

텍스트 마이닝 기법을 이용한 기후변화 적응 분야 특허 분석: 수재해 대응을 중심으로

조은정* · 조민선** · 하수진*** · 전은진****†

*국가녹색기술연구소 정책연구본부 연구원, **국가녹색기술연구소 제도혁신센터 박사후 연구원,

국가녹색기술연구소 제도혁신센터 연구원, *국가녹색기술연구소 제도혁신센터 선임연구원

Patent analysis in the field of climate change adaptation using text-mining: Focusing on water disaster response

Cho, Eunjung* · Cho, Min Sun** · Ha, Su-Jin*** and Jun, Eun Jin****†

*Researcher, Division of Policy Research, National Institute of Green Technology, Seoul, Korea

**Post-doctoral, Center for Institutional Innovation, National Institute of Green Technology, Seoul, Korea

***Researcher, Center for Institutional Innovation, National Institute of Green Technology, Seoul, Korea

****Senior Researcher, Center for Institutional Innovation, National Institute of Green Technology, Seoul, Korea

ABSTRACT

To analyze the trends of climate change adaptation technologies, this study analyzed patent data focusing on the field of water disaster response using the Latent Dirichlet Allocation model, one of the text mining techniques. The technologies for responding to climate change-induced water disasters were classified based on the Climate Technology Classification : water systems and aquatic ecosystems, water disaster management, climate forecasting and modeling, and climate information warning systems. As a result of the analysis, in the water system and aquatic ecosystems sector, data modeling technologies for river water quality and pollution assessment are prominent, and technologies such as flood control structures and devices are also increasing in importance. In the field of water disaster management, technologies for automatic control of floodgates and embankment reinforcement for flood prevention were prominent, and the construction of intelligent river disaster management systems utilizing the Internet of Things was on the rise. In the field of climate forecasting and modeling, there has been a focus on weather and climate air quality prediction technologies and air quality measurement devices, and demand for mobile air pollution measurement equipment is also increasing. Finally, in the field of climate information warning systems, flood prediction models based on precipitation data and water level management and predictive warning models were identified as key technologies, and there is growing interest in improving the accuracy of prediction models using artificial intelligence. This study provides important implications for the establishment of technology strategies to respond to climate change, and is expected to provide useful information for future research on climate change adaptation technologies.

Key words : Climate Change, Adaptation, Patent Analysis, Topic Modeling, Latent Dirichlet Allocation

1. 서론

기후변화는 생태계, 경제, 사회 전반에 영향을 미치는

가장 중요한 과제 중 하나로, 극심한 폭염, 한파, 가뭄, 집중호우 등 극한 기후를 야기하고 있으며 발생 빈도와 강도가 계속해서 증가하고 있다(Hashim and Hashim, 2016;

†Corresponding author : honeysuckle@nigt.re.kr (14th Floor, 60, Yeouinaru-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul, 07328, Korea. Tel. +82-2-3393-3934) ORCID 조은정 0009-0008-8708-0096 하수진 0000-0002-7361-5810 조민선 0009-0004-2391-5059 전은진 0009-0004-0484-4101

Zwiers et al., 2013). 이러한 현상은 즉각적인 피해를 초래할 뿐만 아니라 장기적으로 인프라, 인체 건강, 사회경제 등에 상당한 위협을 초래한다. 특히, 이러한 변화로 인한 피해는 저소득층, 노인, 지리적으로 기후변화에 취약한 지역에 거주하는 사람들을 포함한 기후 약자들이 불균형적으로 부담하고 있다(Benevolenza and DeRigne, 2019; Ngcamu, 2023). 이들은 급작스러운 기후변화에 효과적으로 대응하고 피해를 복구하는 데 필요한 자원과 인프라가 부족한 경우가 많으므로 이상기후로 인한 재난·재해에 특히 취약하다. 따라서 기후 약자들을 효율적으로 보호하기 위해서는 기후변화 적응을 위한 포괄적인 논의와 함께 구체적인 대응 수단 마련이 필요하다. 최근 기후변화로 인한 이상기후의 발생 빈도 및 피해규모가 더욱 증가하면서 주요국을 중심으로 기후변화 적응 관련 연구개발을 강화하는 움직임을 보이고 있다.

미국은 바이든 대통령의 취임 이후 환경정의(Environmental Justice)의 맥락 하에서 기후변화에 취약한 커뮤니티 보호 및 지역사회 기후 회복력 증진에 역점을 두고 있다(The White House, 2023). 이러한 정책적 우선 순위는 연구개발에도 적용되어 있다. 국립과학재단(National Science Foundation; NSF)의 FY2025 예산요구안에서 4대 중점 테마 중 하나로 ‘회복력 있는 행성 건설(Build a Resilient Planet)’을 설정하고 있으며, 지역사회에서의 기후 위해요소 및 재난 회복력 증진 관련 기술개발 지원에 초점을 맞춘 예산 증액을 요구하고 있다(NSF, 2024).

기후변화로 인한 도시 홍수 피해를 극심하게 겪고 있는 영국은 일찍부터 디지털 트윈 등 첨단 기술을 적극적으로 도입하여 대응책을 마련하는 프로젝트들에 대해 적극 투자해 오고 있다. 최근에 수립된 영국의 국가 기후변화 적응 계획인 ‘제3차 기후변화 적응 프로그램(Third National Climate Adaptation Programme)’에서도 환경 디지털 트윈의 확대와 함께 인프라의 조정, 건물 및 주변환경 보호, 지역사회 보호 등을 강조하고 있다(HM Government, 2023).

프랑스는 폭염·가뭄·홍수를 동시에 겪은 2022년 이후 이상기후에 대한 경각심이 고조되고 있으며, 기후변화를 가장 먼저 포착할 수 있는 지표로서의 물에 대한 중요성을 주목하였다. 이러한 관점 하에서 2023년에는 소위 ‘회복적·통합적 물관리를 위한 행동계획(Plan d’action pour une gestion résiliente et concertée de l’eau)’을 수립하여 수질 보존, 수자원의 가용성 최적화, 모든 이해관계자의

조직적인 물사용 절제 등 3개의 전략 방향을 제시하였다(Gouvernement, 2023). 동 계획에서는 단순한 수자원의 관리 뿐만 아니라 가뭄 등의 이상기후 대응에 관한 내용을 포함하고 있다. 또한, 2100년까지 4℃ 상승 시나리오를 적용한 신규 국가 기후변화 적응 계획(PNACC-3)을 수립하고 있다. 공개된 초안 내에 수재해 관련 주요 조치(mesures)로는 ‘조치 8. 자연재해 증가에 대비한 보호책 마련’, ‘조치 21. 기후변화에 대응한 수자원 확보 강화’가 포함되어 있다(Ministère de la Transition écologique, de l’Énergie, du Climat et de la Prévention des risques, 2024). 이외 France 2030에 근거하여 VilleDurable(건물), SVA(농업), FORESTT(산림), IRiMA(재난과학), SOLU-BIOD(NbS), SousSol(심토(深土)), TRACCS(기후서비스), BRIDGES(기후변화 영향분석) 등 기후변화 적응 분야에 대한 새로운 기초·원천 R&D 프로그램을 출범하고 있다(ANR, 2024). 이 프로그램들에서는 재난과학의 공식화, 척후병으로서의 물 등 새로운 개념의 도입에 관한 연구와 함께 신규 연구영역을 공고히 하기 위한 시도가 이루어지고 있는 점이 특색이다.

