

국가R&D과제와 신문에서 텍스트마이닝을 통한 그래핀 기술의 지식구조 탐색

Discovering the Knowledge Structure of Graphene Technology by Text Mining National R&D Projects and Newspapers

이지연*, 나혜인*, 이병희*, 김태현**

과학기술연합대학원대학교/한국과학기술정보연구원*, 한국과학기술정보연구원**

Ji-Yeon Lee(jylee@ust.ac.kr)*, Hye-In Na(nanahi@ust.ac.kr)*,
Byeong-Hee Lee(bhlee@kisti.re.kr)*, Tae-Hyun Kim(heemang@kisti.re.kr)**

요약

'꿈의 소재'로 불리는 그래핀이 4차 산업혁명 시대를 선도할 획기적인 신소재로 주목받고 있다. 그래핀은 높은 강도와 탁월한 전기 및 열 전도율, 뛰어난 광학적 투과도, 우수한 기계 차단 등 특성을 지닌다. 본 논문에서는 최근 우리 정부의 그린 및 디지털 뉴딜 정책과 코로나19 팬데믹 관련 바이오센서로도 주목받는 그래핀 기술을 분석해 국가 R&D 동향과 지식구조를 파악하고 활용 가능성을 모색한다. 이를 위해 우리나라 국가과학기술지식정보서비스에서 최근 10년간의 국가R&D 과제정보 4,054건을 수집해 그래핀 관련 과제정보 동향을 분석한다. 또 이 가운데 정부의 그린뉴딜 정책과 관련된 녹색기술분류에 해당하는 과제도 함께 분석한다. 이와 더불어 국내 전문지 e신문에서 최근 500건의 그래핀 관련 기사를 수집해 텍스트마이닝 분석을 수행한다. 이러한 국가R&D 과제정보 및 신문 기사를 분석한 결과 그래핀을 소재로 한 국가 전체 R&D과제 중 과제 수가 가장 많은 분야가 고효율 2차전지기술로 나타났고, 전체 연구비에서 차지하는 비중도 1위로 가장 높았다. 이번 연구결과를 통해 향후 우리나라가 그래핀 기술개발을 선도해 전기자동차는 물론이고 휴대폰 배터리, 차세대 반도체, 5G 및 바이오센서 분야 등 전 산업군에서 세계적인 선도국으로 도약하기를 기대한다.

■ 중심어 : | 그래핀 기술 | 텍스트마이닝 | 신문기사 | R&D 과제정보 | 지식구조 |

Abstract

Graphene, called the "dream material" is drawing attention as a groundbreaking new material that will lead the era of the 4th Industrial Revolution. Graphene has high strength, excellent electrical and thermal conductivity, excellent optical permeability, and excellent gas barrier properties. In this paper, as the South Korean government recently announced Green New Deal and Digital New Deal policy, we analyze graphene technology, which is also attracting attention for its application to Corona 19 biosensor, to understand its national R&D trend and knowledge structure, and to explore the possibility of its application. Firstly, 4,054 cases of national R&D project information for the last 10 years are collected from the National Science & Technology Information Service(NTIS) to analyze the trend of graphene-related R&D. Besides, projects classified as green technology are analyzed concerning the government's Green New Deal policy. Secondly, text mining analysis is conducted by collecting 500 recent graphene-related articles from e-newspapers. According to the analysis, the field with the largest number of projects was found to be high-efficiency secondary battery technology, and the proportion of total research funds was also the highest. It is expected that South Korea will lead the development of graphene technology in the future to become a world leader in diverse industries including electric vehicles, cellular phone batteries, next-generation semiconductors, 5G, and biosensors.

■ keyword : | Graphene Technology | Text Mining | News | R&D Project Information | Knowledge Structure |

* 본 연구는 2020년도 한국과학기술정보연구원(KISTI) 주요사업 과제로 수행한 것입니다(NTIS 과제고유번호 1711120559).

접수일자 : 2020년 09월 23일

심사완료일 : 2020년 10월 12일

수정일자 : 2020년 10월 12일

교신저자 : 이병희, e-mail : bhlee@kisti.re.kr

I. 서론

그래핀이 꿈의 신소재로 불리며 전자소재·소자 분야의 새로운 패러다임으로 떠올랐다. 그래핀은 고강도, 탁월한 열 및 전기 전도율, 뛰어난 광학적 투과도, 우수한 기체 차단특성 등 다양한 장점을 지녀 4차 산업혁명 시대를 선도할 획기적인 신소재로 주목받고 있다[1].

