https://doi.org/10.5392/JKCA.2021.21.06.306

# 수소 경제를 위한 국가R&D과제에서 연료전지전기차의 지식구조 탐색

## Exploring the Knowledge Structure of Fuel Cell Electric Vehicle in National R&D Projects for the Hydrogen Economy

**최정우*, 이지연*, 이병희*, 김태현****
과학기술연합대학원 대학교*, 한국과학기술정보연구원**

**Jung Woo Choi(zephy708@ust.ac.kr)*, Ji Yeon Lee(jylee@ust.ac.kr)*,
Byeong-Hee Lee(bhlee@kisti.re.kr)*, Tae-Hyun Kim(heemang@kisti.re.kr)****

**요약**

미국, 유럽, 중국, 일본 등 주요 선진국은 탄소 경제에서 수소 경제로의 전환을 위해 다양한 수소 경제 정책을 발표하며 연구역량을 집중하고 있다. 우리나라도 이러한 추세에 발맞추어 2019년 초 수소 경제 활성화 로드맵을 발표한 이래로 수소 경제 관련 법안을 마련하고 지원책을 실시하고 있다. 본 연구에서는 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)의 국가R&D과제정보 최근 10년치 데이터를 활용해 수소 경제, 그중에서도 전·후방 파급효과가 크다고 할 수 있는 연료전지전기차 관련 R&D 현황과 지식구조를 파악하고자 한다. 연료전지전기차 관련 국가R&D과제(2020년 1월 기준) 1,479개의 원시 데이터를 바탕으로 네트워크 분석 및 텍스트 마이닝을 실시한 결과, 연료전지전기차 분야에서는 수소의 생산, 운반, 저장, 활용의 전 프로세스에 걸친 기술 및 시스템의 연구개발이 활발하게 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 본 논문은 해당 연구결과를 통해 현재 연료전지전기차 산업을 선도하고 있는 한국의 수소 경제 관련 정책 수립과 연구개발, 시장 전략에 대해 시사점을 제시한다.

■ 중심어 : | 수소경제 | 국가R&D과제 | 연료전지전기차 | 텍스트마이닝 |

**Abstract**

With a global shift from carbon economy towards hydrogen economy, leading countries such as the U.S., Europe, China, and Japan are focusing their research capabilities on hydrogen research and development(R&D) by announcing various hydrogen economy policies. South Korea also has been following this global trend by announcing hydrogen economy roadmap in January 2019 and legislating hydrogen economy related law. In this paper, we tried to figure out the national R&D trend of Fuel Cell Electric Vehicle(FCEV) and its knowledge structure by using recent 10-year project data of National Technology and Information Service(NTIS). We collected 1,479 FCEV-related projects and conducted text mining and network analysis. According to the analysis, FCEV-related R&D has been actively carried out over the entire process of hydrogen production, transport, storage, and utilization. Furthermore, the paper provides insights into the government's policy agenda building and market strategy on the hydrogen economy.

■ keyword : | Hydrogen Economy | National R&D Project | Fuel Cell Electric Vehicle | Text Mining |

* 본 연구는 2021년도 한국과학기술정보연구원(KISTI) 주요사업 과제로 수행한 것입니다(NTIS 과제고유번호 1711120559).

접수일자 : 2021년 04월 19일
심사완료일 : 2021년 05월 20일
수정일자 : 2021년 05월 20일
교신저자 : 이병희, e-mail : bhlee@kisti.re.kr

## I. 서 론

지구온난화에 따른 기후변화에 대응하기 위해 석유·석탄 등의 화석연료에서 신재생에너지로 전환하자는 주장을 바탕으로 2015년 파리 협정이 체결되었고 UN SDGs(Sustainable Development Goals)가 수립되는 등 전 세계적인 공감대가 형성되었다. 이에 세계 각국 정부는 화석연료로 영위하는 현재의 탄소경제에서 가장 흔한 원소인 수소를 에너지 운송 수단으로 활용하는 수소 경제로의 이행 정책을 입안·실행하고 있다[1].

우리나라는 2019년 초 수소경제로드맵을 발표한 이후 2020년 초 수소법(수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률)을 제정하였다. 2020년까지 두 번의 수소경제위원회를 개최하여 지금까지의 수소 경제 진척상황을 확인하고 수소 발전 의무화제도 도입, 추출 수소 경쟁력 확보 수소 시범도시 기본계획 및 수소 도시법 제정 방안 등을 논의해왔다. 수소 경제로의 전환을 위해 필요한 수소 에너지와 인프라 분야를 연료전지(발전용 및 자가용), 수소 모빌리티, 수소 생산·유통 등으로 구분하고 이에 대한 예산을 2020년 5,879억 원에서 2021년 7,977억 원으로 증액하였다. 이 중 수소 자동차 관련 예산이 2021년에 3,375억 원을 차지하며 가장 큰 비중을 차지하고 있다[2].

국가R&D과제에서 수소 자동차 지식구조를 밝혀내는 작업은 수소자동차가 국가R&D 중 어떤 분류에 속해있는지를 파악하고 체계를 분석하여, 국가R&D과제의 수행 현황을 이해하고 추후 연구개발과제 목표 설정에 반영할 수 있다는 점에서 중요하다. 본 연구는 NTIS의 데이터를 이용해 현재 수행 중인 수소자동차 관련 국가 R&D 과제의 지식구조를 탐색하고자 한다. 이를 통해 수소 자동차의 구성 기술을 파악하고, 현재 중요하게 다루고 있는 수소 자동차 연구개발과제를 도출하여 앞으로의 R&D계획 수립에 시사점을 제시하고자 한다.

본 논문에서는 2장에서 수소 자동차와 국가R&D과제, 네트워크 분석과 텍스트마이닝 관련 선행 연구를 조사하고, 3장에서 연구 방법을 제시한 뒤, 4장에서는 수집한 1,479개 과제의 데이터를 전처리한 후 네트워크 분석과 텍스트마이닝을 통해 데이터를 분석하고 통계를 도출하며, 5장에서 정성적 분석을 더하고, 마지막 6장에서 향후 R&D 계획을 제안한다.

## II. 관련 연구

### 1. 수소 경제와 국가R&D과제 개요

수소 경제는 수소가 주요 에너지 운송 수단으로 사용되는 경제 시스템을 뜻한다[3]. 따라서 탄소 경제에서 수소 경제로의 전환은 기존 탄소 경제에서 화석연료를 생산·운반·저장·활용하는 모든 프로세스를 수소로 대체한다는 것을 의미한다. 수소 경제 관련 R&D는 수소의 생산부터 활용까지에 필요한 과학기술을 연구개발 대상으로 삼는다.

