

미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획요소 도출[†] - 텍스트 마이닝을 활용하여 -

석영선* · 송기환** · 한효주*** · 이정아****

*고려대학교 대학원 환경생태공학과 박사수료 · **고려대학교 오정리질리언스연구원 연구교수 ·
고려대학교 대학원 환경생태공학과 석사수료 · *고려대학교 환경생태공학부 조교수

Derivation of Green Infrastructure Planning Factors for Reducing Particulate Matter - Using Text Mining -

Seok, Youngsun* · Song, Kihwan** · Han, Hyojoo*** · Lee, Junga****

*Ph.D. Candidate, Department of Environmental Science and Ecological Engineering,
Graduate School, Korea University

**Research Professor, OJong Resilience Institute, Korea University

***M.S. Candidate, Department of Environmental Science and Ecological Engineering,
Graduate School, Korea University

****Assistant Professor, Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University

ABSTRACT

Green infrastructure planning represents landscape planning measures to reduce particulate matter. This study aimed to derive factors that may be used in planning green infrastructure for particulate matter reduction using text mining techniques. A range of analyses were carried out by focusing on keywords such as ‘particulate matter reduction plan’ and ‘green infrastructure planning elements’. The analyses included Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF) analysis, centrality analysis, related word analysis, and topic modeling analysis. These analyses were carried out via text mining by collecting information on previous related research, policy reports, and laws. Initially, TF-IDF analysis results were used to classify major keywords relating to particulate matter and green infrastructure into three groups: (1) environmental issues (e.g., particulate matter, environment, carbon, and atmosphere), target spaces (e.g., urban, park, and local green space), and application methods (e.g., analysis, planning, evaluation, development, ecological aspect, policy management, technology, and resilience). Second, the centrality analysis results were found to be similar to those of TF-IDF; it was confirmed that the central connectors to the major keywords were ‘Green New Deal’ and ‘Vacant land’. The results from the analysis of related words verified that planning green infrastructure for particulate matter reduction required planning forests and ventilation corridors. Additionally, moisture must be considered for microclimate control. It was also confirmed that utilizing vacant space, establishing mixed forests, introducing particulate matter reduction technology, and understanding the system

† : 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 도시 생태계 건강성 증진 사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (2020002770002).

Corresponding author: Junga Lee, Assistant Professor, Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea, Tel.: +82-2-3290-3004, E-mail: archjung@korea.ac.kr

may be important for the effective planning of green infrastructure. Topic analysis was used to classify the planning elements of green infrastructure based on ecological, technological, and social functions. The planning elements of ecological function were classified into morphological (e.g., urban forest, green space, wall greening) and functional aspects (e.g., climate control, carbon storage and absorption, provision of habitats, and biodiversity for wildlife). The planning elements of technical function were classified into various themes, including the disaster prevention functions of green infrastructure, buffer effects, stormwater management, water purification, and energy reduction. The planning elements of the social function were classified into themes such as community function, improving the health of users, and scenery improvement. These results suggest that green infrastructure planning for particulate matter reduction requires approaches related to key concepts, such as resilience and sustainability. In particular, there is a need to apply green infrastructure planning elements in order to reduce exposure to particulate matter.

Key Words: Ecosystem Service, Green New Deal, Big Data, Social Disaster, Environmental Disaster

국문초록

그린인프라 계획은 미세먼지 저감을 위한 대표적인 조경 계획 방안 중 하나이다. 이에, 본 연구에서는 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획 시 활용될 수 있는 요소를 텍스트 마이닝 기법을 활용하여 도출하고자 하였다. 미세먼지 저감계획, 그린인프라 계획 요소 등의 키워드를 중심으로 관련 선행연구, 정책보고서 및 법률 등을 수집하여 텍스트 마이닝을 통해 단어 빈도-역 문서 빈도(Term Frequency-Inverse Document Frequency, 이하 TF-IDF) 분석, 중심성 분석, 연관어 분석, 토픽 모델링 분석을 실시하였다. 연구결과, 첫째, TF-IDF 분석을 통해 미세먼지 및 그린인프라와 관련된 주요 주제어는 크게 환경문제(미세먼지, 환경, 탄소, 대기 등), 대상 공간(도시, 공원, 지역, 녹지 등), 그리고 적용 방법(분석, 계획, 평가, 개발, 생태적 측면, 정책적 관리, 기술, 리질리언스 등)으로 구분할 수 있었다. 둘째, 중심성 분석 결과, TF-IDF와 유사한 결과가 도출되었으며, 주요 키워드들을 연결하는 중심단어는 ‘그린뉴딜’, ‘유휴부지’임을 확인할 수 있었다. 셋째, 연관어 분석 결과, 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획 시, 숲과 바람길의 계획이 필요하며, 미기후 조절의 측면에서 수분에 대한 고려가 반드시 필요한 것으로 확인되었다. 또한, 유휴공간의 활용 및 혼효림의 조성, 미세먼지 저감 기술의 도입과 시스템의 이해가 그린인프라 계획 시 중요한 요소가 될 수 있음을 확인할 수 있었다. 넷째, 토픽 모델링 분석을 통해 그린인프라의 계획요소를 생태적·기술적·사회적 기능을 중심으로 분류하였다. 생태적 기능의 계획요소는 그린인프라의 형태적 부분(도시림, 녹지, 벽면녹화 등)과 기능적 부분(기후 조절, 탄소저장 및 흡수, 야생동물의 서식처와 생물 다양성 제공 등), 기술적 기능의 계획요소는 그린인프라의 방재 기능, 완충 효과, 우수관리 및 수질정화, 에너지 저감 등, 사회적 기능의 계획요소는 지역사회 커뮤니티 기능, 이용객의 건강성 회복, 경관 향상 등의 기능으로 분류되었다. 이와 같은 결과는 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획 시 리질리언스 및 지속가능성과 같은 개념적 키워드 중심의 접근이 필요하며, 특히, 미세먼지 노출 저감의 측면에서 그린인프라 계획요소의 적용이 필요함을 시사한다고 볼 수 있다.

주제어: 생태계 서비스, 그린뉴딜, 빅데이터, 사회재난, 환경재난

1. 서론

미세먼지는 심장질환, 뇌졸중 사망 등을 유발함에 따라 2013년 세계보건기구(WHO)에서 1급 발암물질로 지정되었으며, 미세먼지 농도가 낮거나, 노출된 기간이 짧더라도 사망률이 높아질 수 있다고 보고되고 있다(Di *et al.*, 2017; Ahn *et al.*, 2018; Cong *et al.*, 2019; Kim and Han, 2019). 미세먼지가 범국민적 사회문제로 대두되면서 우리나라에서는 사회재난으로

분류, 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법(약칭-미세먼지법)」, 「대기환경보전법」 등 관련 법률을 제정하였으며, 다양한 정책과 연구들이 양적으로 확충되었다(European Commission, 2010; Newell *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2018b). 특히, 미세먼지 저감을 위한 방법으로써 ‘도시바람길 숲’, ‘벽면녹화’, ‘그린커티튼’, ‘도시숲’ 등 그린인프라의 생활권 확장을 위한 정책이 추진되고 있다(Kim *et al.*, 2018b; Kwon and Kim, 2019).

그린인프라는 대기오염 개선, 탄소격리를 통한 기후변화 완

화, 열섬현상 완화, 홍수 저감 등 재난재해에 효과적이며, 공기를 정화하고 수량 및 수질 보호, 서식지 제공 및 생태계의 다양성 보전 등의 생태적 효과(Benedict and McMahon, 2002; Nowak *et al.*, 2006; Hardin and Jensen, 2007; Qui *et al.*, 2017)와 사회적 소통 및 건강 증진, 경관 향상, 범죄 저감 등의 사회적 효과를 갖는다(Forest Research, 2010; Kim *et al.*, 2010). 또한, 지가상승, 저에너지화, 건설비용 감소 등의 경제적 효과(Kang *et al.*, 2011)를 통해 인간과 자연이 공존할 수 있는 공간계획 수단으로써 도시의 지속가능성을 높여준다(Lee *et al.*, 2014a; Korea Environmental Industry and Technology Institute, 2017). 그린인프라 계획은 주로 물관리 측면에서 연구되어 왔으나, 최근에는 미세먼지와 같은 환경문제에 대응할 수 있는 방법으로 도시재해의 리질리언스를 높여 줄 수 있는 전략적 계획 수단으로써 연구되고 있다(Kim, 2013; Kim *et al.*, 2018b; Kang, 2020).

그럼에도 불구하고 우리나라의 미세먼지 심각성은 해를 거듭할수록 높아지고 있으며(<https://www.airkorea.or.kr>), IQ-Air(2019)에서 전 세계 미세먼지(PM2.5) 데이터 현황을 분석한 연구에 따르면 2018년 한국의 연간 PM2.5 농도는 전 세계 국가 중 26위, OECD 국가 중 1위로 대기질이 낮은 것으로 보고되었다. 이와 같은 미세먼지 저감을 위한 노력으로 현재, 미세먼지에 대해 효과가 있는 식물이나 토양 등 일부 요소에 집중하여 그린인프라가 조성되고 있으나, 실질적으로 미세먼지에 대응하여 이를 저감시키기 위한 혁신적인 기술과 요소는 부족한 실정이다(<https://www.asiae.co.kr/article/2020052811195128708>). 즉, 미세먼지를 저감하기 위해 그린인프라를 계획하고 설계하는 과정에서 미세먼지가 발생하는 원인이나 현상에 대해 명확하게 파악할 필요가 있으며, 이에 따른 교란에 적극적으로 대응할 필요성이 있다(Lee *et al.*, 2018; Sung, 2020). 또한 그린인프라의 개념이 분야별로 상이하고, 구성요소 및 기능(환경적, 기술적, 경제적 등)이 매우 다양하므로(Kwon and Kim, 2019), 미세먼지 저감을 위한 그린인프라의 정의와 구성요소, 기능 등에 대한 논의가 충분히 이루어져야 할 필요가 있다. 결과적으로 단순히 식재와 토양 등 일부 요소에만 집중하여 그린인프라를 계획하는 것이 아니라, 시스템적 접근을 통해 미세먼지라는 교란 요인에 대한 다양한 인과관계들을 구체적으로 파악하는 것이 필요하다(Lee *et al.*, 2014b).

한편, 최근 들어 4차 산업혁명의 흐름에 따라 빅데이터를 이용한 자료 수집 및 분석의 중요성이 높아지면서 과거부터 현재까지의 방대한 정책 및 학술연구, 이슈 등을 종합적으로 파악하여(Borgatti *et al.*, 2009; Lim *et al.*, 2014), 사회, 환경, 경제적인 측면에서 논리적이고 과학적인 접근들이 이루어지고 있다(Lee *et al.*, 2014b; Hu *et al.*, 2015). 특히, 텍스트 마이닝(text mining)을 활용한 빅데이터 분석은 방대한 분량의 텍

트에 내포되어 있는 특정 단어들 간의 관계, 의미 등을 추출함으로써 기존에 확인하지 못한 새롭고 의미 있는 정보를 도출하고, 그 근거를 제시할 수 있다는 장점이 있다(Connolly *et al.*, 2016; Jin *et al.*, 2018). 따라서 미세먼지라는 교란에 효율적으로 대응할 수 있는 그린인프라를 조성하기 위해서는 과거부터 현재까지 장기간 축적된 그린인프라와 관련된 자료들을 기반으로 계획과정에서 식생, 토양, 물 등 다양한 요소들을 종합적으로 파악한 후, 이를 기반으로 한 정책 시사점을 도출할 필요성이 있다. 이는 단일 특정 요소만 선택하여 이루어지던 기존 그린인프라 계획과 달리 교란에 대한 문제인식 및 원인을 파악하여 기술 및 요소들을 종합적으로 도출하고, 시스템적 접근을 통해 응용할 수 있다는 점에서 기존 연구들과 차별성이 있을 것이다.

이에, 본 연구의 목적은 사회재난 중 하나인 미세먼지에 중점을 두고, 이를 저감하기 위한 그린인프라 계획요소를 도출하는 것이다. 이를 위하여 텍스트 마이닝 방법을 활용하였으며, 사회생태시스템의 복합적 네트워크 구조로 이루어진 도시 내에서 그린인프라를 유기적으로 계획 및 조성하기 위하여 미세먼지에 대한 시스템적 이해를 바탕으로 의미 있는 요소들을 도출하고자 하였다.