최근 우리 정부의 그린 및 디지털 뉴딜 정책과 더불어 에너지 저장기술의 중요성이 부각됨에 따라 그래핀을 주요 소재로 적용하는 차세대 배터리를 비롯해 코로나19 바이러스 감염 여부를 실시간으로 측정하는 기술인 바이오센서, 5G 광대역통신 등 다양한 분야에서 그래핀의 활용 가능성이 증가되고 있다.

우리 정부는 2015년 '그래핀 사업화 촉진 기술 로드맵(2015~2020)'을 마련하여 그래핀 원소재 생산부터 응용 제품 전주기에 이르기까지 연구개발을 지원하고 있다. 오는 2025년까지 매출 19조원, 약 5만여명의 일자리 창출을 기대하는 가운데 그래핀 상용화를 통해 우리나라를 미래소재 기술 4대 강국 및 소재산업 선도국으로 도약시킨다는 계획이다[2].

이러한 정부의 정책적 지원 하에 국내 e사에서는 2020년 6월 세계 최초로 2차전지 소재로 적용 가능한 '액상 그래핀' 개발에 성공하여 그동안 그래핀을 활용하는데 한계점이었던 전해액 박리 문제를 해결하였다. 이로써 2차전지 시장에 그래핀을 본격 활용할 수 있는 길이 열릴 것으로 전망되며, 그래핀을 활용한 고품질의 차세대 반도체 소재 실용화 및 대량 양산에도 청신호가 켜졌다.

또한, 최근 한국기초과학지원연구원 신종바이러스(CEVI) 융합연구단이 의료 현장에서 실시간으로 코로나19 바이러스 감염 여부를 확인할 수 있는 그래핀 기반 전계효과트랜지스터(FET) 바이오센서 제작에 성공하면서 그래핀을 기반으로 한 바이오센서의 응용성도 기대되고 있다.

본 논문은 이러한 그래핀 기술의 적용 및 활용 트렌드를 분석하기 위해 국가R&D 과제정보와 국내 신문 관련 자료를 통해 데이터/텍스트마이닝 및 시계열 분석을 수행하고, 국가R&D 동향 파악 및 그 활용 가능성을 모색한다. 이를 위해 그래핀을 기반으로 한 국가R&D

과제정보의 최근 10년간 데이터와 국내 전문지인 e신문의 그래핀 관련 500건의 기사를 여러 정량 및 정성적 방법을 통해 분석한다.

II. 관련 연구

1. 그래핀 개요 및 연구개발 동향

그래핀(Graphene)은 흑연(Graphite)과 탄소 이중 결합 분자를 뜻하는 접미사 "-ene"를 결합해 만들어진 단어로, 현재 전 세계적으로 주목하고 있는 차세대 신소재다. 2004년 영국 맨체스터 대학 연구팀의 안드레 게임과 콘스탄틴 노보셀로프는 스킵치 테이프를 사용하여 흑연으로부터 그래핀을 박리시키는 데 성공하였고, 2010년 그래핀에 관한 연구 공로를 인정받아 노벨 물리학상을 공동 수상하였다.

그래핀은 반도체 소재의 주원료인 실리콘보다 100배 이상인 약 200,000cm²/VS의 높은 전자 이동도와, 구리보다 100만 배 이상 높은 약 108A/cm²의 전기전도도를 갖는다. 2008년 Science지에 발표된 바에 의하면 그래핀은 영율이 1 TPa로 스틸보다 5배 이상 높고, 유연성과 신축성이 좋아 10% 이상 면적을 늘리거나 구부러도 전기전도도를 유지할 수 있다. 투광도는 그래핀 한 층당 2.3%의 감소만 있기 때문에 단층 그래핀은 97.7%로 투명한 특징이 있다[3].

그래핀의 이러한 우수한 특성으로 인해 국내에서도 많은 연구자들에 의해 다양한 관련 연구들이 진행되어 왔다. 그래핀의 개발은 크게 그래핀을 대량 생산할 수 있는 합성분야와 생산된 그래핀을 적용하여 기존의 재료를 대체하여 성능을 개선시킬 수 있는 응용분야로 진행되고 있다[4].