자동차, 조선, 그리고 반도체 산업은 전·후방 파급효과가 큰 산업이다. 특히 자동차 산업은 전기/전자, 플라스틱, 석유화학, 섬유, 고무 등의 후방 산업에서 생산된 2~3만 개의 부품으로 조립되는 종합 기계산업이다[4][5]. 현재의 자동차는 가솔린·디젤 등 화석연료를 에너지원으로 사용하는 내연기관으로 작동하기 때문에 질소산화물과 이산화탄소 등 온실가스를 배출한다. 환경 규제의 영향으로 글로벌 자동차 제조사는 전동화(Electrification) 기술개발을 진행 중이다, 내연기관을 대체할 것으로 유력하게 꼽히는 동력은 배터리를 이용한 전기 자동차(EV: Electric Vehicle)와 연료전지에 수소를 공급하여 발생되는 열과 전기를 이용하는 수소 자동차(FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle) 등이 대표적이다.

국가연구개발사업(이하 국가 R&D과제)은 중앙행정기관이 법령에 근거하여 연구개발과제를 특정하여 그 연구개발비의 전부 또는 일부를 출연하거나 공공기금 등으로 지원하는 과학기술 분야의 연구개발 사업을 의미한다. 각 정부 부처의 R&D종합시행계획 내의 추진사업은 모두 국가 R&D과제라 할 수 있다, 모든 국가 R&D과제는 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 운영중인 국가과학기술지식정보시스템(NTIS)에서 확인할 수 있다. 현재 2021년 1월 기준 NTIS에 등록된 연구개발성과는 약 609만 건이다. 연구개발성과는 국가R&D과제의 결과물로, 논문, 특허, 연구보고서, 연구시설장

비, 기술요약정보, 소프트웨어, 화합물, 생물자원, 생명정보, 신품종 등을 포함한다.

한국의 총연구개발비는 2009년 37조 9,285억 원에서 2018년 85조 7,287억 원으로 10년간 연평균성장률(CAGR: Compound Annual Growth Rate) 약 8.5%를 기록했다. 2018년 기준 과학기술표준분류별 연구개발비를 살펴보면, 가장 많은 연구개발비가 집행된 분류는 전기/전자로 24조 406억 원이었으며, 그다음으로는 정보/통신 15조 34억 원, 기계 12조 7,098억 원 순이다[6].

국가적 우선순위에 따라 국가R&D목표를 설정하는 정책 기조는 이후에도 계속 유지되었다. 최근 일본의 수출규제에 대응하기 위한 2019년 8월의 소재부품장비 경쟁력 강화 대책과 포스트 코로나 시대의 대응역량 강화를 위한 중점 투자 방향을 추가한 2021년도 정부 연구개발 투자 방향 및 기준 수정안 등을 그 사례로 들 수 있다. 한국 정부는 수소 경제 또한 혁신성장의 새로운 성장동력으로 인식하고 있으며, 한국이 강점을 가진 수소차와 연료전지를 바탕으로 수소 경제를 선도하고자 2019년 1월 17일 수소경제 활성화 로드맵을 발표한 바 있다. 로드맵 발표 내용에 따르면 수소 관련 예산으로 2020년에 5,879억 원이 집행되었으며, 2021년에는 35% 확대된 7,977억 원의 예산이 책정되었다.

### 2. 네트워크 분석과 텍스트마이닝

네트워크 분석은 그래프(Graph) 이론에 기반을 두고 있으며, 네트워크 분석을 통해 연구자는 노드와 에지를 생성하고, 노드 간의 관계를 파악할 수 있다. 노드에는 사람과 텍스트 등을 대입할 수 있어 컴퓨터 과학뿐만 아니라 사회과학에서도 활용되고 있다. 네트워크 분석의 주요 연구대상으로는 사회 구조, 사회적 유동성, 클래스 구조, 기업의 시장지배력, 국제무역 등이 있다[7].

최근 네트워크 분석을 활용한 해외 연구로는 Twitter의 데이터를 이용해 COVID-19과 5G 음모론에 대한 소셜 네트워크 분석을 실시한 연구가 있으며[8], 중국의 지역별 탄소 배출량 전이에 대한 네트워크 구조를 소셜 네트워크 분석을 통해 실시한 연구가 존재한다[9]. 본 연구와 관련된 과학기술경영정책 분야의 경우, 정재연[10]은 2013년부터 2016년까지 국가 R&D 중 녹색기술(GT) 과제 36,490개를 키워드 간 네트워크 분석으로 집중연구 분야와 융합연구 분야를 탐색하였다. 조배송[11]은 2008년과 2013년, 그리고 2018년의 중국 여객 열차 운행 데이터를 활용해 연결중심성, 매개중심성, 근접중심성을 분석하고 시기에 따른 중국 여객 철도 네트워크의 형성 과정을 연구하였다.

텍스트마이닝은 비구조화 데이터에서 패턴과 추세를 찾기 위해 통계, 머신러닝, 언어학 등 학제 간 기술을 활용한다[12]. 텍스트마이닝을 활용한 연구는 주로 뉴스 기사, 기술 문서, 도서, 디지털 도서관, 이메일, 블로그, 웹 페이지 등에 존재하는 텍스트를 대상으로 한다[13]. 텍스트 클러스터링, 개념 추출, 감정 분석 및 요약 등의 연구에 텍스트마이닝이 사용되고 있다. 텍스트마이닝에서 중요한 점은 네트워크 분석과 마찬가지로 비구조화된 데이터인 텍스트를 패턴 학습과 모델링을 통해 구조화하고, 관련성과 새로움, 그리고 흥미성 등의 구조를 발견해낸다는 것이다[13].

텍스트마이닝을 활용한 과학기술경영정책 분야의 경우, 이병희[14]는 NTIS에서 개인정보보호 관련 국가R&D 과제정보 중 연구요약 항목을 문장 단위로 연관어 탐색을 실시하였다. 여기에 단어 간 연관규칙을 산출하고 시각화를 통해 국가R&D 과제정보에서 개인정보보호 연관규칙을 표현하였다. 이지연[15][16]은 최근 신문기사 중 그래핀 키워드를 포함한 기사와 NTIS의 국가R&D 과제 데이터를 활용하여 차세대 소재로 주목받고 있는 그래핀에 대한 키워드 빈도분석과 가중치 분석을 시행해 워드 클라우드로 가시화하여 키워드 간 관계 분석을 수행하였다.

