

## 토픽모델링 분석을 활용한 국내 기후기술 연구동향 분석

유재호\* · 김수현\*\* · 전의찬\*\*\*†

\*세종대학교 기후환경융합센터 선임연구원, \*\*세종대학교 기후에너지융합학과 석박사통합과정학생, \*\*\*세종대학교 기후에너지융합학과 교수

### Analysis of climate technology research trends using topic modeling

Yoo, Jae-Ho\* · Kim, Su Hyun\*\* and Jeon, Eui-Chan\*\*\*†

\*Senior Researcher, Department of Climate and Environment Research Center, Sejong University, Seoul, Korea

\*\*Integrated Master's and Ph.D. Student, Department of Climate and Energy, Sejong University, Seoul, Korea

\*\*\*Professor, Department of Climate and Energy, Sejong University, Seoul, Korea

#### ABSTRACT

This study analyzes the research trends of climate technology in South Korea by collecting 285 related academic papers from the Korea Citation Index (KCI) and extracting a total of 1,893 keywords from their abstracts. Using topic modeling analysis, six major research topics were identified: (1) Development and Application of an Eco-Friendly Urban Design System, (2) Strategies for Climate Technology Cooperation and Corporate Management Utilization, (3) Legal and International Cooperation Measures for Carbon Neutrality and Climate Change Response through Climate Technologies, (4) Sustainable Development Strategies Based on Green Industry and Environmental Policy, (5) Analysis of the Impact of Low-Carbon Product Manufacturing on Consumer Behavior, and (6) Development and Application of Processes for Reducing Environmental Pollutants and Improving Energy Efficiency. The results show that the frequency of research on climate technology has increased significantly in response to major national policies—such as the Framework Act on Low Carbon, Green Growth and the Climate Change Response Technology Development Promotion Act—and that specific topics became more prominent during different periods. In particular, since 2020, the growing emphasis on ESG management and consumer awareness has led to an increase in related studies, particularly in Topic 5. Moreover, the annual hot topic analysis revealed that climate technology research has not been concentrated in a single domain, but has instead actively spanned multiple disciplines, including engineering and policy. This study provides a comprehensive overview of the current trajectory of domestic climate technology research and is expected to serve as a useful reference for future research planning and agenda-setting.

Key words : Climate Technology, Green Technology, Topic Modeling, Research Trend

### 1. 서론

2023년 우리나라는 기후변화 대응과 탄소중립 사회로의 이행을 위하여 2023년 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획을 수립하였다(2050 Carbon Neutrality and Green Growth Commission, 2023). 정부는 기본계획을 통해

2050년 탄소중립 달성을 위한 4대 전략 12대 과제를 수립하였으며, 「기술혁신·규제개선」, 「핵심산업 육성」 등의 과제에서 기후기술 기본계획 수립 및 R&D 활성화를 통한 혁신적인 탄소중립·녹색성장 달성 목표를 공표하였다.

우리나라는 탄소중립 달성을 위해 기후기술 관련 다양한 정책 및 제도적 지원 방안을 마련하고 있다. 녹색기술센

†Corresponding author : [ecjeon@sejong.ac.kr](mailto:ecjeon@sejong.ac.kr) (Sejong University 1115B-ho Gwanggaeto Building, 209 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, Korea. Tel. +82-2-3408-4353)

ORCID 유재호 0000-0001-6340-3710 김수현 0009-0005-4963-0331

전의찬 0000-0003-2783-4550

터(현 국가녹색기술연구소)에서는 2017년 온실가스 감축, 기후변화 적응, 기후기술 융복합 분야 등 3개 대분류 및 45개 소분류로 구성된 기후기술 분류체계를 개발한 바 있으며, 이를 토대로 2020년 UNEP-DTU Partnership (United Nations Environment Programme - Technical University of Denmark Partnership)과 함께 기술수요평가 기반의 기후기술 분류체계를 개발한 바 있다(Green Technology Center, 2020). 또한, 정부는 2021년 온실가스 감축과 기후변화 적응에 관한 기술 연구기반을 조성하기 위하여 『기후변화대응 기술개발 촉진법』을 제정 및 시행하였으며, 해당 법령을 근거로 「제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획(’23~’32)」과 「2025년도 기후변화대응 기술개발 시행계획」을 수립하였다.

기후기술 개발은 탄소중립 달성에 있어 중요한 역할을 하고 있으며, 다양한 정책·제도가 수립됨에 따라 관련 연구가 활발하게 진행되고 있지만, 기후기술 연구의 동향을 체계적이고, 시계열적으로 분석한 사례가 거의 없어 국내에서 수행되고 있는 기후기술 관련 연구의 주제와 동향을 직관적으로 파악하기에 어려움이 있다. 본 연구는 탄소중립 달성·기후변화 대응과 관련된 주요 이슈로 부상하고 있는 기후기술에 대한 국내 연구를 수집하고, 토픽모델링 분석을 수행하여 연구 동향을 분석하고자 한다. 본 연구의 결과는 최근 기후기술 관련 연구의 주요 이슈를 정리하고, 활발하게 수행되고 있는 연구 주제를 분석할 수 있으며, 향후 기후기술 관련 연구자들의 연구 방향 설정에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

연구 목적을 달성하기 위해 본 논문의 2장에서는 토픽모델링 분석 사례들을 살펴보고, 기후기술과 관련된 선행 연구들을 살펴보았으며, 3장에서는 연구 대상과 토픽모델링 방법론에 대하여 기술하였다. 4장에서는 기후기술 관련 연구를 대상으로 수행한 토픽모델링 결과를 정리하였으며, 5장에서는 연구의 결론과 한계점에 대하여 서술하였다.

## 2. 선행연구

토픽모델링과 텍스트 네트워크 분석은 대량의 문헌을 대상으로 핵심 키워드를 분석할 수 있어 연구동향과 정책동향 분석에 있어 광범위하게 사용되어 왔다. Yoo et al. (2023)은 IPCC의 실무그룹별 주요 키워드를 토대로 학술논문 수집 및 토픽모델링 분석을 수행하여 우리나라의 기후변화 연구동향을 실무그룹별로 분석하였으며, 실무그룹

별로 활성화될 필요가 있는 연구주제를 제시하였다. Choi and Cho (2024)는 한국, 미국, 일본, 중국, 대만 등 5개국의 기상청 및 기상 관련 연구기관에서 발표한 논문을 대상으로 텍스트 네트워크 분석을 수행하였으며, 태풍 진로 및 강도 예측, 관측자료 기반 자료동화 및 모델링, 기후변화와 태풍 간 상관관계 연구, 태풍과 대기순환 상호작용 등이 주요 주제였음을 밝혔다. 이와 같이 연구동향 및 정책동향 분석에 있어 토픽모델링 분석을 활용한 다양한 연구가 수행되었다.