우리나라는 이미 ‘기후변화 협약 대응 연구개발 종합대책’의 5대 대분류 기술 중 하나로 ‘영향평가 및 적응 기술’이 포함(MoST, 2006)되었으며, 이어진 ‘기후변화 대응 국가연구개발 중장기 마스터플랜(Joint Ministries, 2008)’ 및 ‘녹색기술 연구개발 종합대책(Joint Ministries, 2009)’에서도 중점기술 영역으로서 기후변화 관측 및 예측, 기후변화 영향평가 및 적응 분야가 포함되었다. 그 이후 각 부문별 정책에서 개별적으로 적응 관련 R&D 관련 추진 과제들이 제시되는 형식으로 추진되었으나, 2021년 기후변화 대응 기술개발 촉진법을 계기로 ‘제1차 기후변화 대응 기술 개발 기본계획(Joint Ministries, 2022)’이 수립되면서 다시금 범부처 R&D 계획 상에서 적응 R&D 분야 전반이 포괄되었다. 동 계획을 기반으로 과학기술정보통신부에서도 ‘디지털 기반 기후변화 예측 및 피해 최소화’ 사업 등 도시 내에서의 기후변화 피해를 감소시키기 위한 적응 기술 R&D사업을 새로이 출범한 바 있다(MSIT, 2023).

세계 각지에서 진행되고 있는 이러한 기술의 발전과 동향을 파악할 수 있는 중요한 지표는 특히 데이터이다. 특히 데이터 분석을 통해 시간의 흐름에 따라 기술 혁신과 연구개발 방향에 대한 통찰력을 얻을 수 있으며, 강조되는 분야를 파악할 수 있기 때문이다. 이러한 특히 데이터 내에서 패턴과 토픽을 발견하기 위한 분석적 접근 방식은

로 토픽 모델링의 대표적인 알고리즘인 잠재 디리클레 할당(Latent Dirichlet allocation, LDA) 기법이 제안되고 있다. LDA 기법은 문서 내에서 단어의 분포를 추정하여 문서의 토픽을 발견하기 위해 활용된다.

본 연구는 수재해 대응 분야에 초점을 맞춰 기후변화 적응과 관련된 특허 데이터를 LDA 기법을 통해 분석함으로써 기후변화에 적응하기 위한 기술 동향을 파악하고 주요 분야의 현재 상태를 진단하는 것이 목표이다. 이를 통해 기후변화에 효과적으로 적응하기 위해 개발되어야 하는 유망 기술을 도출하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 본 연구와 관련된 이론적 배경에 대해서 고찰하였으며, 3장은 LDA 방법론과 기후변화 적응 관련 특허 데이터 수집 방법을 설명하였다. 4장은 LDA 분석을 통해 도출된 결과를 분석하였으며, 5장에서는 본 연구의 결론 및 연구의 한계점을 제시하였다.

2. 이론적 배경

최근 텍스트 마이닝 기법을 활용하여 기술분야 동향을 분석하는 움직임이 증가하고 있다. Choi et al. (2024)에서는 자연어 처리 기법을 활용하여 2019~2023년간 기후기술 국제협력에 대한 국제기구 뉴스와 국내 정부 보도자료에서 등장하는 주제어를 분석함으로써 개별 국제 기구 및 정부의 동향을 파악하였다. Shin and Ryu (2017)에서는 1981~2015년간 미디어 뉴스 자료를 수집·가공하여, 시·지역·기후요소별 기후변화 영향과의 상관관계를 분석하였다. Kim (2022)는 2013년부터 2021년까지의 언론 사설 수집에 초점을 맞춰 정부별·언론성향별 구분하여 토픽 모델링 분석을 수행하였다. Jho and Lee (2021) 또한 약 20년간의 기후변화 관련 뉴스 기사를 대상으로 LDA 분석을 진행하고 있다. Yoon and Kim (2020)은 2010년부터 2019년 언론사 기사를 바탕으로 LDA 분석하여 미세먼지에 대한 정책적 시각에 대해 해석하였다.

이와 같이 선행연구들은 뉴스 및 사설 등 언론 매체로부터 생산된 정보를 기반으로 기후변화 이슈에 관련된 동향을 파악하고자 시도하고 있다. 그러나, 뉴스 데이터는 경제사회적 이슈의 부침에 따른 기술의 수요를 포착할 수 있는 이점이 있으나, 기술적 측면에서의 동향을 파악하기에는 한계가 있다.

반면, Lee and Kim (2022)은 연관 키워드를 중심으로 특허 DB를 구축하고 LDA 토픽 모델링을 활용하여 기술

공백 영역과 미래 유망한 기술을 도출하는 연구를 수행하였다. Yang and Yamada (2022)는 2018년부터 2020년까지 수행되었던 국가연구개발사업을 토대로 연구개발 투자 추이와 주제 분야를 파악하기 위해 LDA 토픽 모델링 분석 방법을 수행하였다. Woo and Lee (2020) 연구에서도 유사하게 2015년부터 2019년 수행된 ICT 분야 과제로 정보를 토대로 주요 연구 토픽과 동향을 분석하였다. Lee et al. (2019)은 국내 논문과 함께 국내에서 발간된 연구보고서를 대상으로 기후 ‘회복력’과 관련된 주제에 관한 연구 동향을 분석하였다. 상기 연구에서는 기술특허, 국가연구개발사업과 연구보고서를 기반으로 텍스트 기반 토픽 모델링 분석을 수행함으로써 기술적 측면에서 동향을 파악하고자 하였다. 그러나, 특허 정보를 기반으로 유망 기술을 도출하여 신규 연구개발에 활용하는 연구는 매우 미비하였으며, 특히 ‘기후변화 적응’과 관련한 연구는 더욱 부재하였다.

이 점을 고려하여, 본 연구에서는 특허 정보를 활용하여 토픽 모델링 분석을 수행함으로써 기후변화 적응 분야, 그 중에서 특허 수재해 대응 분야에 초점을 둔 R&D 분야에서 이루어지고 있는 세부적인 동향을 분석하고자 한다.

3. 연구 방법

3.1. 분석 방법

토픽 모델링에서 토픽이란 일반적으로 어떤 문서에서 논의되거나 연구된 주요한 내용을 의미하며, 일련의 단어에 대한 가능성의 분포를 의미한다(Griffiths and Steyvers, 2004). 토픽 모델링은 기본적으로 베이지안(Bayesian) 네트워크를 기반으로 하며, 대규모의 문서 모음에서 토픽을 찾아낼 수 있다. 또한, 토픽 모델링을 통해 추출된 토픽은 이해하기 쉽다는 장점이 있으므로 모델의 복잡성과 해석 가능성 사이의 적절한 절충점을 찾을 수 있다.

LDA 모델은 확률 및 통계적 방법을 기반으로 하는 동적 토픽 인식 모델(Blei et al., 2003)이며, 단어-토픽-문서의 3계층 구조 모델, 즉, 3계층 베이지안 확률 모델로써, 최근 매우 광범위한 주제의 연구에서 활용되고 있다(Jho and Lee, 2021; Lee et al., 2019; Yoo et al., 2019). LDA 모델은 각 문서를 토픽의 집합으로 구성된 확률 분포로 취급하는 워드백(wordbag) 모델 접근 방식을 사용한다. 이때, 각 토픽은 여러 단어의 확률 분포이므로 문서-토픽-

단어의 3계층 베이지안 네트워크 모델로 구성된다.

토픽 모델링에서 문서를 대표할 수 있는 토픽의 개수를 설정하는 것은 중요하다. 본 연구는 2010년 Newman이 제안한 일관성 점수(Coherence score)를 토픽의 개수를 결정하는 기준 지표로 활용하였다(Newman et al., 2010). 일관성 점수는 토픽에 포함된 단어의 유사도를 계산할 때 해당 단어와 토픽의 핵심 단어와의 유사도를 계산하여 의미론적으로 얼마나 일치하는지를 파악한다. 일반적으로 일관성 점수가 높을수록 토픽의 일관성이 높다.