II. 선행연구

1. 미세먼지에 대응하는 그린인프라

그린인프라는 삶의 질을 높여주고, 생태계 서비스를 증진시켜 지속가능한 발전을 가능케 하며, 재난재해 예방 및 기후변화 적응을 위한 대안으로 여겨진다(Mell, 2010; Foster *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2012; Gong *et al.*, 2016). 그린인프라의 정의는 자연생태 가치와 녹지공간의 네트워크(Randolph, 2004), 생태계의 가치 및 기능 보전과 자연지역 및 오픈스페이스 공간의 네트워크(Benedict and McMahon, 2002), 친환경적 우수처리 및 물관리 접근 등 그린인프라의 기술적 측면을 고려한 네트워크 등으로 정의된다(Environmental Protection Agency, 2007). 또한, 지역사회의 지속가능한 5개 전략으로 도시문제 해결을 위한 공간(Allen, 2012) 등 국가, 연구자, 연구목적 등에 따라 상이하나, 공통적으로 인간에게 다양한 서비스를 제공하고, 인프라 간의 네트워크 중요성을 강조한다.

그린인프라에 대한 중요성 및 필요성이 높아지면서 그린인프라와 관련된 다양한 국내 법률이 제정되었다. 「환경정책기본법」, 「국토기본법」, 「물환경보전법」, 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률(약칭, 공원녹지법)」, 「저탄소 녹색성장 기본법(약칭, 녹색성장법)」, 「지속가능발전법」, 「자연환경보전법」, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률(약칭, 국토계획법)」, 「공익사업을 위

한 토지 등의 취득 및 보상에 관한 법률(약칭, 토지보상법)», 「물환경보전법」, 「수도법」, 「자연재해대책법」, 「도시숲법」, 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」 등과 함께 「기후위기 대응을 위한 탄소소사회 이행 기본법안(제정 전, 그린뉴딜기본법)」이 추진 중이다. 최근의 그린뉴딜 사업에 있어 지역의 맥락을 고려할 수 있는 그린인프라의 중요성은 더욱 높아질 것으로 예상되며(Park *et al.*, 2020), 이와 함께 생태적, 기술적, 사회적 기능을 고려한 그린인프라의 구성요소 도출 및 네트워크적 측면을 고려한 공간계획이 요구된다.

그린인프라 구성요소들의 기능과 기법들에 관한 연구들에서는 주로 녹지 및 수목의 중요성과 관리의 필요성을 언급하였다(Table 1 참조). 녹지는 인공적인 열확산을 막고, 수분 증진을 통해 도시 내 에너지 저감과 탄소배출 감소 효과를 높이는 효과가 있다(Zhang *et al.*, 2014; Trihamdani *et al.*, 2015; Qiu *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2018). 이러한 녹지의 면적, 구조, 크기, 형태, 주변 토지이용 현황에 따라 수공간 등 네트워크화된 그린인프라를 조성할 경우, 그 효과는 더욱 높아질 수 있다(Xu *et al.*, 2019). 또한, 일부 연구들에서는 수목과 미세먼지 관련된 연구들은 수목이 대기오염을 저감하고, 증산 과정을 통해 열섬 효과를 완화하는 기능에 주목하였다(Nowak *et al.*, 2006; Wang and Akbari, 2016). 이에 수목을 관리할 때에는 수분 상태를 고려하여 건조하지 않은 환경을 조성하기 위해서 투수성 포장재 등의 방안을 마련해 주는 것이 필요함을 강조하였다(Ozolincius *et al.*, 2005; Nowak *et al.*, 2006; Bae *et al.*, 2012).

이외에도 재해별로 그린인프라 유형을 고찰한 후 계획안을 제시한 연구(Lee *et al.*, 2018)와 북미(American Society of Landscape Architects : ASLA)의 사례분석을 통해 그린인프라 계획요소를 인문·수문·생태·환경적 측면에서 분석한 연구(Kwon and Kim, 2019) 등이 진행되어 왔다. 이들 연구는 그린인프라의 유형과 계획요소를 고찰하였다는 점에서 의의가 있으나, 단기간의 자료분석으로 인해 데이터 질에 한계가 있었

고, 국내 실정에서는 반영하기 다소 어려운 점이 있었다. 또한 일부 구성요소에만 집중되면서 너무 거시적인 접근이 이루어졌으며, 대부분의 연구가 생태적, 사회적, 경제적, 기술적 측면 등에 대한 고려 없이 물리적인 양적 확충에만 머물러 있는 실정이었다(Kim *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2018; Kwon and Kim, 2019). 따라서 특정 재해 등에 초점을 둔 그린인프라 계획요소 도출이 필요함이 시사되었으며, 이와 함께 장기간의 파편화된 데이터들의 통합적인 분석을 통해 복합적 측면을 고려한 그린인프라 계획이 필요할 것으로 보인다.

한편, 그린인프라 구성요소의 미세먼지 저감효과를 분석한 연구들은 대부분 가로수, 도시공원, 도시숲 등 수목과 녹지공간을 대상으로 하였다. 주요 내용으로는 도시숲, 도시공원의 미세먼지 저감효과 분석에 관한 연구(Xu *et al.*, 2018), 가로수의 미세먼지 확산 및 흡수 효과와 다층 구조 등의 식재 계획에 관한 연구(Wang and Akbari, 2016; Kim *et al.*, 2018b) 등으로 대부분 미세먼지를 저감하는 수단으로써 그린인프라의 효과를 분석하는 연구들이 주를 이루었다. 특히, 도시 수목의 수종별, 식재 유형별, 규격별, 형태별 등에 따라 미세먼지 저감량을 비교함으로써 미세먼지 저감을 위한 우수 수종과 다층 구조 식재, 침엽수 우점 식재 등의 연구결과가 도출되었다(Nowak *et al.*, 2006; Jung, 2018; Xu *et al.*, 2018). 또한, 미세먼지가 식물의 생육 및 생태에 미치는 영향과 정화 기능 등을 분석한 연구(Son and Nam, 2020)와 함께 친환경적 토지이용을 통한 대기환경 개선에 관한 연구(Joo and Kim, 2009), 바람길 조성을 통한 미세먼지 저감방안 연구(Nam *et al.*, 2020)가 선행되었다. 무엇보다도 유휴부지가 미세먼지 흡입을 위한 방안이 될 수 있음이 도출되었는데, 이는 유휴부지 내에 대형교목이 높은 비율로 존재하고, 지표면 바이오매스가 다른 토지이용에 비해 높은 특성이 있으며, 새로운 녹지공간 터를 확보하기 어려운 도심 내에서 유휴부지가 도시숲을 조성할 수 있는 적지로 도출되었기 때문으로 분석된다(Kim *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2016a; Kim

Table 1. Factors and functions of green infrastructure

Factors of green infrastructure		Function of green infrastructure
City park and garden	Urban parks, neighborhood parks, children's parks, public gardens, community gardens, etc.	Hubs
Urban green space	Green areas in residential areas, commercial green areas, housing gardens, village announcements, playgrounds and recreation spaces, waterfront buffer green areas, etc.	
Other green space	Gardens, urban farms, graveyards, rainwater gardens, vegetative water, urban wetlands, etc.	
Facilities and techniques	Flood management facilities, reservoirs, green roofs, street trees, wooden boxes, waterproof packaging, excellent storage bins, etc.	
Natural green space	Flood plain, wetland, forest, reservoir, pastureland, wildlife habitat, etc.	
Green street, green belt, green way, landscape connection area, etc.		Links

Source: Kang *et al.*, 2011. 필자 재작성.

and Oh, 2019).

하지만, 선행연구들의 대상지와 미세먼지 배출원의 위치, 녹지조성 위치 등이 상이함에 따라 그린인프라 계획을 단순히 다층 구조 식재, 교목의 분산배치, 녹지의 중요성 등 단편적으로만 제시하고 있는 수준이다. 이에 파편화된 데이터를 종합하여 살펴보는 과정을 통해 그동안 파악하지 못했던 미세먼지 저감에 있어 그린인프라가 해결해야 하는 환경문제, 대상 공간, 적용 방법 등에 대한 의미 있는 정보를 도출한 후, 이를 통해 보다 실증적이고 적극적인 그린인프라 계획이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

선행연구 고찰을 통해 본 연구에서는 그린인프라를 '미세먼지에 대응하여 자연생태계가 갖는 기능과 가치를 보존하고, 생태계 서비스를 증진함으로써 삶의 질을 높일 수 있는 지속가능한 주요 서비스들의 네트워크'로 정의하였다. 정의된 그린인프라 개념을 활용하여 생태적, 기술적, 사회적 측면을 모두 고려한 그린인프라 계획요소를 도출하였다.

2. 텍스트 마이닝

텍스트 마이닝은 방대한 텍스트들을 분석하여 의미 있는 주요 맥락, 새로운 관계 및 가치를 추출하는 정량적 방법이다(Jin *et al.*, 2018). 빅데이터를 활용한 텍스트 마이닝은 기존, 텍스트를 통한 연구방법인 담화분석 등 내용 분석방법(contents analysis)이나, 설문지 및 관찰조사 등과 같이 기간의 한정 혹은 표본 수 한정 등의 한계가 있었던 연구방법론을 보완할 수 있는 방법론으로 평가되면서(Gam and Song, 2012; Lee and Lee, 2018), 최근 연구동향 및 이용행태 분석 등에서 활발히 이용되고 있다. 또한, 언론(뉴스기사)이나 SNS 등을 통한 사회현상 분석 및 이용객 특성에 관한 연구 혹은 주요 연구주제를 파악하기 위한 수단으로 많이 이용되고 있는 추세이다(Kim *et al.*, 2019; Sung *et al.*, 2019).

미세먼지와 관련하여 텍스트 마이닝을 활용한 연구로는 국민청원 내용 및 언론기사 분석을 통해 미세먼지 저감을 위한 정책 시사점을 도출한 연구(Bae and Park, 2017; Kim *et al.*, 2018a; Park and Park, 2021)가 있었으며, 그린인프라와 관련된 연구로는 시대적으로 정원의 정의 및 특징을 분석하거나(Woo and Suh, 2016), 시간적 추이에 따라 이용객의 행태를 분석하고, 개선방안을 제시한 연구(Woo and Suh, 2018; Woo and Suh, 2020) 등이 있었다. 선행연구들은 대부분 미세먼지 이슈와 관련된 사회행태적, 정책적 분야에서의 접근이 주를 이루면서 미세먼지 저감을 위한 생태적, 기술적 측면에 관한 연구나 세부적인 개선안을 도출해 내는 데에는 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 텍스트 마이닝 방법을 활용하여 미세먼지와 그린인프라의 파편화된 데이터들을 통합적으로 분석하고,

기능(생태적, 기술적, 사회적)적 측면을 고려하여 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획요소를 도출하고자 한다.

III. 연구방법

1. 자료 수집

본 연구의 자료 수집을 위한 시간적 범위는 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)에서 미세먼지를 1군 발암 물질로 지정한 해이며, 우리나라에서 미세먼지가 사계절 문제로 본격적으로 대두되기 시작한 2013년(Bae and Park, 2017)부터 현재인 2021년으로 설정하였다.

자료의 내용적 범위는 연구논문(KCI 한정, 학술연구정보서비스, <https://www.riss.kr>), 정책보고서(국회도서관, <https://www.nanet.go.kr/>), 관련 법률(국가법령정보센터, <https://www.law.go.kr/>)로 한정하였으며, 이 중 미세먼지의 특수성을 잘 나타내고, 그린인프라 관련 주제가 제목 및 본문에 포함된 자료들을 수집한 후, 내용 검토를 통해 총 430건의 자료를 분석에 활용하였다. 연구논문과 정책 보고서를 통해서선 연구자들의 미세먼지 및 그린인프라와 관련된 연구의 흐름과 경향 등을 파악할 수 있었으며, 법률 검토를 통해서선 기술적 측면이나 정책적 측면 등을 검토 및 분석할 수 있었다.

