

Reddit 감성분석과 국가R&D과제 니드마이닝을 이용한 소형모듈원자로와 에너지 믹스 지식 분석

최정우*, 이병희**

Analyzing SMR and Energy Mix Knowledge using Reddit Sentiment Analysis and National R&D Projects Need Mining

Jung-Woo Choi*, Byeong-Hee Lee**

본 연구는 2024년 한국과학기술정보연구원의(KISTI) 기본사업 과제로 수행한 것입니다(과제번호 K24L1M3C5)

요 약

우리나라는 소형모듈원자로(SMR, Small Modular Reactor) 분야에서의 국제적 협력을 통해 세계 에너지 시장에 공동 진출하면서 국내 에너지를 다변화할 에너지 믹스 실행계획을 마련하고 있다. 본 연구는 SMR에 대한 대중의 인식과 전문가의 니즈를 파악하고자 글로벌 소셜미디어인 Reddit 댓글을 감성 분석하고 우리나라 국가R&D 과제의 니드마이닝을 통해 에너지 믹스와 SMR의 정책 방향과 기술 개발 전략 수립을 목표로 한다. 이를 위해 Reddit 댓글 10,835건의 텍스트 데이터를 수집하여 일반인의 감성 분석을 수행하고, 우리나라 국가 R&D과제 520건의 요약문에 나오는 기대효과를 니드마이닝과 토픽모델링 기법을 이용하여 분석하고 실행계획을 작성한다. 본 연구 결과가 우리나라의 SMR 상용화와 에너지 믹스의 실제적인 니즈를 빠르고 효과적으로 파악하여 우리나라의 SMR 관련 국가R&D의 정책적 방향 제시에 기여하길 기대한다.

Abstract

Korea is preparing an energy mix action plan to diversify its domestic energy while jointly entering the global energy market through international cooperation in the field of small modular reactors(SMR). This study aims to establish policy directions and technology development strategies for energy mix and SMRs through sentiment analysis of Reddit comments, a global social media, to identify public perceptions and expert needs of SMRs and need mining of national R&D projects in Korea. To this end, we collect text data of 10,835 Reddit comments to conduct sentiment analysis of the general public, and analyze the expected effects of 520 summaries of Korean national R&D projects using need mining and topic modeling techniques to create an action plan. We expect the results of this study to contribute to the policy direction of Korea's SMR-related national R&D by quickly and effectively identifying the actual needs of SMR commercialization and energy mix in Korea.

Keywords

small modular reactor, sentiment analysis, national R&D projects, need mining, topic modeling

* 한국과학기술정보연구원 NTIS센터 학생연구원,
과학기술연합대학원대학교 과학기술경영정책학과 통합과정
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7124-8789>
** 한국과학기술정보연구원 NTIS센터 책임연구원,
과학기술연합대학원대학교 과학기술경영정책학과 교수(교신저자)
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5379-9659>

• Received: Apr. 08, 2024, Revised: May 22, 2024, Accepted: May 25 2024
• Corresponding Author: Byeong-Hee Lee
NTIS Center, Korea Institute of Science and Technology Information
Tel: +82-42-869-1724, Email: bhlee@kisti.re.kr

I. 서 론

최근 대규모언어모델(LLM, Large Language Model)로 대표되는 인공지능(AI, Artificial Intelligence) 시대에서 AI에 운영에 필요한 막대한 에너지 및 전력 공급 문제가 대두되고 있다. 또한 러시아-우크라이나 전쟁으로 인해 가스, 휘발유 등 화석연료 가격이 상승했었고, 이스라엘-팔레스타인 전쟁으로 인해 국제 유가가 출렁이는 상황이다. 이에 세계 각국은 안정적인 에너지 확보를 위해 에너지 안보와 다변화에 많은 노력을 기울이고 있다.

세계 각국은 이산화탄소 배출이 많은 국가에서 생산 및 수입되는 제품에 부과하는 관세로 탄소국경세, 이산화탄소를 배출하는 사업장에 온실가스 배출권거래 법 시행과 제재를 가하고 있다[1]. 석탄화력 발전과 같이 특정 에너지원에만 에너지 공급을 의존한다면 에너지 안보 및 안정성 측면에서 문제가 되기 때문에 다양한 에너지원을 활용해 에너지 공급의 효율성을 높이고 최적의 에너지원 정책을 이끌어내기 위해 세계 각국은 에너지 믹스(Energy mix)를 통해 에너지 안보에 큰 노력을 기울이고 있다[2].

우리나라는 전력발전에서 화석연료 비중이 60%대로 높으며 그중에서도 석탄화력 발전이 가장 높다. 석탄은 지금까지 저렴하고 안정적인 에너지원이었지만, 기후변화에 악영향을 미치는 이산화탄소(CO₂), 메탄, 이산화질소 등 온실가스 배출과 다양한 오염 물질 배출과 미세먼지 발생과 직결되는 문제가 있어서 석탄화력 발전소는 점점 줄일 수밖에 없는 상황이다[3].

경제 성장, 인구 증가, 사회 발전에 따라 급증하는 전력 사용량을 감당하기 위해 전력 및 에너지를 어떤 방법으로 생산하는지 나타내는 비율로 불리는 에너지 믹스는 에너지 다변화 차원에서 재생에너지 확대, 탄소 포집·활용·저장(CCUS), 탄소중립합성연료(E-Fuel), 그린·청정 수소생산, 소형모듈원자로(SMR, Small Modular Reactor) 및 핵융합 발전 등의 실현 계획이 제안되어 왔다[4][5].

위와 같은 대안 중에서 SMR이 주목받고 있다. SMR은 에너지 자원을 전적으로 수입하는 한국의 조건에서 원유에 비해 세계 정세에 따른 영향을 비

교적 적게 받는다. 여기에 추후 무탄소 전원으로 분류될 수 있으며, 전력계통에서도 상대적으로 자유로워 에너지 믹스 정책에도 부합한다.

본 연구에서는 에너지 분야에서 현실적인 대안으로 부상하고 있는 원자력과 관련한 SMR에 대해 중점으로 두고, 대중의 인식과 전문가의 니즈를 파악하고자 SNS중에서 시계열적인 데이터 분석인 가능한 Reddit 댓글을 택하여 감성 분석하고 우리나라 국가R&D 과제의 니드마이닝을 통해 에너지 믹스와 SMR의 정책 방향과 기술 개발 전략 수립 방향 제시를 목표로 한다. 우리나라의 에너지 믹스와 안정성과 경제성을 갖추는 SMR 상용화를 위한 니즈 파악을 위해 Reddit에서 텍스트 데이터를 수집하여 일반인의 감성 분석을 수행하고, 우리나라 원자력 SMR과 관련된 국가R&D과제의 요약문에 나오는 기대효과를 니드마이닝과 토픽모델링 기법을 이용하여 분석하고 실행계획을 마련한다.

II. 관련 연구

2.1 에너지 믹스와 소형모듈원자로 개요

최근 기후변화로 인해 여름철에는 냉방 수요가, 겨울철에는 난방 수요가 증가하면서 전력 사용량이 증가하였고, AI 등의 기술 발전으로 인해 LLM, 데이터센터, 전자기기, 슈퍼컴 등으로 전력 사용량이 크게 증가하고 있다. 전력 사용량의 증가는 전력 공급 불안정과 환경오염 문제를 야기할 수 있다.