안세정[5]은 그래핀 분야의 주요 키워드를 활용하여 해당 연구영역을 매핑하고, 이를 활용하여 해당기술의 성장과정을 분석하였다. 그래핀 연구의 태동기(2000년~2003년)부터 2004년 그래핀의 분리 성공, 2006년 SiC를 이용한 그래핀 합성, 2008년 화학적 박리, 2009년 CVD법에 의한 대면적 합성이 이루어진 것이 확인되었다.

김경남[1]은 그래핀의 대표적인 특성과 합성법 및 그

래핀 기반 응용분야를 정리하였다. 지금까지 널리 사용된 그래핀 합성 방식은 크게 4가지로 기계적 박리법(Mechanical Exfoliation), 화학기상 증착법(CVD, Chemical Vapor Deposition), 에피택셜(Epitaxial) 합성법 및 산화-환원 반응을 이용한 화학적 박리법(Chemical Exfoliation)이 있고, 대부분은 화학기상 증착법과 화학적 박리법에 의한 그래핀 합성법이 주류를 이루고 있다.

김상우[6]는 그래핀의 탁월한 물성과 박막화, 유연화, 경량화 및 고투광화라는 미래 수요의 추세에 대응할 수 있는 미래소재로서 그래핀의 가능성을 증명하였다. 특히, 이론적으로 매우 높은 차폐효율을 나타내기 때문에 자성 불순물의 도핑이나 결합 등의 다양한 방법에 의해 개량의 여지가 많으며, 투명 전자파 차폐 필름 등 EMC 소재로서의 가능성을 높게 평가하였다.

그래핀 R&D 동향을 분석한 연구로는 Zou[7]가 CAS(Chemical Abstracts Service) 데이터베이스의 그래핀 관련 논문 및 특허 정보를 활용하여 전 세계 그래핀 연구 트렌드를 분석한 사례가 있다. Zou에 따르면 그래핀 연구 및 특허 출원은 2005년부터 증가하고, 특히 2010년부터 급증하기 시작하여 2014년에서 2016년 사이의 논문 및 특허 수가 전체의 50 퍼센트 이상을 차지하고 있다. 그래핀 연구가 가장 활발하게 이루어지고 있는 국가는 중국, 미국, 한국, 일본, 인도이며, 관련 특허 출원량이 가장 많은 국가는 중국, 미국, 한국, 일본, 독일로 나타났다.

그래핀은 2008년 MIT의 10대 유망기술로 선정되고, 2009년 KISTEP의 미래유망 10대 기술로 선정된 바 있다. 이에 안세정[5]는 그래핀을 사례로 하여 선정된 유망기술 아이টে에 대한 지속적 모니터링의 중요성을 실증적으로 보여주었다. 하지만 이후에는 국내 그래핀 기술의 연구개발 동향을 분석한 논문이 없는 상황이다.

2. 데이터/텍스트 마이닝 및 국가R&D 데이터

빅데이터 기술에 대한 관심이 급증함에 따라, 텍스트 형태의 비정형 데이터 분석을 통해 의미 있는 정보를 찾고자 하는 시도가 다양한 영역에서 이루어지고 있다. 특히, 빅데이터 분석을 통해 국가 현안이나 이슈를 발굴하여 이를 의사결정에 활용하고자 하는 시도가 꾸준히

히 진행되고 있다[8].

텍스트 마이닝을 활용한 정책 및 국가연구개발사업 관련 연구로는 텍스트 네트워크 분석을 통해 우리나라 과학기술정책 50년의 주요 의제를 도출한 연구[9]와 우리나라 과학기술정책 키워드의 정권별 변화와 국가연구개발사업의 흐름을 비교·분석하고 둘 간의 연관성을 탐색한 연구가 있다[10]. 그 외에도 여성과학기술인 관련 뉴스 기사를 텍스트 마이닝 기법으로 분석하여 여성 과학기술인 관련 주요 이슈를 도출하고, 해당 이슈가 실제 지원정책을 통하여 어떻게 관찰되고 있는지 시계별로 고찰한 연구[11]와 같이 과학기술의 정책이슈를 빅데이터적으로 접근한 사례가 증가하고 있다.