## Ⅲ. 연구방법과 데이터 수집

### 1. 연료전지전기차 국가R&D과제 데이터 수집

본 논문은 우리나라 국가R&D의 종합포털인 NTIS에 수록된 국가R&D 과제 데이터 중 '연료전지전기차' 관련 연구과제를 분석대상으로 한다. 이를 위해 NTIS의 데이터 다운로드 서비스를 이용해 원시 데이터를 수집하였다. 세부 검색 조건으로는 키워드, 자료 수집 기간을 설정하였다. 통합 검색 결과 연료전지전기차(450

건), 수소 자동차(4,840건)으로 나타나 본 연구에 적합한 키워드로 “수소 자동차”를 선정하였다. 조사 대상 과제의 최신성(freshness)을 근거로 본 논문은 최근 10년간의 연구개발과제를 연구대상으로 하였다. 이 과정을 통해 총 1,479개의 국가R&D 과제를 수집하였다.

국가연구개발정보표준의 416개 공개항목 중 본 연구에서 텍스트마이닝을 위해 활용한 항목은 요약정보인 연구목표요약, 연구내용요약, 기대효과요약이다. 세 항목은 NTIS의 국가R&D과제정보 중 요약서에서 확인할 수 있다. 연구목표요약과 연구내용요약 항목은 개발하고자 하는 기술(공정 또는 제품 포함)의 수준·성능·품질 등 연구 내용과 목표에 대한 요약을 연구자가 국문 100~2,000자로 작성한 것이다. 기대효과요약은 연구개발 결과의 응용분야 및 활동범위 등에 대한 요약과 관련 산업의 공정 과정 개선, 사업화 및 파급효과, 응용분야에서 거두게 될 경제적 가치 등을 연구자가 국문 25~2,000자로 기술한 것이다.

## 2. 연구 방법과 절차

본 연구는 NTIS 국가 R&D 과제 데이터를 활용해 수소 자동차 R&D 동향을 분석하고, 지식구조를 파악한다. 이를 위해 본 연구는 과제 건수 및 총연구비에 기반한 기술통계와 더불어 네트워크 분석과 텍스트마이닝을 활용한 정성적 분석 결과를 도출하였다. 본 연구의 절차는 [그림 1]과 같다.

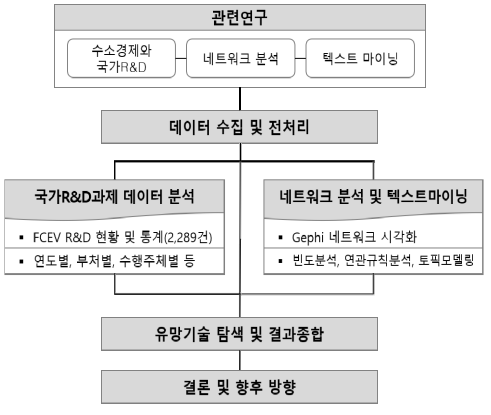


**그림 1. 연구 절차**

앞에서 수집한 과제의 연구목표요약, 연구내용요약, 기대효과요약 내용 중 조사, 특수부호 등 불필요한 어구를 제외하는 데이터 전처리 과정을 거쳤다. 이후 R의 형태소 분석 패키지인 NLP4kec를 사용하여 기사 제목과 내용에서 각각 2글자 이상의 명사와 용언 원형을 추출하고 확인하였다. 확인 결과 자주 등장하지만, 분석에 의미가 없는 용언인 “있다”, “하다” 등의 원형을 제외하기 위해 불용어(stopword)를 11개 등록하여 다시 전처리를 수행하였다.

네트워크 분석에는 Gephi를 활용하였다. 수집한 과제정보에 에지와 노드를 설정하여 Gephi에 입력하고, 출력된 결과를 통해 연료전지전기차 국가R&D 과제 간의 상관관계를 분석하였다.

텍스트마이닝에서는 각 문서에서 등장하는 원형의 빈도수를 바탕으로 시기별 키워드 변화를 비교하였다. 또한, 과제정보의 요약 텍스트를 활용한 토픽모델링을 수행하여 각 과제를 총 14개의 주제로 분류시키고 임의의 제목을 부여하였다. 이를 통해 최근 10년간 수소 자동차와 관련하여 수행된 국가R&D의 핫토픽(hot topic)을 추출하였다.

# Ⅳ. 데이터 분석 및 처리

## 1. 연료전지전기차 국가R&D과제 네트워크 분석

### 1.1. 연료전지전기차 국가R&D 사업 투자 현황 및 통계

[그림 2]는 2010년부터 2019년까지의 연료전지전기차 관련 국가R&D 과제 건수 및 총연구비를 나타낸다. 연료전지전기차의 국가 R&D 사업은 조사 기간인 2010년부터 2019년까지 약 8,164억 원의 연구비가 투입되었음을 확인하였다.

연도별로 분석한바 과제 건수는 2010년 145건에서 2013년에 105건으로 지속적으로 하락하였다가 2019년 236건으로 꾸준히 증가하였다. 총연구비는 2010년부터 2012년까지는 800억 원을 전후로 연구비가 집행되었으나 2014년에는 약 504억 원까지 축소되었다. 이후 총연구비가 꾸준히 증가하여 2019년에는 전년 대비 약 19% 증가한 약 1,196억 원으로 가장 큰 연구비를 기록하였다.

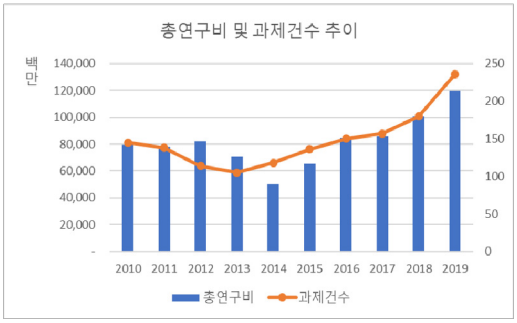


**그림 2. 총연구비 및 과제 건수 추이**

### 1.2. 부처별 통계

2010년부터 2019년까지 연료전지전기차 국가R&D를 집행한 정부 부처를 조사한바 [표 1]과 같은 결과를 얻었다. 이 중 국토해양부는 2013년 3월 이후 국토교통부와 해양수산부로 개편되었기 때문에 이를 구분하여 분류하였다. 이외에도 산업통상자원부, 과학기술정보통신부, 중소벤처기업부 등 정부 부처명이 변경된 경우 이를 반영하였다.

