

## 빅데이터를 활용한 기후변화와 연계된 생태계서비스 연구 동향분석\*

서자유<sup>1)</sup> · 최요한<sup>2)</sup> · 백지원<sup>2)</sup> · 김수경<sup>2)</sup> · 김호걸<sup>3)</sup> · 송원경<sup>4)</sup> · 주우영<sup>5)</sup> · 박찬<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup> 서울시립대학교 박사후연구원 · <sup>2)</sup> 서울시립대학교 일반대학원 석사과정 ·

<sup>3)</sup> 청주대학교 조경도시계획전공 교수 · <sup>4)</sup> 단국대학교 환경원예조경학부 교수 ·

<sup>5)</sup> 국립생태원 책임연구원 · <sup>6)</sup> 서울시립대학교 조경학과 교수

## Analysis of Research Trends of Ecosystem Service Related to Climate Change Using Big-data \*

Seo, Ja-Yoo<sup>1)</sup> · Choi, Yo-Han<sup>2)</sup> · Baek, Ji-Won<sup>2)</sup> · Kim, Su-Kyoung<sup>2)</sup> · Kim, Ho-Gul<sup>3)</sup> ·  
Song, Won-Kyong<sup>4)</sup> · Joo, Woo-Yeong<sup>5)</sup> and Park, Chan<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul, Postdoctoral Researcher,

<sup>2)</sup> Dept. of Landscape Architecture, Graduate School of University of Seoul, Student,

<sup>3)</sup> Dept. of Human Environment Design, Cheongju University, Professor,

<sup>4)</sup> Department of Landscape Architecture, Dankook University, Professor,

<sup>5)</sup> National Institute of Ecology, Lead Researcher,

<sup>6)</sup> Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul, Professor.

### ABSTRACT

This study was performed to investigate the ecosystem service patterns in relation to climate change acceleration utilizing big data analysis. This study aimed to use big data analysis as one of the network of views to identify convergent thinking in two fields: climate change and ecosystem service. The keywords were analysed to ascertain if there were any differences in the perceiving problems, policy direction, climate change implications, and regional differences. In addition, we examined the research keywords of each continent, the centre of ecosystem service research, and the topics to be referred to in domestic

\* 본 결과물은 국립생태원 ‘핵심 생태자산과 생태계서비스 가치 평가 및 보전방안 연구(NIE-전략연구-2021-03)’와 환경부 한국환경산업기술원 ‘생물다양성 위협 외래생물 관리 기술개발사업(2021002280002)’의 지원으로 작성되었습니다.

**First author** : Seo Ja-Yoo, Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul, Postdoctoral Researcher, Seoul 02504, Korea,  
Tel : +82-2-6490-5520, E-mail : liberty46@hanmail.net

**Corresponding author** : Park, Chan, Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul, Professor,  
Tel : +82-2-6490-2849, E-mail : chaneparkmomo7@uos.ac.kr

**Received** : 1 October, 2021. **Revised** : 10 December, 2021. **Accepted** : 8 December, 2021.

research. The results of the analysis are as follows: First, the keyword centrality of climate change is similar to the detailed indicators of The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) regulations, content, and non-material ecosystem services. Second, the cross-analysis of terms in two journals showed a difference in value-oriented point; the Ecosystem Service Journal identified green infrastructure as having economic value, whereas the Climate Change Journal perceives water, forest, carbon, and biodiversity as management topics. The Climate Change Journal, but not the former, focuses on future predictions. Third, the analysis of the research topics according to continents showed that water and soil are closely related to the economy, and thus, play an important role in policy formulation. This disparity is due to differences in each continent's environmental characteristics, as well as economic and policy issues. This fact can be used to refer to the direction of research on ecosystem services in Korea. Consistent with the recent trend of expanding research regarding the impacts of climate change, it is necessary to study strategies to scientifically predict and respond to the negative effects of climate change.

**Key Words :** *Ecosystem Service Indicator, Nature's Contributions to People (NCP), PEST Analysis, Natural-based solution, Carbon Neutral*

## I. 서 론

UN(United Nations)은 지속 가능한 발전을 위한 목표(UN-SDGs)로서 기후변화에 대한 영향 방지와 긴급조치(Goal13), 육지생태계 보존과 삼림보존, 사막화 방지, 생물 다양성 유지(Goal15)를 제시하고 있다(Ministry of Environment, 2015). 이에 각국은 이를 지표로 삼아 각국의 상황에 맞게 노력하고 있다. 생물생태서비스를 주도하는 IPBES(Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services)와 기후변화 연구를 주도하는 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 두 기구도 2020년 12월 새로운 워크 프로그램에 돌입하였다. 2030년을 목표로 기후변화를 막기 위한 중요한 행동수칙과 기후변화 완화 및 적응을 위한 조치를 발표하였다.<sup>1)</sup> 이에 따라 앞으로 생태계서비스 연구는 기후변화 완화·

적응, 탄소 중립의 시류와 함께 변화할 것으로 보인다. IPCC(2019)의 기후변화와 토지 특별보고서는 인간은 자연에서 파생된 여러 자원을 자연의 축복으로 여기며 자연을 개발하고 토지를 활용하여 왔는데, 이 토지의 변화가 지구 온도의 상승을 초래하였고 이는 다시 육상기반 프로세스의 변화로 인간과 생태계를 위협하고 있음을 지적하고 있다. 지구 전체 토지면적 중 28%만이 순수한 자연상태로 남아 있고 대안 마련을 위해 기후변화 완화와 적응 대책을 세워가고 있다. 이렇게 생태계 가치가 감소함에 따라 지속가능한 생태계서비스의 보전 및 이용은 더욱 중요하게 연구될 것이다. '생태계 서비스'는 자연이 인간에게 주는 혜택(Nature's Contributions to People, NCP)을 뜻하는 것으로 이를 물질, 비물질, 조절서비스로 구분한다<sup>2)</sup>(Joo et al, 2019). 생태계서비스 연구는 개념 및 평가 모델 개발 방향으로 활발히 진행되어 오고 있다.