텍스트 네트워크 분석을 활용하여 기후기술 관련 연구 동향을 분석한 사례도 존재하였다. Lee (2024)는 북한 학술지를 대상으로 국가 기후기술 분류체계에 기재된 키워드를 활용하여 감축기술 관련 논문을 수집하고, 최종적으로 기후변화 감축기술 관련 북한의 학술논문 1,171건을 대상으로 텍스트 네트워크 분석을 수행하여 연구동향을 살펴보았다. 분석 결과를 통해 북한의 온실가스 감축 기술 관련 연구 중 태양광 및 풍력 등 재생에너지를 활용한 ‘에너지 생산’ 분야의 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 이는 북한의 부족한 에너지를 충당하기 위한 것이라는 점을 확인하였다. Jeong et al. (2012)은 녹색기술정보포털에 게재되어 있는 잡지의 기사들을 대상으로 연결 중심성 분석을 수행하였다. 해당 연구에서는 재생에너지, 바이오매스, 연료전지, 배터리, 전기차 등 에너지 분야, 전기자동차, 나노 기술에 대한 키워드가 연결 중심성이 높은 키워드임을 확인하였다. Ha and Oh (2020)는 Web of Science를 통해 태양전지와 관련된 한국, 미국, 중국, 일본, EU의 연구를 수집하여 연구 동향을 분석하였으며, 우리나라의 연구 활동력은 우수한 편이었으나 연구 영향력은 부족하였음을 확인하였다.

위에서 살펴 본 바와 같이 토픽모델링과 텍스트 네트워크 분석을 활용하여 각 분야의 연구동향을 살펴본 사례는 다수 존재하며, 특히, 기후기술과 관련하여 북한의 연구 동향을 분석한 사례와 태양전지 등 주요 기후기술을 대상으로 연구 동향을 분석한 사례도 존재한다. 그럼에도 불구하고 우리나라에서 수행된 기후기술 관련 연구 동향을 통합적으로 살펴보고, 토픽모델링 분석을 활용하여 체계적으로 분석한 사례는 거의 수행되지 않은 것으로 확인되었다. 이에 본 연구는 토픽모델링 분석을 활용하여 국내 기후기술 관련된 연구 동향을 체계적으로 살펴보고자 한다.

### 3. 방법론 및 연구대상

#### 3.1. 토픽모델링 분석

본 연구는 토픽모델링을 활용하여 국내 기후기술 관련 연구동향을 분석하고 주요 토픽을 도출하여 분석하고자 한다. 토픽모델링 분석은 텍스트 집단(network) 내의 주요 키워드를 추출하고, 추출된 키워드들을 대상으로 정량적인 분석을 실시할 수 있다. 또한, Topic을 구성하는 키워드의 조합을 토대로 연구자가 토픽명을 명명하여 주요 연구주제를 살펴볼 수 있다는 장점이 있어 연구 분야를 막론하고 공학, 인문, 사회과학 등 전 분야에서 널리 활용되고 있다(Radhakrishnan et al., 2017). 본 연구는 국내 기후기술 관련 학술논문을 수집하여 이를 토대로 연구의 주요 Topic을 파악하고자 한다. 기후기술 논문의 연구 동향 분석을 위해 LDA (Latent Dirichlet Allocation) 분석기법을 적용하였으며, 분석도구로는 Netminer Ver 4.5.1.b를 활용하였다. LDA 토픽 모델의 구조는 다음 Fig. 1과 같다.

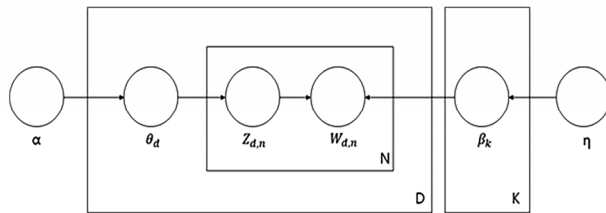


Fig. 1. LDA model structure

- $\alpha$ : 문서별 토픽 k의 Dirichlet prior weight,  $\theta$ 값을 결정하는 파라미터
- $\theta_d$ : 문서별 토픽의 비율
- $Z_{d,n}$ : 문서 d의 n번째 단어의 토픽(index)
- $W_{d,n}$ : 문서 d의 n번째 단어(문서에 관측되는 변수, index)
- $\beta_k$ : 토픽별 단어 w의 생성확률
- K: 토픽의 개수
- $\eta$ : 토픽별 단어 w의 Dirichlet prior weight,  $\beta$ 값을 결정하는 파라미터

#### 3.2. 분석대상 및 전처리 과정

기후기술을 지칭하는 용어는 기후기술, 기후테크, 환경친화기술, 적정기술, 네거티브배출기술 등 다양하게 사용

되고 있다. 본 연구는 Oh, An, et al. (2021)과 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(2050 Carbon Neutrality and Green Growth Commission, 2023) 등을 참조하여 “기후기술”, “기후테크”, “녹색기술”, “탄소중립기술”, “저탄소기술”, “청정기술”, “친환경기술” 등을 기후기술과 관련된 주요 키워드로 설정하였다. 기후기술 관련 연구 동향 분석을 위해 한국학술지인용색인(Korea Citation Index; KCI)에서 기후기술 관련 주요 키워드를 활용하여 관련 논문 데이터를 검색하였으며, KCI에서 제공하는 서지정보 내보내기 기능을 활용하여 제목, 영문 제목, 국문 초록, 영문 초록, 키워드, 영문 키워드, 발행 연도, 주저자 소속기관 등을 수집하였다. 또한, 검색 기간에는 제한을 두지 않아 조건을 충족하는 연구는 기간에 상관없이 수집될 수 있게 하였다. 기후기술과 관련 없는 연구 논문을 제외하고 보다 정확한 분석을 수행하기 위하여 제목과 초록에 정확하게 검색어가 일치하여 포함되는 경우에만 논문 데이터를 수집하였고, 중복된 논문, 초록이 포함되어 있지 않은 논문 등을 제외하고 정리하였다.