**표 1. 부처별 과제 건수 및 총연구비**

| 부처명 | 총연구비 | 과제건수 |
|---|---|---|
| 산업통상자원부 | 552,211,881,530 | 539 |
| 과학기술정보통신부 | 129,704,286,304 | 337 |
| 교육부 | 52,316,740,405 | 357 |
| 중소벤처기업부 | 37,506,461,649 | 184 |
| 환경부 | 18,101,579,000 | 36 |
| 다부처 | 15,918,000,000 | 13 |
| 국토교통부 | 319,800,000 | 8 |
| 해양수산부 | 290,334,000 | 3 |
| 농림축산식품부 | 226,666,666 | 2 |
| 합계 | 806,595,749,554 | 1479 |

조사 결과 산업통상자원부가 전체 연료전지전기차 과제 1,479건 중 539건(약 36.5%)을 차지하여 가장 많은 연구과제를 집행했음을 확인하였다. 그다음으로는 교육부(357건) 과학기술정보통신부(337건), 중소벤처기업부(184건) 순이었다.

총연구비 또한 약 8,164억 원 중 산업통상자원부가 약 5,522억 원(약 68.5%)을 차지하는 등 가장 많은 연구비를 집행한 사실 또한 확인할 수 있었다. 과학기술정보통신부(약 1,297억 원), 교육부(약 523억 원), 중소벤처기업부(약 375억 원)가 그 뒤를 이었다.

이와 같이 부처별 과제 건수와 총연구비를 분석한 결과 연료전지전기차의 국가R&D 사업은 정부 18개 부처 중 4개 부처에서 집중적으로 많은 재원을 투입했다.

한편, 가장 많은 과제와 연구비를 집행한 산업통상자원부의 연료전지자동차 국가R&D 투자 추이를 별도로 살펴본 바, [그림 3]에서와 같이 2014년~2015년에 정권 교체 시기에 총연구비와 과제건수 모두 큰 폭으로 감소하였다가 증가하였다. 이는 2015년 산업통상자원부가 발표한 제4차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획에서 1단계 테스트베드 구축이 2014년까지 종료되고, 2단계 산·학·연 통합 클러스터 구축은 2016년부터 시작된 것과 관련이 있다[17].

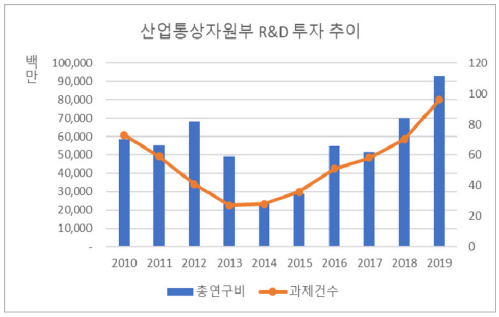


**그림 3. 산업통상자원부 R&D 투자 추이**

### 1.3. 분류별 통계

본 연구는 분류별 통계를 국가과학기술표준분류체계의 연구분야분류와 적용분야분류를 기준으로 집계하였다. 연구분야와 적용분야는 대분류를 2차원 분류체계로 도입한 2008년의 재편(안)에 따른 것으로, 연구분야는 연구대상에 따라 자연, 생명, 인공물, 인간, 사회로 구분되며, 적용분야는 연구목적에 따라 공공, 산업으로 구분된다.

연구분야를 기준으로 분석한 결과, 2010년부터 2019년까지 연료전지전기차 국가R&D에서 가장 많이 등장한 연구분야는 연료전지(174건)였으며, 그 뒤로 수소(113건), 저공해/대체에너지(84건), 신재생에너지(61건), 자동차/철도차량(59건) 순이었다. 적용분야를 기준으로 분석한 결과는 에너지(340건)가 가장 많았으며, 제조업(자동차 및 운송장비)(295건), 에너지의 생산, 배

분 및 합리적 이용(145건), 제조업(화학물질 및 화학제품)(117건) 등이 그 뒤를 이었다.

수소는 연료전지의 에너지원으로 쓰인다. 연료전지의 양극(Anode)에서 수소 분자가 전자를 방출한다. 이후 수소 이온은 전해질(Electrolyte)을 통해 음극(Cathode)에서 산소와 만나 수증기가 되어 배출되고, 수소 분자에서 분해된 전자는 전기 에너지로 활용된다. 수소가 에너지원으로 주목받아 소위 "수소 경제"라 불리기 시작한 것은 1973년부터이다. 그레고리[16]는 화석연료를 통해 수소를 합성할 수 있으며, 연소 시 물만을 배출한다는 점에서 환경적인 측면에서 수소의 장점에 주목한 바 있다.

수소 경제 정책이 본래의 목적인 사회의 에너지 소비 행태를 변화시켜 저탄소, 나아가 제로 에미션(Zero Emission) 사회를 실현시키려면, 현재 화석연료를 주로 사용하는 산업 분야에 적용될 필요가 있다.

종합하면, 2010년부터 2019년까지의 연료전지전기차 국가R&D과제는 수소 경제 실현을 위해 주로 에너지 분야와 관련된 과제가 많았다. 또한 수소경제의 응용분야인 제조업 관련 과제 또한 상당한 비중을 차지하고 있었다.

### 1.4. 수행주체별 통계

2010년부터 2019년까지 연료전지자동차 국가R&D를 수행한 주체는 대학(658건), 중소기업(391건), 출연연구소(193건), 기타(83건), 중견기업(83건), 대기업(68건), 국공립연구소(3건) 등으로 나타났다.

연료전지자동차 국가R&D를 가장 많이 수행한 기관은 한국화학기술연구원으로 10년간 총 46건의 과제를 수행하였으며, 그 다음으로 한국과학기술연구원(40건), 한국에너지기술연구원(32건), 서울대학교(28건), 한국화학연구원(28건), 전남대학교(27건), 울산과학기술원(24건), 자동차부품연구원(21건), 부산대학교(20건), 중앙대학교(20건) 등이 뒤를 이었다.

## 2. 연료전지전기차 국가R&D과제 텍스트마이닝

### 2.1. 빈도 분석

빈도 분석에서는 수집한 2010~2019년 연료전지전기차 국가R&D과제에서 등장한 텍스트의 빈도 분석을 실시하였다. 특히 본 연구에서는 시간 흐름에 따른 키워드 변화를 파악하기 위해 2010~2014년과 2015~2019년으로 구간을 나누어 빈도 분석을 실시하였다. 이는 연료전지전기차의 기술개발 진척에 따라 국가R&D과제에서의 기술개발 목표 및 달성 효과에 실제로 변화가 있었는지 파악하기 위한 것이다.