1) IPBES와 IPCC는 생물 다양성 보호와 기후변화 사이의 시너지 효과와 균형에 대한 조사를 위한 목적으로 2020년 12월 공동 워크숍을 개최하고 이 내용을 바탕으로 2021년 6월 보고서를 발간하였다.

2) IPBES에서 개념 수립 초창기에는 생태계서비스를 공급, 조절, 문화, 지지서비스로 구분하였는데, 2017년도 이후 자연이 인간에게 주는 혜택(Nature's Contributions to People, NCP)로서 물질, 비물질, 조절서비스로 구분하고 있다.

IPBES를 중심으로 국제단위의 논의가 진행되며 유럽, 북미 등 연합 및 개별 국가에서 생태계서비스 연구보고서를 발간하고 있다(IPBES, 2018a; 2018b; 2018c; 2018d, U.S. Global Change Research Program, 2018; Natural Resources Canada, 2021; TEED DE, 2016). IPBES의 지역 평가(2018)와 전지구 평가(2019) 보고서에서는 기후변화가 생물다양성과 생태계서비스에 미칠 영향을 가시화하였다.

국제사회는 파리협정을 채택하여 온실가스 저감을 위한 노력을 통해 지구의 온도가 산업화 이전 대비 2°C 이상 상승하지 않도록 하고 나아가 1.5°C 상승을 억제하거나 시점을 늦추도록 목표하고 있다. 그러나 탄소흡수 기술만으로는 목표 달성이 어려워 자연·생태계를 이용한 탄소 흡수와 흡수원 확대 방안 즉, ‘자연기반해법(Nature-based Solution)<sup>3)</sup>’이 활발히 논의되고 있다. 자연기반해법 적용 시 대응 옵션에 따라 동반상승작용(Synergy)과 상쇄작용(Trade-off)<sup>4)</sup>이 따르는데 탄소와 생물다양성에 대한 공간전략에서는 공동효과를 방해하는 상황이 발생하기도 한다. 예를 들어 생물다양성이 높은 저탄소 생태계를 고탄소 수종 중심의 공간으로 변경하는 경우 서식지 교란이 발생하면 최대 30%의 생물다양성 손실이 예상된다(Lroy, 2017). 이에 동반상승작용과 상쇄작용에 대한 과학적 예측과 이를 대비한 정책 수립의 방향을 설정할 필요가 있으나 이에 관한 연구는 미진한 상황이다. 따라서 기후 측면의 생태계서비스 연구 관점에서 영향관계의 맥락을 살피는 것이 필요하다.

이렇듯 생태계에 대한 기후변화 영향의 정도를 규명하기 위한 과학적 탐구와 대책 마련을

위한 사회·정책 및 경제 예측은 매우 중요한 학문의 한 분야가 될 것이다. 이에 이 연구는 이 두 분야의 융합적 사고를 모색하기 위한 관망의 하나로 지금까지의 연구의 세부 주제와 관련성을 빅데이터 분석을 통해 파악하였다. 연구의 목적은 첫째, 기후변화와 생태계서비스 각 주제의 학계에서 연구의 특성을 파악하고 이 두 주제가 어떤 이슈를 중심으로 어떻게 조합이 되는지 체계를 알고자 하며, 둘째로 지역의 환경과 목적에 따라 관심 이슈와 정책방향의 차이를 분석하고자 하며, 국내 정책방향과 연구방향에 대한 시사점을 제안하고자 하였다. 이를 위해 국내외 연구에 나타난 생태계서비스와 기후변화 연구 키워드를 분석하였다. 또한, 대륙별 연구 키워드를 파악해 생태계서비스 연구의 중심을 살펴봄으로써 국내 연구가 참고해야 할 사항을 살폈다. 이 연구를 통해 기후변화와 연계된 생태계서비스의 과제를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

## II. 연구방법

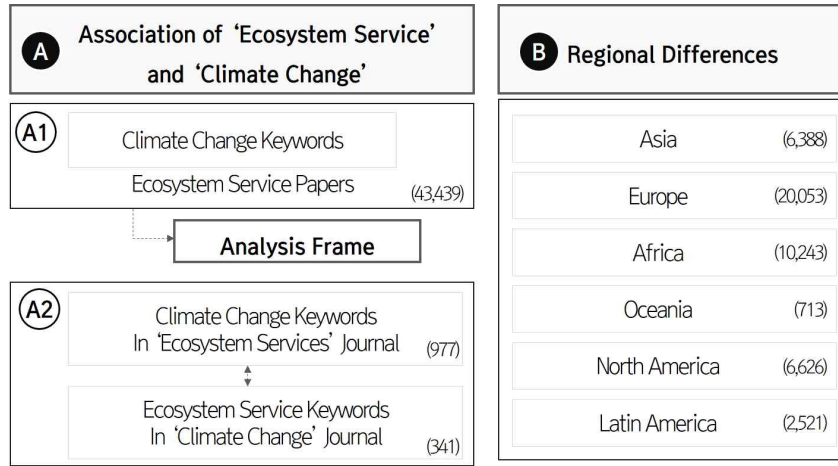
### 1. 연구의 범위와 데이터 수집

연구의 범위는 Figure 1과 같다. 이 연구에서는 크게 두 가지 질문으로 접근하였다. 기후변화와 생태계서비스의 연관성을 파악하여 기후변화 대응을 위한 생태계서비스 연구의 경향을 파악하는 것(Figure 1의 A), 그리고 지역별 연구 특성을 분석하는 것(Figure 1의 B)이다. 첫 번째, 두 주제 간의 연관성을 파악하기 위해 크게 생태계서비스 주제어 안에서 기후변화 키워드의 중심 키워드를 분석하고(A1), 두 개 저널에서 상대 키워드를 분석하였다(A2). 두 번째, 생태계서비스 범주 안에서 자연이 주는 혜택(NCP)과 지역의 정치, 경제, 사회, 기술의 여건에 따라 지역적으로 차이를 나타내는 경향을 중심으로 하여, IPBES에서 구분하는 생태권인 대륙별로 보이는 차이(B)를 파악하였다.

