Study on the Sustainability and Resilience of City", *Journal of the Korean Regional Development Association*, 28(4): 87-108.
19. Ahern, J. 2007. "Green infrastructure for cities the spatial dimension." in *Cities of the Future Towards Integrated Sustainable Water and Landscape Management*, IWA Publishing, edited by Novotny V., and Paul Brown, 267-283. New Delhi, India: IWA Publishing.
20. Ahern, J. 2011. "From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world", *Landscape and urban Planning*, 100(4): 341-343.
21. Alberti, M., and Marzluff, J.M., 2004. "Ecological resilience in urban ecosystems: linking urban patterns to human and ecological functions", *Urban ecosystems*, 7(3): 241-265.
22. Alexander, P.J., Fealy, R., and Mills, G. M., 2016. "Simulating the impact of urban development pathways on the local climate: A scenario-based analysis in the greater Dublin region, Ireland", *Landscape and Urban Planning*, 152: 72-89.
23. Allen, W. L., 2012. "Environmental reviews and case studies: Advancing green infrastructure at all scales: From landscape to site", *Environmental Practice*, 14(1): 17-25.
24. Anderies, J. M., Folke C., Walker, B., and Ostrom, E., 2013. "Aligning key concepts for global change policy: Robustness, resilience, and sustainability", *Ecology and Society*, 18(2): 8-23.

25. Alyaseri, I., and Zhou, J., 2016. "Stormwater Volume Reduction in Combined Sewer Using Permeable Pavement: City of St. Louis", *Journal of Environmental Engineering*, 142(4): 04016002.1-04016002.9.
26. Avery, G. C., and Bergsteiner, H., 2011. "Sustainable leadership practices for enhancing business resilience and performance", *Strategy & Leadership*, 39(3): 5-15.
27. Benedict, M.A., and McMahon, E.T., 2002. "Green infrastructure: smart conservation for the 21st century", *Renewable Resources Journal*, 20(3): 12-17.
28. Benedict, M.A., and McMahon, E.T., 2012. *Green infrastructure: linking landscapes and communities*, Washington: Island Press.
29. Benedict, M.A., and McMahon, E.T., 2006. *Green Infrastructure Linking Landscapes and Communities*, Washington: Island Press.
30. Berkes, F., Folke, C., and Colding, J., 2000. *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience*, United Kingdom: Cambridge University Press.
31. Bruneau, M., Chang, S.E., Eguchi, R.T., Lee, G.C., O'Rourke, T.D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace W.A. and Von Winterfeldt, D., 2003. "A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities", *Earthquake spectra*, 19(4): 733-752.
32. Campanella, T.J., 2006. "Urban resilience and the recovery of New Orleans", *Journal of the American Planning Association*, 72(2): 141-146.
33. Campbell, L.K., Svendsen, E.S., and Roman, L.A., 2016. "Knowledge Co-production at the Research-Practice Interface: Embedded Case Studies from Urban Forestry", *Environmental Management*, 57(6): 1262-1280.
34. Chini, C.M., Canning, J.F., Schreiber, K. L., Peschel, J.M., and Stillwell, A.S., 2017. "The Green Experiment: Cities, Green Stormwater Infrastructure, and Sustainability", *Sustainability*, 9(1): 105-125.
35. Cipolla, S. S., Maglionico, M., and Stojkov, I., 2016. "A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM". *Ecological Engineering*, 95: 876-887.
36. Connop, S., Vandergert, P., Eisenberg, B., Collier, M.J., Nash, C., Clough, J., and Newport, D., 2016. "Renaturing cities using a regionally-focused biodiversity-led multifunctional benefits approach to urban green infrastructure", *Environmental Science & Policy*, 62: 99-111.