[표 2]는 각 구간에서 나타난 상위 10개 단어를 출현 빈도순으로 나열한 것이다. 빈도 분석 결과 상위 10개 출현 텍스트에서 두 기간 모두 큰 변화는 나타나지 않았다. 상위 4개 단어에 "기술", "개발", "수소", "연구"가 공통으로 등장하였고, 주목할만한 점으로는 연료전지 키워드가 1기에서 5번째로 많이 등장하였지만 2기에서는 8번째로 낮아진 점, 그리고 촉매에 대한 언급이 2기에는 상위 10개 출현 텍스트에 포함될 만큼 많아졌다는 차이가 있었다.

**표 2. 빈도 분석 결과 시기별 상위 10개 출현 텍스트**

| 출현 순위 | 1기(2010~2014) | 2기(2015~2019) |
|---|---|---|
| 1 | 기술 | 개발 |
| 2 | 개발 | 기술 |
| 3 | 수소 | 수소 |
| 4 | 연구 | 연구 |
| 5 | 연료전지 | 시스템 |
| 6 | 시스템 | 평가 |
| 7 | 에너지 | 설계 |
| 8 | 평가 | 연료전지 |
| 9 | 자동차 | 에너지 |
| 10 | 설계 | 촉매 |

수소 경제를 구성하는 프로세스인 생산·운반·저장·활용 중 생산 방법의 경우 크게 천연가스의 개질, 수전해 등으로 구분할 수 있다. 천연가스의 개질을 통해 생산되는 수소를 부생수소, 혹은 추출수소라 부르는데, 현재는 수소 생산량의 대부분이 개질 기술을 활용하고 있다. 추출수소는 석유 시추 과정에서 얻게 되는 천연가스를 이용한다는 점에서 Blue Hydrogen이라고 불리며, 화석연료를 사용하지 않는 카본 프리 수소인 Green Hydrogen 생산 및 경제성 확보를 위한 연구가 현재 진행 중이다[18].

수소는 천연가스와 마찬가지로 파이프를 통해서 운반하거나, 고압의 기체 상태로 전용 용기에 저장하거나, 액화시켜 장거리로 운송하기도 한다. 현재 수소 자동차

의 저장 용기는 에너지 밀도를 확보하기 위해 700bar의 압력으로 수소를 저장한다. 이를 더욱 강한 압력으로 저장하거나 액화 상태의 수소를 저장하기 위한 연구개발이 이뤄지고 있다.

연료전지는 전해질의 종류에 따라 고분자전해질형(PEM: Polymer Electrolyte Membrane), 알칼리형(AFC: Alkaline Fuel Cell), 인산형(PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cell), 고체산화물형(SOFC: Solid Oxide Fuel Cell), 용융탄산염형(MCFC: Molten Carbonate Fuel Cell) 등으로 구분된다.

각 연료전지 기술은 장단점에 따라 가정용, 산업용, 자동차용 등의 용도로 쓰이고 있다. 가정용 연료전지의 경우 일본의 에네팜이 대표적으로, 연료전지에서 발생하는 전기와 열을 이용해 온수 및 전기 공급에 활용한다. 산업용 연료전지는 대용량으로 설치하여 비상·보조 전원으로 사용한다. PEM은 주로 수소 자동차, 드론 등 모빌리티용 연료전지로 사용되며, 최근 연구가 가장 활성화된 연료전지 기술이기도 하다.

2015년에서 2019년 구간에 상위 10위로 새롭게 등장한 “촉매”와 관련하여, 수소 관련 촉매 연구는 수소 생산을 위한 촉매 제조기술 개발에 초점을 맞추고 있다. 탄소경제시대인 현재 우리나라는 에너지의 95%를 수입하고 있다[19]. 수소 생산을 안정시켜 연료전지발전을 주요 전력 생산 방법으로 대체하게 된다면, 안정적인 경제성장을 확보할 수 있게 될 것이다. 이러한 점에서 태양, 풍력, 바이오 등 재생에너지를 사용한 수소의 친환경적 생산을 목표로 한 촉매개발 연구가 증가한 것으로 해석된다.

### 2.2. 네트워크 분석

네트워크 분석의 일환으로 수행한 연관규칙분석에서는 NTIS에서 수집한 2010년~2019년 수소자동차 관련 과제에서 “과제명_제목”, “한글키워드”, “연구목표 요약”, “연구내용 요약”, “기대효과 요약” 컬럼만을 추출하여 총 46,602개의 문장 단위로 분리하여 분석하였다. NLP4kec 패키지를 사용하여 명사 및 용언의 원형을 추출하고 두 글자 이상의 단어만을 분석에 사용하도록 필터링하였다. 연관규칙 분석은 “arules” 패키지를 사용하였고, 총 29,560개의 트랜잭션과 16,643개의 아이템을 가지고 단어 간 연관규칙을 산출하였다. 지지도와 신뢰도를 0.015로 설정하고, 향상도를 1.1 이상인 규칙만을 검색하여 총 145개의 규칙을 도출하였다. (향상도의 경우 일반적으로 1 이상부터 해당 분석의 유의성을 인정) left-hand side에 수소가 포함된 연관규칙으로는 “저장”, “연료”, “생산”, “전기”, “평가”, “연료전지”, “에너지”, “이용”, “자동차” 등이 나타났다.

[그림 4]는 단어 아이템 간의 연관성을 평행좌표로 표현한 그래프이며 선의 두께는 지지도(support)를 나타낸다. 원의 크기는 지지도(support) 크기를, 색깔은 향상도(lift)를 의미한다. “기술”과 “개발”은 지지도가 0.11, 신뢰도가 0.55로 각 문장 단위에서 동시 발생 확률이 가장 높았고, 그 외에 {수소}=>{개발}, {수소}=>{기술}, {기술}=>{확보}, {시스템}=>{개발}, {평가}=>{성능} 등이 연관성이 높은 것으로 나타났다. 또한, {수소}=>{저장}은 4.40의 가장 높은 향상도를 가짐으로 관련도가 크다. 따라서 수소 저장 시스템 개발과 수소 전주기 제품에 대한 안전성 등 성능 평가와 관련하여 많은 R&D 투자가 이루어져 왔음을 알 수 있다.