연구의 대상은 “Ecosystem Service” 및

3) IUCN에서 생태계를 보호하고 지속가능하게 활용, 관리, 복원하여 기후변화 등 사회문제를 효과적, 적응적으로 해결하는 것을 말함

4) 대부분의 자연기반해법 적용 선택지는 기후변화 완화·적응에 대해 긍정적인 효과를 가지나, 식량안보 강화 등 일부 적용에 대해서는 상쇄효과가 존재한다(IPCC, 2019).



Note. The Number means Quantity of Collected Papers  
Date. 7/20/2021

Figure 1. Research Scope and Quantity of Data

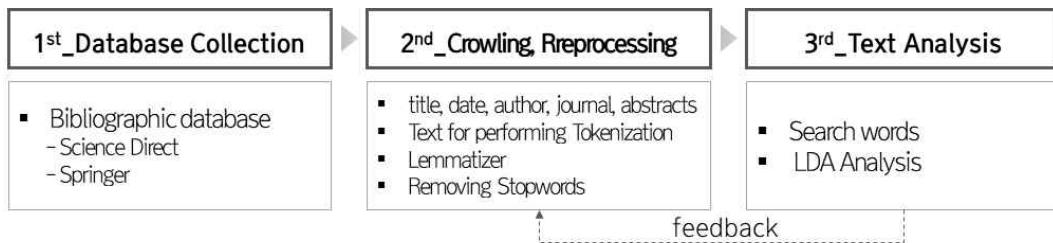


Figure 2. Analysis Process

“Climate Change” 키워드를 검색해 도출되는 논문으로 하였다. 분석 방법은 텍스트 마이닝 중 토픽 모델링을 통해 연구의 경향을 파악하였다. 텍스트 마이닝의 과정은 개념적으로 데이터 수집, 크롤링과 전처리, 텍스트 분석을 거친다(Figure 2). 본 연구에서는 텍스트 마이닝 중 LDA(Linear Discriminant Analysis)를 활용하였고, 셀레니움의 webdriver 모듈을 사용하여 크롬드라이버를 통해 데이터 크롤링을 실행하였다. 크롤링한 데이터는 nltk 패키지의 tokenize 모듈을 사용하여 단어들을 토큰화시키고 WordNetLemmatizer 모듈을 활용하여 동일 어근의 경우 하나로 합친 후 어근의 기본형으로 변환시켰다. nltk 패키지의 averaged perceptron tagger 모듈을 활용하여 단어의 품사를 구분하여 텍스트마이닝에 유의미한 명사만 추출

하여 저장하고, nltk 패키지의 stopwords 모듈을 활용하여 불필요한 단어들을 지정하여 모델에서 삭제(예시:ex. year, abstract, es, study, level 등)하는 과정을 거쳤다. 텍스트 마이닝(LDA(Linear Discriminant Analysis))을 통한 이슈 분석을 위해 전처리한 데이터들을 gensim 패키지의 LdaMulticore 모듈을 활용하여 10개의 토픽으로 LDA 분석을 실시하는 모델 생성하였다. pyLDAvis 패키지를 활용하여 LDA를 실시한 결과를 시각화하였다.

서지 데이터베이스는 Science Direct([www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com))와 Springer ([www.springer.com](http://www.springer.com))를 이용하였다. ‘Ecosystem Service’ 및 ‘Climate Change’ 키워드를 검색하여 검색당 5,000개까지 논문을 초록을 크롤링하였다. 분석의 목적별로 해당하는 문헌 수는 최소 340개 이상으로 경향

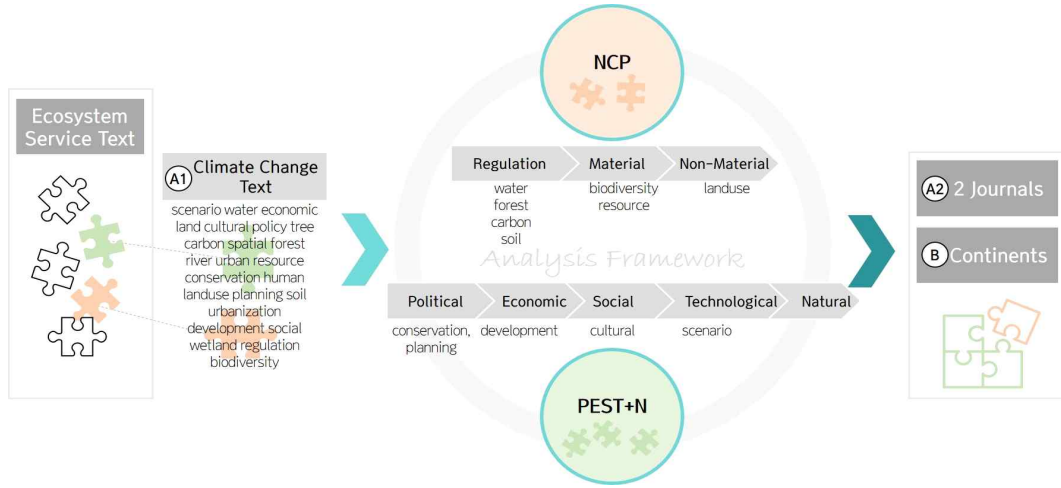


Figure 3. Analysis Framework Diagram

을 파악하는 데 충분하게 확보되었다. 대륙별 연구 양에 편차를 보였는데, 유럽을 대상으로 한 연구가 활발히 진행되고 있었다.