2002년부터 2025년 3월(논문 수집일: 2025년 3월 25일 기준)까지의 기간동안 발행된 285개 논문을 대상으로 Netminer의 Import Unstructured Text 기능을 사용하여 초록에 포함되어 있는 문단, 문장 등에 포함되어 있는 3,257개의 단어를 수집하였다. 본격적인 연구 수행에 앞서 정확하고 실효성 있는 분석을 위해 전처리 과정을 수행하였다. 전처리 과정은 비슷한 의미를 가진 단어들을 통합해주는 유의어, “기후변화”와 같이 단어의 합성어를 하나의 단어로 지정해주는 지정어, 분석에 필요하지 않은 단어를 제외해주는 제외어를 설정함으로써 수행되었으며, 전처리 과정을 거친 후 285개 논문의 초록에 포함되어 있는 1,893개의 키워드를 최종 분석 대상으로 설정하였다.

### 4. 연구결과

#### 4.1. 연도별 논문 작성 현황

국내 기후기술 관련 연구 동향을 파악하기 위해, 수집된 논문을 토대로 연도별 논문 작성 현황을 정리하였다 (Fig. 2 참조). KCI에서 수집된 논문 중 기후기술 관련 키워드가 제목 및 초록에 정확하게 사용된 기후기술 관련 연구는 2002년에 최초로 수행된 것으로 나타났다. 기후기술 관련 논문 게재는 2009년을 기점으로 2012년까지 활발하게 수행되었다가 점차 줄어드는 추세를 보였으며,

2020년을 기점으로 관련 연구 수행이 크게 증가하는 추세를 보였다. 이는 기후기술과 관련된 다양한 국가 법령의 제정·시행, 국제적인 관심, 정권의 변화 등이 기후기술 관련 연구 수행에 영향을 미친 것으로 판단된다. 2010년에는 『저탄소 녹색성장 기본법』이 제정 및 시행되어 저탄소 사회 구현을 위한 녹색기술에 대한 연구가 활발하게 수행된 것으로 보이며, 2021년에는 「2050 탄소중립 시나리오」가 공개되었으며, 『기후변화대응 기술개발 촉진법』이 제정·시행되어 탄소중립·기후변화 대응을 위한 기후기술 관련 연구가 크게 증가한 것으로 판단된다. 2009년을 시작으로 증가한 논문 게재 수는 2013년을 기점으로 점차 감소하여 2016년 급감한 것으로 나타났으며, 이는 2013년 정권 교체와 영향을 받은 것으로 판단된다. 2008년 8월 제시된 저탄소 녹색성장은 최우선 국정과제로 활발하게 운영되었으나, 정부주도의 정책추진, 일방향적인 정책집행, 민간 참여의 제한점 등의 한계를 지니고 있었다(Son et al., 2015). 정권 교체 이후 주요 정책 어젠다는 ‘창조경제’로 설정되어 기후정책이 비교적 약화되었으며(Kim, 2021), 녹색성장위원회는 대통령 직속에서 총리실 산하로 격하되는 등 녹색성장 어젠다의 동력이 저하되었다(Lee, 2014). 이와 같은 한계점과 정부 교체로 인하여 녹색성장과 녹색·기후기술에 대한 연구 관심이 약화되었을 가능성이 있으며, 그에 따라 해당 기간에 논문 작성 현황이 감소하였을 것으로 판단된다.

#### 4.2. 소속기관별 논문 작성 현황

기후기술 관련 연구를 활발하게 진행하는 기관을 분석하기 위하여 저자의 소속기관을 토대로 소속기관별 논문 작성 현황을 살펴보았다. Fig. 3에 기후기술 관련 연구를 많이 수행한 상위 5개 기관을 정리하였다. 가장 많은 기후기술 관련 연구를 수행한 기관은 국가녹색기술연구소로 수집된 285개의 학술논문 중 35개의 학술논문을 작성한 것으로 나타났다. 국가녹색기술연구소는 2013년 녹색기술센터로 최초 설립되어, 2022년 국가녹색기술연구소로 기관명칭을 변경하였으며, 국가 녹색기술 정책 수립을 통하여 기후변화 대응 및 녹색성장에 기여하는 것을 목표로 하는 기관이다. 국가녹색기술연구소는 기후기술 분류체계를 개발하고, 「기후기술 산업통계」 및 「기후기술 국가연구개발사업 조사·분석 보고서」 발간 등 국가의 기후기술 관련 다양한 정책 및 사업들을 시행하고 있으며, 그에 따라 기후기술 관련 연구를 활발하게 수행한 것으로

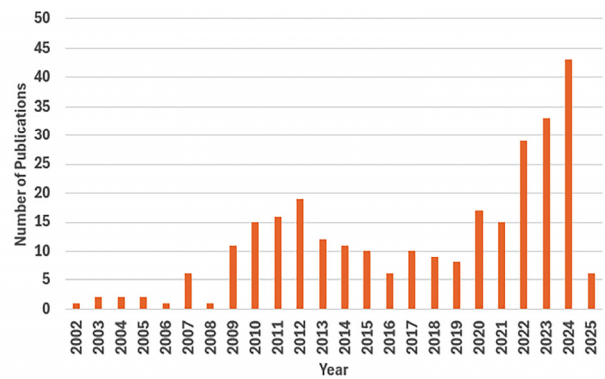


Fig. 2. Number of publications on climate technology by year

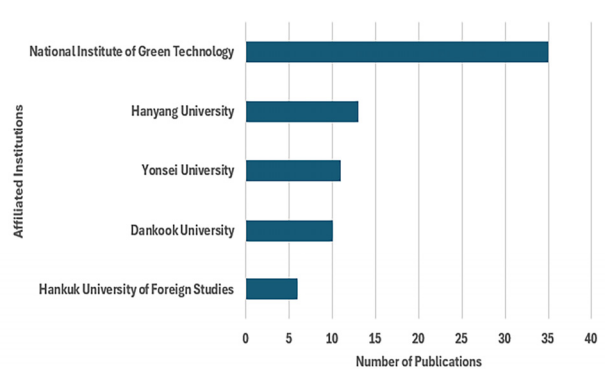


Fig. 3. Number of climate technology publications by first author's affiliated institution