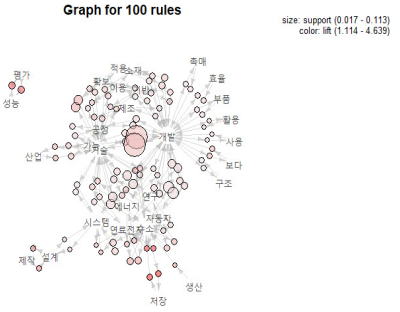


**그림 4. 연관 네트워크 그래프**

Gephi를 활용한 네트워크 분석에서는 과제별 총연구비를 한눈에 알아볼 수 있도록 시각화하고, 연구비가 많이 투입된 특정 과제를 중심으로 hot topic을 파악해보았다. 또한, 연속과제들을 단방향의 edge로 나타냄으로써 주제의 흐름을 파악해보았다. 연속과제들로 이루어진 노드를 “이전과제고유번호”와 “과제고유번호”로 연결하고, degree 범위를 1 이상으로 설정하여 후속되지 않은 과제는 제거하였다. 노드의 레이블은 “연도-연

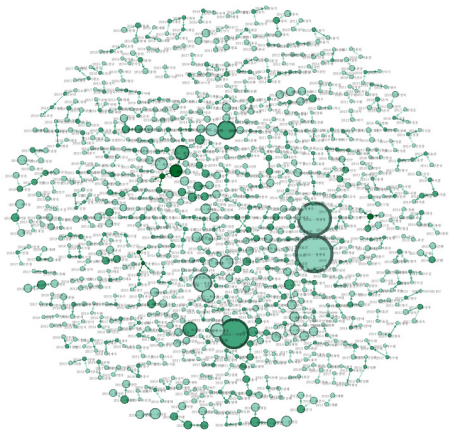

그림 12. 총연구비에 따른 Gephi 시각화

구책임자명"으로 설정하고 노드의 크기는 총연구비가 많을수록 크게, 색상은 degree가 많을수록 진하게 나타나도록 하였다.

[그림 5]에서 노드가 가장 크게 나타난 과제로는 "2012-명광재"가 클린 디젤 자동차의 핵심부품 산업육성 기반구축사업과 관련되었고, 그 외 "2018-이태경"이 FCEV 부품 시험평가 센터 구축과 관련된 사업으로 나타났다. degree의 개수가 3개인 과제, 즉 3년에 걸쳐 계속된 과제로는 "2011-강정구"의 과제로 에너지 저장 및 변환 기술 연구 등이었다.

Gephi를 통해 네트워크 구조를 시각화해본 결과, 수소 에너지 저장 및 제품 평가 시스템 개발과 관련한 과제들이 유의미하게 나타나면서 연관규칙분석에서와 일맥상통한 결과가 도출되었다.

### 2.3. 토픽모델링 분석

토픽모델링에서는 R의 topicmodels와 ldatuning 패키지를 사용하여 최적 토픽 수인 k=14를 도출하고 비지도 학습 방법인 LDA를 사용한 토픽 자동 분류를 실시하였다. [그림 6]은 각 토픽에서 출현확률(beta)이 가장 높은 상위 10개 단어를 보여주는 것으로, 이를 바탕으로 [표 4]와 같이 저자가 임의의 제목을 부여하였다. 예를 들면, 토픽1은 "최적", "효율", "연구", "개발" 등의 단어에 의해 "고효율 최적 시스템 개발"이라는 주제를, 토픽2는 "분리", "기술", "설계" 등의 단어에 의해 "수소 분리판 개발"이라는 주제를, 토픽3은 "공정", "기술", "개발" 등의 단어를 통해 "공정기술 개발"이라는 주제를 도출하였다. 중복되는 토픽에서 유사하게 나타난 단어들은 제외하고 비교적 설명력이 높은 단어들을 고려하였다. 결과를 종합하면 수소의 생산과 저장을 위한 기술개발, 안전하고 내구성 있는 장치 및 시스템 개발, 수소를 활용한 연료전지와 센서 개발, 관련 평가기술 개발 등으로 주제를 분류할 수 있었다.

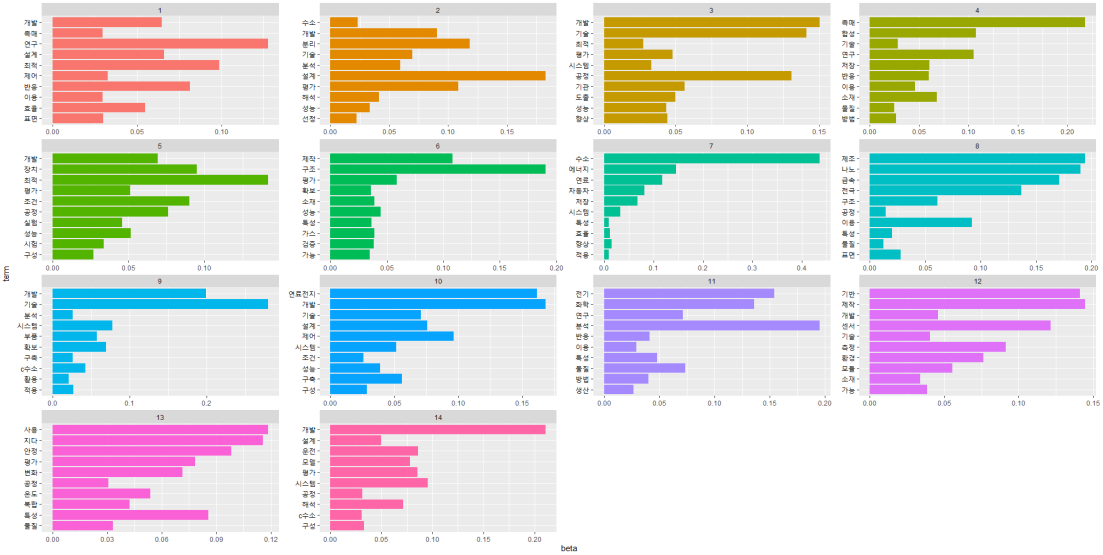


그림 6. 토픽별 주요 출현 단어

**표 3. 토픽 제목**

| 토픽 | 제목 |
|---|---|
| 1 | 고효율 최적 시스템 개발 |
| 2 | 수소 분리판 개발 |
| 3 | 공정기술 개발 |
| 4 | 수소 생산 촉매개발 |
| 5 | 장치 개발 |
| 6 | 나노 구조 물질 개발 |
| 7 | 수소 저장 시스템 |
| 8 | 에너지 생산 및 저장 |
| 9 | 안전성 및 내구성 |
| 10 | 연료전지 |
| 11 | 특성 분석 |
| 12 | 수소 센서 |
| 13 | 평가기술 개발 |
| 14 | 운전 기술 및 시스템 개발 |

토픽모델링에서는 R의 topicmodels와 ldatuning 패키지를 사용하여 최적 토픽 수인 k=14를 도출하고 비지도 학습 방법인 LDA를 사용한 토픽 자동 분류를 실시하였다.