2. 분석 틀 도출

분석의 틀은 Figure 3의 순서로 도출하였다. 전체 생태계서비스 관련 논문에서 기후변화 키워드 중심성이 높은 단어들을 취합한 결과 IPBES에서 제시하는 NCP와 연관성이 발견되었으며 이를 참고하여 키워드를 유형화하였다. 조절 서비스는 ‘물’, ‘산림’, ‘탄소’, ‘토양’, 물질 서비스는 ‘생물 다양성’, 비물질 서비스는 ‘토지이용’으로 세분화하였다. 대륙별 분석에서는 NCP들에 더해 각 지역의 사회환경과 자연환경에 따른 개연성과 함께 그 특징을 해석하고자 거시환경 분석(PEST Analysis)을 추가하였다. 지정학적 특징은 각 지역의 자연환경과 사회환경 형성에 전반적인 영향을 미친다. 예를 들어 우리나라가 속한 아시아는 가장 넓은 지역으로 다양한 기후대(온열대, 아열대, 한랭 사막 기후)로 인해 산림, 사막, 열대우림, 산맥, 강, 숲, 초원으로 형성되어 있다. 농업, 어업, 도시로 주로 토지이용이 이루어져 있다. 다른 대륙에 비해 급성장하고 있어 도시화로 인한 환경 문제가 빈번히 발생하고 있으며 경제 대국과 저

소득 국가가 함께 존재한다. 이처럼 자연환경은 전반적인 사회환경에 영향을 미치고 있어 생태계 서비스 연구를 거시환경 분석의 차원에서 살펴볼 필요가 있다. 거시환경 분석은 정치(Political), 경제(Economic), 사회(Social), 기술(Technological)의 약자로 거시적 환경에 따른 전략적 분석 방식의 하나이다(Sammut-Bonnici & Galea 2015). 이것은 미래 환경을 전망하는 분야에서 자주 사용되는 틀이다. 분석 목적에 따라 환경이나 윤리를 포함하는 변형된 틀을 다양하게 사용한다. 이 연구에서는 생태계서비스의 기반이 되는 자연환경(Natural)을 추가하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 생태계서비스와 기후변화의 주제 연관성

1) 기후변화 키워드 중심성 분석 (A1)

생태계서비스 주제의 문헌에서 ‘Climate Change’ 키워드로 중심성을 분석한 결과, 관련 키워드로 ‘water(river, wetland), forest(tree), carbon, soil, biodiversity, resource, landuse(land, spatial), urban(urbanization), policy(conservation, planning), economic(development), social(cultural), scenario’가 도출되었다. 이들은 NCP의

세부 지표<sup>5)</sup>와 유사하였는데, 조절 서비스에서 서식지 조성 및 유지, 수자원 조절, 담수해수의 질 조절, 토양 퇴적물의 보호 및 오염제거, 물질 서비스에서 자원, 비물질서비스에서 토지이용 안정에 포함됨을 확인하였다(IPBES, 2019). 정치적으로 ‘보존’, ‘계획’, 경제적으로 ‘발전’, 사회적으로 ‘문화’, 기술적으로 ‘시나리오’가 키워드로 도출되었다. 이것은 기후변화 키워드가 생태계서비스의 내용과도 밀접할 뿐 아니라 국제사회의 중심 담론으로서 거시환경의 종합적 차원에서 연구되고 있음을 의미한다.

## 2) 두 학회지의 키워드 교차 분석 (A2)

‘Ecosystem Service’와 ‘Climate Change’ 학회지에서 키워드를 교차 분석한 결과 가치지향점에서 두 학회지의 차이가 발견되었다<sup>6)</sup>.

Ecosystem Service 학회지는 그린인프라를 경

5) 자연이 주는 혜택의 세부 지표로 조절서비스(Habitat creation and maintenance, Pollination and dispersal of seeds and other propagules, Regulation of air quality, Regulation of climate, Regulation of ocean acidification, Regulation of freshwater quantity/location/timing, Regulation of freshwater and coastal water quality, Formation, protection and decontamination of soils and sediments, Regulation of hazards and extreme events, Regulation of detrimental organisms and biological processes), 물질서비스(Energy, Food and feed, Materials and assistance, Medicinal/biochemical/genetic resources), 비물질서비스(Learning and inspiration, Physical and psychological experiences, Supporting identities)가 있다. IPBES는 이 지표별로 지난 50년간 지구적으로, 대륙적으로 상승·유지·감소된 상황을 검토하였다(IPBES, 2019)

6) 주제별로 다양한 학회지 중에 해당 두 학회지를 선정한 이유는 사회적·과학적 주제를 종합적으로 아우를 수 있는 국제 학회지를 선정하였다. ‘Ecosystem Service’는 생태계서비스의 사회경제적 가치와 생물 다양성 등 기초연구와 통합 평가를 포함한 패러다임을 주제로 다루고 있으며(<https://www.sciencedirect.com/journal/ecosystem-services>), ‘Climate Change’는 기후변화의 문제 전체에 관한 함의에 전념하는 학제간 국제 저널이다. 특히 다양한 분야의 전문가들의 교류수단을 제공하는 것을 목적으로 하고 있다(<https://www.springer.com/journal/10584>).

제적 가치로서 인식하고 계획하는데 주력하였다. 탄소와 산림을 환경적 공급과 손실을 조사하고 사회공동체의 정책적 방향성을 연구하고 있었다. 물, 토지이용, 생물다양성은 함께 연관된 주제로 연구되고 있었다. 물과 토지이용은 공급과 지속가능성을 중심으로 평가 및 개발되고, 생물다양성은 물과 경관 관리를 중심으로 도출되었다. 이 학회지의 주요한 주제들은 모두 정책적 수단, 계획, 경제적 효과, 자본 등 경제와 관련된 주제가 많이 도출된 것을 확인할 수 있다. 생태계서비스 개념이 생태계가 주는 혜택과 손실을 정량적으로 파악하려는 데서 출발했다는 점에서 기후변화의 영향에 대해서도 비슷한 시각으로 연구하고 있음을 시사한다.