판단된다. 또한, 그 뒤를 이어 한양대학교, 연세대학교, 단국대학교 등의 대학에서 기후기술 관련 연구를 활발하게 진행하였는데, 이는 동일한 저자 혹은 소속 연구실에서 수행되는 연구의 주제가 유사하기 때문인 것으로 판단된다. 한양대학교에서 작성한 기후기술 관련 논문 14편 중 6편의 논문이 2명의 저자 연구실에서 작성되었으며, 연세대학교에서는 동일한 저자가 3편의 기후기술 관련 논문을 작성한 것으로 나타났다. 또한, 단국대학교에서는 10편의 논문 중 6건의 연구가 동일한 저자 소속의 연구실에서 수행된 것으로 나타났다. 한양대학교에서는 친환경 건축과 지적재산법을 연구하는 연구실에서 관련 연구를 많이 수행하였으며, 연세대학교와 단국대학교에서는 국제법 및 환경법을 연구하는 연구실에서 관련 연구를 다수 수행한 것으로 나타났다.

### 4.3. 토픽모델링 분석 결과

기후기술 관련 285개의 학술논문, 1,893개의 키워드를 대상으로 토픽모델링 분석을 수행하여 국내 기후기술 연구의 주요 토픽을 도출하였다. 연구에 적절한 토픽 수를 결정하기 위하여 토픽 개수를 2개부터 10개까지 설정하여 토픽모델링 분석을 반복 수행하여 토픽 간 키워드 중복도, 주제 해석 용이성 등을 기준으로 살펴보았다. 최종적으로 alpha값 0.1, beta값 0.01, # of iterations 1,000의 파라미터를 활용하여 6개의 토픽을 선정하였다. 선정된 토픽의 명칭은 연구자가 명명하게 된다. 토픽에 포함되어 있는 모든 단어들을 고려하게 되면 토픽의 주제를 해석하기에 어려움이 있어 토픽별로 등장확률이 높은 10개의 키워드를 토대로 수집된 논문 데이터와 비교하였으며, 각 토픽의 주제가 대표성이 확보될 수 있도록 각 토픽을 명명하였다. 특히, 토픽 명명 과정에서 토픽 간의 주제가 중복되지 않고, 각 토픽의 시사하는 의미를 보다 명확하게 전달하고자 하였다.

토픽은 (1) 친환경 도시 디자인 시스템 개발 및 적용 연구(Development and Application of an Eco-Friendly Urban Design System) (2) 기후기술 협력 및 기업 경영 활용 전략(Strategies for Climate Technology Cooperation and Corporate Management Utilization) (3) 탄소중립·기후변화 대응을 위한 기후기술 관련 법·국제협력 방안(Legal and International Cooperation Measures for Carbon

Neutrality and Climate Change Response through Climate Technologies) (4) 녹색산업·환경정책 기반 지속가능발전 전략(Sustainable Development Strategies Based on Green Industry and Environmental Policy) (5) 저탄소 제품 생산이 소비자에 미치는 영향 분석(Analysis of the Impact of Low-Carbon Product Manufacturing on Consumer Behavior) (6) 환경오염물질 저감 및 에너지효율 향상을 위한 공정 개발 및 적용(Development and Application of Processes for Reducing Environmental Pollutants and Improving Energy Efficiency) 등으로 명명하였다. 각 토픽의 정의 및 주요 키워드는 Table 1에 정리하였다.

명명한 토픽을 기준으로 기후기술 관련 연구동향을 살펴보았다.

첫 번째 토픽인 ‘친환경 도시 디자인 시스템 개발 및 적용 연구’와 관련하여 ‘스마트시티’, ‘친환경 디자인’, ‘친환경 주택’ 등의 키워드를 중심으로 연구가 활발하게 수행되었다. 특히, 공동주택, 학교, 대형의료기관, 업무용 건물 등 건축물 대상의 친환경 설계 방식 및 기술 적용에 대한 연구들이 다수 수행되었다(Gong et al., 2014; Jo & Cho, 2010; Kim & Park, 2015; Kim et al., 2008; Park et al., 2023; Woo & Nam, 2011). 그 외에도 저탄소 기술을 적용한 탄소중립단지 조성 관련 연구(Lee & Lee, 2011)와 친환경 도시 조성을 위한 연구(Kang et al., 2014)도 수행되었으며, 지속가능한 도로교통 시설에 대한 연구(Bae & Park, 2015)도 수행되었다. 두 번째 토픽인 ‘기후기술 협

Table 1. Topic modeling result

	Topic name	Top 10 relevant words
Topic 1	Development and Application of an Eco-Friendly Urban Design System	Technology, Development, Research, Application, Analysis, Eco-Friendly, Design, System, Urban, Energy
Topic 2	Strategies for Climate Technology Cooperation and Corporate Management Utilization	Research, Analysis, Technology, Cooperation, Business, Sector, Related, Corporation, Utilization, Management
Topic 3	Legal and International Cooperation Measures for Carbon Neutrality and Climate Change Response through Climate Technologies	Greenhouse Gases, Climate Change, Technology, Law, Mitigation, Response, Climate, Carbon Neutrality, Transfer, International
Topic 4	Sustainable Development Strategies Based on Green Industry and Environmental Policy	Environment, Policy, Industry, Green, Economy, Society, Strategy, Corporation, Feasibility, Sustainability
Topic 5	Analysis of the Impact of Low-Carbon Product Manufacturing on Consumer Behavior	Analysis, Research, Impact, Greenhouse Gases, Industry, Production, Technology, Consumer, Product, Outcome
Topic 6	Development and Application of Processes for Reducing Environmental Pollutants and Improving Energy Efficiency	Research, Utilization, Environment, Substances, Efficiency, Use, Application, Process, Development, Outcome

력 및 기업 경영 활용 전략'에 대한 연구는 친환경 기술을 적용하여 기업의 이미지를 창출(Kim, 2009)하거나 기업의 경쟁력 제고를 위한 연구(Choi & Bang, 2012; Kim & Lee, 2012; Kim et al., 2020)가 다수 수행되었다. 환경규제 및 탄소중립 정책이 기업에 미치는 영향을 분석하고, 기업의 대응 방안을 마련하는 연구(Kang & Cho, 2015; Kim, 2011; Shim, 2023) 등 전반적으로 기업 경쟁력을 높이기 위한 연구도 많이 수행되었다.