3.2. 데이터 수집

본 연구는 수재해 대응 분야에 초점을 맞춘 기후변화 적응 관련 분야의 특허를 수집하여 관련 기술의 변화 추이를 분석하고자 한다. 분석 대상 특허를 선별하는 기준은 기후기술 분류체계(Yeom et al., 2017)로 설정하였다. 동 기후기술 분류체계는 국가과학기술정보서비스(NTIS) 내 기후기술 R&D 투자 및 성과 분석에 활용되고 있는 기준이다. 적응, 감축, 감축/적응 융복합 등 3대 대분류로 구성되어 있으며, 이 중 적응 대분류는 농업·축산, 물관리, 기후변화예측 및 모니터링, 해양·수산·연안, 건강, 산림·육상 등 6개 중분류를 두고 있다. 본 연구에서는 이 중 수재해 관리와 밀접한 ‘물관리’ 중분류를 분석대상으로 설정하였다.

물관리 중분류는 Table 1과 같이 수계, 수생태계(A27), 수재해관리(A30), 기후예측 및 모델링(A31), 기후정보 경보시스템(A32) 등 4개의 소분류로 구성되어 있다. 기술정의상 수계, 수생태계는 수질 및 수생태 모형, 수리구조물 관리, 수질 및 수생태 관리, 통합 수계 진단 및 관리를 포함하고 있으며, 수재해관리는 예측 및 평가, 관리, 적응 및 대응을 포함한다. 기후예측 및 모델링은 관측 및 감시, 기후변화 정보 DB 구축, 지구시스템 모델링, 미래전망 산출 및 분석, 기후변화 메커니즘 분석 및 원인규명, 예측 및 모델링을 포함하며, 기후정보 경보시스템은 극한기후 진단 및 예측, 예·경보 기술, 취약성 예측 및 평가가 포함된다.

특허 검색은 한국(KR), 일본(JP), 미국(US), 유럽(EP), 중국(CN), 그리고 특허협력조약(Patent Cooperation Treaty, PCT)에 출원된 특허를 수집했다. 수집된 모든 특허 중 등록 심사 중, 거절, 취소 등의 상태인 특허는 모두 제외하였으며, 등록 완료 및 기타 사유로 특허 소멸 및 포기 상태의 특허만 분석 대상에 포함하였다. 또한, 특허 등록 시점에 따른 추이를 분석하기 위해 등록일이 명확하게

Table 1. Patent taxonomies for the analysis

No.	Water systems and aquatic ecosystems (A27)	Water Disaster Management (A30)	Climate Forecasting and Modeling (A31)	Climate Information Warning System (A32)
1	Water quality and aquatic ecology models	Forecasting and evaluation	Observation and surveillance	Extreme weather diagnostics and forecasting
2	Water Structures Management	Management for Water Disaster	Establishing a climate change information database	Forecasting-alerting technology
3	Management of hydraulic structure	Adaptation and response	Earth System Modeling	Vulnerability prediction and assessment
4	Integrated water system diagnostics and management	-	Calculation and analysis for future projections	-
5	-	-	Analysis and investigation for climate change mechanisms	-
6	-	-	Forecasting and modeling	-

기재되어 있지 않을 경우는 제외하였다(Step 1).

이렇게 추출된 세부 분류별 데이터는 다시 전체 병합하여 중복 항목을 제거하였으며(Step 2), Fig. 1~ Fig. 4는 이러한 분류별 데이터 추출 과정을 나타낸 그림이다.

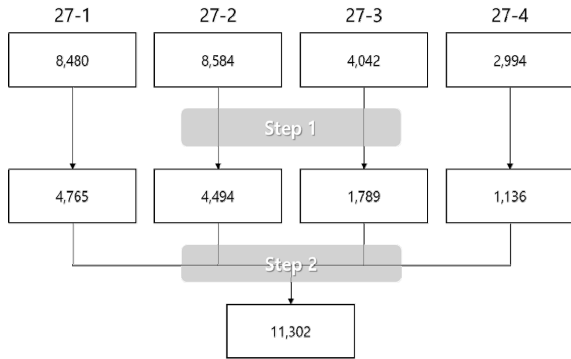


Fig. 1. Extraction process of data (A27)

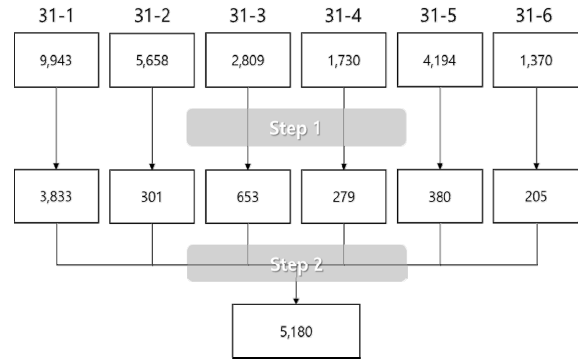


Fig. 3. Extraction process of data (A31)

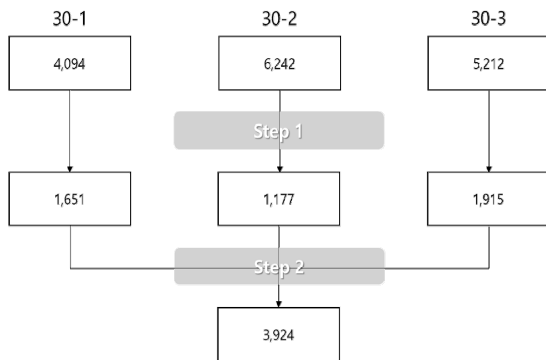


Fig. 2. Extraction process of data (A30)

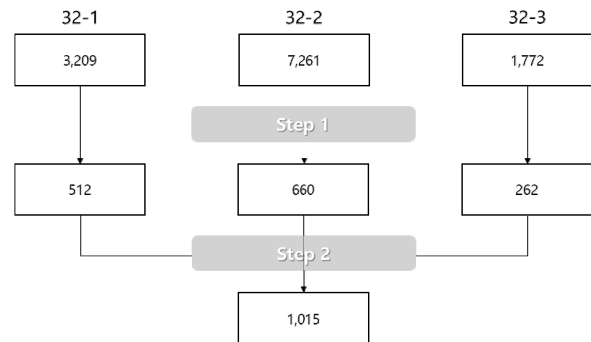


Fig. 4. Extraction process of data (A32)

4. 결과

본 연구는 이상기후로 인한 수재해 대응 분야에 초점을 맞춰, 관련 기후기술 특허를 토픽모델링을 통해 분석하고 경향성 및 변화 추이를 분석하였다. 분석 대상 특허는 기술분류체계에 따라 4개의 분류 및 16개의 세분류로 구분하였다.

A27, A30, A31, 그리고 A32 분류별 특허 건수는 각각 11,302건, 3,924건, 5,180건, 그리고 1,015건이 수집됐다. Table 2는 분류별 특허에 대한 국가별 특허 건수를 나타낸다.