국가과학기술지식정보서비스(National Science & Technology Information Service, NTIS)는 사업, 과제, 인력, 성과 등 국가연구개발 사업에 대한 정보를 한 곳에서 서비스하는 국가과학기술 지식정보 포털이다. 부처별로 개별 관리되고 있는 국가R&D 사업 관련 정보와 과학기술 정보를 공유 및 공동 활용해, 국가 R&D 투자 효율성을 높이고 연구 생산성 향상에 기여하는 것이 주 목적이다[12].

NTIS 데이터를 이용하여 부처, 사업, 예산 등의 내용을 파악하고 연구과제명, 연구목표요약 등에 대한 용어 빈도분석을 통해 연구 주제와 관련된 네트워크 변화 등을 파악할 수 있다. NTIS의 국가R&D 과제정보를 활용하여 텍스트 분석을 수행한 연구로는 NTIS 국가R&D 정보를 활용하여 공간정보 분야 연구개발 사업의 현황을 분석한 연구가 있다[13]. NTIS 데이터베이스에 근거하여 치과의료 R&D 현황을 파악한 연구에서는 국가과학기술표준분류와 정부부처에 따라 치의학 분야의 연구개발 경향을 비교하고 전체 보건의료 연구개발에서 차지하는 현황을 분석하였다[14].

본 연구에서 신문기사 및 R&D 과제 데이터 분석에 적용한 연관규칙 분석(Association Rule Mining) 기법은 변수들 간의 동시출현 빈도를 측정하여 발생한 사건의 패턴을 인식함으로써 향후 의사결정에 기준을 주는데 초점을 맞춘다[15]. 장바구니 분석(Market Basket Analysis)이라고도 불리는 연관규칙 분석은 주로 마케팅 분야에서 고객의 장바구니에 들어있는 품목 간의 관계를 파악하여 효과적인 매장 진열, 패키지 상

품 개발, 교차 판매 전략 등에 사용된다. 미디어 연구에서는 연관규칙 분석을 통해 뉴스기사의 키워드별 빈발 항목을 발견하는 규칙을 제시하고, 이를 자동 분류에 활용한 연구[16], 드라마 시청률에 영향을 주는 요인들 간의 동시출현 빈도를 확인하고 시청률과의 연관성을 분석한 연구[15]가 있다.

본 연구에서는 그래핀이 차세대 신소재로서 세계적으로 기술개발 경쟁이 치열한 만큼, 우리나라 정부 정책과 관련된 그래핀 R&D 동향을 분석함으로써 우리나라 기술우위 및 수요기반을 바탕으로 세계시장을 선점하기 위한 전략적인 정책 추진에 활용되기를 기대한다.

III. 데이터 수집 및 연구방법

1. 데이터 수집

본 논문의 국가R&D 과제 분석에서는 NTIS에 수록된 국가R&D 과제 중 ‘그래핀’ 관련 연구과제를 분석 대상으로 설정하였다. 데이터 수집은 NTIS에서 제공하는 데이터 다운로드 서비스를 이용하였으며, 자료 수집 기간은 2010년에서 2019년까지로 설정하였다. NTIS 검색에서 ‘그래핀’을 키워드로 입력하여 총 4,054건의 R&D 연구과제 정보를 다운로드 하였고, 연구에 활용한 필드 값은 ‘기준년도’, ‘사업명’, ‘부처명’, ‘과제고유번호’, ‘이전과제고유번호’, ‘과제명’, ‘당해년도연구기간시작일’, ‘당해년도연구기간종료일’, ‘총연구기간시작일’, ‘총연구기간종료일’, ‘과학기술표준분류’, ‘녹색기술분야분류’, ‘6T관련기술분류’, ‘연구개발단계’, ‘연구비합계’ 등 15개이다.

본 논문의 키워드 분석에서는 국내 전문지 e신문으로부터 검색된 ‘그래핀’ 관련 기사를 분석대상으로 하였으며, 키워드 빈도분석 및 가중치 분석을 통해 워드 클라우드로 시각화하여 관련 키워드 간 관계를 분석하였다. 검색은 최신순으로 50페이지까지 최근 500건으로 하여 2015년 4월부터 2020년 7월까지의 기사가 수집되었다. 수집된 기사의 제목 및 내용에서 조사, 특수부호 등과 같이 불필요한 어구를 제외하는 데이터 전처리 과정을 거쳤으며, R의 형태소 분석 패키지인 NLP4kec를 사용하여 기사 제목과 내용에서 각각 2글자 이상의 명

사를 추출하여 워드 클라우드를 제시하였다.