[그림 6]은 각 토픽에서 출현확률(beta)이 가장 높은 상위 10개 단어를 보여주는 것으로, 이를 바탕으로 [표 4]와 같이 저자가 임의의 제목을 부여하였다. 예를 들면, 토픽1은 “최적”, “효율”, “연구”, “개발” 등의 단어에 의해 “고효율 최적 시스템 개발”이라는 주제를, 토픽2는 “분리”, “기술”, “설계” 등의 단어에 의해 ”수소 분리판 개발”이라는 주제를, 토픽3은 “공정”, “기술”, “개발” 등의 단어를 통해 “공정기술 개발”이라는 주제를 도출하였다. 중복되는 토픽에서 유사하게 나타난 단어들은 제외하고 비교적 설명력이 높은 단어들을 고려하였다. 결과를 종합하면 수소의 생산과 저장을 위한 기술개발, 안전하고 내구성 있는 장치 및 시스템 개발, 수소를 활용한 연료전지와 센서 개발, 관련 평가기술 개발 등으로 주제를 분류할 수 있었다.

## Ⅴ. 결과 종합 및 시사점

연료전지전기차의 국가R&D과제를 분석한 결과, 연도별 총연구비 및 과제 건수 추이에서 2013~2014년도에 과제 건수와 총연구비가 모두 하락하였으나 다시 증가하며 2019년까지 꾸준하게 확대되었다. 확대 경향은 최근 수소경제 관련 정책이 발표되면서 증가하는 추세를 보이는 것으로 확인된다. 정부는 2018년 8월 ‘혁신성장전략 투자방향’에서 3대 투자 분야 중 하나를 수소경제로 선정하였다. 민관 합동의 ‘수소경제 추진 위원회’를 발족하여 2019년 1월 ‘수소경제 활성화 로드맵’을 마련하였다. 동 계획은 국가의 주된 에너지원을 화석원료에서 친환경 에너지로 바꾸고, 수소차와 연료전지를 신성장 동력으로 육성시켜 수소경제로의 혁신적 전환을 불러온다는 점에서 중요한 의미가 있다. 2040년까지 수소경제 활성화를 달성하기 위한 주요 목표로는 수소차와 에너지 생산에서 세계시장 점유율 1위를 달성하는 것과 그린수소로의 생산 패러다임 전환, 안정적이고 경제성 있는 수소의 저장, 운송 및 전 주기 안전관리 체계 확립을 통한 수소산업 생태계 조성이다[19]. 한국은 수소경제 활성화를 위한 노력에 돌입한 지 1년이 넘은 시점에서 수소차 글로벌 판매 1위 등 구체적인 성과를 보여주며 글로벌 수소경제 시장을 빠르게 선점하고 있다[20].

연료전지전기차 관련 국가R&D과제를 투자하는 주요 부처로는 산업통상자원부, 과학기술정보통신부, 교육부, 중소벤처기업부 등이 있었다. 가장 많은 R&D 투자 비중을 차지하고 있는 산업통상자원부의 예산은 2020년 1,592억 원에서 2021년 2,574억 원 규모로 982억 원가량 증가하였다. 신재생에너지 핵심기술개발사업에 가장 많은 예산인 816억 원 이상이 투입될 예정이고, 수소차용 차세대 연료전지시스템 기술개발에 60억 원, 수소트럭 개조기술 개발과 실증에 84억 원이 수소 생산기지 구축사업에 편성된 올해 예산은 전년도 대비 두 배 넘게 증가하여 666억 원이다[21]. 그 외 과학기술정보통신부, 국토부, 환경부 등 대부분의 부처에서도 전년 대비 증액된 예산이 편성되어 차세대 수소 혁신을 위한 기술개발을 지원할 예정이다.

연구분야에서는 연료전지와 수소, 저공해/대체에너

지, 신재생에너지 등 주로 에너지 분야에 집중된 현황이 나타났고, 적용분야의 경우 에너지와 더불어 연료전지를 활용할 수 있는 제조업 분야에서도 국가R&D가 진행되고 있는 실태를 파악할 수 있었다.

연료전지자동차 국가R&D 수행 주요 주체는 대학과 중소기업, 출연연구소 등인 것으로 나타났고, 해당 주체가 수행한 국가R&D과제를 2015년을 전후로 구분 지어 키워드 빈도 분석을 실시한 결과 연료전지의 출현 빈도가 낮아지고, 촉매의 출현 빈도가 증가한 것을 확인했다.

연료전지전기차와 비교했을 때 전기 자동차의 보급 속도가 훨씬 빨라 2030년에는 전 세계 승용차·경상용차(LDV: Light Commercial Vehicle) 시장에서 전기 자동차의 점유율이 25%를 넘을 것으로 전망되고 있다[22]. 하지만 전기 자동차와 수소 자동차를 운행 거리에 따른 시스템 비용으로 비교할 경우 단거리에서는 전기 자동차가 경제적이지만 장거리에서는 수소 자동차가 유리하다. 이는 수소가 배터리보다 높은 에너지 밀도를 가지고 있기 때문이다[23]. 장거리 운행이 필요하고 대량의 화물을 운반해야 하는 상용차의 경우 수소 자동차가 적합하다고 볼 수 있다.

여기에 수소 에너지는 화력·원자력 등 기존 발전 전원과 다르게 발전량이 일정하지 않은 신재생에너지에서 생산된 전력을 수소로 저장하고 활용할 수 있다는 점에서 분산전원으로 주목받고 있다. 따라서 전기 자동차와 수소 자동차는 자동차 산업에 한정 지어 비교하는 것이 아닌, 신재생에너지를 통한 제로 에미션 달성을 위해 상호 발전하는 관계에 있다.