우리나라는 폴란드, 체코, 캐나다 등과 세계적 에너지 시장에서 가장 현실적인 대안 및 게임 체인저로 불리는 SMR 분야에서 국제적 협력을 통해 세계 에너지 시장에 공동 진출하면서 국내 에너지를 다변화할 에너지 믹스 실행계획을 마련하고 있다. SMR은 기존 대형 원전 출력의 3~10 배 이하의 규모로, 주요 기기를 하나의 용기에 일체화한 소형 원자로다. 송전망이 충분하지 않거나 외딴 지역에 소규모 전력을 공급할 목적으로 개발되었다. SMR은 2050 탄소중립 선언이 확대되는 가운데 기후위기에 대응한 탈탄소화, 분산화, 원자력그린수소 등의 글로벌 에너지 트렌드에 부합한다.

또한 SMR은 발전용뿐만 아니라 수소 생산, 해수 담수화, 지역난방, 잠수함과 항공모함 같은 K-방산, 우주 산업 및 우주개발 등에서 다양한 용도로 활용할 수 있다[6].

미국에서는 SMR 기술 분야의 선두주자인 뉴스케일파워(Nuscale Power), 엑스에너지(X-energy) 이외에도, 빌 게이츠(Bill Gates)가 지원하는 차세대 원자력 회사인 테라파워(Terra Power)와 샘 알트만(Sam Altman) 오픈AI CEO가 투자를 발표한 오클로(OKLO)가 있다. 테라파워는 최근 7억 5천만 달러의 투자를 발표하고 에너지 독립, 환경 지속 가능성, 의료 발전과 같은 글로벌 도전 과제를 해결하려고 하며 미국 에너지부로부터 10억 달러 이상의 지원을 통해 자금을 조달하였다. 우리나라 SK그룹에서도 테라파워에 2억 5천만 달러를 투자하였다[7]. 우리나라는 에너지 분야 중, 전력을 비롯한 해양 및 선박 부문의 지속 가능한 에너지 발전을 위해 SMR 기술을 적극적으로 추진하고 있으며 친환경적 에너지 안정화 및 다각화 촉진, 원자력 발전 용량 증가, 기술 수출을 통한 경제 성장, 원자력의 사고 위험 감소 및 안전성 강화를 목표로 하고 있다[8].

에너지 믹스는 “에너지를 섞는다는 뜻으로, 다양한 에너지원을 활용하여 에너지 공급의 효율성을 극대화하는 것 또는 각 에너지원별 비중 자체를 의미한다.”고 네이버 백과사전에서는 설명한다. 에너지 믹스는 에너지 안보 확보, 기후변화에 대응한 환경 보호, 에너지 생산과 공급의 경제성 향상을 목표로 한다. 세계 각국의 에너지 정책과 산업 구조, 자원 상황, 에너지 정책 등을 보여주어 에너지 믹스를 통해 각국의 에너지 정책 방향과 목표를 파악할 수 있으며, 세계 각국은 자국에 맞는 에너지 믹스를 설계하고 시행하기 위해 분주하다.

소형모듈원자로는 기존의 대형 원자력 발전소에 비해 출력이 작은 원자로로 300MW이하의 출력을 가지며 전 세계적으로 주목받고 있는 차세대 원자력 기술이다. 기존 대형 원전 대비 안전성, 유용성, 경제성 등을 크게 향상한 다목적 SMR이 개발되고 있으며, 세계 선진국들은 SMR의 역할과 지원책을 마련하고 있다. 현재 전 세계적으로 SMR 개발 및 상용화를 추진하고 있는 기업은 100여 개 이상이며, 표 1에서와 같이 미국, 프랑스, 캐나다, 영국, 중국

및 우리나라가 SMR 개발 및 상용화 프로젝트를 진행하고 있으나 현재까지 SMR이 상용화된 곳은 아직 거의 없는 상태이다.

우리나라는 2030년까지 SMR 상용화를 목표로, 한국수력원자력은 미국의 SMR 개발업체인 뉴스케일파워와 공동 개발 및 상용화를 위한 협약을 체결했다. 현대건설은 미국 홀텍 인터내셔널(Holtec international)과 시공 파트너로 손잡고 SMR의 글로벌 시장 선점을 공략하고 있다. HD한국조선해양, 한화오션(舊 대우조선해양), 삼성중공업 등 우리나라 조선사들도 해상 원전에 적합한 SMR 사업에 뛰어들고 있다.

표 1. 해외 SMR 관련 동향
Table 1. Overseas SMR-related trends

Country	Trends
USA	Most active in SMR development and commercialization Nuscale Power applied for commercialization permission from the Nuclear Regulatory Commission(NRC) in July 2023. Commercialization goal in 2029
France	Very high dependence on nuclear energy. Expanding government support for SMR development and commercialization Government support of 300 million euros announced in July 2023. 2030 commercialization goal
Canada	Expand government support for SMR development and commercialization. SMR construction begins with GE-Hitachi Nuclear Energy in December 2021 Moltex Energy received \$125 million in support from the government in May 2023. 2030 commercialization goal
UK	Announcement of government plans for SMR development and commercialization Announcement of government investment plans of £1.2 billion for development and commercialization in November 2023. 2030 commercialization goal
China	Active investment in SMR development and commercialization China Atomic Energy Corporation Huayuan Nuclear Power Technology completed commercialization technology verification in October 2023. Commercial operation plan for 2026. 2030 commercialization goal

우리나라가 개발을 추진 중인 혁신형 iSMR은 170MW 규모로, 일반 원전에 비해 제작기간이 빠르고 설치가 간단하며, 경제성이 높아 에너지 안보 강화와 국가 경쟁력을 높이는 전략적 수단으로 평가를 받고 있다.

SMR은 기존의 대형 원전 대비 다음과 같은 장단점을 지닌다. ① SMR은 기존 원자력 발전소에 비해 설계가 단순하고, 안전 기능이 강화되어 있다. SMR은 사고 발생 시 안전하게 냉각을 유지할 수 있어 안정성을 가진다. ② SMR은 원전의 규모가 작아 건설비와 운영비를 절감할 수 있다. SMR은 원전 건설에 소요되는 시간이 짧고, 부지 요구량이 적어 경제성을 개선할 수 있다. SMR은 부지 요구량이 적어 도시 인근이나 지역 단위에서 SMR을 활용할 수 있다. 또한, SMR은 건설에 소요되는 시간이 짧아 건설 기간 동안의 비용도 절감할 수 있다. SMR은 기존 원전에 비해 운영에 소요되는 인력과 비용이 적고, 유지 보수에 소요되는 비용도 적다. ③ SMR은 기존 원전에 비해 크기가 작아 다양한 용도로 활용할 수 있다. SMR은 발전용뿐만 아니라 수소생산, 해수 담수화, 지역난방 등 다양한 용도로 활용할 수 있다.

SMR은 전 세계적으로 아직 개발 초기 단계이기 때문에 다음과 같은 문제도 있다. ① SMR의 안전성을 검증하기 위해서는 대규모 실험이 필요하다. SMR은 기존 원전에 비해 다양한 안전 기능을 가지고 있기 때문에, 이러한 기능들이 효과적으로 작동하는지 검증할 필요가 있다. ② SMR은 많은 투자비가 소요되기 때문에 경제성을 확보하기 위해서는 건설비와 운영비를 더욱 낮출 필요가 있다. 또한 SMR의 부가가치를 높여 시장 선점을 위한 수출 경쟁력 확보가 필요하다. ③ SMR은 기존 원전과 마찬가지로 방사성 폐기물을 발생시키는데 방사성 폐기물을 안전하고 효율적으로 처리할 수 있는 방안을 마련하여야 한다.