수재해 대응 분야 전체에서 중국이 가장 많은 특허 (17,845건)를 가지고 있으며, 각 분류별 특허 건수 또한 가장 많았다. 중국 다음으로 우리나라가 가장 많은 특허 (2,167건)를 가지고 있음을 확인하였고, 우리나라 역시 각 분류별 특허 건수 또한 중국 다음으로 가장 많은 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 2024년 등록된 특허를 제외하고 2023년까지 등록된 연도별 특허 추이를 나타낸다. 모든 분류에서

Table 2. Numbers of patent registrations by countries

	A27	A30	A31	A32	A_Tot
CN	9,432	3,242	4,391	780	17,845
EP	33	17	50	2	102
JP	448	148	60	16	672
KR	1,170	428	407	162	2,167
US	219	89	272	55	635
Tot	11,302	3,924	5,180	1,015	21,421

2014년부터 2023년까지 등록된 특허의 수가 가장 많았으며, 가장 많은 특허가 등록된 A27, 수계, 수생태계 분야는 2014~2023년에 9,420개의 특허가 등록되었다. A32, 기후정보 경보시스템은 다른 분야에 비해 낮은 2000년대부터 등록되기 시작하였으며, 2014~2023년 943개의 특허가 등록되었다.

분류별 특허의 특허명, 요약, 그리고 청구항을 중심으로 토픽 모델링을 수행하였다. 일관성 점수 분석 결과, A27, A30, A31, 그리고 A32의 분류별 최적 토픽의 개수는 각각 9개, 10개, 8개, 그리고 9개로 선정되었다.

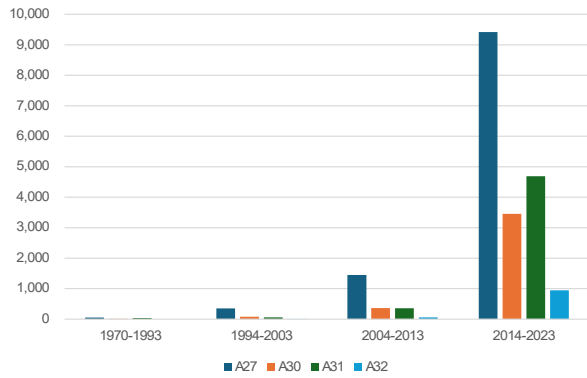


Fig. 5. Numbers of patent registrations by year and taxonomies

Fig. 6은 2014년부터 2023년까지 분류별 최적 토픽 수에 따른 토픽 분포도와 가장 빈번히 출현하는 상위 30개 단어 분석 결과이다. A27, 수계, 수생태계 분야에서 토픽들은 비교적 독립적인 키워드를 가지고 분포된 것으로 분석되었다. 가장 많이 출현한 키워드는 ‘Water’이었으며, 이는 수계 분야 특성에 기인한 것으로 고려된다. 그다음으로 빈도가 높은 키워드는 ‘Quality’, ‘Connect’, ‘Body’ 순으로 나타났다.

A30, 수재해관리 분야에서는 1~3번 3개 토픽이 넓은 키워드 분포를 하고 있었으며, 2, 3, 4, 8, 9번의 토픽이 공간적 근접성으로 비교적 공통의 키워드를 많이 공유하고 있는 것으로 보인다. 해당 분류 전체에서 높은 빈도수를 갖는 키워드는 ‘Water’로 분석되었으며, 그다음으로는 ‘Data’, ‘Level’, ‘Flow’로 분석되었다.

A31, 기후예측 및 모델링 분야의 토픽 분포도를 살펴보면, 1번과 8번 토픽을 제외하고 개별 토픽의 키워드 간 독립성이 높은 것으로 확인되었다. 해당 분류 전체에서 가장 높은 빈도수를 갖는 단어는 ‘Air’와 ‘Data’로 분석되었다. 다음으로 ‘Device’, ‘Quality’, ‘Connect’가 서로 유사한 수준의 높은 출현 빈도를 보였다. 중첩되는 2개 토픽과 관련하여, 1번 토픽에서 빈도수가 높은 단어는 ‘Data’, ‘Model’, ‘Air’, ‘Pollution’, ‘area’, ‘Quality’ 등 이었으며, 8번 토픽에서 ‘Information’, ‘Weather’, ‘data’, ‘Image’, ‘Location’, ‘Management’, ‘Carbon’ 등 이었다. 두 토픽 간 유사한 의미의 단어가 상당 분포해 있었지만, ‘Pollution’, ‘Management’, ‘Carbon’ 등의 단어에서 주제가 구분될 수 있었다.

A31, 기후예측 및 모델링 분야에서는 1~3번, 4~6번 토픽 간 주제 유사성이 비교적 높은 것으로 분석되었다.

해당 분야 전체에서 높은 빈도수를 나타내는 키워드는 ‘Data’, ‘Flood’이었으며, 홍수가 주요 주제어임이 나타났다. 다음으로 높은 빈도수를 보인 키워드는 ‘Water’, ‘Information’, ‘Rainfall’, ‘Disaster’ 등이었다.

특히 분포도에서 중첩성이 높았던 4번과 6번 토픽에 대해 살펴보면, 4번 토픽에서는 6번과 달리 ‘Typhoon’, ‘Wind’, ‘Point’, ‘Speed’, 6번 토픽에서는 ‘Disaster’, ‘Image’, ‘Rainfall’, ‘Damage’, ‘Map’과 같은 키워드의 출현이 높았다.

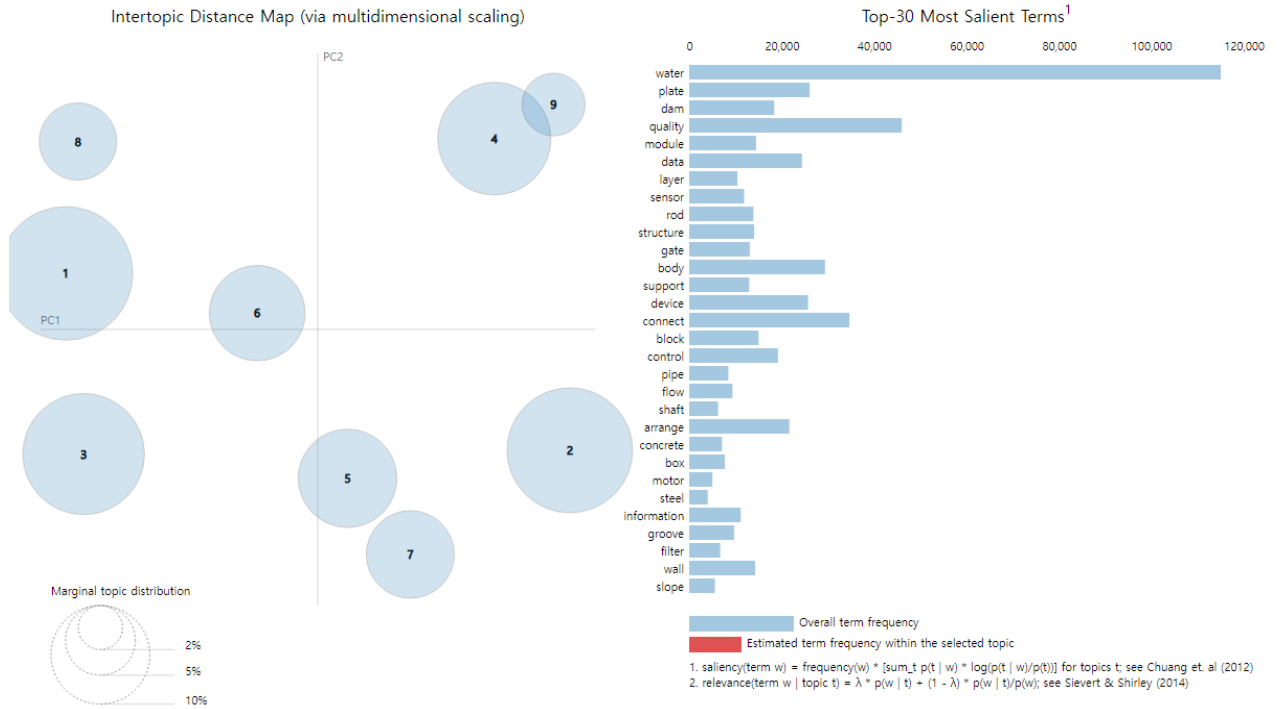
Table 2는 분류별 토픽 주제 및 주요 키워드를 출현 빈도수에 따라 나타낸다. 분류별 가장 많이 나타난 상위 2개의 토픽을 살펴보면, A27, 수계, 수생태계 분야에서 가장 많이 나타난 토픽은 “하천 수질 및 오염도 평가를 위한 데이터 모델링”이며, 다음으로 많이 나타난 토픽은 “홍수방어 수리구조물 및 장치”이다. 반면, “하·폐수 처리 및 정화 기술” 토픽과 “연안 보호용 강철구조물 및 방파제 설계 기술” 토픽은 빈도가 낮은 것으로 나타났다.