2. 텍스트 마이닝 분석

텍스트 마이닝 분석은 주요 키워드를 선정한 후 자료를 수집하고 데이터 정제 과정을 거친 후에 분석이 이루어지며(Jung, 2010; Jin *et al.*, 2018), 본 연구에서는 분석을 위한 도구로 파이썬(Python Software Foundation, 1991)과 R(The R Foundation, 1993)을 활용했다. 텍스트 마이닝 분석을 위해 첫째, 주요 키워드를 선정했다. 미세먼지 및 그린인프라와 관련된 다양한 법률(「환경정책기본법」, 「국토기본법」, 「물환경보전법」, 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률(약칭, 공원녹지법)」, 「저탄소 녹색성장 기본법(약칭, 녹색성장법)」, 「지속가능발전법」, 「자연환경보전법」, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률(약칭, 국토계획법)」, 「공익사업을 위한 토지 등의 취득 및 보상에 관한 법률(약칭, 토지보상법)」, 「물환경보전법」, 「수도법」, 「자연재해대책법」, 「도시숲법」, 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」, 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」, 「대기환경보전법」, 「환경영향평가법」, 「도시 및 주거환경정비법」 등과 함께 「기후위기 대응을 위한 탈탄소사회 이행 기본법(제정 전, 그린뉴딜기본법)」과 관련된 선행연구들을 고찰하였다. 특히 미세먼지의 특수성이 드러나면서 그린인프라의 계획과 관련된 연구들을 중심으로 고찰하고, 도출된 키워드에 대해서

Table 2. Choose the main keywords

Keywords	References	
Green infrastructure	Law	「Framework act on environmental policy」, 「Framework act on the national land」, 「Act on urban parks, green areas, etc.」, 「Framework act on low carbon, green growth」, 「National environment conservation act」, 「National land planning and utilization act」, 「Act on the creation and management of urban forest」, 「Countermeasures against natural disasters act」, 「Act on urban parks, green areas, etc.」
	Literature	Kim <i>et al.</i> , 2018b
Particular matter (Outdoor space)	Law	「Special act on the reduction and management of fine dust」, 「Clean air conservation act」, 「Framework act on environmental policy」, 「Environmental impact assessment act」
	Literature	Hong <i>et al.</i> , 2018; Kim <i>et al.</i> , 2018b; Kang, 2020; Kim and Choi, 2020
Green new deal	Law	「Sustainable development act」, 「National land planning and utilization act」, 「Framework act on low carbon, green growth」
	Literature	Han, 2020; Lee and Woo, 2020; Yu <i>et al.</i> , 2020
Resilience	Law	「National land planning and utilization act」, 「Countermeasures against natural disasters act」
	Literature	Jung <i>et al.</i> , 2016; Han and Lee, 2017; Choi and Seo, 2018
Wind-way	Law	「Act on urban parks, green areas, etc.」, 「Clean air conservation act」, 「Framework act on environmental policy」, 「Environmental impact assessment act」, 「National land planning and utilization act」, 「Act on the improvement of urban areas and residential environments」
	Literature	Eum <i>et al.</i> , 2019; Kim <i>et al.</i> , 2019; Hong <i>et al.</i> , 2020
Wetland (Particular matter)	Law	「Water environment conservation act」, 「Framework act on low carbon, green growth」
	Literature	Son and Kim, 2020
Vacant land	Law	「National land planning and utilization act」, 「Act on acquisition of and compensation for land, etc. for public works projects」
	Literature	Kim and Nam, 2016
Forest (PM reduction forest, forest tending, urban forest)	Law	「Framework act on low carbon, green growth」, 「National land planning and utilization act」, 「Act on the creation and management of urban forest」
	Literature	Lee <i>et al.</i> , 2017; Jeong <i>et al.</i> , 2019; Koo, 2019
Greening (Wall greening, green roof, vertical greening)	Law	「Framework act on low carbon, green growth」, 「National land planning and utilization act」, 「Act on urban parks, green areas, etc.」
	Literature	Kang and Lee 2014; Choi, 2015; Korea Institute of Construction Technology, 2017; Ryu and Lee, 2019
Garden (Vertical garden, community garden)	Law	「National land planning and utilization act」, 「Act on urban parks, green areas, etc.」, 「Act on the creation and furtherance of arboreturns and gardens」
	Literature	Choi <i>et al.</i> , 2018; Nam and Kim, 2019; Hong <i>et al.</i> , 2020
Park (Long term unexcuted park, urban park)	Law	「Framework act on low carbon, green growth」, 「National land planning and utilization act」, 「Act on urban parks, green areas, etc.」
	Literature	Byeon, 2017; Jeong and Jung, 2020; Kim <i>et al.</i> , 2020b
Green area (Buffer green area, park & green space)	Law	「Framework act on low carbon, green growth」, 「National land planning and utilization act」, 「Act on urban parks, green areas, etc.」
	Literature	Baek and Park, 2014; Yu, 2015
Street tree	Law	「Water supply and waterworks installation act」, 「National land planning and utilization act」, 「Notice of regulations on the creation and management of street trees」
	Literature	Xu and Kim, 2017; Ko and Park, 2019; Cho <i>et al.</i> , 2020

는 전문가의 의견 수렴을 통해 최종적으로 Table 2와 같이 선정되었다.

선정된 키워드는 총 13개로 그린인프라, 미세먼지(외부공간으로 한정), 그린뉴딜, 리질리언스, 바람길, 습지(미세먼지로 한정), 유희부지, 숲(미세먼지 저감 숲, 숲가꾸기, 도시숲 등),

녹화(벽면녹화, 옥상녹화, 수직녹화, 생활권녹화 등), 정원(수직정원, 커뮤니티 가든 등), 공원(장기미집행 공원, 도시공원 등), 녹지(완충녹지, 공원녹지, 가로녹지 등), 가로수이다. 이후 선정된 키워드를 기준으로 연관어 분석을 실시하였다.

둘째, 수집된 데이터들의 어휘들을 검토하여 오류가 있는 데

Table 3. Data analysis method

Analysis method		Contents	References
TF-IDF		Identify words of high frequency and importance.	Jung, 2010
Centrality	Closeness centrality	Identify which words are located at the center of the network or are highly related to other words.	Kim and Song, 2016
	Harmony centrality	Similar to closeness centrality, but to analyze words by averaging the shortest distance reciprocals between them.	Kim, 2019
	Betweenness centrality	Identify which words act as links between words, meaning influential words on the network.	Marsden, 2002
	Degree centrality	Analyze the topic words associated with a particular word to determine which words are centered in the network.	Friedkin, 1993
Network		Identify the words that appear at the same time as a particular word.	Kim and Lee, 2021
Topic modeling		Identify the implications of the words in each cluster by grouping them into clusters.	Kim <i>et al.</i> , 2016b

이터를 정제하는 과정을 수행했다. 학술적이고 정책적인 자료들을 기반으로 분석한 본 연구에서는 소셜미디어 등에 기반한 연구들에 비해 비속어, 신조어, 줄임말 등의 사용이 빈번하지 않았으나, 일부 띄어쓰기 오류, 조사, 특수문자 등의 데이터가 확인되었던 바, 관련 내용을 정제한 후 분석에 활용하였다.

셋째, 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획요소를 도출하기 위해 총 430건의 자료를 수집하였으며, 이 중에서 문서 오류 등의 이유로 누락된 19건을 제외한 411건을 텍스트 마이닝 분석에 활용했다. 분석은 크게 단어 빈도-역 문서 빈도(term frequency-inverse document frequency, 이하 TF-IDF) 분석, 중심성 분석, 연관어 분석, 토픽 모델링 분석을 실시하였다 (Table 3 참조). TF-IDF 방식은 여러 문서 중 핵심어를 추출하는 방법으로써 특정 단어와 문서 간의 가중치를 계산, 값이 높게 나올수록 빈도와 중요도가 높은 단어임을 분석하는 방법이다(Jung, 2010). 이는 간단하고 명료하여 텍스트 마이닝 분석에서 많이 사용되며, 본 연구에서는 미세먼지 및 그린인프라와 관련된 중요 단어들을 도출해 내는데 활용하였다. 다음으로 중심성 분석은 어떤 단어가 가장 중요한지를 분석하는 방법이다(Freeman, 1978). 다양한 중심성 방법 중 본 논문에서는 근접 중심성, 조화 중심성, 매개 중심성, 연결 정도 중심성 등을 활용하였으며, 이를 통해 미세먼지 문제를 그린인프라 관점에서 볼 때 어느 부분이 중요한지를 도출해 낼 수 있었다. 또한, 주요 단어와 동시 출현한 단어를 분석하여 네트워크를 구축하는 방법인 연관어 분석(Kim and Lee, 2021)을 통해 주요 키워드 13개와 관련되어 있는 주요 단어를 도출하였다. 마지막으로 단어들의 군집 분류를 통해 각 군집에 속한 단어들의 함축된 의미를 파악하는 방법인 토픽 모델링 분석(Kim *et al.*, 2016b)을 통해 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획요소가 무엇인지를 도출해 낼 수 있었다.

IV. 연구결과 및 고찰

1. TF-IDF 분석

2013년부터 2021년까지 미세먼지 및 그린인프라 관련 선행 연구들을 분석한 결과, '도시', '공원', '연구', '녹지', '지역', '미세먼지', '환경', '분석', '계획', '관리', '공간' 등의 순으로 빈도가 높게 나타났으며, TF-IDF의 값을 기준으로 워드 클라우드(word cloud)로 표현한 결과, 관련성이 높은 단어들이 시각적으로 크게 도출되었다(Figure 1 참조).

그린인프라의 적용방안 측면에서 해결해야 할 환경문제, 대상 공간, 적용 방법에 맞춰 TF-IDF의 값을 관련 키워드로 분석한 결과, 해결해야 되는 주요 환경문제는 미세먼지, 환경, 탄



Figure 1. Word cloud

Table 4. Results of TF-IDF analysis

Problem		Site		Solution	
Word	TF-IDF	Word	TF-IDF	Word	TF-IDF
Particular matter	24.72	City	34.93	Analysis	20.39
Concentration	21.31	Park	28.33	Plan	18.52
Environment	18.94	Area	25.06	Evaluation	12.64
Carbon	14.48	Green area	19.09	Development	11.72
Atmosphere	14.17	Space	13.77	Management	11.33
Emission	13.05	Area	7.25	Impact	10.67
Climate	9.39	Forest	6.76	Utilization	10.39
Measurement	9.27	Planting	5.94	Facility	9.77
Pollution	9.15	Green	5.49	Ecology	9.60
Dust	9.02	Road	5.47	Policy	9.53
Occurrence	7.17	Nation	5.43	Green infrastructure	9.06
Substance	6.54	Recycle	5.32	Reduction	8.97
Fine particular matter	6.20	Nature	5.04	Technology	7.61
Energy	6.19	Street tree	4.50	Resilience	7.30
Land	6.19	Ventilation Corridors	4.50	Element	7.24
Disaster	4.712	Network	4.44	Landscape	6.97
Wind speed	4.63	Garden	4.23	Function	6.77
High concentration	4.51	Roof	3.95	Sustainable	6.03
Greenhouse gases	4.33	Building	3.81	System	5.41
Pollution Source	3.26	Buffer	3.62	Connection	5.27

*Only Top 20.

소, 대기 등으로 구분되었으며, 그린인프라를 적용할 수 있는 대상지는 도시, 공원, 지역, 녹지 등의 공간단위 범주가 높게 도출되었다(Table 4 참조). 또한, 그린인프라를 적용하기 위한 방법의 측면에서 분석, 계획, 평가, 개발, 관리 등의 키워드가 도출되었으며, 이와 함께 생태적 측면, 정책적 관리, 기술, 리질리언스 등도 빈도 있게 나타났다. 이외에도 TF-IDF 값이 높지는 않았으나, 습지대, 녹지대, 벽면 등의 공간 범주와 수분 등의 키워드가 미세먼지 저감을 위한 방안으로 유의미한 값을 보여주었다.

2. 중심성 분석

중심성 분석을 통해 그린인프라의 적용방안 측면에서 해결해야 할 환경문제, 대상 공간, 적용 방법에 맞춰 정리한 결과(Table 5 참조), 근접 중심성 분석에서는 환경문제('미세먼지', '환경', '대기', '농도' 등), 대상 공간('도시', '공원', '지역', '녹지'

등), 적용 방법('분석', '계획', '관리', '조성' 등), 조화 중심성 분석에서는 환경문제('미세먼지', '환경', '개발', '대기' 등), 대상 공간('도시', '공원', '녹지', '지역' 등), 적용 방법('분석', '계획', '관리', '활용' 등)으로 나타났다. 또한, 매개 중심성 분석에서 도출된 주요 단어는 환경문제('미세먼지', '환경', '먼지', '농도' 등), 대상 공간('도시', '공원', '녹지', '지역' 등), 적용 방법('분석', '계획', '관리', '그린뉴딜' 등), 연결 정도 중심성 분석에서는 환경문제('미세먼지', '환경', '개발', '농도' 등), 대상 공간('도시', '공원', '녹지', '지역' 등), 적용 방법('분석', '계획', '관리', '활용' 등)이었다.