2. 연구방법

본 논문에서는 신문기사 및 NTIS 국가R&D 과제 데이터를 활용하여 그래핀 R&D 동향에 대해 분석한다. 그래핀 기술의 응용분야를 탐색하고, 그래핀 관련 기술 개발 지원정책을 바탕으로 우리나라 그래핀 산업의 발전 방향을 모색한다. 본 논문에서 수행하는 연구의 전체 흐름은 [그림 1]과 같다.

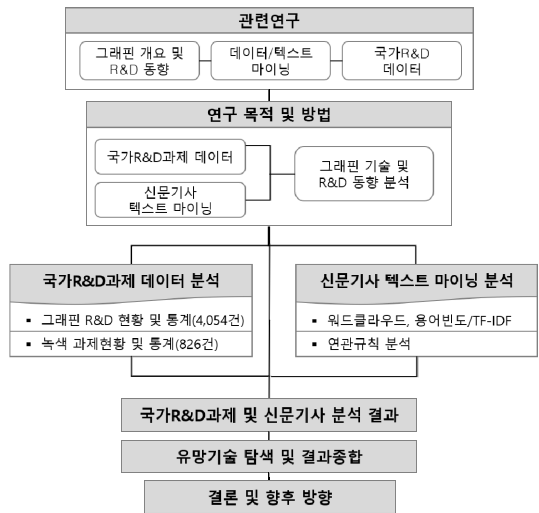


그림 1. 본 연구의 전체 흐름

NTIS 과제정보 분석은 제공된 필드 값에서 국가 R&D 과제건수 및 정부투자연구비 현황 등을 정량적인 정보를 중심으로 분석하였다. 자료수집 기간은 전체로 하고, 연도별 추이 파악을 위해 2020년은 제외하여 총 4,054건의 과제정보를 분석대상으로 선정하였다. 전체 4,054건에 대한 분석과 더불어 특히 녹색기술분야로 분류되는 826건의 과제를 추출하여 연도별, 부처별, 세부기술별 과제건수 및 총연구비를 중심으로 연구 동향 분석을 수행하였으며, 분석 도구는 R을 사용하였다.

텍스트 분석은 일반적으로 문서 수집, 파싱(Parsing) 및 필터링(Filtering), 구조화, 빈도분석 및 유사도 분석의 순서로 수행되며, 분석의 결과는 워드 클라우드, 워드 네트워크, 토픽모델링, 문서 분류, 감성 분석 등의 형태로 나누어진다[17]. 본 논문에서는 인터넷 뉴스 기사

에서 텍스트 문서를 직접 크롤링하고, 수집된 텍스트의 각 문서를 용어의 출현 빈도에 따라 벡터화한 벡터공간 모델(Vector Space Model)로 구조화하였다. 문서의 용어 벡터화에 주로 사용되는 방법은 TF-IDF(Term Frequency - Inverse Document Frequency)에 기반을 둔 방법이다. TF-IDF는 하나의 용어가 특정 문서에서 가지는 출현 빈도와 전체 문서에서 가지는 출현 빈도의 역 비율을 곱하여 산출하며, 용어의 특수성은 용어가 등장하는 문서 수에 반비례한다는 가정에 따라 각 용어의 가중치를 보정한다. 이에 따르면 많은 문서에서 보편적으로 출현한 용어의 경우 낮은 가중치를 갖도록 조정되며, 적은 문서에서 드물게 출현한 용어의 경우 상대적으로 높은 가중치를 갖게 된다[17]. 이렇게 구조화된 텍스트 문서는 그래핀 기술 관련 이슈 분석이라는 연구 목적에 따라 빈도분석 및 워드 클라우드 도식화에 활용되었다.