## Ⅵ. 결론

본 연구는 국가R&D 과제에서의 연료전지전기차 지식구조를 탐색하기 위해 네트워크 분석과 텍스트마이닝을 실시하였다. 그 결과 연료전지전기차 과제의 투자는 매년 크게 증가하고 있으며, 과제 분류를 조사한 바 수소 경제를 구성하는 프로세스인 생산·운반·저장·활용 전반을 대상으로 하고 있었다.

본 연구를 통해 현재 연료전지전기차 국가 R&D의 주요 부처와 수행처, 그리고 연구의 주요 흐름을 파악할 수 있었다. 추후 수소경제 도입을 위한 국가R&D 정책 수립에 본 연구의 결과를 반영하여 효율적이고 체계적인 국가R&D 체제 구축에 기여할 수 있을 것이다.

하지만 본 연구는 단일 키워드를 통해 분석을 실시하였기 때문에 우리나라에서 진행되고 있는 연료전지전기차의 국가R&D 전체 과제를 다뤘다고 평가하기는 어렵다는 한계점을 지닌다. 추후에는 이를 보완하여 우리나라 연료전지전기차 연구의 전체상을 세밀하게 그려낼 필요가 있다.

## 참 고 문 헌


[1] Deloitte China, *Fueling the Future of Mobility: Hydrogen and fuel cell solutions for transportation*, 2020.

[2] 수소경제위원회, *제2차 수소경제위원회 안건 주요내용*, 2020.

[3] https://doi.org/10.1016/B978-0-444-56352-1.00011-8

[4] 허재용, 이진섭, 곽승준, “한국과 일본 제조업의 산업 파급효과 분석, 아시아연구,” 제10권, 제3호, pp.1-28, 2008.

[5] 김안호, 기성래, “자동차산업의 경제적 효과분석, 산업경제연구,” 제17권, 제4호, pp.1057-1075, 2004.

[6] 한국과학기술기획평가원, *국가연구개발사업 연구관리 표준매뉴얼*, 2017.

[7] J. Scott, “Social Network Analysis,” Sociology, Vol.22, No.1, pp.109-127, 1988.

[8] W. Ahmed, J. Vidal-Alaball, J. Downing, and F. L. Segui, “COVID-19 and the 5G Conspiracy Theory: Social Network Analysis of Twitter Data,” JOURNAL OF MEDICAL INTERNET RESEARCH, Vol.22, No.5, p.19458, 2020.

[9] L. C. Sun, L. Qin, F. Taghizadeh-Hesary, J. J. Zhang, M. Mohsin, and I. S. Chaudhry, *Analyzing carbon emission transfer network structure among provinces in China: new evidence from social network analysis*, ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH, 2020.

[10] 정재연, 강인제, 이병희, 최기석, "국가R&D내 녹색기술(GT) 사업의 최근 현황 및 키워드 분석연구," 한국기술혁신학회 학술대회, pp.1621-1634, 2017.
[11] 조배송, 이진희, 이만형, "사회 네트워크 분석 방법론에 기초한 중국의 여객 철도 네트워크 특성 분석: 2008년, 2013년, 2018년 운행 데이터를 중심으로," 한국콘텐츠학회논문지, 제19권, 제10호, pp.685-697, 2019.
[12] Vijay Kotu and Bala Deshpande, *Data Science (Second Edition)*, Morgan Kaufmann, 2019.
[13] Jiawei Han, Micheline Kamber, and Jian Pei, *Data Mining (Third Edition)*, Morgan Kaufmann, 2012.
[14] 이병희, 이준영, 이지연, 조우승, 김태현, "국가R&D에서 개인정보보호 과제 동향분석과 텍스트마이닝," 한국정보기술학회 종합학술대회 논문집, pp.31-33, 2020.
[15] 이지연, 나혜인, 이병희, 김태현, "국가R&D과제와 신문에서 텍스트마이닝을 통한 그래핀 기술의 지식구조 탐색," 한국콘텐츠학회논문지, 제21권, 제2호, pp.85-99, 2021.
[16] J. Y. Lee, R. Kumari, J. Y. Jeong, T. H. Kim, 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.9857, pp.1-16, 2020.
[17] 산업통상자원부, *제4차 신·재생에너지 기본계획*, 2014.
[18] 김창희, 조현석, 조원철, 김상경, *수전해를 이용한 그린 수소생산 기술 현황*, 한국가스학회 학술대회논문집, p.192, 2019.
[19] https://www.korea.kr/special/policyCurationView.do? newsId=148857966, 2021.03.30.
[20] https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do? newsId =156370786, 2021.04.01.
[21] http://www.h2news.kr/news/article.html?no=8692, 2021.04.01.
[22] Delloitte, *Electric Vehicles: Setting a course for 2030*, 2020.
[23] Y. Hasuka, H. Sekine, K. Katano, and Y. Nonobe, *Development of Boost Converter for MIRAI*, SAE Technical Paper, 2015.

## 저 자 소 개

**최 정 우(Jung Woo Choi)** 정회원

- 2015년 2월 : 연세대학교 상경대학 경제학과(경제학사)
- 2019년 9월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 과학기술경영정책 통합과정

〈관심분야〉 : 과학기술경영정책, 텍스트 마이닝, 데이터과학, R&D경제

**이 지 연(Ji Yeon Lee)** 정회원

- 2015년 7월 : 중국 북경 칭화대학교 중어중문학과(문학사)
- 2018년 2월 : 서울대학교 국제대학원 국제학과(국제지역학석사)
- 2018년 10월 ~ 2019년 12월 : 정보통신정책연구원 연구원
- 2020년 3월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 과학기술경영정책 박사과정

〈관심분야〉 : 과학기술경영정책, 텍스트 마이닝, 오피니언 마이닝, 인공지능, R&D정보분석

**이 병 희(Byeong-Hee Lee)** 종신회원

- 1994년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2002년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
- 2002년 9월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 NTIS센터 책임연구원
- 2012년 9월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 과학기술경영정책학과 교수

〈관심분야〉 : 과학기술경영정책, 시맨틱기반 검색, 과학기술정보서비스, 빅데이터분석, 텍스트마이닝

김 태 현(Tae-Hyun Kim) 정회원

■ 2001년 2월 : 충남대학교 컴퓨터과학과(이학석사)
■ 2001년 3월 ~ 2001년 11월 : ㈜엔퀘스트테크놀러지 연구원
■ 2002년 3월 ~ 2004년 2월 : 한국전자통신연구원 연구원
■ 2004년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 선임연구원 / NTIS개발팀장

〈관심분야〉 : 정보검색, 정보분석, 전문용어사전구축, 소프트웨어공학