세 번째 토픽인 '탄소중립·기후변화 대응을 위한 기후 기술 관련 법·국제협력 방안'과 관련하여 CDM 사업(Jo & Eom, 2015)과 기후기술이전(Bak et al., 2019; Lee & Ueno, 2010; Oh, Yang, et al., 2021; Song & Song, 2019) 관련 연구와 TRIPs 협정 체제(Na, 2012) 기술 이전 과정에서 발생하는 지적재산권에 대한 연구가 수행되었다. 또한, 국제환경법에 따른 우리나라의 지위에 대하여 살펴보기거나(Seo, 2007) 녹색기술 개발 과정에서의 국제법을 검토하는 등의 연구(Kim, 2012; Son, 2017)도 수행되었다. 네 번째 토픽인 '녹색산업·환경정책 기반 지속가능발전 전략'과 관련된 연구는 다음과 같다. 탄소중립·녹색성장 달성을 위한 다양한 글로벌 이슈와 환경정책 하에서 기업의 지속가능한 발전 전략과 대응 방안을 살펴보는 연구(Ahn, 2021; Kim et al., 2024; Lee et al., 2010)가 다수 수행되었으며, 재생에너지 활성화 요인에 대한 연구(Jung & Chung, 2019)와 국내외 환경·에너지 관련 법·정책 동향을 살펴보고 지속가능한 사회 형성에 대한 제언을 하는 연구(Choi, 2021; Han & Park, 2022; Kim & Kim, 2020; Park, 2009)가 수행되었다.

다섯 번째 토픽인 '저탄소 제품 생산이 소비자에게 미치는 영향 분석'은 2021년 이전에는 기업의 사회적 책임 차원에서의 공유가치창출(Cho & Lee, 2015; Zang &

Choi, 2020)과 녹색기술에 재무성과에 미치는 영향(Bak et al., 2013) 등에 대하여 중점적으로 연구되었다. 2022년 이후에는 기업의 ESG 경영에 관한 연구들이 주로 수행(Chang, 2022)되었다. 특히, 녹색기술제품에 대한 소비자의 인식과 소비자 관점에서의 ESG 경영에 대한 연구 등 소비자를 중심으로 한 연구(Rhee, 2023; Seok et al., 2023, 2024)들이 수행되었다. 마지막으로 '환경오염물질 저감 및 에너지효율 향상을 위한 공정 개발 및 적용'토픽과 관련된 연구들은 대기오염물질·폐수 등 환경오염물질 저감과 온실가스 저감을 위한 공정 및 기후기술 개발에 대하여 수행되었다. 특히, 2010년 이전에는 나노 물질의 위해성 평가(Kim et al., 2007), 석유화학 부문의 청정 기술에 대한 연구(Park et al., 2003), 청정공정구현을 위한 나노기술 개발(Kim & Yi, 2005) 등 환경오염물질에 대한 연구가 주로 이루어졌다면, 2010년 이후에는 시멘트산업공정의 온실가스 저감을 위한 청정기술 적용(Park & Kim, 2010), 콘크리트 생산에 의한 온실가스 배출량 평가(Kim & Tae, 2010), 저탄소 제철기술 개발(Nam et al, 2024) 등 온실가스 저감 위주의 연구들이 많이 수행되었다.

Fig. 4는 연도별로 등장 확률이 가장 높은 Hot Topic을 분석한 Heat map이다. Heatmap은 285개의 논문별로 등장 확률이 높은 1st Topic을 할당한 뒤, 각 게재연도의 평균 값으로 산정하였다.

Hot Topic 분석 결과, 기후기술 관련 연구가 시작된 2000년대 초반에는 Topic 6과 관련된 연구들이 주로 수행되었을 가능성이 높은 것으로 나타났으며, 최근인 2020년 이후부터는 Topic 5와 관련된 연구 위주로 주요 연구 주제가 변경된 것으로 나타났다. 즉, 2000년대 초반에는 환경오염물질을 저감하기 위한 목적으로 기후기술 관련 연구들이 수행되었다면, 2020년대 이후부터는 '저

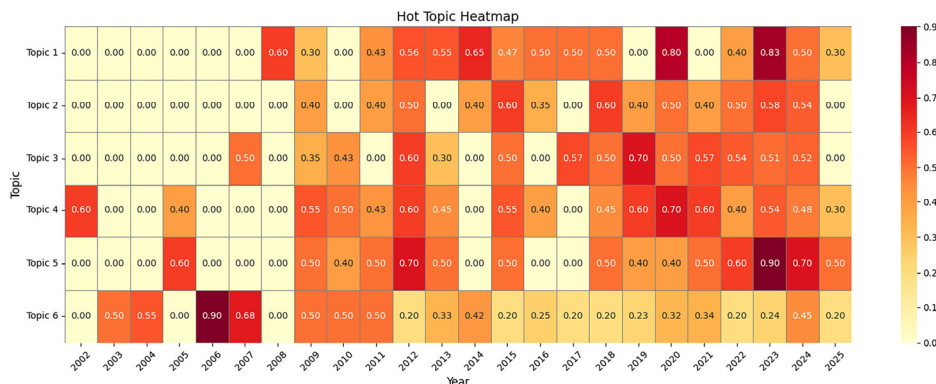


Fig. 4. Annual hot topic analysis results

탄소 제품 생산과 소비자 영향 분석'에 대한 연구가 많이 수행되었다. 이는 2020년대 이후부터 ESG 경영 이슈의 급부상으로 인해 기업의 저탄소 제품에 대한 연구가 많이 수행된 것으로 판단된다. 또한, 2008년까지는 주요 Topic 등장 확률이 한 개의 Topic에 집중되어 나타났다면, 2010년 이후로는 여러 Topic의 등장 확률이 동시에 높은 경우가 많이 발생하는 것을 확인하였다. 이는 2010년 제정·시행된 『저탄소 녹색성장 기본법』의 영향으로 기후·녹색기술과 관련된 연구들이 다양하게 수행되었기 때문으로 판단된다.