37. Cumming, G.S., Allen, C., Ban, N., Biggs, D., Biggs, H.C., Cumming, D.H.M., deVos, A., Epstein, G., Etienne, M., Maciejewski K., Mathevet R., Moore CH, Nenadovic M., and Schoon, M., 2015. "Understanding protected area resilience: a multi-scale, social-ecological approach", *Ecological Applications*, 25(2): 1939-5582.
38. Cunningham, K.L. 2013. "Resilience theory: a framework for engaging urban design", Ph. D. Dissertation, Kansas State University.
39. David, J. Y., Qubbaj, M. R., Muneeppeerakul, R., Anderies, J. M., and Aggarwal, R.M., 2015. "Effect of infrastructure design on commons dilemmas in social-ecological system dynamics", *CSID Working Paper Series*, 112(43): 13207-13212.
40. Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., Bhave, A.G., Mittal, N., Feliu, E., and Faehnle, M., 2014. "Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure", *Journal of Environmental Management*, 146: 107-115.
41. Dhakal, K.P., and Chevalier, L.R., 2017.

- "Managing urban stormwater for urban sustainability: Barriers and policy solutions for green infrastructure application", *Journal of environmental management*, 2013: 171-181.
42. Doick, K.J., Peace, A., and Hutchings, T. R., 2014. "The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island", *Science of the total environment*, 493: 662-671.
43. Emmanuel, R., and Loconsole, A., 2015. "Green infrastructure as an adaptation approach to tackling urban overheating in the Glasgow Clyde Valley Region, UK", *Landscape and Urban Planning*, 138: 71-86.
44. EPA, 2008. *Managing wet weather with green infrastructure action strategy*, USA.
45. European Commission, 2010. *Green Infrastructure*, Belgium: EU Publications Office.
46. Feyisa, G.L., Dons, K., and Meilby, H., 2014. "Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa", *Landscape and Urban Planning*, 123: 87-95.
47. Geneletti, D., and Zardo, L., 2016. "Ecosystem-based adaptation in cities: An analysis of European urban climate adaptation plans", *Land Use Policy*, 50: 38-47.
48. Gittleman, M., Farmer, C.J.Q., Kremer, P., and McPhearson, T., 2017. "Estimating stormwater runoff for community gardens in New York City", *Urban Ecosystems*, 20(1): 129-139.
49. Godschalk, D.R., 2003. "Urban hazard mitigation: creating resilient cities", *Natural hazards review*, 4(3): 136-143.
50. Granja, H.M., and de Carvalho, G.S., 1995. "Is the coastline "protection" of Portugal by hard engineering structures effective?", *Journal of Coastal Research*, 11(4): 1229-1241.
51. Gregory, A. S., Watts, C. W., Griffiths, B. S., Hallett, P. D., Kuan, H. L., and Whitmore, A. P., 2009. "The effect of long-term soil management on the physical and biological resilience of a range of arable and grassland soils in England", *Geoderma*, 153(1): 172-185.
52. Gruwald, L., Heusinger, J., and Weber, S., 2017. "A GIS-based mapping methodology of urban green roof ecosystem services applied to a Central European city", *Urban Forestry & Urban Greening*, 22: 54-63.
53. Gunawardena, K. R., Wells, M. J., and Kershaw, T., 2017. "Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity", *Science of the Total Environment*, 584: 1040-1055.
54. Guo, J.C., and Luu, T.M., 2015. "Hydrologic Model Developed for Stormwater Infiltration Practices", *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(9): 1-8.
55. Hagen, B., Pijawka, D., Prakash, M., and Sharma, S., 2017. "Longitudinal analysis of ecosystem services' socioeconomic benefits: Wastewater treatment projects in a desert city", *Ecosystem Services*, 23: 209-217.
56. Hakimdavar, R., Culligan, P. J., Finazzi, M., Barontini, S., and Ranzi, R., 2014. "Scale dynamics of extensive green roofs: Quantifying the effect of drainage area and rainfall characteristics on observed and modeled green roof hydrologic performance", *Ecological engineering*, 73: 494-508.