한편, TF-IDF 결과와 비교하였을 때, 매개 중심성 분석에서 비교적 '그린뉴딜', '유휴부지' 등의 단어가 높게 나왔는데, 이는 출현 횟수는 비교적 적었지만, '그린뉴딜', '유휴부지'가 다른 단어들을 연결하는 중심적인 역할을 하는 요인임을 알 수 있었다.

Closeness centrality			Harmony centrality			Betweenness centrality			Degree centrality		
Problem	Site	Solution	Problem	Site	Solution	Problem	Site	Solution	Problem	Site	Solution
Particular matter	City	Analysis	Particular matter	City	Analysis	Particular matter	City	Analysis	Particular matter	City	Analysis
Environment	Park	Plan	Environment	Park	Plan	Environment	Park	Plan	Environment	Park	Plan
Atmosphere	Area	Management	Development	Green area	Management	Dust	Green area	Management	Development	Green area	Management
Concentration	Green area	Creation	Atmosphere	Area	Utilization	Concentration	Area	Green new deal	Concentration	Area	Utilization
Land	Space	Utilization	Concentration	Ecology	Evaluation	Development	Ecology	Vacant land	Atmosphere	Ecology	Facility

3. 연관어 분석

지, 가로녹지 등), 가로수 등 총 13개 단어들을 중심으로 연관어 분석을 실시한 결과는 Figure 2와 같다.

주요 13개 단어들의 연관어를 분석한 결과, 첫째, 숲과 바람
길의 중요성이 도출되었다(Figure 3 참조). 이는 기존 선행연구
결과들에서도 주요하게 언급되고 있는데, Eom(2019)의 연구
에서는 낙남정맥을 대상으로 정맥 부근의 찬공기 특성을 분



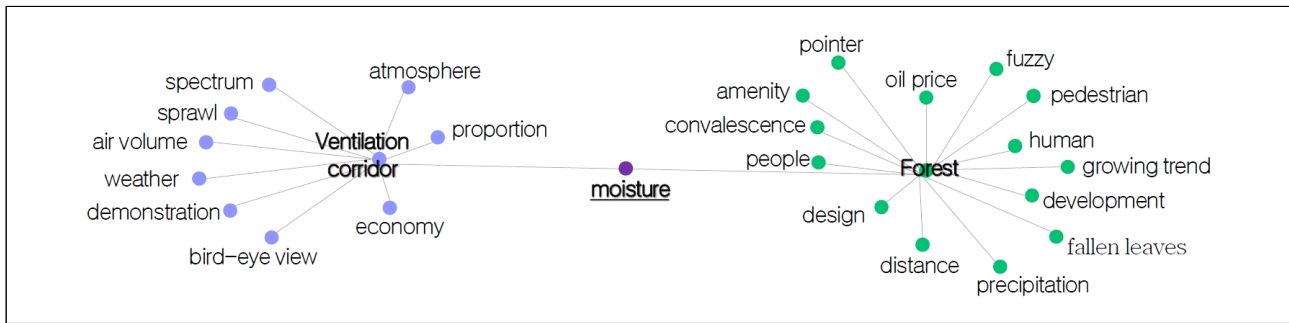


Figure 3. Network analysis of ventilation corridor and forest

석하여 바람길 연계방안을 제시하면서 산림, 즉 숲의 식생 및 지역적 특성을 고려한 바람길 조성의 중요성을 시사했다. 기존의 바람길 조성은 주로 열섬현상 완화에 초점을 맞추었으나, 최근 미세먼지 농도가 심각해짐에 따라 대기오염물질을 빠르게 확산시킬 수 있는 바람길 조성 계획의 중요성이 주요하게 고려되고 있는 것이다(Park *et al.*, 2020). 특히, 산, 숲, 골짜기에서 하강하는 신선한 공기를 도시로 유입시키기 위한 식재 및 건축물 배치 방안을 제시함으로써 도시 단위에서의 바람길 조성에 따른 미세먼지 저감효과를 검증하였다(Nam *et al.*, 2020). 이는 결과적으로 인공적인 열 확산과 수분 증산, 태양열을 차단할 수 있는 녹지의 면적 증가가 필요하며(Qiu *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2018), 식생이 갖는 수분의 상태를 고려하여 건조하지 않는 환경을 조성하도록 하는 것이 중요함을 시사한다(Ozolincius *et al.*, 2005; Nowak *et al.*, 2006). 즉, 미세먼지 저감을 위해서는 그린인프라 중에서 바람길과 숲의 요소를 계획해야 하며, 그 과정에서 '수분'이 주요 역할을 할 것으로 유추할 수 있다.

한편, 바람길 조성을 위해서는 주변의 수환경 분석이 동시에

이루어져야 하는데, 이는 공기의 흐름이 하천의 흐름에 크게 영향을 받기 때문이다(Eom, 2019b; Eom *et al.*, 2019). 특히 바람길은 숲 등의 면적 형태가 아닌, 네트워크 형태로 구축되기 때문에 유역 단위의 찬 공기 특성에 대한 분석이 동시에 이루어질 필요가 있다.

둘째, 미세먼지 흡입을 위한 방안으로써 유희부지 활용방안의 필요성과 수목의 중요성이 시사되었다(Figure 4 참조). 이는 기존 연구들에서 언급한 유희부지 내 미세먼지 저감을 위한 숲 조성시, 침엽수림 및 활엽수림의 식재가 중요하다는 것과 연결된다(Kim and Oh, 2019). 즉, 미세먼지 저감을 위한 방안으로 유희부지가 '흡입구'의 역할을 할 수 있을 것으로 예측된다. 선행연구들에서는 식재와 연계된 유희부지의 유형과 활용방안을 다양하게 제시했다. 특히 미세먼지 저감을 위한 식재공간으로서 대표적인 유희공간의 유형은 '저층주거지 개별 필지의 유희공간', '아파트 단지 내 유희공간', '공공가로 공간 내 유희공간' 등으로 구분되었다(Seoul National University Industry-Academic Cooperation Foundation, 2016). 관련 연구에서 유희공간의 활용방안으로 '저층 주거지 개별 필지의 유희공간'

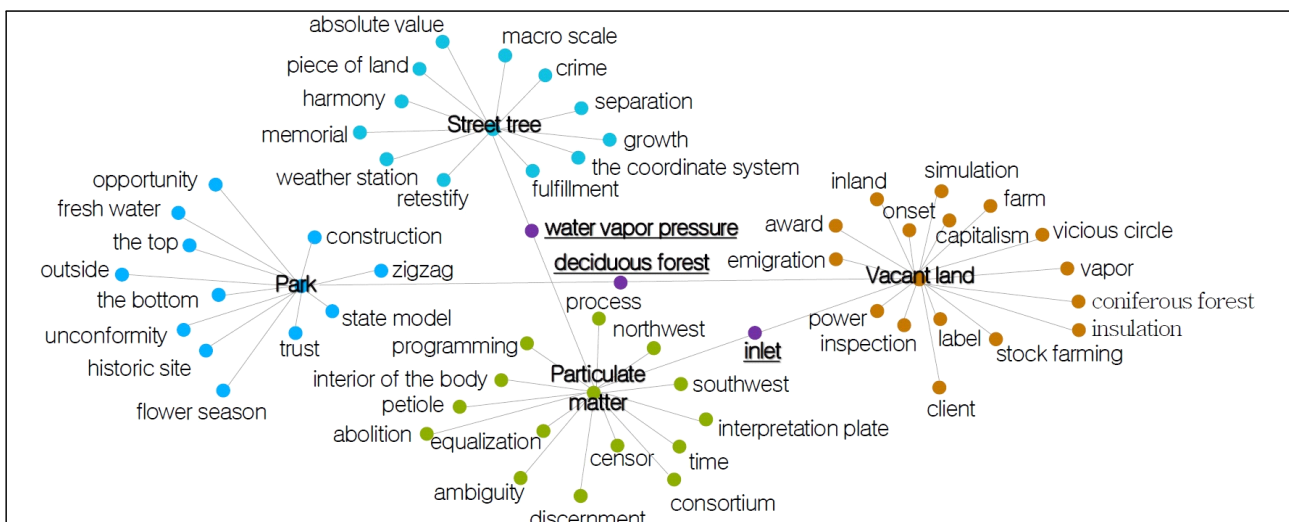


Figure 4. Network analysis of street tree, park, particulate matter and vacant land

은 식재 공간과 빗물저장 및 에너지 관련 시설물 공간, 정원 및 텃밭, 옥상녹화 등, '아파트 단지 내 유휴공간'은 아파트 내·외부 경계에 추가 녹지 조성 및 옹벽 녹화 등을 제안했다. 또한, '공공가로 공간 내 유휴공간'은 차선 폭 변경이 가능한 지역 일 경우에는 보도를 넓히고, 가로수의 추가 식재 등의 필요성을 언급했다. 이외에 도시 내 소규모 자투리 공간의 녹화, 폐철도 유휴부지의 선형공원화 등을 통해 시민들의 녹지 접근성을 향상시킨 사례들이 있었다(Kwon *et al.*, 2020). 한편, 유휴부지를 공원화할 경우, 활엽수림의 식재가 필요함이 시사되었는데, 이는 선행연구(Jung, 2018)에서 미세먼지 저감에 효과적인 잎의 형태는 활엽수보다는 침엽수로 보고되었으나, 침엽수림과 함께 활엽수를 병행하여 식재하는 것이 좀 더 효율적인 미세먼지 저감방안이 될 수 있음을 의미한다고 볼 수 있다.

이와 함께 미세먼지 저감에 있어 수목의 중요성이 도출되었다. 이는 나무는 증산작용을 통해 수분을 증증기로 방출하여 열섬 효과를 완화하는 것으로 알려져 있는데(Wang and Akbari, 2016), 가로수와 같은 도시 수목은 열섬 효과뿐만 아니라, 미세먼지도 저감할 수 있음을 재확인한 부분이다(Vailshery *et al.*, 2013). 가로수는 미세먼지 주요 배출원인 도로에 인접하여 식재됨에 따라 가로녹지의 미세먼지 저감효과를 규명하는 연구들과 함께 그 중요성을 언급하는 연구들이 다수 진행되었다. 선행연구들에서 도로변 가로녹지는 도로와 건물 사이에서 미세먼지 농도에 영향을 미치는 주요 요인임을 밝히고 있으며(Hong *et al.*, 2018; 2020), 바람길 차단 시 정체된 미세먼지 증가는 수목의 수분 부족을 야기, 스트레스 증가로 인해 결과적으로 대기 오염 피해에 취약해질 수 있다고 보고 있다(Woo *et al.*, 2004). 이는 가로수와 미세먼지의 연관어로 '수증기압'이 도출되었다

는 점에서 수목의 수분 상태를 고려한 환경 조성이 중요함을 알 수 있는 대목이며, 미세먼지에 대응하기 위한 수목 관리계획 방안에 있어 주요하게 고려해야 되는 부분으로 판단된다.