A30, 수재해관리 분야에서 가장 많이 나타난 토픽은 “홍수 예방을 위한 수문 자동 제어 및 제방 보강”이다. 다음으로 “하천 등 홍수 관리 모델링 및 운영 시스템” 토픽이 가장 많이 나타났으나, “도시 우수 배수 시스템 및 파이프 네트워크” 토픽과 “수재해 시설물의 관리를 위한 통신 네트워크 시스템” 토픽의 빈도는 낮았다.

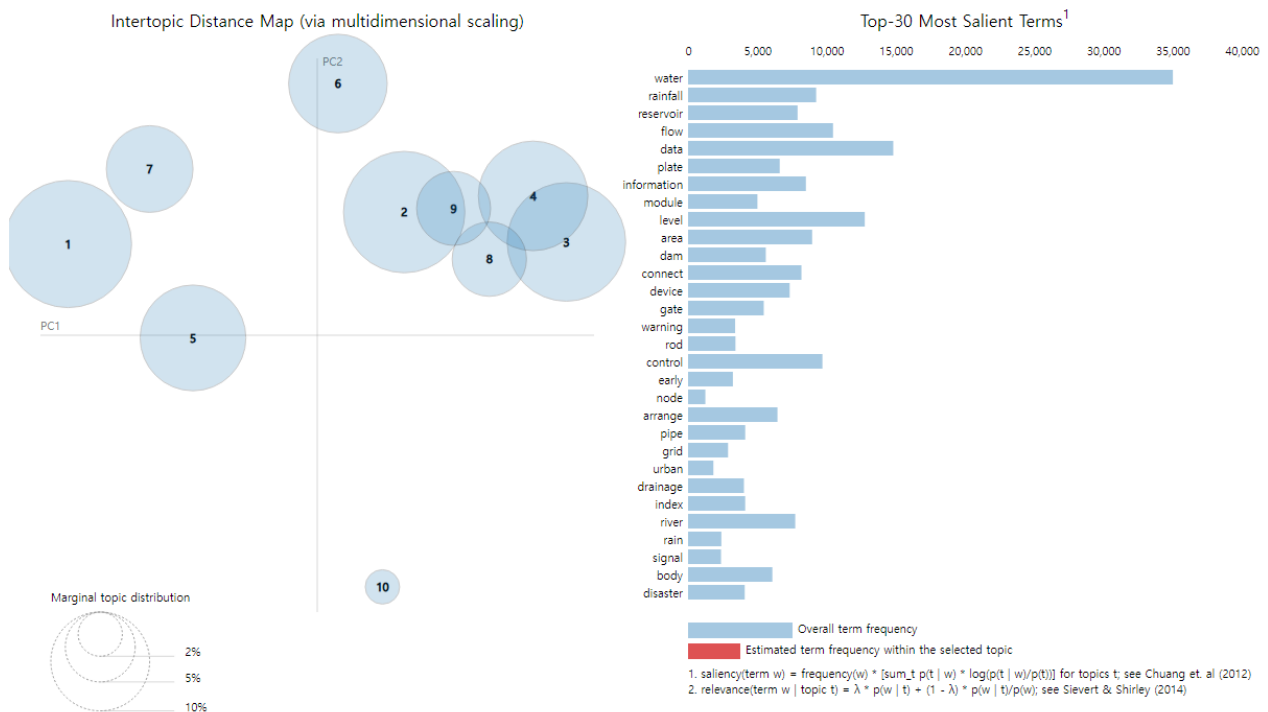
A31, 기후예측 및 모델링 분야에서 가장 많이 나타나는 토픽은 “기상·기후 대기질 예측 기술”이며, 대기질 측정 장치와 관련된 토픽이 그다음으로 많이 나타났다. 반면, “기후 시뮬레이션 챔버 장치 개발” 토픽과 “위성 기반 온실가스 관측 및 데이터 관리” 토픽은 출현 빈도가 적었다.

마지막으로, A32, 기후정보 경보시스템에서 가장 많이 관측된 토픽은 “강수량 데이터 기반 홍수 예측 모델”이다. 다음으로 많이 나타난 토픽은 “수위 관리 및 예측 경고 모델”이다. 빈도가 낮은 토픽은 “토양 수분 및 식생 관측 기반 가뭄 및 산사태 모니터링”과 “극한 기상 피해 대응 전력 관리 기술”로 나타났다.

Fig. 7은 2014년부터 2023년까지 분류별 가장 많이 나타난 상위 2개의 토픽에 대한 빈도수를 나타냈다. 모든 토픽이 시간의 흐름에 따라 출현 빈도가 높게 나타났다. 그러나 A27, 수계, 수생태계 분야의 “홍수방어 수리구조물 및 장치” 토픽, A30, 수재해관리 분야의 “홍수 예방을 위한 수문 자동 제어 및 제방 보강” 토픽, 그리고 A31, “기후예측 및 모델링 분야의 대기질 측정 장치” 토픽은 2021년 가장 많이 나타난 이후 지속적으로 빈도가 줄어들었다.