Climate Change 학회지는 무엇보다 기후변화 및 기온에 관한 연구가 가장 활발했으며, 생태계서비스 가치를 예측에 초점을 두고서 위험이나 감소 등 부정적 영향에 대해 전략적 대응을 위한 연구를 수행하고 있다. 이는 이 학회지의 연구가 전자의 연구보다 미래 예측에 초점을 두고 있다는 차이가 있다. 시나리오 모델을 통해 비용, 가치를 평가하였으며 물, 산림, 탄소, 생물 다양성은 관리대상으로 연구되었다. 시나리오와 모델과 같은 기술적 연구와 그것을 통한 비용과 효과, 정책적 의사결정에 중점을 두고 있다. 이는 생태계가 가진 기후변화 취약성은 사회경제적 취약성과 연결되어 있기에 통합적 관리의 방안으로서 생태계의 보고, 복원, 관리가 필요하다(Seddon et al, 2020) (Table 1).

## 2. 지역별 차이

### 1) 대륙별 연구 주제 (B)

대륙별 연구 주제를 분석한 결과 공통적으로 물과 토양이 경제와 관련성이 있게 나타났고, 정책적으로 중요한 요소임을 알 수 있다. 차이점은 각 대륙의 환경 여건과 경제적, 정책적 이슈와 연관성을 가졌다.

아시아에서는 기후변화에 따라 변화되는 요

**Table 1.** Climate Change Keyword in ‘Ecosystem Service’ Journal and Ecosystem Service Keyword in ‘Climate Change’ Journal

Journal	PEST+N	NCP	Related Keywords
CC in ES Journal	political technological economic	green infrastructure	planning, economic, benefit, capital
		carbon, forest	governance, stakeholder, supply, loss, environmental community, social
	social	water, landuse	sustainable, supply, local, culture assessment, biodiversity, economic, development
	natural	biodiversity	water, landscape, scenario, economic, management
ES in CC Journal	political, economic technological	scenario	cost, value, model
	social	water, forest, carbon biodiversity	management, local
	natural	climate change /temperature	economic, risk, decline, strategy community, vegetation

\* ES: Ecosystem Service, CC: Climate Change, \* Date: 7/20/2021

소 중 물(습지, 해양 포함)과 토지이용에 관해 주로 연구가 되고 있다. 물은 공급, 규제, 경제적인 정책연구로써 주로 이루어지고, 토지이용의 경우 보전, 복원, 개발 등과 같이 경제적인 가치화에 관한 연구를 진행하고 있다. 사회적으로는 산림에 대해 도시화로 인한 가치 및 영향을 모델을 통해 지속가능성과 기후변화 측면으로 연구되고 있다. 탄소와 생물다양성은 식생 및 작물 등의 환경적 요소에 대해 사회적인 개발 관련하여 함께 연구되고 있으며, 토양은 국가 및 사회적으로 서식지, 해안가 등 보호 관련 정책에 관한 연구가 진행되고 있다. 대부분의 아시아 지역에서는 도시화가 진행되고 있거나 이미 진행되었기 때문에 생태계서비스 연구가 보호, 보전, 복원, 도시화 등에 대해 중점적으로 다뤄지고 있는 것으로 보인다.

유럽의 경우, 물에 대해 가치, 개발, 수요 등 경제적 요소 및 수질 등의 환경적 요소와 함께 계획 관련 연구가 진행되고 있다. 탄소 또한 토지이용 관련 연구와 함께 시나리오 기반으로 도시, 공동체 등과 함께 관리, 프레임워크 규제 관련 연구가 진행되고 있다. 경제 및 사회적으로 산림의 경우 인간 및 공공에 대한 공급, 가치화,

거래 등의 연구가 진행되고 있으며, 토양은 문화 및 활동 등의 사회적, 경제적 요소들과 함께 연구되고 있다. 생물다양성의 경우 종 개체 수, 토지, 식생, 서식지 등의 개념들과 함께 평가 관련 연구가 진행됨을 알 수 있다. 유럽의 생태계서비스 연구는 주로 현재 존재하는 생태계를 평가하고, 생태계서비스를 지속할 수 있게 유지할 수 있도록 관리하는 차원에서 진행되는 것으로 보인다.

아프리카는 물이 정책적으로 중요한 요소로 나타나, 농업에 대한 경제 비용 등을 확인하고 이해당사자의 계획 및 방향 등을 연구한다. 또한, 산림을 농업 차원에서 연결하여 연구를 진행하였으며 지방, 가정 및 건강, 저장, 가치 등 국가 복지 차원에서 다루는 것으로 보였다. 이는 급격한 산림 변화 등이 미치는 영향을 사람들의 가정 및 건강과 관련하여 진행하는 연구로 보인다. 탄소와 생물다양성은 다양한 작물 등에 대해 도시화, 공공 등 상호작용을 관찰하고 있었다. 토지이용의 경우, 모델을 통해 도시화로 인한 해안, 강, 자연 등의 변화를 연구하여 트레이드오프를 분석하고 있다. 토양은 공간적으로 경관, 자연, 서식지 및 식량 등에 관한 연구가

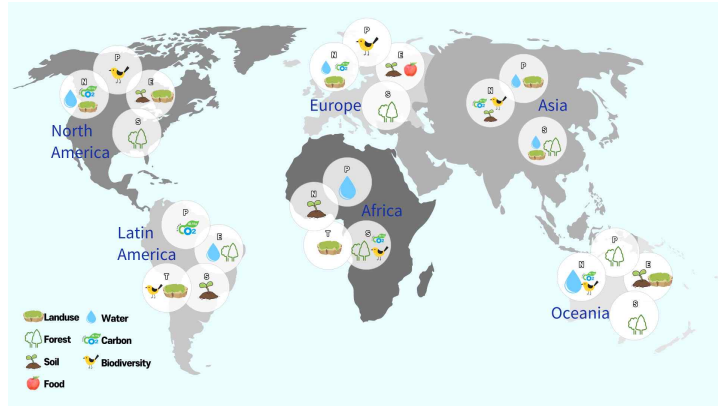


Figure 4. Research Topics by Continent

진행됨을 알 수 있다. 아프리카의 생태계서비스는 모두 농업 및 급격한 도시화에 집중되어 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 현재 아프리카의 급격한 인구 증가 및 낮은 농업 생산성으로 인해 나타나는 것으로 보인다.