셋째, 미세먼지 저감 기술의 도입과 시스템 이해에 대한 중요성이 시사되었다(Figure 5 참조). 이는 녹지와 불투수성, 콘크리트, 방수층 등이 연관성 있게 나오고, 녹지와 그린뉴딜과의 연관성에서 '침출수'가 도출되었다는 점에서 투수성 포장재 등 미세먼지 저감 기술에 대한 중요성과 함께 전체 시스템을 이해하고 접근하는 방안이 필요하다고 볼 수 있다. 예를 들어, 투수성 포장재는 하부의 기반과 포장재의 공극, 열환경 등에 복합적으로 영향을 받기 때문에(Lee and Ahn, 2018), 투수성 포장재 기법을 활용하기 위해서는 통합적인 시스템 접근 하에서 기술 도입이 필요하다. 이는 자연기반솔루션(nature-based solution, NBS), 저영향개발 등과 연계하여 그 중요성이 더 높아질 것으로 예상되며, 나아가 재난에 대비하는 효과적인 방안이 될 수 있을 것이다. 그린인프라와 유사한 개념인 자연기반솔루션은 미세먼지 대응뿐만 아니라, 우수관리, 기후변화 대응 등 다양한 환경 문제를 해결하기 위해 정책 및 연구에서 활용되는 경향을 보였다(Hyeon, 2020). 저영향개발은 그린인프라의 물순환 회복 기능 측면에서 홍수 대응을 위한 물순환 선도 도시(광주, 대전, 울산, 김해, 안동)에 적극적으로 도입되었으며, 아산탕정도시 등 도시 차원의 계획에서 실현되기도 하였다. 또한, 2014년부터 서울시 조례(서울특별시 물순환 회복 및 저영향개발 기본 조례)에 저영향개발에 대한 규정을 도입하기도 하였는데(Hyeon, 2020), 이는 도시 물순환 회복을 통한 단기적인 홍수 대비, 우수관리 효과뿐만 아니라, 식생을 포함한 도시생태계의 건강성을 높임으로써 결과적으로 미세먼지 저감을 포함한 기후변화

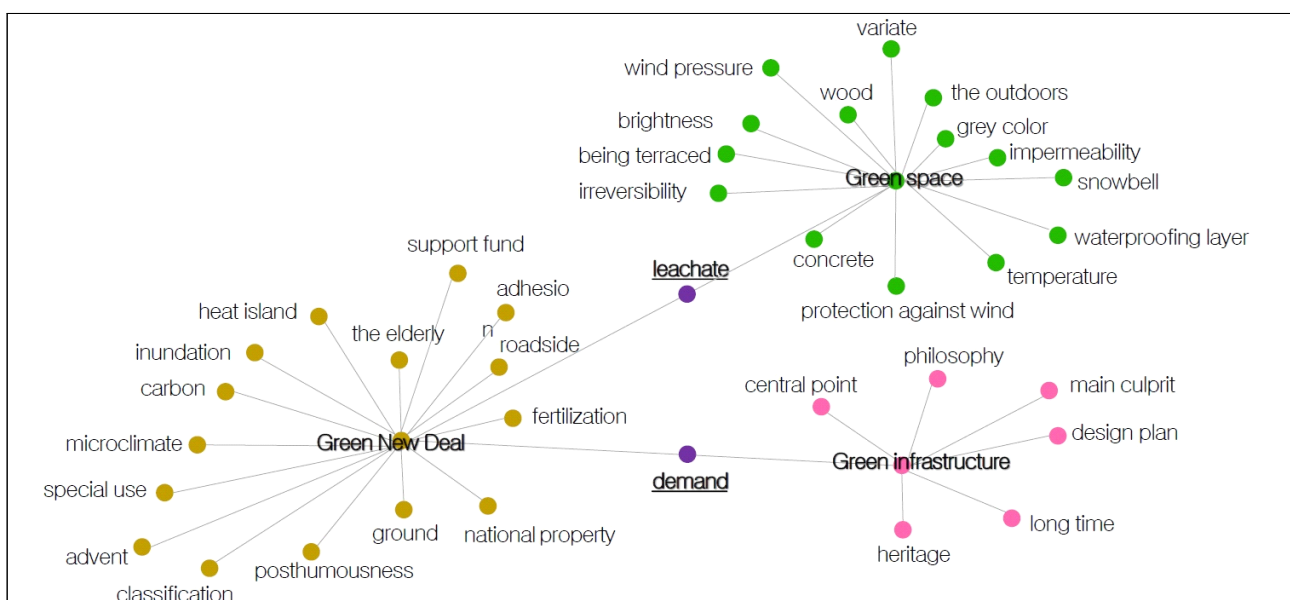


Figure 5. Network analysis of green new deal, green space, and green infrastructure

대응에 직·간접적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다 (Kim and Zoh, 2015).

또한, 에너지 요구량 절감, 에너지 저감효과와 연계된 녹색 공간의 조성이 미세먼지 저감을 위한 방안이 될 수 있음이 시사되었는데, 이는 선행연구 결과에서도 그린인프라가 그린뉴딜을 위한 대안이 될 수 있음을 언급하였다는 점에서 유의미한 결과라고 볼 수 있다(Park *et al.*, 2020). 즉, 미세먼지와 같은 재해에 대응하여 그린뉴딜을 실현시키기 위한 실천적인 방안이 곧 그린인프라를 조성하고 확대하는 것이라는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 그린인프라는 저탄소 녹색 성장 사회로 이행하는 과정에서 도시의 소생활권 녹지를 확대하고, 생태적 연결성을 증진하며, 탄소배출 감축을 통해 열섬현상 완화 및 미세먼지 배출을 감소시키는 등의 역할을 할 것으로 기대한다(Yu and Kim, 2020; Yu *et al.*, 2020).

한편, 그린뉴딜과 함께 미기후, 침수, 열섬 등의 환경문제가

연관성이 높은 것으로 나타남에 따라 지속가능한 그린뉴딜을 위해서는 미세먼지뿐만 아니라, 미기후 조절, 침수 예방, 열섬 효과 완화 등 다기능성의 측면에서 복합적으로 그 효과를 나타낼 수 있는 그린인프라의 계획 및 조성이 이루어져야 할 것이다(Kim *et al.*, 2020a; Lee, 2020). 특히, 그린뉴딜을 위한 그린인프라를 구축할 때에는 생태서식처 보전, 온실가스 감축, 기후변화 대응, 열섬현상 완화 등 다양한 환경문제와 열섬현상 완화, 재해 대응 등 다양한 기능을 고려해야 할 것이다(Park *et al.*, 2020).

4. 토픽 모델링 분석

그린인프라, 미세먼지 관련 자료들을 대상으로 토픽 모델링 분석을 수행한 후 결과, 16개의 유의미한 토픽이 도출되었다(Figure 6 참조). 주요 단어에 기반하여 토픽을 명명하였으며,

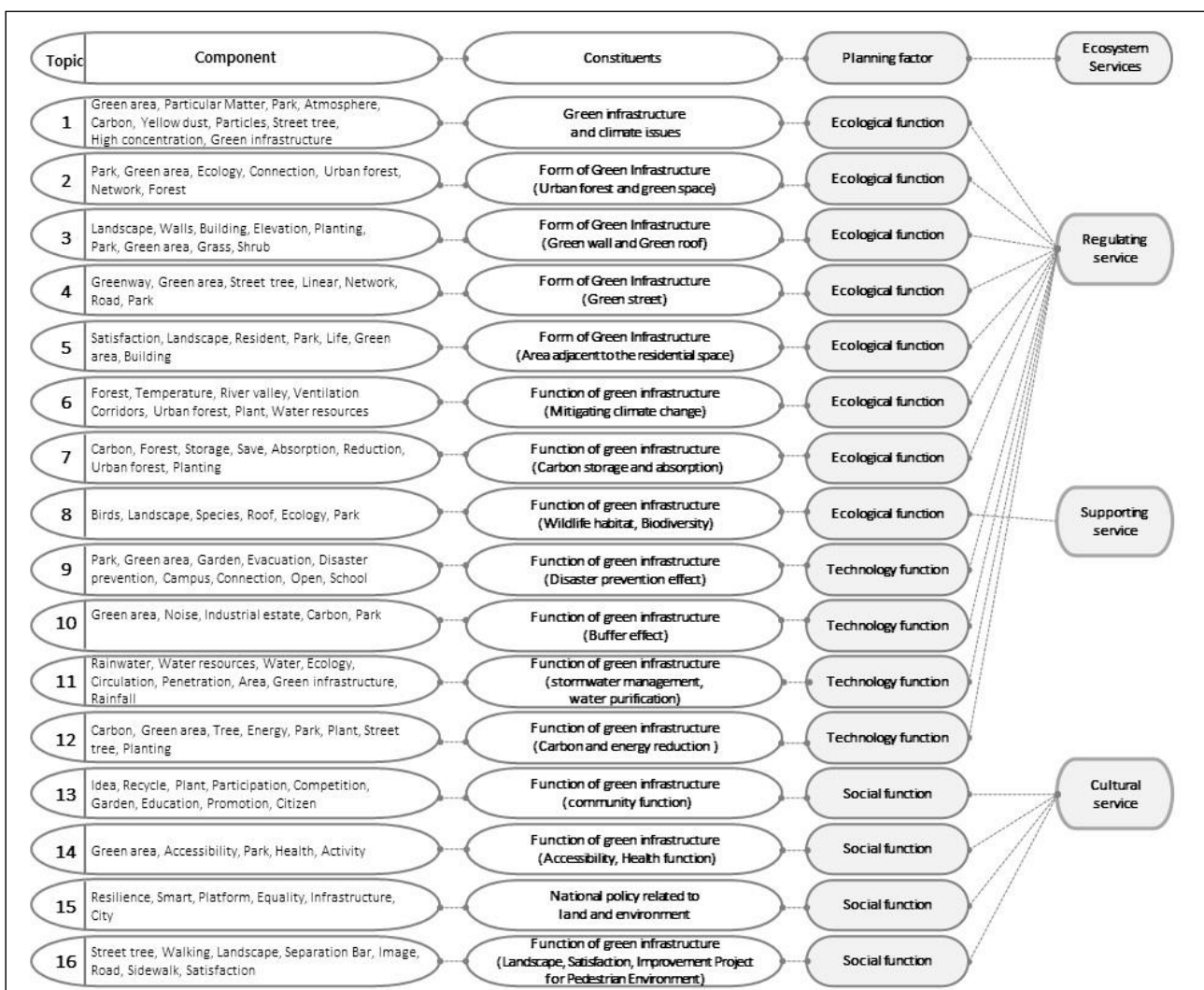


Figure 6. Results of topic modeling analysis

생태적·기술적·사회적 기능을 중심으로 분류하였다. Topic 1은 '녹지', '미세먼지', '공원', '대기', '탄소', '황사', '입자', '고농도', '그린인프라', '가로수' 등이 도출되었으며, 이는 '그린인프라와 기후 문제'로 명명하였다. 이를 통해 그린인프라의 관점에서 미세먼지 저감을 위해 근본적으로 해결해야 되는 주요 환경문제는 미세먼지, 황사, 탄소, 고농도, 입자, 대기 등으로 볼 수 있으며, 공원, 녹지 등이 해결안이 될 수 있음을 확인할 수 있었다. Topic 2~Topic 8은 그린인프라의 형태 및 생태적 기능과 관련된 토픽들이 분류되었다. 각각 Topic 2는 도시림 및 녹지공간, Topic 3은 벽면녹화 및 옥상녹화, Topic 4는 선형녹화, Topic 5는 주거공간 인접 형태, Topic 6은 기후 조절, Topic 7은 탄소 저장 및 흡수, Topic 8은 야생동물의 서식처 제공 및 생물다양성으로 명명되었다. Topic 9~Topic 12는 그린인프라의 기술적 기능 측면에서 분류되었으며, 각각 Topic 9는 방제 효과, Topic 10은 완충 효과, Topic 11은 우수관리 및 수질정화, Topic 12는 탄소 및 에너지 저장 등으로 명명되었다. Topic 13~Topic 16은 그린인프라의 사회적 기능 측면과 관련된 토픽이며, 각각 Topic 13은 커뮤니티 기능, Topic 14는 접근성 및 건강 기능, Topic 15는 국토 및 환경 관련 국가정책, Topic 16은 경관성 및 만족도, 보행환경 개선 기능으로 분류 및 명명되었다.

토픽 모델링 결과를 바탕으로 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획요소를 분석한 결과, 해결해야 되는 주요 환경문제는 미세먼지, 황사, 기후, 환경, 탄소 등 문제 해결을 위한 대상으로는 도시림, 녹지공원, 벽면녹화, 옥상녹화, 선형녹화 등의 공간적 범주, 해결 방법으로는 그린인프라의 생태적 기능, 기술적 기능, 사회적 기능 등을 통해서 가능할 것임이 도출되었다. 먼저 생태적인 측면에서의 토픽은 대상의 측면에서 크게 두 가지를 구분해 볼 수 있다. 하나는 도시림이나 녹지공간 등을 조성함으로써 미세먼지에 대응할 수 있는 공간을 조성하는 것이며, 다른 하나는 기존의 주거지역 및 상업지역과 같은 공간에 벽면녹화, 옥상녹화, 선형녹화 등을 실시하거나, 주거공간과 인접하여 녹화를 함으로써 미세먼지에 대응할 수 있는 공간 조성이 요구되는 것이다. 이에 대한 구체적인 계획은 Topic 1~Topic 5에 도출되어 있으며, 이를 계획요소로 활용할 수 있을 것이다. 그외 도출된 토픽들은 그린인프라의 기능 또는 혜택 측면에서 기존의 생태계 서비스 개념과 연결하여 계획요소로 제안할 수 있는데, 먼저, 생태적 측면에서 기후조절과 탄소저장 및 흡수는 생태계 서비스의 조절서비스 측면으로 분석할 수 있다. 조절서비스를 향상시키기 위한 계획 시 Topic 6~Topic 7의 내용을 바탕으로 활용 가능하며, 토픽 내의 키워드들은 조절서비스를 향상시키기 위한 주요 계획으로써 초점 혹은 목표로 두어야 하는 요소로 활용될 수 있다. 한편, Topic 8은 생태계 서비스의 지원서비스 측면에서 계획요소로 활용될 수 있다.