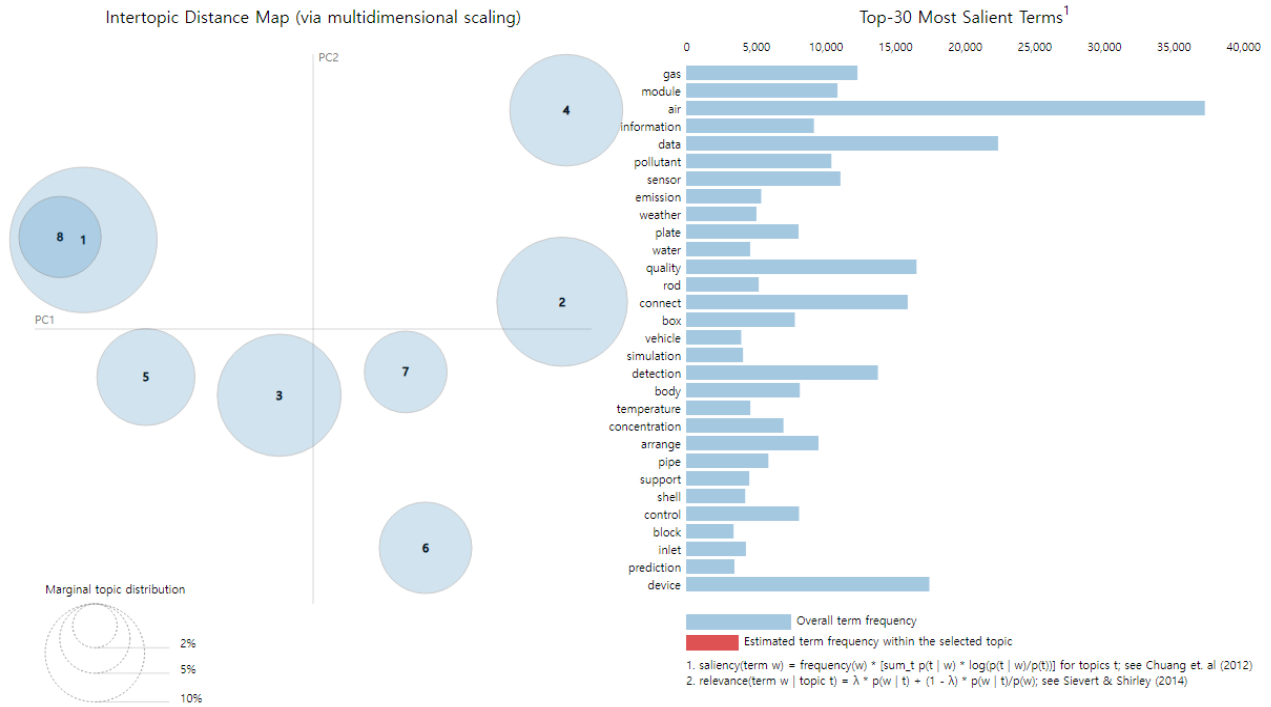


(a) Topic distribution and terms for A27 taxonomy

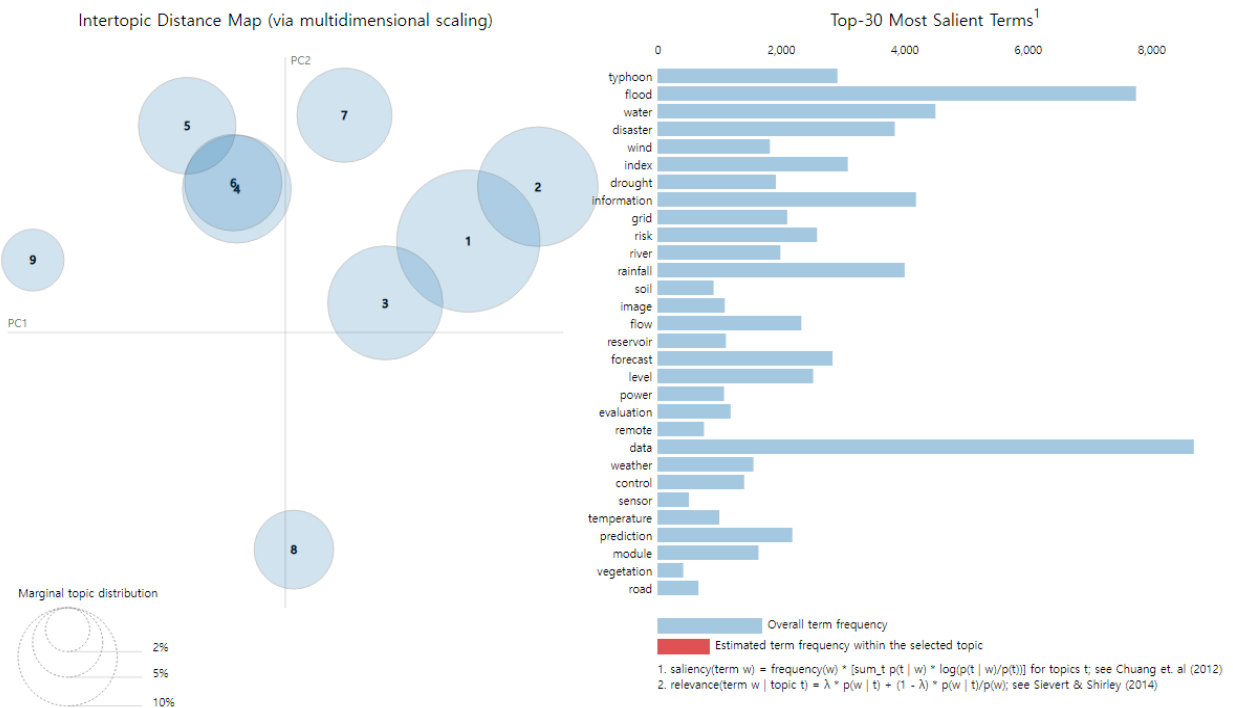


(b) Topic distribution and terms for A30 taxonomy

Fig. 6. Topic distribution and top 30 most salient term by taxonomy



(c) Topic distribution and terms for A31 taxonomy



(d) Topic distribution and terms for A32 taxonomy

Fig. 6. Topic distribution and top 30 most salient term by taxonomy (Continued)

Table 3. Topic topics and keywords by discipline

No.	Topic	Water systems, and aquatic ecosystem (A27)	Water Disaster Management (A30)	Climate Forecasting and Modeling (A31)	Climate Information Warning System (A32)
1	Topics	Data modeling for river water quality and pollution assessment	Automated control of floodgates and levee reinforcement to prevent flooding	Weather and climate air quality forecasting technology	Flood prediction models based on precipitation data
	Keywords	water, quality, data, model, accord, information, area, river, pollution, point	plate, connect, gate, water, arrange, flood, rod, body, block, device	data, model, air, pollution, area, prediction, climate, quality, point, accord	data, rainfall, flood, forecast, model, forecasting, accord, basin, prediction, parameter
2	Topics	Hydraulic structures and devices for flood defense	Flood management modeling and operations systems for rivers and more	Air quality measurement devices	Water level management and predictive alerting models
	Keywords	plate, connect, block, rod, groove, support, fix, gate, body, arrange	water, reservoir, flood, river, level, flow, control, accord, station, capacity	air, detection, box, body, device, quality, arrange, connect, pipe, shell	water, flood, level, flow, river, reservoir, control, model, area, accord
3	Topics	Water quality monitoring sensors and detection technologies	Advanced rainfall and hydrologic forecasting models for drought-flood management	Air quality data measurement and information processing technologies	Index-based water hazard (flood and drought) risk assessment techniques
	Keywords	water, quality, module, sensor, data, control, device, connect, signal, information	rainfall, flood, data, model, index, parameter, forecast, accord, drought, period	air, module, sensor, quality, data, device, control, signal, connect, detection	index, disaster, risk, evaluation, flood, drought, factor, data, area, model
4	Topics	Dam structure design and stability technologies	GIS based flood risk mapping	Climate forecasting and modeling instruments	Forecasting storm paths
	Keywords	dam, body, structure, concrete, wall, slope, layer, surface, form, arrange	data, area, information, flood, grid, model, risk, disaster, water, image	connect, plate, rod, support, device, block, arrange, fix, groove, surface	typhoon, wind, data, point, speed, information, power, area, wave, model
5	Topics	Water purification device and system design technologies	Designing dam structures to prevent flooding	Unmanned air pollution measurement technology for transportation	Road risk management system utilizing urban weather information
	Keywords	water, quality, body, device, arrange, filter, box, connect, shell, cover	dam, water, layer, body, concrete, structure, slope, block, pipe, soil	pollutant, emission, vehicle, concentration, pollution, accord, unmanned, atmospheric, speed, aerial	information, data, prediction, module, weather, road, temperature, model, urban, precipitation
6	Topics	Water utility controls and systems	Sensor-based water disaster monitoring and early warning systems	Greenhouse gas detection and measurement devices	Monitoring and mapping wind and water damage
	Keywords	water, pipe, flow, gate, control, level, sluice, reservoir, drainage, valve	information, module, warning, early, data, level, control, flood, sigal, device	gas, air, device, sensor, connect, flow, greenhouse, measure, light, chamber	disaster, data, information, image, area, rainfall, damage, flood, map, storm
7	Topics	Floating water treatment device technology	Water level control and watering systems	Developing a climate simulation chamber device	Simulate inundation prediction models and map inundation
	Keywords	device, water, connect, shaft, motor, drive, quality, arrange, float, rotate	water, level, device, control, pipe, connect, pump, tank, sensor, valve	water, simulation, temperature, test, control, environment, heat, tank, pressure, arrange	grid, flood, area, information, data, water, inundation, river, model, flow