오세아니아에서는 산림에 대해 주로 정책 및 사회적으로 각 지역의 도시별, 활동 중심으로 정책 및 규제에 관한 연구가 진행되고 있으며, 토양에 대해 시나리오와 경제적인 비용 관련 연구가 진행되고 있다. 또한, 토지이용 관련하여 지방 지역에서의 경제적 이익, 영향, 공급, 개발 등의 연구가 진행되고 있다. 환경적 측면에서 물과 탄소는 경관 및 농업과 함께 연구되고 주로 갈등 및 가치와 관련된 연구가 이루어지고 있다. 또한, 생물다양성은 주로 자원, 해안 등에 대해 지속가능, 관리, 생산 등 공간적인 연구가 진행됨을 알 수 있다. 오세아니아의 경우 토지에 비해 인간이 거주하는 공간이 크지 않으므로 주로 자연 지역에 대한 생태계서비스 변화 및 가치와 연관된 연구와 더불어 농·목축업과 기존 생태계의 지속가능성에 대한 연구 또한 진행되는 것으로 보인다.

북아메리카에서는 정책적으로 생물다양성을 이해당사자-공동체-레크리에이션 등의 개념적인 틀을 통해 복원과 같은 전략연구를 진행하고 있다. 경제적 측면으로 토양을 식량과 관련하여

공급 및 거래에 대한 연구가 진행되고 있으며, 사회적 측면으로 산림을 활동, 사회, 공원 등의 요소들과 함께 연구하고 있다. 물과 탄소 및 토지이용은 주로 함께 경관 작물 및 기후 관련 관리, 거버넌스 차원에서 연구되었다. 북아메리카의 경우, 생태계서비스에 대한 연구를 대부분 정책과 경제와 연결시켜 진행하고 있으며, 이에 더해 관리 전략 등에 대한 연구 또한 진행되고 있는 것으로 나타난다.

라틴아메리카의 경우 정책적으로 주로 탄소와 관련해 자연에 대한 의사결정에 초점을 맞춰서 연구가 진행되고 있다. 경제적으로는 물과 산림을 함께 연구하며, 개발 및 생산량에 대해 사회적으로 연관하여 연구가 진행되고 있다. 사회적으로는 토양을 지역 활동 및 레크리에이션과 함께 농업 및 식생, 보호와 함께 연구하고 있다. 또한, 생물다양성과 토지이용을 농업, 초지 강 등의 환경적 요소와 함께 모니터링하고 상호작용에 관한 연구가 진행됨을 볼 수 있다. 이러한 점들을 볼 때 라틴아메리카에서의 생태계서비스의 경우 대부분 기존 자연에 대한 개발 및 보전에 관한 연구들이 중점적으로 나타난다. 이러한 경향은 아마존 등 대규모의 생태계가 존재하는 라틴아메리카의 특성에 기인한 것으로 보인다(Figure 4, Table 2).

대륙별 연구를 종합하여보면 아시아의 경우,



**Table 2.** Keywords of Continents

PEST+N	ASIA	Europe	Africa
Political	<water> economic, provide, regulation local / wetland, marine, climate	<biodiversity> stakeholder, strategy, restoration / community, interaction, recreation	<water> policy, framework, planning, stakeholder / economic, cost / agricultural
	<landuse> valuation, development, conservation, restoration agricultural, nature		
Economic	-	<soil, food> supply, trade framework, regulation	-
Social	<forest> urbanization, value, impact model / sustainability, climate change	<forest> activity, social, park nature, green	<forest> rural, household, health value, storage / tree / agricultural
			<carbon, biodiversity> city, public, interaction, crop, retention / production, model coastal, green, river, nature / trade / urbanization
Technological	-	-	<landuse> city, public, interaction, crop, retention / production, model coastal, green, river, nature / trade / urbanization
Natural	<carbon, biodiversity> green, crop, vegetation social, region / developed	<water, carbon, landuse> landscape, crop, climate management, governance	<soil> landscapem, naturalm, habitat, food spatial, human
	<soil> habitat, coastal protection, program / trade / country, socio		
PEST+N	Oceania	North America	Latin America
Political	<forest> urban, region, activity, policy, regulation ecological, tree	<biodiversity> stakeholder, strategy, restoration community, interaction, recreation	<carbon> policy, decision environmental, nature, marine
Economic	<soil> economic, cost quality, environmental / marine, green / scenario	<soil> supply, trade framework, protection, food	<water, forest> development, yield public, society, nature
	<landuse> benefit, impact, provision, development		
Social	<forest> urban, region, activity, policy, regulation ecological, tree	<forest> activity, society, park nature, green	<soil> region, activity, recreation
Technological	-	-	-
Natural	<water, carbon> landscape, agricultural conflict, value, local	<water, carbon, landuse> landscape, crop, climate management, governance	<biodiversity, landuse> monitoring food, grassland, river interaction, provision
	<biodiversity> environmental, resource, coastal, sustainable management, production, spatial		