본 연구에서는 먼저 우리나라 신문기사에 나타난 SMR 연관어를 뉴스 빅데이터인 빅카이즈에서 ‘소형모듈원자로’로 조회하여 그림 1과 같이 연관어를 표시해 보았다. 글자의 크기가 크면 자주 출현했음을 의미하는데, 차세대 원전, 한수원, 폐기물 등은

물론 AI 관련 연관어도 함께 나타나고 있다.



그림 1. 우리나라 신문기사에 나타난 SMR 연관어
Fig. 1. SMR-related words appearing in Korean newspaper articles

또한 본 연구에서는 최근 SMR과 관련된 논문을 구글 스칼라에서 세계적 수준의 우수학술지 SCI 및 SSCI 최근 논문 860개를 수집한 뒤, 논문 데이터베이스 마이닝 및 시각화 툴인 Vosviewer를 이용해 동시출현단어 분석을 실시했을 때의 체계적 문헌 리뷰(Systematic Literature Review)는 그림 2와 같다. 연도별 논문에서 사용된 키워드의 분포를 시각화한 것이며 연구 트렌드, 주목받는 기술, 그리고 연도별 연구 초점 등을 이해하는 데 유용하다. 또한 SMR 기술이 빠르게 발전하고 있으며, 다양한 분야에서 활용될 잠재력이 있음을 보여준다.

그림 2에서 2012년 대비 최근 논문 수가 꾸준히 증가하고 있으며, 가장 눈에 띄는 키워드는 ‘advanced’, ‘high temperature’, ‘molten salt’, ‘small modular’, ‘thorium’이다. ‘advanced’는 SMR의 첨단 기술을 나타내며 기존의 원자력 발전소보다 안전성과 효율성이 높으며 다양한 연료를 사용할 수 있다. ‘high temperature’는 SMR의 고온 특성을 나타내며, 고온의 증기를 생산할 수 있어 열병합 발전, 수소 생산 등 다양한 분야에서 활용될 수 있다. ‘molten salt’는 SMR의 염수냉각재를 나타내며, 방사성 물질을 흡수하는 성질이 있어 안전성이 뛰어나다. ‘small modular’는 SMR의 소형화 특성을 나타내며, SMR은 기존의 원자력 발전소보다 작고, 이동이 용이하다. ‘thorium’은 SMR의 토륨 연료를 나타내며, 토륨은 우라늄보다 풍부한 자원이며, 방사능이 적어 안전성이 높다.

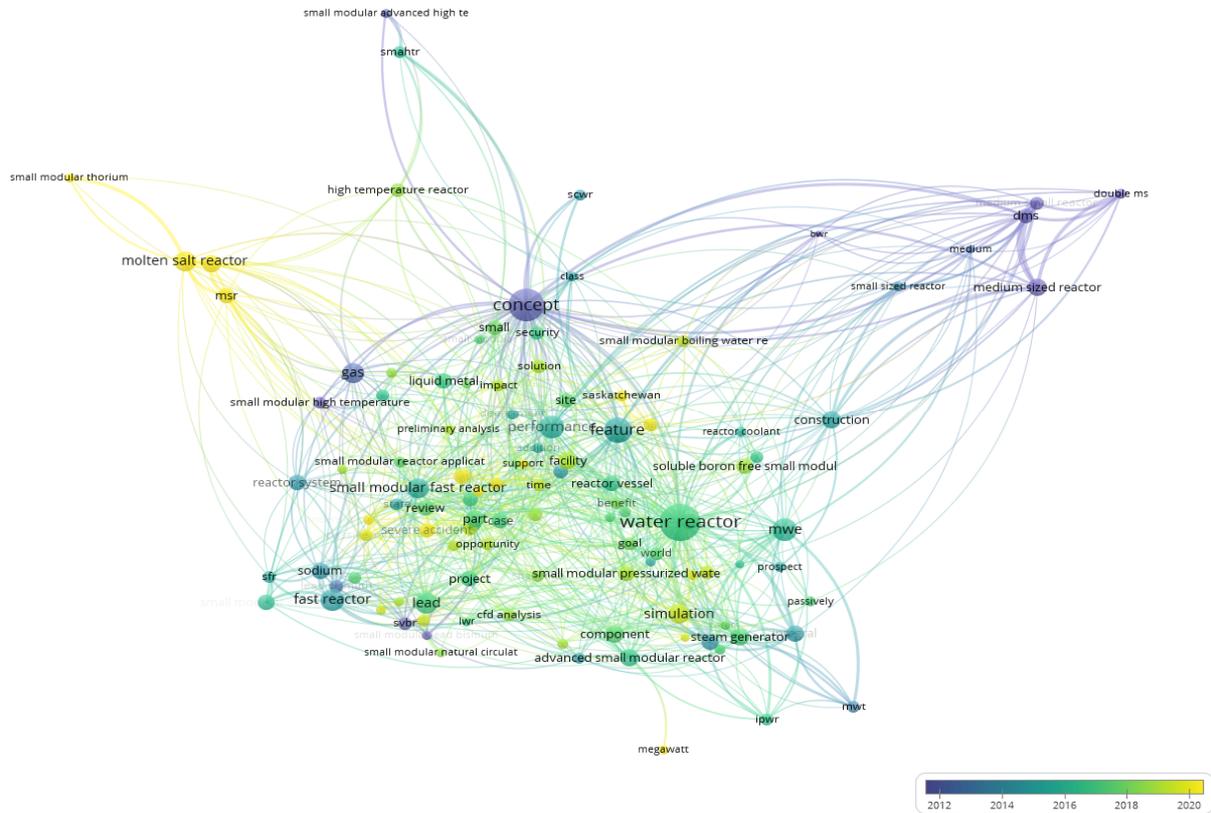


그림 2. SMR 관련 연도별 논문 키워드 분포
 Fig. 2. Distribution of SMR-related paper keywords by year

2.2 국가R&D과제와 소셜미디어 감성분석

우리나라 국가R&D의 종합포털인 국가과학기술 지식정보서비스(NTIS, National Science & Technology Information Service)에서는 우리나라 과학기술과 연구개발 분야의 사업, 과제, 인력, 성과 등 국가 R&D 사업에 대한 정보를 한 곳에서 제공한다. NTIS 데이터를 검색 및 활용을 하면 우리나라의 부처, 사업, 예산, 요약 내용을 파악할 수 있으며, 최근 NTIS에서 녹색기술[9], 그래핀[10], 수소[11], 위성통신[12] 등 관련 국가R&D과제의 텍스트 데이터를 분석하여 다양한 인사이트나 시사점을 도출하는 논문이 발표되고 있다.

연구자는 국가R&D과제의 해당 분야에 전문지식을 가지면서 실제 기술을 개발하는 공급자로 볼 수 있는 반면, 실제 일반 이용자는 수요자 입장을 대변한다. 일반 대중들이 작성한 소셜미디어(SNS)를 분석하면 일반 수요자의 의견이나 감성 등 좋은 정보 및 니즈를 파악할 수 있다[13]. 소셜미디어는 온

라인 카페, 블로그, 소셜 네트워크 서비스 등 온라인 채널에서 일반 대중이 생성하는 대규모 텍스트 데이터로 개인의 경험, 생각, 감정 등이 담겨 있다. 페이스북, 트위터 등 여러 세계적인 SNS들이 존재하는데 이러한 텍스트 데이터는 최근 이들 관련 기술들이 크게 발전하면서 처리가 가능해졌다.