57. Heusinger, J., and Weber, S., 2017. "Surface energy balance of an extensive green roof as quantified by full year eddy-covariance measurements", *Science of The Total Environment*, 577: 220-230.
58. Holling, C.S., 1973. "Resilience and stability of ecological systems", *Annual review of ecology and systematics*, 4(1): 1-23.
59. Holling, C. S., 1996. "Engineering resilience versus ecological resilience", *Engineering*

- within ecological constraints*, 31(1996): 31-43.
60. Irga, P.J., Braun, J.T., Douglas, A.N. , Pettit, T., Fujiwara, S., Burchett, M.D., and Torpy, F.R., 2017. "The distribution of green walls and green roofs throughout Australia: Do policy instruments influence the frequency of projects?", *Urban Forestry & Urban Greening*, 24: 164-174.
 61. Jia, H., Ma, H., Sun, Z., Yu, S., Ding, Y., and Liang, Y., 2014. "A closed urban scenic river system using stormwater treated with LID-BMP technology in a revitalized historical district in China", *Ecological engineering*, 71: 448-457.
 62. Kambites, C., and Owen, S., 2006. "Renewed prospects for green infrastructure planning in the UK. Planning", *Practice & Research*, 21(4): 483-496.
 63. Keeley, M., Koburger, A., Dolowitz, D. P., Medearis, D., Nickel, D., and Shuster, W., 2013. "Perspectives on the Use of Green Infrastructure for Stormwater Management in Cleveland and Milwaukee", *Environmental Management*, 51(6): 1093-1108.
 64. Kim, G., Miller, P. A., and Nowak, D. J., 2015. "Assessing urban vacant land ecosystem services: Urban vacant land as green infrastructure in the City of Roanoke, Virginia", *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(3): 519-526.
 65. Kim, Y., An, S. M., Eum, J. H., and Woo, J. H., 2016. "Analysis of thermal environment over a small-scale landscape in a densely built-up Asian megacity", *Sustainability*, 8(4): 358.
 66. Koc, C. B., Osmond, P., and Peters, A., 2016. "A Green Infrastructure Typology Matrix to Support Urban Microclimate Studies", *Procedia Engineering*, 169: 183-190.
 67. Kratky, H., Li, Z., Chen, Y., Wang, C., Li, X., and Yu, T., 2017. "A critical literature review of bioretention research for stormwater management in cold climate and future research recommendations", *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(4): 16-30.
 68. La Rosa, D., Barbarossa, L., Privitera, R., and Martinico, F., 2014. "Agriculture and the city: A method for sustainable planning of new forms of agriculture in urban contexts", *Land Use Policy*, 41: 290-303.
 69. Lanza, K., and Stone, B., 2016. "Climate adaptation in cities: What trees are suitable for urban heat management?", *Landscape and Urban Planning*, 153: 74-82.
 70. Lewellyn, C., Lyons, C. E., Traver, R. G., and Wadzuk, B. M., 2016. "Evaluation of seasonal and large storm runoff volume capture of an infiltration green infrastructure system", *Journal of Hydrologic Engineering*, 21(1): 04015047.
 71. Liao, K.H., 2012. "A theory on urban resilience to floods—a basis for alternative planning practices", *Ecology and Society*, 17(4): 48.
 72. Liao, K.H., Deng, S., and Tan, P.Y. 2017. "Blue-Green Infrastructure: New Frontier for Sustainable Urban Stormwater Management", *In Greening Cities*, 203-226.
 73. Lin, B.B., Meyers, J., Beaty, R.M., and Barnett, G.B., 2016. "Urban Green Infrastructure Impacts on Climate Regulation Services in Sydney, Australia", *Sustainability*, 8(8): 788-800.
 74. MacIvor, J.S., Margolis, L., Perotto, M., and Drake, J. A. P., 2016. "Air temperature cooling by extensive green roofs in Toronto Canada", *Ecological Engineering*, 95: 36-42.