생태계서비스 연구가 대부분 보호, 보전, 복원, 개발 등에 맞춰져 있다. 이러한 특징은 최근 급격한 도시화를 이룬 지역이 아시아에 밀집되어 있기 때문으로 보인다. 유럽의 경우 생태계서비스를 평가 및 가치화하고 이를 관리하는 방향으로 연구가 진행되고 있음을 볼 수 있다. 아프리카의 경우, 생태계서비스를 대부분 농업 및 도시화와 연관 지어 연구하고 있으며, 특히 정책적 부문의 경우 물 이외에 다른 생태계서비스에 관해서는 연구가 거의 진행되지 않고 있다. 오세아니아의 경우, 도시, 농업, 목축업 등 인간의 활동 범위가 생태계에 미치는 영향들에 대해 관리 및 규제를 하기 위한 연구들이 많이 진행된 것을 볼 수 있다. 북아메리카의 경우 생태계서비스 관련 연구를 대부분 정책 및 경제와 연결시켜 관리, 전략 등에 대해 진행하고 있다. 특별히 산림의 경우 생태계서비스를 주로 생물질서비스 측면에서 문화적, 휴식의 공간으로서 연구하는 것을 볼 수 있다. 라틴아메리카의 경우, 대규모의 생태계가 존재하는 지역이므로 생태계서비스 또한 대부분 자연의 보전 및 개발에 관한 연구들로 진행되고 있다. 특히 생물다양성을 토지이용과 함께 연구하여 모니터링하는 연구들이 진행된 것을 알 수 있다. 대륙별 연구에서 생태계서비스의 주요한 대상은 유사하며 대륙의 환경적 상황에 따라 정책이나 경제 등 적용 방향이 다르게 나타남을 확인할 수 있었다.

#### IV. 논의 및 결론

이 연구는 빅데이터 분석으로 생태계서비스 지표와 기후변화 주제의 접점을 정치, 경제, 사회, 기술, 자연환경에서 맞추어 분석하였다. 앞장의 고찰을 통해 몇 가지 의의를 정리할 수 있다.

먼저, 빅데이터로 살핀 생태계서비스 연구의 의의를 들 수 있다. 텍스트 마이닝은 암묵적 정보 추출을 통한 동향분석과 시사점 도출을 위한 연구 방법으로 국제적으로 기후변화 또는 생태

계서비스를 대상으로 한 텍스트마이닝 연구 또한 활발히 진행 중이다. 생태계서비스가 지속가능발전목표(SDGs) 달성에 기여하는 원동력으로 작용하면서 관련 연구가 70년대 이후 꾸준히 증가하였고 2000년대 이후 급증하였으며 주된 연구 주제에 기후변화가 나타난다(Rahiem, 2019). ‘기후변화’ 연구물을 빅데이터 분석한 결과, 1990년대 이전까지 주류를 이루던 오염 관련 연구가 감소하며 기후변화와 적응, 탄력성과 같은 주제가 점진적으로 중요하게 다루어지고 있다(Dayeen et al, 2019). ‘생태계서비스’ 연구물은 2005년 이전에는 IPBES의 연구 축 중 하나인 생물다양성을 중심으로 ‘생태계서비스 평가’ 관련 키워드가 도출되었으며, 2006년~2012년에 이르러서는 생물다양성을 중심으로 ‘기후변화와 생태계서비스의 기능 간의 관련’이 높게 나타났다. 2013~2016년에 주목할만한 점은 이 시기에 생태계서비스와 관련하여 문화서비스 등 다양한 주제가 등장하게 되었음에도 이 중 ‘기후변화’가 가장 높은 중심성을 보이는 키워드로 도출된 점이다(National Institute of Ecology, 2016). 빅데이터 분석이 기후변화와 생태계서비스의 관련성을 다 각도로 파악하는데 유용함을 시사한다. 그러나 수집된 데이터를 해석하는 과정에서 객관적인 분석의 틀이 부족하여 연구자의 주관적 판단에 따르는 한계가 있어, 수집된 데이터의 막대한 양에 비해 결과가 단순해진다. 이 연구는 이를 보완하여 객관적인 분석의 틀을 도출하여 해석에 적용하였으며 단편적 해석의 한계를 벗어나고자 여러 방식의 교차분석을 진행하였다는 점에 의의가 있다.

둘째, 기후변화 영향에 따른 생태계서비스 연구의 영향과 과제를 모색하였다는 의의를 들 수 있다. 생태계서비스 관점에서 기후변화를 고려하는 연구의 방향성을 찾을 수 있다. 일반적으로 생태계서비스 연구에서 생태계서비스의 개념, 기능, 정량화, 모델의 특성과 가치평가를 중요하게 다루어 왔다. 기후변화 연구에서는 완화

와 적응, 영향과 취약성 평가, 각 부분에 관한 과학적 연구가 주로 수행됐다. 앞으로 우리나라 연구는 생태계서비스와 기후변화의 연계를 목표로 하는 구조로 가게 될 것으로 보인다. 이러한 연계 연구를 강화하여, 국내 환경뿐 아니라 아시아 지역으로 연구를 확장하여 생태계서비스 분야에 선두적 지위를 확보할 수 있기를 기대한다. 더불어 통섭적 사고를 기반으로한 생태계서비스 연구가 확장되어야 하는 필요를 발견하였다. 생태계서비스의 실천적 운영을 주도하는 ESP(Ecosystem Services Partnership)는 2021년 컨퍼런스에서 기후가 생태계에 영향을 미친 이후의 변화를 주목해야 함을 강조하였다. 토지 사용 및 토지 피복 변화뿐만 아니라 글로벌 거래 및 토지 소유 패턴은 사회 생태 시스템에 추가 영향을 미치며 그러한 변화는 종종 부유한 국가와 빈곤한 국가 간의 불평등과 정치의 급진화로 이어져 이러한 증가하는 영향에 대처하는 사회의 능력을 약화시킨다(ESP, 2021). 이러한 맥락에서 생태계서비스 과학, 정책은 향후 연구의 방향성을 제공할 것이다. 생태계가 받을 타격에 따른 서비스 기능 감소를 예측하는 연구를 지속해야 하며, 생태계가 기후변화를 완화시킬 수 있는 기능에도 주목해야 한다. WFE Nexus(Water-Food-Energy Nexus; 물-에너지-식량 안보)의 통시적 관점과 자연기반해법의 자연 생태의 유기적 기능은 기후변화 완화 대안으로 주목받고 있다(Kim, 2021., Woo, 2020). 지구온난화로 기온·강수량의 증감 및 변동성, CO<sub>2</sub>시비, 해수면 상승, 해양 산성화, 운량 및 일사량 등의 기후 인자가 변화할 것이며, 이러한 기후 인자에 따라 생태계서비스 가치변화는 긍정적, 부정적, 중립적 측면의 영향관계를 갖는다(Runting et al, 2016). 이에 기후변화와 생태계서비스 간의 동반상승작용과 상쇄작용을 과학적으로 평가하고 대응할 전략을 세우는 것이 중요하다.