감성분석(Sentiment analysis)은 텍스트 데이터에서 감정 상태를 추출하고 소셜, 기사, 영화 리뷰 등의 텍스트를 지배하는 긍정적, 부정적 감정을 식별하는 기법이다. 소셜미디어에서 제품 및 서비스에 대한 소비자 반응 분석, 사회 이슈에 대한 여론 분석, 과학기술 분야의 일반인의 호감도 분석, 뉴스 기사의 감성 분석, 기업의 브랜드 이미지 분석, 정치인의 인기도 분석, 소셜 마케팅 등에 활용되고 있다. 이지연[14]은 오피니언 마이닝 관점에서 세계적 소셜 미디어 중에 하나인 레드딴(Reddit)을 활용한 감성 분석을 그래핀 소재에 대해 수행하고, 이를 기술의 성숙도로 표현하는 방법인 하이프 사이클과 비교하는 연구를 수행하기도 했다.

2.3 니드마이닝과 토픽모델링

니즈(Needs)는 어떤 사람이나 집단이 필요로 하거나 요구하는 것으로, 니즈 분석은 이러한 니즈를 정확하게 이해하고 충족시킬 수 있는 방법을 찾는 과정이다. 니즈 분석을 자연언어처리나 텍스트마이닝 기법을 적용하여 처리하는 니드마이닝(Need mining)은 방대한 텍스트 데이터에서 사용자가 가진 니즈를 추출하는 기법이다[15]. 사용자의 니즈를 잘 파악하면 이를 기반으로 제품이나 서비스의 기획, 개발, 마케팅, 정책적 시사점을 제시하고 개선할 수 있다.

토픽모델링(Topic modeling)은 텍스트 데이터에서 잠재적인 토픽(topic) 즉 주제를 추출하는 기술이며, 토픽은 텍스트 데이터의 공통 개념 또는 주제이다. 토픽 모델링을 통해 텍스트 데이터의 토픽들의 분포를 파악할 수 있다. 토픽 모델링을 수행하는 대표적인 알고리즘으로는 LDA(Latent Dirichlet Allocation)와 이를 개선한 STM(Structural Topical Model)이 있다[16].

III. 데이터 수집과 연구 방법

본 연구는 빅데이터 및 텍스트마이닝 분석방법론에 기반하여 분석을 진행하며 전체 흐름은 그림 3과 같다. 본 연구에서는 SMR 기술 및 산업 생태계 조성을 위해서 먼저 이 분야의 니즈 파악을 위해 SNS에서 일반인이 쓴 텍스트 데이터를 수집하여 감성분석 기법을 적용하여 긍정/부정 및 기본 감성을 알아보고, 우리나라 SMR 관련 전문 연구자의 국가R&D과제 요약문에 나오는 기대효과를 가지고 니즈 관련 문장을 추출하여 니드마이닝과 토픽모델링 기법을 이용하여 토픽을 분류하고 실행계획을 마련하고자 한다.

텍스트 데이터를 수집하기 위해 트위터, 페이스북과 같은 글로벌 소셜미디어도 있는데 이들은 최근 데이터만 제공하기 때문에 본 연구에서는 기간 제한이 거의 없고 시계열 분석을 수행하기 위해 Reddit의 텍스트 데이터를 가지고 수행하였다. 또한 SMR 관련 국가R&D과제 데이터를 수집하여 위해서는 NTIS에서 검색어로 ‘소형모듈원자로일체형원자로INTEGRAL REACTOR|SMR’를 이용하여 검색

된 결과 520건의 과제 데이터를 가지고 수행하였다.

또한 본 연구에서는 SMR 관련해서 국가R&D과제 요약문의 기대효과를 영어로 번역하여 니즈 관련 문장을 추출하여 니드마이닝을 하고 난 후, 토픽모델링을 실시하여 토픽을 분류하고, 토픽별 실행 계획 마련을 수행하였다.

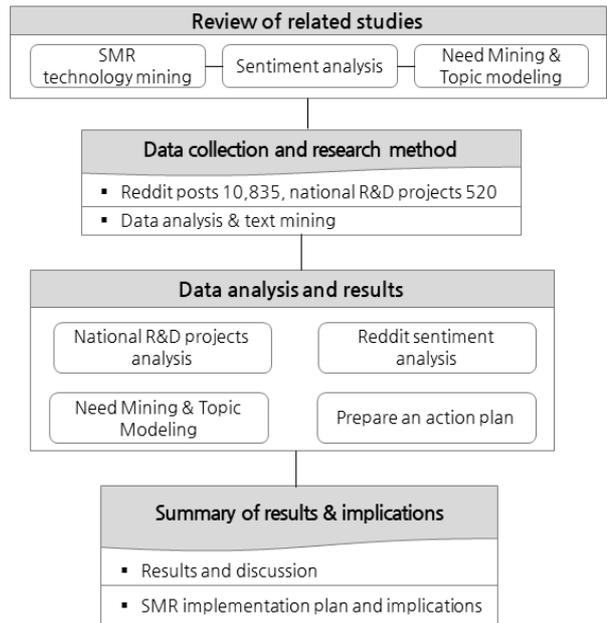


그림 3. 본 연구 전체 흐름도
Fig. 3. Overall flow of the study

IV. 데이터 분석 및 결과

4.1 SMR 국가R&D과제 기술마이닝

국가과학기술지식정보서비스(NTIS)에서 수집한 SMR 관련 국가R&D과제를 연도별로 연구비와 과제수를 보면 표 2와 같다. SMR 관련 국가R&D과제의 과제수는 연도별로 대체로 증가하는 추세이며 최근 급격히 증가하고 있다. 특히 2022년 4월에 미국 에너지부에서 SMR 상용화 정책을 발표하였고, 우리나라는 10월 윤석열 정부에서 이전 정부의 탈원전 정책을 폐기하면서 원전산업의 경쟁력 강화와 생태계 회복을 위해 SMR 기술 개발 및 상용화에 박차를 가했기 때문으로 분석된다. 또한 연구비와 과제수 사이에 매우 강한 양(+)의 상관관계가 있음을 보여준다.

표 2. SMR 관련 연도별 국가R&D과제 연구비와 과제수
Table 2. National R&D project research funds and number of projects by year related to SMR

Year	Research expenses(KRW)	Projects
2012	9,502,348,000	13
2013	19,842,942,000	20
2014	18,790,741,891	23
2015	11,151,411,000	22
2016	23,998,935,000	28
2017	21,481,147,160	23
2018	21,514,660,000	32
2019	17,107,843,000	32
2020	19,826,072,000	34
2021	34,157,109,000	58
2022	62,212,703,000	90

또한 SMR 관련 국가R&D과제에서 연구개발단계별로는 표 3에서와 같이 기초연구(54.0%), 개발연구(26.0%), 응용연구(11.1%)로 순으로 나타나 아직은 기초연구가 많은 것으로 나타났다.