285개의 논문 중 각 토픽에 해당하는 연구들을 중심으로 살펴보았다. 각 논문에서 등장 확률이 가장 높았던 토픽을 기준으로 Topic 1에 해당되는 논문이 40개, Topic 2: 36개, Topic 3: 46개, Topic 4: 58개, Topic 5: 22개, Topic 6: 83개로 나타나 Topic 6와 관련된 연구가 가장 많이 수행되었으며, Topic 5와 관련된 연구가 가장 적게 수행된 것으로 나타났다. Topic 5의 경우 등장확률이 가장 높았던 연구는 22건으로 가장 적게 나타났지만, 2020년 이후 ESG 경영 이슈와 더불어 집중되어 연구가 수행된 것으로 판단된다. Topic 6는 가장 많은 연구가 수행되었지만, Hot Topic으로 선정된 시점은 2008년 이전에 집중되어 있어 2008년 이전에는 기후기술 관련 핵심 주제였으며, 2009년 이후에는 Hot Topic으로 선정은 되지 못했지만, 지속적으로 연구가 수행된 분야인 것으로 판단된다.

## 5. 결론

우리나라에서는 기후변화 대응의 핵심 과제로 기후기술과 관련된 관심도가 높아지고 있으며, 『기후변화대응 기술개발 촉진법』 등 기후기술과 관련된 법 제정과 더불어 학술연구도 활발해지고 있다. 이에 본 연구는 우리나라에서 수행된 기후기술과 관련된 285개의 논문, 1,893개의 키워드를 대상으로 토픽모델링 분석을 수행하여 기후기술 관련 연구의 주요 동향을 파악하였다.

분석 결과를 정리하면 다음과 같다. 첫 번째, 우리나라의 기후기술은 2010년과 2020년을 기점으로 더욱 활발하게 연구되기 시작하였으며, 이는 『저탄소 녹색성장 기본법』의 제정에 따른 녹색기술 관련 관심도 제고와 「2050 탄소중립 시나리오」 기후변화에 대한 관심도가 증가하면서, 기후변화 대응을 위한 기후기술에 대한 연구 역시 활발하게 수행된 것으로 판단된다. 또한, 국내에서 기후기술 관련 학술연구를 가장 활발하게 수행한 기관은 '국가녹색

기술연구소'로 분석대상이 된 285개의 논문 중 35개의 논문을 작성한 것으로 나타났다.

두 번째, 토픽모델링 분석을 통해 도출된 우리나라 기후기술 관련 주요 토픽은 '친환경 도시 디자인 시스템 개발 및 적용 연구', '기후기술 협력 및 기업 경영 활용 전략', '탄소중립·기후변화 대응을 위한 기후기술 관련 법·국제협력 방안', '녹색산업·환경정책 기반 지속가능발전 전략', '저탄소 제품 생산이 소비자에게 미치는 영향 분석', '환경오염물질 저감 및 에너지효율 향상을 위한 공정 개발 및 적용' 등으로 나타났다.

세 번째, 가장 많은 연구가 수행된 토픽은 Topic 6 (83개)로 나타났으나 Hot Topic으로 선정된 시점은 2009년 이전인 것으로 나타났다. 가장 적은 연구가 수행된 토픽은 Topic 5 (22개)이지만, 2020년 이후로는 지속적인 Hot Topic으로 선정되었다. 이를 토대로 Topic 6는 2009년 이전에는 핵심 주제였으며, 2009년 이후로 Hot Topic으로 선정될 수준은 아니었지만, 꾸준히 많은 연구가 수행된 주제를 확인하였다. 또한, Topic 5의 경우, ESG 경영과 더불어 기후기술과 저탄소 제품이 기업 경영과 소비자의 인식에 미치는 영향을 분석한 연구 사례가 급속도로 증가하였음을 확인하였다.

그 외에도 Topic 1, Topic 2, Topic 3, Topic 4의 등장확률이 높은 연구가 각각 40개, 36개, 46개, 58개로 나타나 기후기술과 관련된 연구들은 한 분야에 집중적으로 몰려 있지 않고, '스마트 시티 등 건축 분야', '기후기술 관련 법·정책 관련 연구', '기후기술 관련 협력 방안', '저탄소 제품 생산과 소비자 영향', '오염물질 저감을 위한 기술 연구', '지속가능발전 전략' 등 다양한 연구가 정책·공학 등 학제 전반에 걸쳐 수행되고 있음을 확인하였다.

본 연구는 기후기술과 관련된 학술논문을 대상으로 토픽모델링 분석에 기반한 연구동향의 체계적인 분석(systemic review)를 시도하였고, 주요 토픽을 도출하였다는 점에서 그 의의를 가진다. 또한, 연도별 주요 연구 동향과 주요 연구수행기관을 함께 살펴보았다는 점에서 기후기술 연구에 대한 다양한 연구현황을 분석하였다. 그럼에도 불구하고 본 연구에 사용된 토픽모델링 분석의 특성상 토픽의 명명이 연구자에 의하여 이루어졌다는 점, 토픽별 등장 확률을 토대로 Hot Topic을 선정하였기에 실제 연구동향과 일부 차이가 날 수 있다는 점, 토픽의 해석을 용이하게 하기 위하여 전처리 과정에서 일반적인 용어(Technology, Research 등)를 제외하지 않았다는 점 등에서 한계점이 있다. 차후 연구에서는 토픽모델링을 비롯하

여 커뮤니티 분석, 중심성 분석 등 보다 다양한 방식의 텍스트 네트워크 분석을 수행할 필요가 있다.

## 사사

본 연구는 환경부 ‘기후변화특성화대학원사업’의 지원으로 수행되었습니다.