기술적인 측면에서의 Topic 9~Topic 12도 조절서비스 측면

에서의 그린인프라 기능을 부각한 계획요소로 볼 수 있다. 하지만 앞선 생태적 측면에서의 키워드와는 달리, 해당 토픽 내의 키워드들은 조절서비스를 향상시키기 위한 구체적인 기술 측면에서 계획요소로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

사회적 측면에서의 Topic 13~16은 생태계 서비스의 문화서비스 측면에서 계획요소로 활용될 수 있다. Topic 13과 Topic 14에서는 문화서비스 향상을 위한 계획에서 초점 혹은 목표로 두어야 하는 요소로 인식되며, Topic 15와 Topic 16의 키워드들은 문화서비스 증진을 위한 구체적인 계획요소로 활용이 가능할 것이다.

5. 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획요소의 방향

미세먼지의 저감을 위한 그린인프라와 관련된 연구들은 미세먼지뿐만 아니라, 다기능성의 측면에서 탄소, 기후변화, 미기후 조절과 같은 환경적인 영향에 대응하기 위해 공원이나 녹지 등의 공간이 나아가야 할 시사점을 제공한다(Kang *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2014). 이때 대응 과정에서는 단순한 정책이나 기술적인 방안뿐 아니라, 리질리언스나 지속가능성과 같이 개념적인 키워드에 초점을 둘 필요성이 있다. 이는 물리적이거나 환경적인 키워드 외 개념적인 요소에 기반한 키워드들이 미세먼지 대응을 위한 그린인프라 조성 방식 및 계획 수립 과정에 있어서 방향성을 제시해 줄 수 있기 때문이다(Kang *et al.*, 2011; Choi and Seo, 2018; Lee *et al.*, 2018; Vargas-Hernández and Zdunek-Wielgońska, 2021). 즉, 미세먼지를 해결하고자 하는 대상 공간이나 적용 방법에 초점을 두고 그린인프라 계획을 수립할 필요가 있으며, 이를 위해서는 중심성 분석의 방법이 중요하게 작용할 수 있다. 미세먼지라는 주요 키워드를 중심으로 그린인프라 계획에 필요한 주요 문제, 공간, 대응책으로써의 요소들을 효과적으로 이해할 수 있기 때문이다. 이는 앞선 결과들을 통해 그린인프라를 조성하기 위한 주요 대상 공간은 도시, 공원, 녹지, 생태공간 등, 주요 적용 방법으로는 계획, 관리, 시설 등과 연계한 방안이 활용될 수 있을 것이다. 나아가 유희부지 활용과 그린뉴딜 실현을 위한 그린인프라 조성은 결과적으로 미세먼지 저감을 위한 방안이 될 것이며, 이때 NbS, 저영향 개발 등이 연계될 필요성이 있음이 시사되었다.

미세먼지 및 그린인프라 관련 선행연구들을 대상으로 TF-IDF, 연관어 분석 등의 결과를 종합적으로 고찰한 결과, TF-IDF는 낮았으나, 연결망에서 주요 중심점 역할을 하는 매개 단어들이 도출되었다(Figure 7 참조). 도출된 주요 단어는 '기준', '기능', '형태', '개발', '관리' 등으로 이는 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획요소를 도출하는 과정에서 미세먼지 저감 기준의 설정과 그린인프라의 기능 및 형태를 결정짓는 것이 중요함을 의미한다고 볼 수 있다. 나아가 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획 단계에서 '개

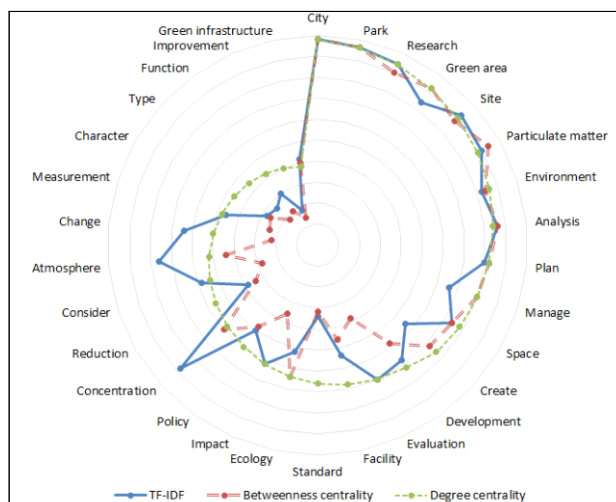


Figure 7. Results of comparison between related TF-IDF analysis and centrality analysis

발' 방향과 '관리' 방안을 마련하는 것은 결과적으로 미세먼지 저감을 위한 생태적 기능, 기술적 기능, 사회적 기능 측면에서의 핵심방안이 될 수 있을 것으로 사료된다.

또한, 연결성은 높게 나왔지만, 매개가 낮게 나온 단어로 '시설', '영향', '특성', '측정', '형태' 등의 단어가 도출되었다. 이는 그린인프라의 형태나 미세먼지 저감 시설 등은 국지적 범위에서는 미세먼지 저감을 위한 주요 계획요소로 작용하지만, 궁극적으로 미세먼지 저감을 위해서는 이외의 요소들이 주요한 영향을 미칠 것으로 유추되는 점이다. 즉, TF-IDF 분석, 매개 중심성 분석, 연결 정도 중심성 분석에서 그 순위가 모두 높게 나온 공원, 녹지, 환경 등의 단어들이 그 해답이 될 것으로 판단되며, 중심성 분석 결과 역시, 이를 뒷받침한다.

한편, 미세먼지 및 그린인프라와 관련된 연구들에서 '대기', '농도'가 자주 언급되고 있으나, 매개 중심성 분석과 연결 정도 중심성 분석에서 중요도가 낮게 나온 바, 그린인프라 조성 시 미세먼지 농도 등은 중요하지 않을 것으로 예측된다. 이는 최근 미세먼지 농도가 낮아도 사망률이 높아질 수 있다는 연구(Di *et al.*, 2017; Ahn *et al.*, 2018; Cong *et al.*, 2019)에서와 같이 미세먼지 관리는 고농도 저감에서 나아가 노출 저감 측면에서의 해결방안이 이루어져야 할 것으로 사료된다. 결과적으로 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 조성 시 미세먼지 노출을 저감해 주는 방향으로 계획이 이루어질 필요성이 있으며, 이때 미세먼지에 노출되는 시간, 노출 대상 등에 대한 고려가 요구된다.

V. 결론

본 연구는 도시에서 발생할 수 있는 재난 및 재해 중 하나인

미세먼지에 중점을 두고, 텍스트 마이닝 방법을 통해 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획요소를 도출하였다. 연구결과는 첫째, TF-IDF 및 중심어 분석 결과로 그린인프라를 계획하는데 있어 해결해야 하는 주요 환경문제(미세먼지, 환경, 탄소, 대기, 황사 등)와 해결하기 위한 대상 공간(도시, 공원, 지역, 녹지, 유희부지 등), 적용 방법(분석, 계획, 평가, 개발, 생태적 측면, 정책적 관리, 기술, 리질리언스 등)이 도출되었다. 둘째, TF-IDF 및 중심어 분석을 비교, 미세먼지와 그린인프라의 연결 단어로 '그린뉴딜', '유희부지'가 중요하게 도출되었다. 셋째, 연관어 분석 결과, 미세먼지 저감에 있어 숲과 바람길의 중요성과 함께 수분 고려의 필요성이 도출되었다. 또한, 유희공간 활용과 혼효림의 중요성, 미세먼지 저감 기술의 도입과 시스템의 이해에 대한 중요성을 확인하였다. 이는 결과적으로 그린뉴딜을 위한 실천적 방안으로써 그린인프라가 그 기능을 할 수 있음을 시사했다. 넷째, 토픽 모델링 분석 결과, 그린인프라의 생태적 기능, 기술적 기능, 사회적 기능 측면에서의 계획요소들이 도출되었다. 생태적 기능의 계획요소는 도시림, 녹지, 벽면 녹화, 선형녹화 등 그린인프라의 형태적인 부분과 기후 조절, 탄소저장 및 흡수, 야생동물의 서식처와 생물 다양성 제공 등의 기능적인 부분이 도출되었다. 기술적 기능의 계획요소는 그린인프라의 방재 기능, 완충 효과, 우수관리 및 수질정화, 에너지 저감 등이 분류되었으며, 사회적 기능의 계획요소는 지역사회 커뮤니티 기능, 이용객의 건강성 회복, 경관 향상 등의 기능으로 분류되었다. 분류된 각 토픽들은 그린인프라의 기능 및 혜택 측면에서 생태계 서비스와의 개념 연결을 통해 계획요소로 제한할 수 있었다. 제한 결과, 생태적 기능은 조절 서비스와 지원 서비스 향상, 기술적 기능 측면에서는 조절서비스 향상, 사회적 기능 측면에서는 문화서비스 향상과 연계하여 계획요소로 구성할 수 있었다.

이와 같은 연구결과는 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획 시 리질리언스 및 지속가능성 등과 같은 개념적 키워드에 초점을 두고 접근할 필요성이 있다. 나아가 향후 미세먼지 저감 측면에서 그린인프라를 계획할 때에는 미세먼지 노출을 최소화하는 측면에서 그린인프라 계획요소의 적용이 필요함을 시사했다. 연구는 텍스트를 통해 구조적 관계를 이해하고, 그동안 파악하지 못했던 주요 의미와 관계를 파악했다. 이는 설문지 및 인터뷰에서 발생할 수 있는 연구자의 주관적 의견 반영 등과 같은 오류를 줄이고, 보다 더 객관적 접근을 시도하였다는 점에서 의미가 있다. 또한, 논문 및 보고서의 제목과 주요 키워드만을 대상으로 한 것이 아닌, 본문의 데이터도 함께 활용하였다는 점에서 보다 다양한 정보들을 분석에 활용함에 따라 그동안 파악하지 못했던 단어들 간의 관계 등 유의미한 결과를 도출해 낼 수 있었다.

다만, 텍스트 마이닝을 활용한 분석은 방법론의 특성상 그린

인프라의 계획요소로 도출된 키워드들의 관계만을 도출해 낼 수 있기 때문에 구체적인 그린인프라의 계획요소를 적용하거나, 실증하는 과정에서는 계층분석법(analytic hierarchy process: AHP)이나, 설문조사, 인터뷰 등과 같은 추가적인 방법론들이 연계되는 과정이 필요할 것으로 사료된다. 이는 텍스트 마이닝이 갖고 있는 근본적인 한계를 보완하기 위한 것으로 심층적 설문 및 인터뷰 등의 과정을 통해 문장이나 단락에서 단어들이 갖는 의미를 파악하는데 기여할 수 있다(He, 2013). 또한, 본 연구에서는 텍스트 마이닝 분석을 위한 단어 선정 과정에서 전문가 의견 수렴 등을 통해 진행되었으나, 선정 과정에서 '리질리언스'의 용어뿐 아니라, '회복력', '회복탄력성' 등의 용어를 추가하지 못했다는 한계가 있었다. 이에 추후 연구에서는 분석을 위한 단어 선택의 과정을 고도화함으로써 연구결과의 질을 높일 필요성이 있다. 나아가 여러 텍스트 마이닝 기법 간의 비교, 분석뿐만 아니라, 문장이나 단락을 구분하여 분석한 연구결과를 비교, 분석하는 과정을 통해 연구결과의 신뢰성을 높일 필요성이 있을 것으로 사료된다.