표 3. 국가R&D과제 연구개발단계(2012~2023)
Table 3. National R&D project research and development stage (2012~2023)

No.	R&D stage	Projects	%
1	Basic	243	54.0%
2	Development	117	26.0%
3	Application	50	11.1%
4	etc.	22	4.9%

SMR 관련 국가R&D과제에서 과학기술표준분류의 적용분야를 살펴보면 표 4와 같다. 적용분야가 주로 에너지(51.5%), 기타 공공목적(10.2%), 기타 산업(7.5%), 건강(5.0%) 순으로 나타나 에너지 부문으로 적용을 염두하고 있음을 알 수 있다.

이들 SMR 분야 국가R&D과제에서 공동연구를 수행한 237건의 과제를 통해 공동연구네트워크를 R언어를 이용해 시각화 해보면 그림 4와 같다. 정부 출연연구원으로는 한국원자력연구원과 한국에너지기술연구원이 네트워크 중심성(Network centrality)이 높게 나타났고, 산업체로는 현대엔지니어링(주)이, 대학으로는 서울대가 높게 나타났다.

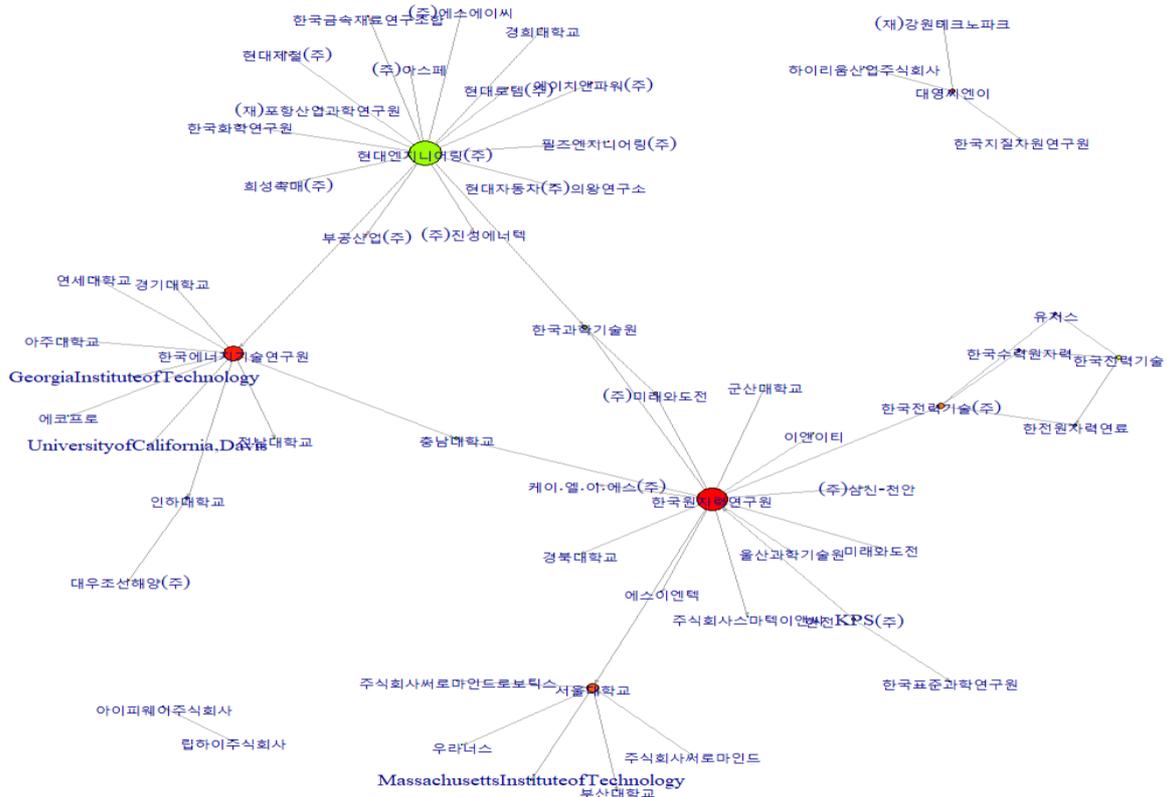


그림 4. SMR 관련 국가R&D과제 공동연구네트워크
Fig. 4. SMR-related national R&D project joint research network

표 4. SMR 관련 국가R&D과제 적용분야분류
Table 4. Classification of application fields for SMR-related national R&D projects

No.	S&T standards application category 1	Projects	%
1	energy	227	51.5%
2	Other public purposes	45	10.2%
3	Other industries	33	7.5%
4	health	22	5.0%
5	Professional, scientific and technical services	20	4.5%
6	Manufacturing (electrical and mechanical equipment)	18	4.1%
7	Advancement of Knowledge (Non-Purpose Research)	13	2.9%
8	Manufacturing (electronic components, computers, video, audio and communication equipment)	12	2.7%
9	Production, distribution and rational use of energy	10	2.3%
10	Manufacturing (chemicals and chemical products)	7	1.6%

4.2 Reddit 데이터 현황 및 감성분석

Reddit에서 SMR 관련 데이터 현황을 보면 다음 표 5와 같다. 2020년 이후 댓글 수가 많으며 최근 2022년과 2023년에 크게 증가하였고 사용자 수도 크게 증가하였다. 2022년 미국의 SMR을 포함한 선진원자로에 대한 투자가 대폭 증가하였으며 여기에

는 원자로 설계, 규제기술 개발, 실증 지원 등이 포함되어 있었으며, 2023년 에너지 산업에서 SMR에 대한 기후변화 대응 및 클린 에너지 논의가 활발히 진행되어 일부 국가 및 지역에서 에너지 정책이 변화함에 따라 논의가 늘어나고 있다.

NRC(National Research Council Canada) 감성 사전에 기반하여 R언어의 ‘sentimentr’, ‘syuzhet’ 패키지를 이용해 SMR 관련 댓글의 10가지 감성 분포를 산출한 결과는 그림 5와 같다. 전체적으로 긍정(Positive) 감성이 부정(Negative) 감성 보다 훨씬 높아 SMR이 미래의 에너지원으로서 부정보다는 긍정적인 인식이 높아 향후 잠재력이 있음을 알려준다. 부정적인 감성도 있는데 이는 SMR이 아직 개발 초기 단계에 있으며 안정성과 경제성 등 우려되는 점도 있음을 반영하는 것으로 볼 수 있다.

표 5. SMR 관련 Reddit 댓글 데이터의 연도별 및 사용자 수
Table 5. SMR-related Reddit comment data by year and number of users

Year	Posts	users
2015	436	262
2016	0	0
2017	1,340	687
2018	478	283
2019	481	351
2020	1,425	1,001
2021	1,362	724
2022	1,931	1,087
2023	2,405	1,903