## Reference

- 2050 Carbon Neutrality and Green Growth Commission. 2023. National Basic Plan for Carbon Neutrality and Green Growth. Sejong, Korea: Office of the President.
- Ahn YG. 2021. Strategies of the Korean shipping industry in the post-corona era (in Korean with English abstract). *Korean Logist Rev* 31(4): 29-40. doi: 10.17825/klr.2021.31.4.29
- Bae JH, Park HS. 2015. Development of causal map for sustainable transportation facilities using system dynamics (in Korean with English abstract). *KSCE J Civ Environ Eng Res* 35(4): 953-959. doi: 10.12652/Ksce.2015.35.4.0953
- Bak IH, Shin KN, Yang RW, Lee SK, Jang CS, Lee JY. 2019. Suggestion for enhancing climate technology cooperation of Korea through technical assistance of the climate technology center and network (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 10(2): 103-110. doi: 10.15531/KSCCR.2019.10.2.103
- Bak SH, Lee CG, Seo CS. 2013. The effects of green technology patent on the financial performance of specialized green enterprises (in Korean with English abstract). *J Korea Technol Innovation Soc* 16(3): 724-753.
- Chang SI. 2022. USA, Germany. a case study of Japan's green growth policy and ESG green management activities (in Korean with English abstract). *Innovation Enterp Res* 7(2): 111-128. doi: 10.37297/IER.2022.08.7.2.111
- Cho SM, Lee JH. 2015. A study on CSV strategies with the diamond model: With a focus on samsung electronics (in Korean with English abstract). *Korea Bus Rev* 19(3): 35. doi: 10.17287/kbr.2015.19.3.35
- Choi BR. 2021. A study on eco-friendly ship act in consideration of hydrogen act and carbon neutrality act (in Korean with English abstract). *J Korea Marit Law Assoc* 43(2): 325-352.
- Choi SY, Bang HY. 2012. A typology of environmental management strategies as a new source of competitive advantage (in Korean with English abstract). *Korean J Bus Administration* 25(1): 69-92.
- Choi SY, Cho YS. 2024. Exploration of typhoon research trends using keyword network analysis (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 15(4): 463-476. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.4.463
- Gong YR, Tae SH, Song SW, Roh SJ. 2014. A study on the environmental impact assessment for passive apartment based on life cycle assessment (in Korean with English abstract). *J Korea Inst Build Constr* 14(6): 537-543. doi: 10.5345/JKIBC.2014.14.6.537
- Green Technology Center (GTC). 2020. GTC and UN partner organizations develop technology classification system for climate change response. Press release, December 8, 2020.
- Ha SJ, Oh SJ. 2020. A study on research trends in the field of solar cell technology. *GTC Brief* 2020 December 1(2). Seoul, Korea: Green Technology Center.
- Han MJ, Park CH. 2022. A study on the domestic implications of Germany's energy transition law and policy trends for a sustainable society (in Korean with English abstract). *Environ Law Rev* 44(3): 209-245. doi: 10.35769/elr.2022.44.3.007
- Jeong D-H, Kwon O-J, Kwon Y-I. 2012. Network analysis of green technology using keyword of green field (in Korean with English abstract). *J Korea Contents Assoc* 12(11): 511-518. doi: 10.5392/JKCA.2012.12.11.511
- Jo HH, Eom YS. 2015. The technology transfer of the clean development mechanism (CDM): Deterrence factors and policy proposals (in Korean with English abstract). *Legislation Policy Stud* 7(2): 413-442. doi: 10.22809/nars.2015.7.2.016

- Jo JH, Cho JH. 2010. A study on Korean stile eco house design utilizing 3d simulation (in Korean with English abstract). *J Korean Soc Des Cult* 16(3): 529-540.
- Jung HG, Chung JD. 2019. A study on the factors affecting renewable energy acceptance for climate change response (in Korean with English abstract). *Korean J Environ Educ* 32(4): 437-456. doi: 10.17965/kjee.2019.32.4.437
- Kang HC, Kang BJ, Choi JS. 2014. Policy directions for sustainable urban renewal project in Korea (in Korean with English abstract). *J Reg Stud Dev* 23(2): 357-408.
- Kang TG, Cho JW. 2015. The reinforcement of Chinese environmental regulation and textile industry's response: Focusing on Chinese local companies and Korean enterprises in mainland China (in Korean with English abstract). *J Mod China Stud* 17(1): 157-189. doi: 10.35820/JMCS.17.1.4
- Kim DS, Kim MC. 2020. A study on the country partnership strategy (CPS) for the construction of a law and policy system in the low-carbon and sustainable transportation sector - Focusing on the cps with Nepal (in Korean with English abstract). *Soongsil Law Rev* 48: 127-157. doi: 10.35867/ssulri.2020.48..005
- Kim DW, Seok HT, Yang JH. 2008. A study on the environment-friendly factors of domestic and foreign domed stadiums (in Korean with English abstract). *J Korean Assoc Spatial Struct* 8(3): 37-44.
- Kim HJ. 2012. Understanding of the green technology on the ocean in the international law (in Korean with English abstract). *Korea Law Rev* 66: 169-203.
- Kim JG, Lee KJ, Park SE, Roh TW. 2024. The impact of green technology readiness and green innovation on a corporate sustainable performance (in Korean with English abstract). *Innovation Stud* 19(2): 55-82. doi: 10.46251/INNOS.2024.5.19.2.55
- Kim JG, Park JM. 2015. A study on design method depending upon low carbon green architecture of big medical center (in Korean with English abstract). *KSCE J Civ Environ Eng Res* 35(4): 987-996. doi: 10.12652/Ksce.2015.35.4.0987
- Kim KH. 2009. The proposal using promotional experience exhibition of eco-friendly architectural design & eco-green for the creation of corporate identity - Focused on the lohas corporate identity design plan (in Korean with English abstract). *J Des Forum* 25: 291-300. doi: 10.21326/ksdt.2009..25.027
- Kim MS, Choi KH, Kim YH, Yi JH. 2007. Risk assessment for health and environmental hazards of nanomaterials (in Korean with English abstract). *Clean Technol* 13(3): 159-170.
- Kim SH. 2021. A study of climate policy change in Korea -From historical institutionalism perspective- (in Korean with English abstract)[dissertation]. Yonsei University.
- Kim SH, Oh MJ, Lee SY, Yoon BU. 2020. Establishment of overseas expansion support policy for green/climate technology smes: Integrated viewpoints of policy makers and beneficiaries (in Korean with English abstract). *J Korea Acad-Ind Cooperation Soc* 21(7): 201-211. doi: 10.5762/KAIS.2020.21.7.201
- Kim SK, Lee JH. 2012. A study on the locational distribution and agglomeration characteristics of green industry in Korea by sectoral type (in Korean with English abstract). *Des Convergence Study* 11(5): 213-225.
- Kim TH, Tae SH. 2010. A study on the development of an evaluation system of CO2 emission in the production of concrete (in Korean with English abstract). *J Korea Concr Inst* 22(6): 787-796. doi: 10.4334/JKCI.2010.22.6.787
- Kim YH, Yi JH. 2005. Environmental sensing technology with nanotechnology for the clean technology (in Korean with English abstract). *Clean Technol* 11(2): 75-81.
- Kim YT. 2011. A study on global environmental regulation and response status of japanese motor company (in Korean with English abstract). *J Northeast Asian Economic Stud* 23(4): 1-31.
- Lee HY, Ueno T. 2010. Technology transfer for climate