한편, 일부 불필요한 단어가 도출된 것은 한국어의 자연어처리 과정에서 발생한 문제점으로 판단되며, 이는 한국어의 다양한 의미를 분석에 반영하지 못했기 때문으로 인식된다. 향후 연구에서는 단어들의 품사(명사, 형용사 등)를 한정하거나, 자연어처리 과정에서 섬세한 검토 과정을 통해 정확도를 높일 수 있는 방안이 선행되어야 할 것이다. 이를 위해서는 다국어 텍스트 문서를 처리할 수 있는 알고리즘 개발도 함께 진행되어야 할 것이다(Tan, 1999). 또한, 본 연구에서는 보고서, 논문, 법률 등을 대상으로 분석하는 것에 그쳤지만, 향후 연구에서는 SNS 등 비정형화된 데이터, 즉 미세먼지를 인식하고 느끼는 사람들의 감정까지도 수집하여 분석하는 과정을 통한다면 보다 실효성 있는 미세먼지 저감 그린인프라 계획 정책을 수립하는데 기여할 수 있을 것이다.

본 연구의 결과는 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획 및 회복력 있는 사회 조성을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대하며, 다양한 정부 부처의 R&D 과제 혹은 정책 과정에서 활용되고 있는 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획요소들을 비교·검토한 후, 도입이 필요한 요소들을 효과적으로 제안하고, 홍보하는데 참고자료로 이용될 수 있다. 대표적으로 미세먼지 저감을 위한 그린인프라 계획요소를 제안하는데 있어 그동안 인식이 낮았던 투수성 포장재 등 소재의 중요성과 기술 시스템에 대한 이해의 중요성 및 도입의 필요성을 알리는 데 기여할 수 있을 것이다.

References

1. Ahn, J. H., Y. J. Bae, J. E. Shin, M. H. Lee and S. M. Nam(2018) Guidebook of Particulate Matter Behavior to Recover a

- Healthy Breath. Report of the Korean Federation for Environmental Movement and LINA Foundation.
2. 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.
3. Bae, C. Y., C. Park, S. H. Kil, I. K. Choi and D. K. Lee(2012) Analysis of urban runoff with LID application - Focused on green roofs and permeable paver, *Journal of Korea Planning Association* 47(6): 39-47.
4. Bae, G. N. and J. Y. Park(2017) Data-Based Future Strategy Policy Support Project. Report of Korea Information Society Agency.
5. Baek, S. K. and K. H. Park(2014) Associations between characteristics of green spaces, physical activity and health -Focusing on the case study of Changwon city, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 42(3): 1-12.
6. Benedict, M. A. and E. T. McMahon(2002) Green infrastructure: Smart conservation for the 21st century, *Renewable Resources Journal* 20(3): 12-17.
7. Borgatti, S. P., A. Mehra, D. J. Brass and G. Labianca(2009) Network analysis in the social sciences, *Science* 323(5916): 892-895.
8. Byeon, J. S.(2017) The shift of paradigm to build parks - Focused on the role to build park for health care -. *Journal of the Korea Landscape Council* 9(1): 30-40.
9. Cho, S. B., H. S. Lee, J. K. Lee, S. H. Park, H. D. Kim, M. J. Kwak and S. Y. Woo(2020) Air Pollution Tolerance Index (APT) of main street trees following ozone exposure, *Journal of Korean Society of Forest Science* 109(1): 50-61.
10. Choi, H. and Y. A. Seo(2018) Design strategies and processes through the concept of resilience, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 46(5): 44-58.
11. Choi, H. S.(2015) The potential of the green roofs as an ecological space - Focusing on the results of monitoring research -. *Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design* 16(6): 119-132.
12. Choi, J. M., Y. N. Kim and D. C. Park(2018) A study on the desirable direction for Korean community gardens, *Journal of The Residential Environmental Institute of Korea* 16(1): 83-104.
13. Cong, L., R. Chen, F. Sera, A. M. Vicedo-Cabrera, Y. Guo, S. Tong, M. S. Coelho, P. H. Saldiva, E. Lavigne, P. Matus, N. V. Ortega, S. O. Garcia, M. Pascal, M. Stafoggia, M. Scortichini, M. Hashizume, Y. Honda, M. Hurtado-Díaz, J. Cruz, B. Nunes, J. P. Teixeira, H. Kim, A. Tobias, C. Íñiguez, B. Forsberg, C. Åström, M. S. Ragettli, Y. L. Guo, B. Y. Chen, M. L. Bell, C. Y. Wright, N. Scovronick, R. M. Garland, A. Milojevic, J. Kyselý, A. Urban, H. Orru, E. Indermitte, J. J. Jaakkola, N. R. Rytí, K. Katsouyanni, A. Analitis, A. Zanobetti, J. Schwartz, J. Chen, T. Wu, A. Cohen, A. Gasparrini and H. Kan(2019) Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities, *The New England Journal of Medicine* 381(8): 705-715.
14. Connelly, R., C. J. Playford, V. Gayle and C. Dibben(2016) The role of administrative data in the big data revolution in social science research, *Social Science Research* 59: 1-12.
15. Di, Q., L. Dai, Y. Wang, A. Zanobetti, C. Choirat, J. D. Schwartz and F. Dominici(2017) Association of short-term exposure to air pollution with mortality in older adults, *Journal of the American Medical Association* 318(24): 2446-2456.
16. Environmental Protection Agency(2007) Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development(LID) Strategies and Practices, Report of Environmental Protection Agency.
17. Eum, J. H.(2019) Management strategies of local cold air in Jeongmaek for utilizing urban ventilation corridor - A case study of the Nak-nam Jeongmaek -. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 22(1): 154-167.

18. Eum, J. H.(2019) Strategies for utilizing urban ventilation corridor considering local cold air in watershed areas - A case study of Uijeongbu and Gwacheon -. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 22(2): 133-151.
19. Eum, J. H., J. H. Oh, J. M. Son, K. Kim, J. B. Baek and C. Yi(2019) Analysis schemes of wind ventilation forest types -A case study of Daegu Metropolitan City. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 22(4): 12-23.
20. European Commission(2010) Green Infrastructure, Luxembourg: EU Publications Office.
21. Forest Research(2010) Benefits of Green Infrastructure, Research Report to Forest Research.
22. Foster, J., A. Lowe and S. Winkelman(2011) The value of green infrastructure for urban climate adaptation, Center for Clean Air Policy 750(1): 1-52.
23. Freeman, L. C.(1978) Centrality in social networks conceptual clarification, Social Networks 1(3): 215-239.
24. Friedkin, N. E.(1993) Structural bases of interpersonal influence in groups: A longitudinal case study, American Sociological Review 58(6): 861-872.
25. Gam, M. A. and M. Song(2012) A study on differences of contents and tones of arguments among newspapers using text mining analysis, Journal of Intelligent Information System 18(3): 53-77.
26. Gong, H. Y., S. H. Kim, S. M. Park, S. Y. Lee, Y. G. Shin, J. H. Kil, J. C. Lee, T. B. Choi, S. A. Park, H. D. Yoon, G. Y. Shim, J. H. Go and S. G. Park(2016) A study on response of urban disaster using green infrastructure : Focused on thermoregulating Function, Research Report to National Institute of Environmental Research.
27. Han, J. I.(2020) A study on the urban competitiveness of the Korean New Deal Project in the border region, Residential Environment Institute of Korea 18(3): 97-115.
28. Han, S. M. and M. H. Lee(2017) Analysis of evaluation indicator for the development and management of sustainable and resilient City: Focusing on the goal 11 of UN sustainable developments goals(SDGs), Journal of Korean Regional Development Association 29(3): 1-24.
29. Hardin, P. J. and R. R. Jensen(2007) The effect of urban leaf area on summertime urban surface kinetic temperatures: A terre haute case study, Urban Forestry and Urban Greening 6(2): 63-72.
30. He, W.(2013) Examining students' online interaction in a live video streaming environment using data mining and text mining, Computers in Human Behavior 29: 90-102.
31. Hong, K. P., S. H. Hong, H. Y. Jin and H. Lee(2020) A study on the foundation characteristics of vertical garden, The Journal of the Convergence on Culture Technology 6(3): 301-306.
32. Hong, S. H., R. Y. Kang, M. Y. An, J. S. Kim and E. S. Jung(2018) Study on the impact of roadside forests on particulate matter between road and public openspace in front of building site - Case of openspace of Busan City Hall in Korea -. Korean Journal of Environment and Ecology 32(3): 323-331.
33. Hong, S. H., W. Tian and R. Ahn(2020) The effect of the green space in roadside and building height on the mitigation of concentration of particulate matters, Korean Journal of Environment and Ecology 34(5): 466-482.
34. Hu, Z., W. Ding and X. Zheng(2015) Review sentiment analysis based on deep learning, Proceedings of e-Business Engineering (ICEBE) 2015 IEEE 12th International Conference, Beijing: Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 87-94.
35. Huang, M., P. Cui and X. He(2018) Study of the cooling effects of urban green space in Harbin in terms of reducing the heat island effect, Sustainability 10(4): 1101.
36. Hyeon, G. H.(2020) NBSs, GI, and water, Water for Future 53(3): 21-26.
37. IQ Air(2019) 2019 World Air Ququality Report : Region & City PM2.5 Ranking, Report of IQ Air.
38. Jeong, D. Y., Y. E. Choi and J. Chon(2019) Analysis of importance in available space for creating urban forests to reduce particulate matter - Using the analytic hierarchy process -. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 47(6): 103-114.
39. Jeong, S. and T. Jung(2020) An Analysis of the Status of Open Space and Improvement Plan for the Disaster Prevention Park in Pohang City, The Korea Spatial Planning Review 3-18.
40. Jin, D. Y., S. W. Kang, H. S. Choi, K. J. Han and D. Y. Kim(2018) A Study on the Utilization of Text Mining for Climate Environmental Issues Analysis, Report of Korea Environment Institute.
41. Joo, H. S. and S. Kim(2009) Impacts of urban green spaces on air quality, The Korean Journal of Chemical Engineering 47(3): 386-393.
42. Jung O. S.(2018) Forest Business to Reduce Fine Dust around the New City, Issue Report of Chungnam Research Institute.
43. Jung, E. J., B. H. Jeong and J. M. Na(2016) A study on the sustainability and resilience of city, Journal of the Korean Regional Development Association 28(4): 87-108.
44. Jung, K. H.(2010) A study of foresight method based on textmining and complexity network analysis, Report of Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning.
45. Kang, J. E., J. H. Um, H. J. Bae, H. S. Choi and M. J. Lee(2012) Green infrastructure strategy for urban climate adaptation, Report of Korea Environment Institute.
46. Kang, J. E., M. J. Lee, Y. S. Gu, G. W. Cho and J. W. Lee(2011) Urban renewal strategy for adapting to climate change: Use of Green Infrastructure on flood mitigation, Report of Korea Environment Institute.
47. Kang, S.(2020) Exploratory analysis for the concentration of PM₁₀ air particulates and the morphological pattern of greeninfra : The case of Gyeonggi-do, GRI Review 22(4): 25-39.
48. Kang, T. S. and M. W. Lee(2014) Analysis of the regional effectiveness of urban wall-planting applied by a biotope area ratio-case of Jung-gu district in Seoul, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 42(5): 88-100.
49. Kim, A., S. H. Jeong, H. B. Choi and H. H. Kim(2018a) An analysis of effects of emergency fine dust reduction measures and national petition using regression analysis and text mining, Information Processing Society Journal 7(11): 427-434.
50. Kim, D. H., H. J. Seo and B. K. Lee(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.
51. Kim, E. J., H. S. Kim, S. B. Lee and M. G. Kang(2010) Study on the spatial planning and public policies for creating a healthy city, Report of Korea Research Institute for Human Settlements.
52. Kim, G., P. A. Miller and D. J. Nowak(2015) Assessing urban vacant land ecosystem services: Urban vacant land as green infrastructure in the city of Roanoke, Virginia, Urban Forestry and Urban Greening 14(3): 519-526.
53. Kim, G., P. Miller and D. Nowak(2016a) The value of green infrastructure on vacant and residential land in Roanoke, Virginia, Sustainability 8(4): 296.
54. Kim, H. S., S. W. Kang, J. H. Kim, H. W. Hong, J. H. Park and H. L. Lee(2020a) A strategic study to develop policy for sustainable development, Report of Korea Environment Institute.
55. Kim, J. H., S. H. Lee, M. H. Lee and Y. H. Yoon(2020b)