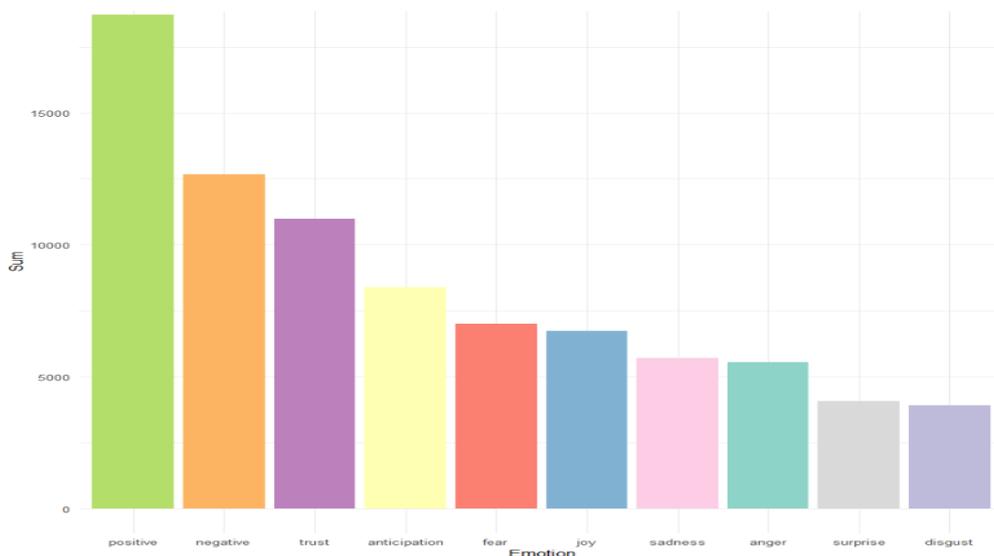


그림 5. SMR 관련 레딧 댓글의 감성 분포
Fig. 5. Sentiment distribution of SMR-related reddit comments

긍정적인 감성 중에서 신뢰(Trust), 기대(Anticipation)가 높음을 보여주지만, 부정적인 감성 중에서 두려움(Fear)이 높아 SMR의 안정성이나 경제성에 대해서는 우려를 표현하고 있음을 보여준다.

그림 6은 Reddit에서 SMR에 대한 댓글의 긍정과 부정 점수의 트렌드이다. 2014년 3월부터 높았던 긍정적 감성 점수는 2019년초까지 하락을 하다가 2019년 6월 국제원자력기구(IAEA)의 안전성 평가 보고서 발표, 2019년 12월 미국 SMR 개발업체 뉴스케이 파워의 상용화 허가이후 상승하기 시작하여 최근 2023년까지 계속 상승하고 있음을 보여준다.

우리나라도 2023년 2월 SMR을 2030년까지 상용화하겠다는 계획을 발표하였고, 한국수력원자력은 2023년 3월 미국 뉴스케이파워에 3조원 투자를 결정하였다. 2023년 7월 SMR 실증사업을 추진하기로

결정했고 이는 SMR의 안전성과 경제성을 검증하기 위한 사업으로 2028년까지 완료 예정이다. 이러한 사건들의 영향으로 2023년 우리나라에서 SMR은 미래의 에너지원으로서 주목받는 기술로 자리 잡았고, 우리 정부는 SMR을 미래의 에너지원으로 육성하겠다는 정부의 의지를 보여주며 SMR에 정부 투자를 크게 증가시켰다.

4.3 국가R&D과제 니드마이닝 및 토픽모델링 결과

본 연구에서는 SMR 관련 국가R&D과제의 기대 효과 요약문을 가지고 R언어를 이용하여 니드마이닝을 실시하였다.

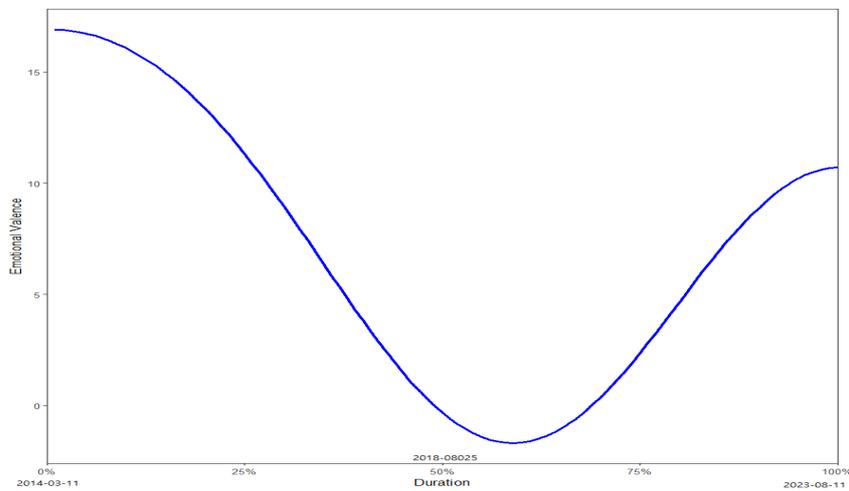


그림 6. 레딧에서 SMR 관련 시계열 댓글 긍정과 부정 트렌드
 Fig. 6. Positive and negative trends in SMR-related time series comments on Reddit

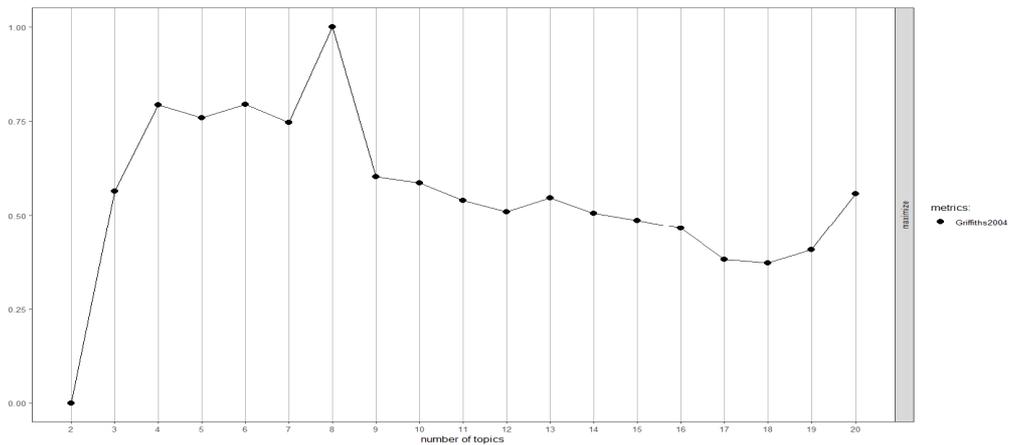


그림 7. 토픽 수 탐색
 Fig. 7. Exploring number of topics

니드마이닝 처리를 위해서 R언어의 구글 gtranslate 패키지를 이용하여 한글 기대효과를 영어로 번역한 후 니드마이닝 기법을 적용하였다. 영어로 번역된 국가R&D과제에서 기대효과 문장에서 필요와 기대 관련 "need", "want", "expect", "anticipate" 등 22여개 단어의 어간(Word stem)을 영어로 번역된 기대효과와 비교하여 이들 단어가 포함된 해당 문장을 R언어 코드를 이용하여 345개 영어 문장을 추출하였다. 니즈와 기대와 관련된 345개 문장을 대상으로 토픽의 수를 정하기 위해 그림 7과 같이 Griffiths2004 측정에 따라 1.0에 가장 가까운 꼭지점인 k=8로 지정하였다.

토픽 수 k=8로, STM 토픽모델링을 실행한 결과는 그림 8과 같다. 주요 8개 토픽으로는 핵기술과 SMR, 기술 상용화, 원전 안전과 사고, 원자로 설계 및 시스템, 검사와 디지털화, 수소생산과 산업, 원자력과 에너지, 안정성과 규제로 나타났다.

4.4 토픽별 실행계획

그림 8에서 나온 토픽에 따라 표 6은 토픽모델링은 통해 얻은 8개 토픽에 대해 SMR 관련 토픽명과 실행계획을 정리한 표이다.