Table 3. Topic topics and keywords by discipline (Continued)

No.	Topic	Water systems, and aquatic ecosystem (A27)	Water Disaster Management (A30)	Climate Forecasting and Modeling (A31)	Climate Information Warning System (A32)
8	Topics	Water and wastewater treatment and purification technologies	Coastal Disaster Analysis and Prediction System	Satellite-based GHG observations and data management	Drought and landslide monitoring based on soil moisture and vegetation observations
	Keywords	water, tank, use, treatment, material, comprise, solution, liquid, concentration, wastewater	flow, area, point, tsunami, wave, velocity, water, height, typhoon, debris	information, weather, data, image, location, generate, management, store, carbon, forecast	drought, soil, index, data, remote, vegetation, sense, area, moisture, surface
9	Topics	Design technology for coastal protection steel structures and breakwaters	Urban stormwater drainage systems and pipe networks	-	Power management technologies for extreme weather events
	Keywords	layer, steel, structure, member, beam, support, pile, form, low, portion	rainfall, urban, area, water, drainage, rain, road, vehicle, rainwater, network	-	sensor, disaster, power, body, connect, comprise, control, drought, grid, fault
10	Topics	-	Communication network systems for managing disaster facilities	-	-
	Keywords	-	node, displacement, link, packet, deformation, bucket, ship, culvert, factor, rout	-	-

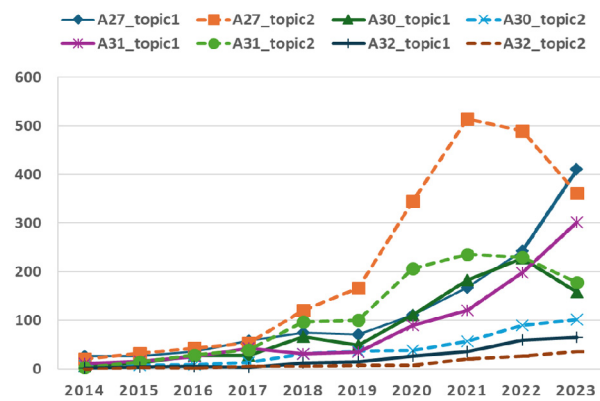


Fig. 7. Top topic frequencies by taxonomy, 2014 ~ 2023

4. 결론

전 세계적으로 기후변화로 인한 피해의 강도와 빈도가 증가하면서, 기후변화를 완화하는 것뿐만 아니라 기후변화에 적응하여 위험을 줄이기 위한 도전에 직면하고 있다. 본 연구는 기후변화로 인해 발생하는 수재해 대응 분야에 초점을 맞춰 수집한 관련 기술특허를 대상으로 LDA

기법을 활용하여 경향성을 분석하였다.

대상 기후기술은 기후기술 분류체계 상의 ‘물 관리’ 중 분류를 구성하는 4개 소분류, 16개 세분류를 활용하였다. 4개 소분류는 수계, 수생태계(A27), 수재해관리(A30), 기후예측 및 모델링(A31), 기후정보 경보시스템(A32)에 해당한다. 분석 결과 전체 4개 소분류 중 수계, 수생태계 분류에 포함되는 특허가 가장 많으며, 기후정보 경보시스템에 속하는 특허는 다른 기술에 비해 비교적 낮은 시기인 2014 ~ 2023년 구간에 등록건수가 밀집되어 있는 것으로 나타나고 있다.

출현빈도가 높은 토픽영역의 빈도수 변화 추이를 살펴보면, 수계-수생태계(A27) 분야의 “홍수방어 수리구조물 및 장치” 토픽이 2021년까지 급격하게 상승하는 것을 확인하였다. 해당 토픽은 2021년 가장 많은 출현 빈도수(514개)를 나타내며, 전년(345개) 대비 49%의 증가율로 가장 급격한 상승곡선을 나타냈다. 그러나 2021년 이후 하락 추세를 확인할 수 있다. 반면, 같은 분야의 “하천수질 및 오염도 평가를 위한 데이터 모델링” 토픽의 출현 빈도수가 지속적으로 상승하면서 2023년에는 전년 대비 69%의 증가율로 410개의 가장 많은 빈도수를 나타냈다. 또한, 2023년에는 기후예측 및 모델링(A31) 분야의 “기상

기후 대기질 예측 기술” 토픽 역시 지속적으로 상승하여 전년 대비 52%의 증가율로 301개의 많은 출원 빈도수를 나타냈다. 이에 따라 2023년 기준 상위 3개의 토픽은 수계·수생태계(A27)의 상위 첫 번째 토픽인 “하천 수질 및 오염도 평가를 위한 데이터 모델링”, 수계·수생태계(A27)의 상위 두 번째 토픽인 “홍수방어 수리구조물 및 장치”, 기후예측 및 모델링(A31)의 상위 첫 번째 토픽인 “기상기후 대기질 예측 기술” 순으로 각각 410개, 361개, 301개의 출원 빈도수가 확인된다. 그리고 출원 빈도수가 다른 토픽에 비해 많지는 않지만 최근 등장하여 지속적으로 상승 중인 토픽은 수재해 관리(A30) 분야의 “하천 등 홍수 관리 모델링 및 운영 시스템”과 기후정보 경보시스템(A32) 분야의 “강수량 데이터 기반 홍수 예측 모델” 및 “수위 관리 및 예측 경고 모델”이다. 2023년 기준 “하천 등 홍수 관리 모델링 및 운영 시스템”의 출원 빈도수는 102개로 전년 대비 13%의 증가율을 나타내며, “강수량 데이터 기반 홍수 예측 모델” 및 “수위 관리 및 예측 경고 모델”의 경우, 각각 65개(전년 대비 8% 증가율)와 36개(전년 대비 39% 증가율)의 출원 빈도수를 나타내는 것을 확인하였다.

이러한 토픽 해석을 기반으로 앞으로의 기술수요를 살펴보면, 수계, 수생태계 분야에서는 수생태계 모니터링을 위한 하천수질 모델링 도구를 개발하고, 모델링 전산모사를 활용한 효율적인 수질관리 기술개발이 필요할 것으로 전망된다. 아울러, 수재해 관리 분야에서는 하천 등 홍수 관리 모델링 및 운영 시스템과 관련하여 최근 댐과 하천을 연계한 최적 운영을 통한 홍수 관리의 필요성이 높아짐에 따라 댐수위의 상승에 따른 하류하천 영향 분석 및 홍수량 관리 기술의 개발이 필요한 것으로 보인다. 기후예측 및 모델링 분야에서는 향후 대기질 관측자료를 활용한 오염 예측 기술개발 및 모델링 시스템 구축이 필요할 것으로 예상된다. 이에 따라 향후 대기오염을 효율적으로 측정할 수 있는 대기오염 측정망을 구축하는 것이 필요하며, 이러한 맥락에서 이동형 측정장비 개발의 수요가 증가할 가능성이 높은 것으로 전망된다. 그리고, 전반적으로 홍수로 인한 피해와 관련된 데이터를 학습하여 예측 모형을 구축하고 인공지능 알고리즘의 학습자료로 활용함으로써 예측 오차를 저감할 수 있다. 또한, 하천의 중요한 정보인 수위, 유량 및 수질을 예측하고 이를 종합하여 홍수 예·경보 및 지속가능한 수자원 관리 활용 기술개발이 필요할 것으로 예상된다.