- change: Discussion by analyzing technology transfer mechanism (in Korean with English abstract). *J Global Polit* 3(2): 137-170.
- Lee KS. 2024. Text mining analysis of the characteristics and trends of north korea's emission mitigation technologies (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 15(1): 57-66. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.1.057
- Lee KY. 2014. A study on development process of presidential agenda focused on 'Low Carbon, Green Growth' (in Korean with English abstract)[dissertation]. Korea University.
- Lee MS, Lee KB. 2011. A study on the site planning to use technical factors of low & zero carbon energy town (in Korean with English abstract). *J Archit Inst Korea* 27(10): 33-42.
- Lee SJ, Jeong SJ, Ko HI. 2010. Diversification on fund management for sustainable growth and support of new growth engine industries (in Korean with English abstract). *J Korea Technol Innovation Soc* 13(4): 717-737.
- Na JK. 2012. The exploitation and proliferation of eco-technologies and the trips agreement for green growth (in Korean with English abstract). *Hannam J Law Technol* 18(2): 197-226.
- Nam SH, Cho KY, Lee KB. 2024. A plan to reduce carbon emissions through the development of low-carbon steelmaking technology (in Korean with English abstract). *KIIAI* 3(2): 25-32.
- Oh CW, An SJ, Min KS. 2021. Features and interrelation amongst technology terminologies related to climate change (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 12(4): 307-332. doi: 10.15531/kscrcr.2021.12.4.307
- Oh SR, Yang RW, Jo SH, Hwang JA. 2021. An exploratory study to establish framework of climate technology cooperation readiness (in Korean with English abstract). *Innovation Stud* 16(3): 275-303. doi: 10.46251/INNOS.2021.8.16.3.275
- Park JH. 2009. The critical review of the Lee Myung-Bak government's green technology policy - From the perspective of the sustainable technology policy (in Korean with English abstract). *ECO* 13(2): 99-138.
- Park SY, Choi YY, Lee MA. 2023. A study on the carbon neutrality scenario model for technology application in units of space (in Korean with English abstract). *KSCE J Civ Environ Eng Res* 43(1): 63-69. doi: 10.12652/Ksce.2023.43.1.0063
- Park YC, Chang W, Bak SJ, Wang WH, Lee TY, Kim YS, Yun CH, Cho BN, Kim YS. 2003. Study of developing simulation package for cleaner production assessment: Case study for each process (in Korean with English abstract). *Clean Technol* 9(1): 1-8.
- Park YG, Kim JI. 2010. A study on the reduction of CO2 emission by the application of clean technology in the cement industry (in Korean with English abstract). *Clean Technol* 16(3): 182-190.
- Radhakrishnan S, Erbis S, Isaacs JA, Kamarthi S. 2017. Correction: Novel keyword co-occurrence network-based methods to foster systematic reviews of scientific literature. *PLoS ONE* 12(9): e0185771. doi: 10.1371/journal.pone.0185771
- Rhee VA. 2023. Review of relevant laws for the development of green innovation technology and its production and consumption (in Korean with English abstract). *Environ Law Policy* 31(1): 125-157. doi: 10.18215/elvlp.31.1..202302.125
- Seo WS. 2007. Legal status of Korea in international environmental law-Mainly focused on the classification of developed and developing countries- (in Korean with English abstract). *J Environ Policy* 6(4): 1-28.
- Seok BI, Kim MJ, Park H, Peak SK. 2023. Consumers' behavioral intention and behavior prediction for green technology products and eco-friendly certified products (eco-label certification): Focusing on planned behavior theory (in Korean with English abstract). *Korean J Bus Manage* 37(5): 69-97. doi: 10.34274/krabe.2023.37.5.004
- Seok BI, Peak SK, Lee JY, Kang SW, Kim MJ, Cho SB. 2024. A study on consumer perception and behavior

- regarding green certification (green technology products): Focusing on the technology acceptance model (tam) (in Korean with English abstract). *Korean J Bus Manage* 38(1): 145-173. doi: 10.34274/krabe.2024.38.1.006
- Shim YG. 2023. Impact of major countries' decarbonization and carbon neutrality policies and norms on the domestic steel industry and proposed countermeasures against them (in Korean with English abstract). *J Int Bus Trans Law* 43: 107-144. doi: 10.17330/joep.6.4.200712.1
- Son JY, Lee JJ, Kim SJ. 2015. Policy network analysis of green growth policy in Korea (in Korean with English abstract). *J Korea Technol Innovation Soc* 18(3): 516-538.
- Son SW. 2017. The Korean technology cooperation model based on the new climate regime (in Korean with English abstract). *J Ind Property* 54: 339-380.
- Song IO, Song DS. 2019. CBDR and climate technology transfer to cope with climate change (in Korean with English abstract). *J Hongik Law Rev* 20(2): 419-454. doi: 10.16960/jhllr.20.2.201906.419
- Woo SY, Nam KS. 2011. Research on comparative analysis of environment-friendly features in the case of home and overseas apartment house applied by environment-friendly factors (in Korean with English abstract). *Korean Inst Interior Des J* 20(5): 170-177.
- Yoo JH, Lee SH, Jeon EC. 2023. Analysis of domestic climate change research trends using topic modeling: Focusing on ipcc working groups keywords (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 14(3): 327-336. doi: 10.15531/KSCCR.2023.14.3.327
- Zang HY, Choi JH. 2020. Dimensions of corporate social responsibility based on a longitudinal big data analysis of social issues in China (in Korean with English abstract). *J Bus* 5(1): 23-29. doi: 10.31152/JB.2020.02.5.1.23