토픽1은 SMR의 핵기술 연구개발, 에너지 출력 테스트, 지능화 시스템 구축의 핵기술과 관련이다. 토픽2는 기술과 상용화 연계, 듀 달리전스 실시 등으로 기술 상용화 관련이다. 토픽3은 발전소 구축계획 수립과 안정성 평가 등으로 원전 안전과 사고 관련이다. 토픽4는 핵기술과 리액터 설계 연구, 시스템 구축 및 최적화, 사용 사례 분석으로 리액터 설계 시스템 및 시스템 관련이다. 토픽5는 검증(Inspection) 프로토콜 작성, 디지털 시스템 구축과 보안 체계 강화 등 검증과 디지털화 관련이다. 토픽6은 수소생산 연계, 산업 분야별 적용 분석, 에너지 효율성 평가 등으로 수소생산과 산업 관련이다. 토픽7은 에너지 믹스와 관련한 원자력 활용 전략 수립, 에너지 효율성 분석, 사회 및 환경적 기여 분석 등으로 원자력과 에너지 관련이다. 토픽8은 원자력 안전위원회가 관장하는 원자력 안정성과 규제와 국제 협력 등으로 원자력의 안정성과 규제와 관련으로 나타났다.

<p>Topic 1 Top Words: (Nuclear technology and SMR) Highest Prob: nuclear, technology, secure, power, reactor, plant, small Lift*: adoption, alberta, analytical, bilateral, brand, canada, challenge Score**: sensor, smart, acid-free, boric, pressurized, sfr, nuclear</p> <p>Topic 2 Top Words: (Technology business) Highest Prob: technology, robot, research, field, use, market, business Lift: challenging, ct, customer-tailored, efficacy, intervention, leading, nursing Score: robot, intervention, nursing, imitation, robotic, learn, brain</p> <p>Topic 3 Top Words: (Nuclear power plant and accident) Highest Prob: nuclear, power, plant, technology, safety, system, accident Lift: accompany, advantageous, affect, age, applying, apr1000, assess Score: failure, nuclear, accident, safety-enhanced, protection, apr-1400, safety</p> <p>Topic 4 Top Words: (Nuclear reactor design and system) Highest Prob: nuclear, reactor, technology, fuel, design, safety, use Lift: atomic, carlo, db, desert, eliminate, fluctuation, in-furnace Score: spend, fuel, cladding, code, accident-resistant, composite, sodium</p> <p>Topic 5 Top Words: (Inspection and digitalization) Highest Prob: technology, smr, inspection, use, field, digital, application Lift: antiferromagnetic, automobile, carry, clock, compose, configuration, dvfs Score: magnetic, inspection, game, spin, circuit, ip, inductor</p> <p>Topic 6 Top Words: (Hydrogen production and industry) Highest Prob: hydrogen, technology, industry, production, fuel, cell, energy Lift: 60-70, adsorbent, aging-related, anti-cancer, bio, bioga, biomarker Score: hydrogen, cell, reformer, decommission, cognitive, microwave, co2</p> <p>Topic 7 Top Words: (Nuclear power and energy) Highest Prob: technology, nuclear, power, material, plant, design, energy Lift: bulk, liquefy, pore, transmission, accelerator, administration, africa Score: porous, exploration, lng, disaster, cryogenic, psc, containment</p> <p>Topic 8 Top Words: (Safety and regulation) Highest Prob: safety, system, nuclear, analysis, regulatory, smr, technology Lift: agreement, atlas, ballast, begin, cap, conjunction, cupid Score: agency, licensing, regulatory, battery-based, review, seawater, ballast</p>
--

* Best score
 ** Best score per point

그림 8. STM 토픽모델링 결과
 Fig. 8. Results of STM topic modeling

표 6. 토픽과 실행계획

Table 6. Topics and action plan

No.	Topics	Action plan
1	Nuclear technology and SMR	Nuclear technology research and development: Latest nuclear technology and SMR research and development Energy output testing: Plan and execute tests to demonstrate high energy output even in small-scale reactors. Building an intelligent system: Developing a smart management system for SMR operation
2	Technology commercialization	Linkage between technology and commercialization: Linkage with commercialization of SMR based on safe technology Implementation of Due Diligence: Conducting necessary legal and financial reviews prior to commercialization of SMR Market entry and marketing strategy establishment: Analyze market demand, design a business model, and develop a marketing strategy to launch SMR products into the market.
3	Nuclear power plant safety and accidents	Establishment of a power plant construction plan: Establishment of a construction plan for a power plant to which SMR will be applied. Safety evaluation and standard setting: Evaluate the safety of SMR and set related standards Creation of accident response protocols: Creation of protocols and manuals for nuclear accident response.
4	Reactor Design and Systems	Nuclear technology and reactor design research: Research on the latest nuclear technology and reactor design System construction and optimization: Build and optimize the overall system for SMR Use case analysis: Analysis of various use cases of SMR
5	Verification and digitalization	Creation of SMR verification protocol: Creation of verification protocol to evaluate the safety of SMR Establishment of digital system: Establishment of digital system for SMR operation Strengthening the digital security system: Strengthening the security system to protect SMR's digital systems and data

6	Hydrogen production and industry	Linkage of SMR to hydrogen production: Research and development on hydrogen production linked to SMR is underway Applicability analysis by industry sector: Analysis of the potential for industrial sectors where SMR can be applied Energy efficiency evaluation: Evaluate the energy efficiency of SMR and find ways to improve it
7	nuclear energy and energy	Establishment of nuclear energy utilization strategy: Establishment of strategy to utilize nuclear energy safely and efficiently Energy efficiency analysis: Analyzing the energy efficiency of SMR and finding ways to improve it Social and environmental contribution analysis: Analyzing how SMR can contribute to society and the environment
8	Safety and regulation	Safety assessment and strengthening: Evaluate the safety of SMR and take strengthening measures if necessary Regulatory compliance and analysis: Thoroughly analyze domestic and international regulations and develop or modify SMRs Revitalizing international cooperation and research: Strengthening international cooperation and strengthening SMR-related stability

V. 결론 및 향후 과제

지금까지 본 연구에서는 AI 시대에서 AI의 에너지 및 전력 수급처로 부상하고 있는 우리나라 SMR에 대한 대중의 인식과 전문가의 니즈를 파악하고자 SNS중에서 Reddit 댓글을 감성 분석하고 우리나라 국가R&D 과제의 니드마이닝을 통해 에너지 믹스와 SMR의 정책 방향과 기술 개발 전략 수립을 제시하고자 국내외 SMR 동향을 살펴보고, 최근 우리나라 SMR 분야의 국가R&D과제를 수집하여 기대효과를 이용하여 집단지성을 이용하는 새로운 접근법을 이용하여 니즈를 토픽모델링을 거쳐 분류하고 실행계획을 구체화하였다.

특히 본 연구는 SMR 분야의 니즈 파악을 위해 니드마이닝 방법을 적용하여 해당 분야의 전문가인 연구자가 작성한 국가R&D과제의 기대효과 요약문을 이용해 필요한 니즈를 식별하고 선행되어야 할 비즈니스 전략과 실행계획을 집단지성을 이용해 작성하는 새로운 접근을 적용한 것이 다른 연구와 차별성이 있다고 하겠다. 본 연구는 한국어 기대효과를 영어로 번역한 뒤, 니즈 문장을 추출하고 이들 니즈 문장을 LDA 토픽 모델링을 통해 8개의 토픽 그룹을 구성한 뒤, 그 중 SMR과 관련 니즈와 기대로 보이는 의미 있는 토픽 그룹을 추출해 STM으로 자동 분류 실시하고 실행계획까지 연계하고 전문 연구자의 집단지성을 이용한 점이 기존 과학기술 정책 분야의 선행연구와 차별성을 가진다.