본 연구는 기후변화 적응 관련 기술 동향을 살펴보기 위해 수재해 관련 기후기술 특허 데이터를 기반으로 주요

토픽을 추출하고 추세 변화를 파악하였다. 이를 바탕으로 기후기술 분류별 최신 기술의 추세와 향후 기대되는 발전 방향에 대한 시사점을 제공했다는 점에서 본 연구는 의의가 있으며, 향후 기후변화 적응 관련 기후기술 연구의 발전 방향을 제시하고, 기후기술 특허 관련 연구의 확장에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 본 연구는 수재해 대응 분야의 특허 데이터 분석에 국한되어 있다는 점에서 한계점이 있다. 특허 데이터의 특성상, 응용 및 개발연구단계에 속하는 연구영역들이 주로 도출되며, 기초·원천 연구단계에서 포착되는 연구영역은 특허 데이터 분석으로 식별되는 결과와는 다른 양상으로 나타날 가능성도 배제할 수 없다. 특히, 최근 기후변화 적응 R&D 분야 기초·원천연구의 중요성을 인식하고 새로운 영역을 정의하는 시도가 주요국에서 시행되고 있는 점을 고려할 필요성이 있다. 따라서, 향후 국내외 기후변화 적응 R&D 기초·원천 연구단계에서 부상할 주요 연구영역을 식별하기 위해서는 후속연구를 통해 논문 데이터에 기반한 동향 분석이 필요하다.

사사

본 연구는 과학기술정보통신부의 ‘디지털 기반 기후변화 예측 및 피해 최소화’ 사업의 「기후변화 적응 중점기술 현황 및 성과조사, 기술발굴, R&D 발굴(N2400002)」 과제의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- ANR (Agence Nationale de la Recherche). 2024. Programmes et Équipements Prioritaires de Recherche (PEPR). [assessed 2024 Oct 24]. <https://anr.fr/en/france-2030/programmes-et-equipements-prioritaires-de-recherche>
- Benevolenza MA, DeRigne L. 2019. The impact of climate change and natural disasters on vulnerable populations: A systematic review of literature. *J Hum Behav Soc Environ* 29(2): 266-281. doi: 10.1080/10911359.2018.1527739
- Blei DM, Ng AY, Jordan MI. 2003. Latent dirichlet allocation. *J Mach Learn Res* 3: 993-1022.
- Choi YH, Park S, Song Y, Yeom SC, Lee C. 2024.

- Analyzing trends in climate technology cooperation in international organizations and the Korean government using natural language processing (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 15(3): 289-305. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.3.289
- Gouvernement. 2023. 53 mesures pour l'eau: Plan d'action pour une gestion résiliente et concertée de l'eau.
- Griffiths TL, Steyvers M. 2004. Finding scientific topics. *Proc Natl Acad Sci* 101(suppl_1): 5228-5235. doi: 10.1073/pnas.0307752101
- Hashim JH, Hashim Z. 2016. Climate change, extreme weather events, and human health implications in the Asia Pacific region. *Asia Pac J Public Health* 28(2_suppl): 8S-14S. doi: 10.1177/1010539515599030
- HM Government. 2023. Third National Climate Adaptation Programme and the fourth strategy for climate adaptation reporting.
- Jho HK, Lee B. 2021. Analysis of news articles about climate change based on text mining for the last two decades (in Korean with English abstract). *J Energy Clim Change Educ* 11(2): 153-163. doi: 10.22368/ksecce.2021.11.2.153
- Joint Ministries. 2008. Mid-to long-term master plan for national R&D to tackle climate change.
- Joint Ministries. 2009. Comprehensive plan on green technology and development.
- Joint Ministries. 2022. First framework plan for technology development to tackle climate change.
- Kim SK. 2022. A study on policy framing of climate change using text mining -Comparing newspaper editorials- [dissertation]. Seoul National University.
- Lee GS, Jin DY, Song SK, Choi HS. 2019. Text analysis on the research trend of 'resilience' in Korea: Focus on climate change and urban disaster (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 10(4): 401-414. doi: 10.15531/KSCCR.2019.10.4.401
- Lee H, Kim Y. 2022. A new scheme exploiting the related keyword and big data analysis for predicting promise technology in the field of satellite-terrestrial information convergence disaster response (in Korean with English abstract). *J Soc Disaster Inf* 18(2): 418-431. doi: 10.15683/KOSDI.2022.6.30.418
- Ministère de la Transition écologique, de l'Énergie, du Climat et de la Prévention des risques. 2024. Présentation du plan national au changement climatique.
- MoST (Ministry of Science and Technology). 2006. Comprehensive plan on climate change convention.
- MSIT (Ministry of Science and ICT). 2023. Comprehensive implementation plan for MSIT R&D Programmes in 2023: Appendix 1. Detailed programme implementation plan by science and technology sector.
- Newman D, Lau, JH, Grieser K, Baldwin T. 2010. Automatic evaluation of topic coherence. *Proceedings of the 2010 Annual Conference of the North American Chapter of the ACL*; 2010 Jun 2~Jun 4; Los Angeles, CA: Association for Computational Linguistics. p. 100-108.
- Ngcamu BS. 2023. Climate change effects on vulnerable populations in the Global South: A systematic review. *Nat Hazards* 118(2): 977-991. doi: 10.1007/s11069-023-06070-2
- NSF (National Science Foundation). 2024. FY 2025 Budget Request to Congress.
- Shin HN, Ryu JN. 2017. Visualizing spatial information of climate change impacts on social infrastructure using text-mining method (in Korean with English abstract). *Korean J Remote Sens* 33(5): 773-786. doi: 10.7780/kjrs.2017.33.5.3.2
- The White House. 2023. National climate resilience framework.
- Woo CW, Lee JY. 2020. Investigation of research topic and trends of national ICT research-development using the LDA model (in Korean with English abstract). *J Korea Converg Soc* 11(7): 9-18. doi: 10.15207/JKCS.2020.11.7.009
- Yang CW, Yamada A. 2022. Analysis of 'Journal of Industrial Studies' using the topic modeling -Consideration of the past and future- (in Korean with English abstract). *J Ind Stud* 46(2): 29-57. doi:

10.22915/rifi.2022.46.2.002

- Yang M, Lee S, Park K, Choi K, Kim T. 2021. A study on analysis of national R&D research trends for artificial intelligence using LDA topic modeling (in Korean with English abstract). *J Internet Comput Serv* 22(5): 47-55. doi: 10.7472/JKSII.2021.22.5.47
- Yoo JH, Jeon EC, Kim HN. 2019. Study of research trends in climate change using text analysis -Focusing on *Journal of Climate Change Research-* (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 10(3): 161-172. doi: 10.15531/KSCCR.2019.10.3.161
- Yeom SC, Shin JW, Oh SJ, Lee MA, Park JS, Noh WJ, Kim HJ. 2017. A study on the classification of climate technology. Seoul, Korea: Green Technology Center. doi: 10.23000/TRKO201700001822
- Yoon S, Kim M. 2020. Topic modeling on fine dust issues using LDA analysis (in Korean with English abstract). *J Energy Eng* 29(2): 23-29. doi: 10.5855/ENERGY.2020.29.2.023
- Zwiers FW, Alexander LV, Hegerl GC, Knutson TR, Kossin JP, Naveau P, Nicholls N, Schär C, Seneviratne C, Zhang X. 2013. Climate extremes: Challenges in estimating and understanding recent changes in the frequency and intensity of extreme climate and weather events. In: Asrar GR, Hurrell JW (eds). *Climate science for serving society: Research, modeling and prediction priorities*. Dordrecht, Netherlands: Springer. p. 339-389. doi: 10.1007/978-94-007-6692-1_13