셋째, 지역별 연구의 특성을 통해 국내 생태

계서비스 연구에 주는 시사점을 발견하였다. 지정학적 차이는 정치, 경제, 사회, 기술의 차이로 이어지며 지역별로 기후대응을 위한 수단이 다르다. 대륙별 연구의 특징을 분석해 지역별 환경과 정책적 방향, 목표를 가늠할 수 있었다. 우리가 주목할 점은 아시아의 연구는 급격한 도시화의 영향으로 생태계 보호, 보전, 복원에 관심이 높다는 점이다. 생태계서비스 연구범위를 아시아 지역으로 확장하고, 평가에 기후 노출도를 추가하여 아시아 국가의 기후변화 생태계서비스의 적절한 관리 방향 제시할 수 있다. 선진국에서는 과학적 방식에 의한 평가를 기반으로 공공, 사회, 정부 간의 상호역할에 대해 집중적으로 논의하고 있다. 기후변화 선진국의 연구는 무분별한 개발사업으로 인해 훼손된 생태계 가치를 증진하고자 수목 식재, 토양유실 방지 등 정부와 지자체의 거버넌스 연구가 활발하게 진행되고 있다. 생물다양성 보전의 관점에서 생태계의 보호와 복원이 더욱 중요하게 인식될 것이며, 산림관리, 바이오에너지 등 완화 및 적응 사업이 발전할 것이다. 국가 생태계서비스 평가를 진행함에 있어도 국가의 전략 주제인 탄소 중립과의 점점에 맞추어 생태계서비스 평가지표를 수립해야 할 것으로 보인다. 지구환경을 종합적인 유기체로 바라보는 생태계서비스의 사고를 확장해 탄소 중립을 위한 실천방안을 고려할 수 있다. 다각적인 탄소 중립 사업이 생태계서비스 지불제의 비용 추계 방식에 포함될 수 있다.

## References

- ESP, 2021. 3<sup>rd</sup> ESP Europe Conference 2021 Program Booklet.
- Joo WY · Ahn SE · Joo JC · Cho DG · Bahn · Jung JH and Hyun KH. 2019. Introduction and Application of Conceptual Framework and Assessment of Ecosystem Services in Applied Ecological Engineering. Korean Society of

- Ecology and Infrastructure Engineering. 6(1): 69-76
- Ministry of Environment. 2015. UN Sustainable Development Goals.
- Natural Resources Canada, 2021. Canada in a changing climate: National Issues Report
- Seddon, Nathalie, et al. 2020. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 375.1794
- Sethi, M., Lamb, W., Minx, J., & Creutzig, F. 2020. Climate change mitigation in cities: a systematic scoping of case studies. *Environmental Research Letters*: 15(9), 093008.
- IPBES, 2018(a). The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Africa. Bonn, Germany.
- IPBES, 2018(b). The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas. Germany.
- IPBES, 2018(c). The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Asia and the Pacific. Germany.
- IPBES, 2018(d). Summary for policymakers of the regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Germany
- IPCC, 2014, Climate Change 2014-Impacts, Adaption and Vulnerability : PartA: Global and Sectoral Aspects
- IPCC, 2019, Special Report on Climate Change and Land
- IPCC, 2021, Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers
- Ministry of Environment. 2020. Korean Climate Change Assessment Report 2020.
- Runting, R. K., Bryan, B. A., Dee, L. E., Maseyk, F. J., Mandle, L., Hamel, P. & Rhodes, J. R.. 2017. Incorporating climate change into ecosystem service assessments and decisions: a review. *Global change biology*. 23(1): 28-41.
- Rahiem, M. M. A. 2019. Text Mining and Citation Network of Ecosystem Services Publications.
- Dayeen, F. R., Sharma, A. S., & Derrible, S. 2020. A text mining analysis of the climate change literature in industrial ecology. *Journal of Industrial Ecology*, 24(2): 276-284.
- Iroy J. 2017. Effects of habitat disturbance on tropical forest biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(23): 6056-6061.
- Jung YR and Kang JE. 2019. Analysis of Social Big Data to Support the Development of Climate Change Policy. *Journal Of Environmental Policy And Administration*. 27(4): 211-239.
- Jung JH · Choi YE · Moon JY and Park MN, 2019. Analysis on the Public Awareness of Weather Phenomena in the Context of Climate Change or Global Warming in the Republic of Korea Using Big Data. *Journal of Climate Research*. 14(4): 245-258
- Song IO and Song DS. 2020. Responding to Climate Change Thought The Application of New Technologies and Improved Legislation. *Hannam Journal of Law&Technology*. 26(3): 99-136
- Park JY and Jo DI. 2015. A conceptual framework assessing economic impacts stemming from disasters in Korea. *Journal of Governance Studies* 10(1): 17-39
- U.S. Global Change Research Program, 2018. Fourth National Climate Assessment. Global Change Research Program 2018
- Kim JW. 2021. Sustainable Development Strategies in Asian Countries: The Water-Energy-Food Security

- Nexus. *The Journal of Eurasian Studies*. 18(3): 179-211
- Woo HS. 2020. Typological System of Nature-based Solutions and Its Similar Concepts on Water Management. *Ecology and Resilient Infrastructure*. 7(1): 15-25
- National Institute of Ecology. 2016. Korea National Ecosystem Assessment.
- Sammut-Bonnici, T., & Galea, D. 2015. PEST analysis. TEEB DE, 2016. Ecosystem services in rural areas. <http://ipbes.net>
- <https://www.esconference.org>
- <http://sciencedirect.com>
- <http://springer.com>