우리나라는 SMR 분야에서 여타 선진국에 비해 후발 주자의 입장에서 도전해야 하는 것으로 SMR의 경제성과 안전성을 모두 확보하여 SMR 상용화를 준비해 나가야 한다. 즉 우리나라의 SMR 상용화를 위해서는 SMR의 안전한 기술을 가진 회사와 원전 건설 경험이 있는 회사가 콘소시엄을 맺고 세계 SMR 시장 선점에 노력할 것을 시사하고 있다.

하지만 본 연구는 한계점도 존재한다. 니드마이닝을 위해 한국어 문장을 영어로 번역하는 구글 패키지를 이용하였는데, 최근 구글이나 AI 번역의 정확성이 크게 향상되기는 했지만 번역 과정 중에 일부 오역이 있을 수 있다. 또한 STM 토픽모델링과 토픽에 따른 실행계획 마련에서 토픽모델링의 분류된 토픽은 아직 완전 자동화가 안 되는 기술 수준이고 실행 계획도 정성적인 부분이 있어서 본 연구자의 주관이 일부 개입 가능성이 있다.

향후 본 연구 결과를 바탕으로 우리나라의 에너지 다변화 차원에서 재생에너지 확대, 탄소 포집·활용·저장, 탄소중립합성연료, 그린·청정 수소생산, SMR 및 핵융합 발전 등의 다양한 에너지원 중에서 우리나라에 맞는 에너지 믹스를 고려하고, 안정성 및 경제성을 갖추는 SMR 상용화를 위해 국가R&D의 정책적 방향을 제시하여 이 분야의 기초자료로 활용되기를 기대한다. 마지막으로 우리나라가 세계 SMR 시장 선점과 SMR 상용화를 위해서 SMR의 안전한 기술을 축적하여 안정성과 경제성을 갖춘 SMR 산업을 선도하기를 기대한다.

References

- [1] G. Jang, "A Study on the Greenhouse Emission Trading Scheme to mitigate Climate Change and Policy Implications", *Journal of Tax Studies*, Vol. 9/1, pp. 62-118, 2009.
- [2] E.-N. Heo, "Global Energy Environment Change and Issues in Korea's Future Energy Mix", *Korean Energy Economic Review*, Vol. 10, No. 2, pp. 187-205, 2011. <https://doi.org/10.22794/keer.2011.10.2.004>.
- [3] Y. Jung and S. Kim, "Analyzing the relationship between South Korea's CO2 emissions, economic growth, and energy mix", *Environmental and Resource Economics Review*, Vol. 21, No. 2, pp. 271-299, 2012.
- [4] H. J. Kim, K. B. Oh, W. S. Chung, S. W. Yun, I. Jeong, J. H. Lee, and B. C. Won, "A Study to Improve the Role of Nuclear Energy Technology for the National New Growth Engine", *Korea Atomic Energy Research Institute*, Daejeon, Korea, 2006.
- [5] T.-Y. Kim, et al., "A Study on Issues and Implications on Net-zero Transition in Economics and Industries", *Gyeonggi Research Institute Policy Research Report*[2022-72], 2022.
- [6] G. Kim, et al., "Carbon Neutrality and Green Growth Strategies EU, U.S, China, and Japan", *KIEP Research Paper*[22-07], Jul. 2022. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4521423>.
- [7] Chosun Biz, "[Future Energy 2023] Bill Gates Founder, TerraPower CEO "Shuttered US Coal Plant to be Replaced by Small Nuclear Reactor (SMR)", <https://e.chosunbiz.com/미래에너지-2023-빌게이츠-설립한-테라파워-ceo-문단은/> [accessed: May 21, 2024]
- [8] Electric Power Economic News, "HD Hyundai Heavy Industries Co, Leading the way in 'SMR ship' technology", May 2023. <http://m.eptimes.com/news/articleView.html?idxno=29369> [accessed: May 21, 2024]

- [9] J. Y. Jeong, I. J. Kang, K. S. Choi, and B. H. Lee, "Knowledge Discovering on Graphene Green Technology by Text Mining in National R&D Projects in South Korea", *Sustainability*, Vol. 12, No. 23, pp. 9857, Nov. 2020. <https://doi.org/10.3390/su12239857>.
- [10] J. Y. Lee, J. W. Choi, J. H. Choi, and B. H. Lee, "Text-mining analysis using national R&D project data of South Korea to investigate innovation in graphene environment technology", *International Journal of Innovation Studies*, Vol. 7, No. 1, pp. 87-99, Mar. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2022.09.005>.
- [11] J. W. Choi, J. Y. Lee, B.-H. Lee, and T.-H. Kim, "Exploring the Knowledge Structure of Fuel Cell Electric Vehicle in National R&D Projects for the Hydrogen Economy", *The Korea Contents Association*, Vol. 21, No. 6, pp. 306-317, Jun. 2021. <https://doi.org/10.5392/JKCA.2021.21.06.306>.
- [12] B.-H. Lee, "Knowledge Analysis and Technology Mining of National R&D Projects in Satellite Communications", *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 21, No. 7, pp. 123-130, Jul. 2023. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2023.21.7.123>.
- [13] B.-Y. Lee, J.-T. Lim, and J. Yoo, "Utilization of Social Media Analysis using Big Data", *The Korea Contents Association*, Vol. 13, No. 2, pp. 211-219, Feb. 2013. <http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2013.13.02.211>.
- [14] J. Y. Lee, J. Lim, J.-H. Choi, and B.-H. Lee, "Can a wonder material be a popular item? A hype cycle of shifts in the sentiment of the interested public about graphene", *Technology Analysis & Strategic Management*, pp. 1-16, Oct. 2022. <https://doi.org/10.1080/09537325.2022.2136068>.
- [15] N. Kuehl, J. Scheurenbrand, and G. Satzger, "Needmining: Identifying Micro Blog Data containing Customer Needs", *Twenty-Fourth European Conference on Information Systems (ECIS)*, İstanbul, Turkey, pp. 1-16, Mar. 2020.

- [16] S. Lee, "Big data analytics methodologies for the humanities and social sciences", *Yoonsung publishing*, 2019.

저자소개

최 정 우 (Jung-Woo Choi)



2015년 2월 : 연세대학교 상경대학
경제학과(경제학사)

2019년 9월 ~ 현재 :

과학기술연합대학원대학교
과학기술경영정책 통합과정
관심분야 : 과학기술경영정책,
텍스트 마이닝, 데이터과학,

R&D경제, 수소경제

이 병 희 (Byeong-Hee Lee)



1992년 2월 : 충남대학교
컴퓨터공학과(공학사)

2002년 2월 : 충남대학교
컴퓨터공학과(공학박사)

2002년 9월 ~ 현재 :

한국과학기술정보연구원
NTIS센터

2012년 9월 ~ 현재 : 과학기술연합 대학원대학교
과학기술경영정책학과 교수

관심분야 : 과학기술경영정책, 인공지능, 빅데이터,
텍스트마이닝, 기술마이닝