- Evaluation of air ion according to the distance in large flat park - Focused on olympic park in Songpa-gu, Seoul -. Korean Journal of Environment and Ecology 34(5): 491-499.
56. Kim, J. S. and S. H. Han(2019) The effect of values of nature-based outdoor recreation on environmental policy support through particulate matter risk perception and ascription of responsibility: An application of VBN. International Journal of Tourism and Hospitality Research 33(3): 5-20.
 57. Kim, J., W. Jo, J. Choi and Y. Chung(2016b) Linking findings from text analyses to online sales strategies. Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society 41(2): 81-100.
 58. Kim, K., T. and J. Song(2016) Analysis of the road network characteristics in the flood prone areas in Seoul using network centrality indices. Journal of the Korean Regional Development Association 28(3): 89-108.
 59. Kim, M. M.(2019) Scientometric analysis through centrality analysis of graph for linkage relation of keyword for elder's rehabilitation and healthcare. The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences 14(2): 447-452.
 60. Kim, N. and N. J. Lee(2021) An analysis of changes in social issues related to patient safety using topic modeling and word co-occurrence analysis. The Korea Contents Society 21(1): 92-104.
 61. Kim, S. H.(2013) A study on sustainable urban landscape design - Focused on the american society of landscape architects sustainable landscape designs -. Journal of the Urban Design Institute of Korea 14(1): 97-108.
 62. Kim, S. H. and C. H. Oh(2019) A study on the new-green space derivation in urban area for the reduction of fine dust. Proceeding of Korean Society of Environment and Ecology. Daejeon: Korean Society of Environment and Ecology. pp.59-60.
 63. Kim, S. H. and J. Nam(2016) The study on the analysis of the characteristics of each type of vacant land and the mixed land use techniques for urban regeneration. Journal of the Korean Regional Development Association 28(1): 45-66.
 64. Kim, S. H. and K. J. Zoh(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 Urban Design 16(3): 37-51.
 65. Kim, S., Y. Choi and H. Yoon(2019) The analysis of the visitors' experiences in Yeonam-dong before and after the Gyeongui Line Park Project - A text mining approach -. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 47(4): 33-49.
 66. Kim, T. H. and B. H. Choi(2020) Study on PM 10, PM 2.5 reduction effects and measurement method of vegetation bio-filters system in multi-use facility. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 48(5): 80-88.
 67. Kim, W. J., S. Y. Woo, C. R. Yoon and M. J. Kwak(2018b) Evaluation on the reduction effect of particulate matter through green infrastructure and its expansion plans. Report of Seoul Research Institute.
 68. Kim, W., I. W. Jung and J. H. Kwon(2019) Consideration for application of wind environment assessment on ecological parks in cities. Journal of Wetlands Research 21(spc): 117-122.
 69. Ko, D. and S. A. Park(2019) Study on the influences of neighborhood built environment on air pollutants in Seoul. Journal of The Korean Regional Development Association 31(1): 123-140.
 70. Koo, M. A.(2019) The relationship between particular matter reduction and space shielding rate in urban neighborhood park. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 47(6): 67-77.
 71. Korea Environmental Industry and Technology Institute(2017) Green infrastructure and climate change adaptation - Summary Analysis of European Union Reports -. Report of Korea Environmental Industry and Technology Institute.
 72. Korea Institute of Construction Technology(2017) Planning research for bus stop remodeling technology to reduce fine dust and heat island based on IoT technology. Ministry of Science and ICT Report.
 73. Kwon, I. H., K. J. Jung and S. Y. Yoo(2020) A study on the characteristics of urban linear park and the changes of neighboring area - Focused on Gyeongui-Line forest park in Seoul. Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design 21(2): 5-23.
 74. Kwon, J. W. and G. W. Kim(2019) A survey on green infrastructure design element in urban hub green - Focused on ASLA's case studies -. Journal of Environmental Science International 28(12): 1147-1156.
 75. Lee, E. S., C. W. Noh and J. S. Sung(2014a) Meaning structure of green infrastructure: A literature review about definitions. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 42(2): 65-76.
 76. Lee, H. K., and J. H. Ahn(2018) Korea green infrastructure - Introduction to the research center for low impact development and the waterproof packaging research. Geoenvironmental Engineering 19(1): 12-16.
 77. Lee, H. M., S. J. Yoo, S. M. E. Park and J. H. Chon(2018) A study on categories of green infrastructures to enhance urban resilience. Journal of Korea Planning Association 53(1): 215-235.
 78. Lee, J. H. and J. Woo(2020) Green new deal policy of South Korea: Policy innovation for a sustainability transition. Sustainability 12(23): 10191.
 79. Lee, J. H. and J. Y. Lee(2018) Selection of future promising industry in Chungnam using big data and AHP methodology. The e-Business Studies 19(6): 331-347.
 80. Lee, M. S., C. H. Lee and J. Y. Kim(2014b) Big data analysis on demands for environmental policies. Report of Korea Environment Institute.
 81. Lee, S. J., S. Yoo, B. Ham, C. H. Lim, C. Song, M. Kim and W. K. Lee(2017) Ecosystem service assessment of urban forest for water supply and climate mitigation of Seoul metropolitan area. Korean Journal of Remote Sensing 33(62): 1119-1137.
 82. Lee, S. H.(2020) Green transition policies to enhance sustainability of South Korean society. Korean Society of Spatial Environment 30(1): 79-117.
 83. Lim, S. Y., M. S. Yi, G. H. Jin and D. B. Shin(2014) A study on the research trends in the area of geospatial-information using text-mining technique focused on national R&D reports and theses. Journal of Korea Spatial Information Society 22(4): 11-20.
 84. Marsden, P. V.(2002) Egocentric and sociocentric measures of network centrality. Social Networks 24(4): 407-422.
 85. Mell, I. C.(2010) Green Infrastructure: Concepts, Perceptions and its Use in Spatial Planning. Ph.D. Dissertation, Newcastle University.
 86. Seoul National University Industry-Academic Cooperation Foundation(2016) Urban void as chance for sustainable urban design. Report of the Ministry of Science, ICT and Future Planning.
 87. Nam, J. and K. Kim(2019) Exploring community-led particulate matters abatement - The cases of particulate matters abatement community gardens in London, UK -. Journal of Recreation and Landscape 13(3): 39-52.
 88. Nam, S. S., Sung and J. S. Park(2020) Application of ventilation corridor to mitigate particulate matter for the Sejong-si. The Journal of the Korea Contents Association 20(3): 1-9.
 89. Newell, J. P., M. Seymour, T. Yee, J. Renteria, T. Longcore, J. R. Wolch and A. Shishkovsky(2013) Green alley programs: planning for a sustainable urban infrastructure? Journal of Cities 31:

- 144-155.
90. Nowak, D. J., D. E. Crane and J. C. Stevens(2006) Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry and Urban Greening* 4(3-4): 115-123.
 91. Ozolincius, R., V. Stakenas and B. Serafinaviciute(2005) Meteorological factors and air pollution in Lithuanian forests: Possible effects on tree condition. *Environmental Pollution* 137(3):587-595.
 92. Park, H., K. Oh and S. Lee(2014) Analysing effects of CO₂ absorption capability through enhancing urban green infrastructure in Seoul. *Metropolitan Planning and Growth Management* 27(4):1-23.
 93. Park, J. S., E. J. Yoon, S. Y. Sung and D. G. Lee(2020) Ecological vaccines in the post-corona era: Green infrastructure and green new deal. *Planning and Policy* 2020(464): 21-25.
 94. Park, C. Y. and H. J. Park(2021) A study on the integration of multiple flows and dynamic policy changes by the change of public perception - Focusing on the enacting of eight bills related to the special act on fine dust -. *The Korea Association for Policy Studies* 30(1): 137-167.
 95. Qiu, G. Y., Z. Zou, X. Li, H. Li, Q. Guo, C. Yan and S. Tan(2017) Experimental studies on the effects of green space and evapotranspiration on urban heat island in a subtropical megacity in China. *Habitat International* 68: 30-42.
 96. Randolph, J.(2004) *Environmental Land Use Planning and Management*. Washington D. C.: Island Press.
 97. Ryu, M. J. and H. S. Lee(2019) Comparison of the importance of evaluation items for landscape performance and sustainability using Analytic Network Process (ANP). *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 47(6): 45-52.
 98. Son, G. Y. and J. G. Kim(2020) Assessing removal effects on particulate matters using artificial wetland modules. *Journal of Wetlands Research* 22(1): 24-30.
 99. Son, M. J. and K. J. Nam(2020) Interactions between particulate matter and plants: Focusing on current research status and ecological impacts. *Korean Journal of Ecology and Environment* 53(4): 436-444.
 100. Sung, H., I. K. Park, K. Ji, J. Kim, K. Jang, J. Kim, J. Ko and C. Jin(2019) The analysis on research trend of territorial and urban planning for Mack Joong Choi through text mining: Focused on his academic papers. *The Korea Spatial Planning Review* 103: 3-26.
 101. Sung, S. Y.(2020) Environmental planning countermeasures considering spatial distribution and potential factors of particulate matters concentration. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 23(1): 89-96.
 102. Tan, A.(1999) Text mining: The state of the art and the challenges. In *Proceedings of the PAKDD 1999 Workshop on Knowledge Discovery from Advanced Databases*.
 103. Trihamdani, A. R., H. S. Lee, T. Kubota and T. T. T. Phuong(2015) Configuration of green spaces for urban heat island mitigation and future building energy conservation in Hanoi master plan 2030. *Buildings* 5(3): 933-947.
 104. Vailshery, L. S., M. Jaganmohan and H. Nagendra(2013) Effect of street trees on microclimate and air pollution in a tropical city. *Urban Forestry and Urban Greening* 12(3): 408-415.
 105. Vargas-Hernández, J. G. and J. Zdunek-Wielgołaska(2021) Urban green infrastructure as a tool for controlling the resilience of urban sprawl. *Environment, Development and Sustainability* 23: 1335 - 1354.
 106. Wang, Y. and H. Akbari(2016) The effects of street tree urban heat island mitigation in Montreal. *Sustainable Cities and Society* 27: 122-128.
 107. Woo, K. S. and J. H. Suh(2016) A study on the contemporary definition of 'GARDEN' - Keyword analysis used literature research and big data -. *Korean Institute of Landscape Architecture* 44(5): 1-11.
 108. Woo, K. S. and J. H. Suh(2018) Time series analysis of park use behavior utilizing big data - Targeting Olympic Park -. *Korean Institute of Landscape Architecture* 46(2): 27-36.
 109. Woo, K. S. and J. H. Suh(2020) Analysis of behavior of Seoulo 7017 visitors - With a focus on text mining and social network analysis -. *Korean Institute of Landscape Architecture* 48(6): 16-24.
 110. Woo, S. Y., S. H. Lee and D. S. Lee(2004) Air pollution effects on the photosynthesis and chlorophyll contents of street trees in Seoul. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 6(1): 24-29.
 111. Xu, X. R. and J. O. Kim(2017) Planting design strategies and green space planning to mitigate respirable particulate matters - Case studies in Beijing, China -. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 45(6): 40-49.
 112. Xu, X., S. Liu, S. Sun, W. Zhang, Y. Liu, Z. Lao, G. Guo, S. Kate, Y. Cui, W. Liu, H. G. Ester and J. Zhu(2019) Evaluation of energy saving potential of an urban green space and its water bodies. *Energy and Buildings* 188-189: 58-70.
 113. Xu, X., W. Xu, L. Mo, M. R. Heal, X. Xu and X. Yu(2018) Quantifying particulate matter accumulated on leaves by 17 species of urban trees in Beijing, China. *Environmental Science and Pollution Research* 25: 12545-12556.
 114. Yu, J. E.(2015) A study on disaster risk assessment in the urban open spaces. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 43(5): 13-27.
 115. Yu, J. M., I. C. Hwang, and J. A. Kim(2020) Policy suggestions for 2050 carbon neutrality of Seoul. Report of Seoul Institute.
 116. Yu, J. M. and J. A. Kim(2020) 2050 vision and promotion strategy for zero carbon emissions in Seoul. Report of Seoul Institute 2020(302): 1-24.
 117. Zhang, B., G. Xie, J. Gao and Y. Yang(2014) The cooling effect of urban green spaces as a contribution to energy-saving and emission-reduction: A case study in Beijing, China. *Building and Environment* 76: 37-43.
 118. <https://www.airkorea.or.kr>
 119. <https://www.asiae.co.kr/article/2020052811195128708>
 120. <https://www.law.go.kr/>
 121. <https://www.nanet.go.kr/>
 122. <https://www.riss.kr>

Received : 10 August, 2021

Revised : 5 September, 2021 (1st)

13 September, 2021 (2nd)

28 September, 2021 (3rd)

Accepted : 28 September, 2021

3인인명 심사필