 75. Mayer-Pinto, M., Johnston, E.L., Bugnot, A. B., Glasby, T.M., Airoidi, L., Mitchell, A., & Dafforn, K.A., 2017. Building 'blue': An eco-engineering framework for foreshore

- developments. *Journal of environmental management*, 189: 109-114.
76. Mazhar, N., Brown, R.D., Kenny, N., and Lenzholzer, S., 2015. "Thermal comfort of outdoor spaces in Lahore, Pakistan: Lessons for bioclimatic urban design in the context of global climate change", *Landscape and Urban Planning*, 138: 110-117.
 77. McWilliam, W., Brown, R., Eagles, P., and Seasons, M., 2014. "Barriers to the effective planning and management of residential encroachment within urban forest edges: A Southern Ontario, Canada case study", *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(1): 48-62.
 78. Meerow, S., Newell, J.P., and Stults, M., 2016. "Defining urban resilience: A review", *Landscape and Urban Planning*, 147: 38-49.
 79. Mekala, G.D., Jones, R.N., and MacDonald, D.H., 2015. "Valuing the Benefits of Creek Rehabilitation: Building a Business Case for Public Investments in Urban Green Infrastructure", *Environmental Management*, 55(6): 1354-1365.
 80. Mell, I.C., 2008. "Green infrastructure: concepts and planning" *FORUM Ejournal*, 8(1): 69-80.
 81. Middle, I., Dzidic, P., Buckley, A., Bennett, D., Tye, M., and Jones, R., 2014. "Integrating community gardens into public parks: An innovative approach for providing ecosystem services in urban areas", *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(4): 638-645.
 82. Newell, J. P., Seymour, M., Yee, T., Renteria, J., Longcore, T., Wolch, J. R., and Shishkovsky, A., 2013. "Green Alley Programs: Planning for a sustainable urban infrastructure?", *Cities*, 31: 144-155.
 83. Olsson, P., Folke, C., and Berkes, F., 2004. "Adaptive comanagement for building resilience in social-ecological systems", *Environmental management*, 34(1): 75-90.
 84. Pappalardo, V., La Rosa, D., Campisano, A., and La Greca, P., 2017. "The potential of green infrastructure application in urban runoff control for land use planning: A preliminary evaluation from a southern Italy case study", *Ecosystem Services*, 26: 345-354.
 85. Pennino, M. J., McDonald, R. I., and Jaffe, P. R., 2016. "Watershed-scale impacts of stormwater green infrastructure on hydrology, nutrient fluxes, and combined sewer overflows in the mid-Atlantic region", *Science of the Total Environment*, 565: 1044-1053.
 86. Peterson, G., Allen, C. R., and Holling, C. S., 1998. "Ecological resilience, biodiversity, and scale", *Ecosystems*, 1(1): 6-18.
 87. Qin, H. P., Li, Z. X., and Fu, G., 2013. "The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics", *Journal of environmental management*, 129: 577-585.
 88. Radulovic, S., Bobic, A., Cvejic, J., and Tutundzic, A., 2015. "Growing cities in Serbia in the light of projected global warming: The situation in urban morphological zones", *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(1): 99-106.
 89. Ramos-González, O., 2014. "The green areas of San Juan, Puerto Rico", *Ecology and Society*, 19(3): 21-27.
 90. Raquel, C. D. M., Montalto, F. A., and Palmer, M. I., 2016. "Potential climate change impacts on green infrastructure vegetation", *Urban Forestry & Urban Greening*, 20: 128-139.
 91. Razzaghmanesh, M., Beecham, S., and Brien, C. J., 2014. "Developing resilient green roofs in a dry climate", *Science of the Total Environment*, 490: 579-589.
 92. Richards, P.J., Williams, N.S., Fletcher, T. D., and Farrell, C., 2017. "Can raingardens produce food and retain stormwater? Effects of substrates and stormwater application

- method on plant water use, stormwater retention and yield”, *Ecological Engineering*, 100: 165-174.
93. Richardson, G. E., 2002. “The metatheory of resilience and resiliency”, *Journal of clinical psychology*, 58(3): 307-321.
94. Sirina, N., Hua, A., and Gobert, J., 2017. “What factors influence the value of an urban park within a medium-sized French conurbation?”, *Urban Forestry & Urban Greening*, 24: 45-54.
95. Spano, M., Gentile, F., Davies, C., and Laforteza, R., 2017. “The DPSIR framework in support of green infrastructure planning: A case study in Southern Italy”, *Land Use Policy*, 61: 242-250.
96. van de Ven, F. H., Snep, R. P., Koole, S., Brolsma, R., van der Brugge, R., Spijker, J., and Vergroesen, T., 2016. “Adaptation Planning Support Toolbox: Measurable performance information based tools for co-creation of resilient, ecosystem-based urban plans with urban designers, decision-makers and stakeholders”, *Environmental Science & Policy*, 66: 427-436.
97. Vollmer, D., Prescott, M. F., Padawangi, R., Girot, C., and Grêt-Regamey, A., 2015. “Understanding the value of urban riparian corridors: considerations in planning for cultural services along an Indonesian river”, *Landscape and Urban Planning*, 138: 144-154.
98. Walker, B. and D. Salt. 2012., *Resilience Practice: Building Capacity to Absorb Disturbance and Maintain Function*. Island Press.
99. Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S., and Kinzig, A., 2004. “Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems”, *Ecology and Society*, 9(2): 5-13.
100. Walmsley, A., 2006. “Greenways: multiplying and diversifying in the 21st century”, *Landscape and Urban Planning*, 76(1): 252-290.
101. Wamsler, C., 2015. “Mainstreaming ecosystem-based adaptation: transformation toward sustainability in urban governance and planning”, *Ecology and society*, 20(2): 30-47.
102. Wamsler, C., Niven, L., Beery, T., Bramryd, T., Ekelund, N., Jönsson, K.I., and Stålhammar, S., 2016. “Operationalizing ecosystem-based adaptation: harnessing ecosystem services to buffer communities against climate change”, *Ecology and Society*, 21(1): 31-48.
103. Warhurst, J.R., Parks, K.E., McCulloch, L., and Hudson, M.D., 2014. “Front gardens to car parks: changes in garden permeability and effects on flood regulation”, *Science of the Total Environment*, 485: 329-339.
104. Zhang, L.X., Yang, Z.F., Voinov, A., and Gao, S., 2016. “Nature-inspired stormwater management practice: The ecological wisdom underlying the Tuanchen drainage system in Beijing, China and its contemporary relevance”, *Landscape and Urban Planning*, 155: 11-20.
105. 서울시, 2017.06.30. “도시물순환회복”, 서울시, <http://env.seoul.go.kr/archives/74965>
106. 국토교통부, “홍수피해”, 2017.12.01 읽음. (국가수자원관리종합정보시스템) http://www.wamis.go.kr/wkf/wkf_fddamaa_lst.aspx
107. 질병관리본부, “온열질환 감시체계 신고결과”, 2017.12.01 읽음. <http://www.cdc.go.kr/CDC/info/CdcKrInfo0203.jsp?menuIds=HOME001-MNU1130-MNU1359-MNU1360-MNU1361>
108. Stockholm Resilience Centre, “Resilience dictionary”, 2017.08.23, <http://www.stockholmresilience.org/research/>

resilience-dictionary.html.	Date Received	2017-08-28
109. 100 Resilient Cities, "Resilience Dividend",	Reviewed(1 st)	2017-09-18
2017.12.01,	Date Revised	2017-12-20
http://www.100resilientcities.org/resources/#section-1	Reviewed(2 nd)	2018-01-04
	Date Accepted	2018-01-04
	Final Received	2018-01-22