신문기사와 NTIS 과제정보 데이터에 동일하게 적용해본 연관규칙 분석에서는 신문기사 및 과제정보의 연구내용요약을 문장 단위로 분리하여 분석을 수행하였다. NLP4kec 패키지를 사용하여 형태소 분석을 수행하고, 2글자 이상의 명사 및 용언 원형을 추출하여 단어 간 연관규칙을 생성 및 시각화하였다. 본 논문의 텍스트 분석에 연관규칙 분석을 적용함으로써 그래핀과 관련한 요인 또는 이슈 간의 관계를 신뢰도로 정량화 및 시각화하고, 그 중 유의미한 규칙을 찾아내고자 하였다.

IV. 데이터 분석 및 결과

1. 국가R&D과제 데이터 분석

1) 그래핀 국가R&D 사업 투자 현황

[그림 2]는 2010년부터 2019년까지의 그래핀 관련 국가R&D 과제건수 및 연간 연구비 합계를 나타낸다.

먼저 과제건수는 2016년과 2018년에서 전년 대비 소폭 감소한 것을 제외하고는 정체가 없는 지속적인 증가 추이를 보였다. 그래핀 관련 국가R&D 과제는 2010년 91건에서 2019년 614건으로 꾸준히 증가하여 최근 10년간 약 574.7% 증가한 것으로 나타난다. 총연구비

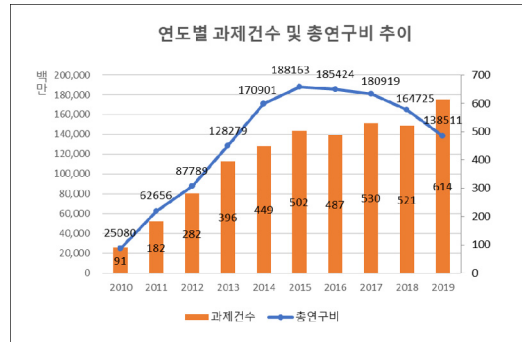


그림 2. 연도별 과제건수 및 총연구비 추이

의 경우 2010년부터 지속적으로 증가하다가 2015년을 기점으로 감소하는 것을 볼 수 있으나, 과제건수는 증가하는 것을 고려하였을 때 더 많은 과제에 투자예산이 분산되어 1개 과제당 투자예산이 줄어든 상황으로 해석된다. 2010년부터 2014년까지의 평균은 약 949억 원이며, 2015년부터 2019년까지의 평균은 약 1,715억 원이다.

그래핀 관련 정부R&D 과제는 과학기술정보통신부, 교육부, 산업통상자원부, 중소벤처기업부, 환경부, 국토교통부, 보건복지부, 식품의약품안전처, 농촌진흥청, 농림축산식품부 등 총 10개 부·처·청에서 투자되고 있다. [표 1]은 최근 10년 간 각 부처별 누적 과제건수 및 총연구비를 나타낸 것이다. 과제건수는 과학기술정보통신부(1,933건), 교육부(1,530건), 산업통상자원부(334건) 순으로, 전체의 약 86%가 과학기술정보통신부와 교육부에서 투자하는 R&D 과제였다.

표 1. 부처별 과제건수 및 총연구비

부처명	과제건수	총연구비
과학기술정보통신부	1933	673,776,699,081
교육부	1530	176,741,561,500
산업통상자원부	334	421,736,713,597
중소벤처기업부	195	30,693,683,528
환경부	28	2,289,666,000
국토교통부	10	140,000,000
보건복지부	13	6,696,000,000
식품의약품안전처	1	7,132,988,000
농촌진흥청	1	60,000,000
농림축산식품부	1	120,000,000
다부처	8	13,057,570,383
합계	4054	1,332,444,882,089

전체 연구비 합계는 1조 3,324억원이며 과제건수와 마찬가지로 과학기술정보통신부가 약 6,738억 원으로 약 50.1%의 가장 높은 투자 비중을 차지한다. 이어 산업통상자원부가 약 4,217억 원으로 약 31.7%, 교육부가 1,767억 원으로 약 13.3%의 투자비중을 차지하였다. 정부 부처별 R&D 투자 현황을 살펴보면 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 교육부 등 소수 부처에 대해 높은 집중도를 보이는 것을 알 수 있다.

[그림 3]은 그래핀 관련 R&D 투자 비중이 가장 큰 과학기술정보통신부의 투자 추이를 연도별로 나타낸 그래프다.

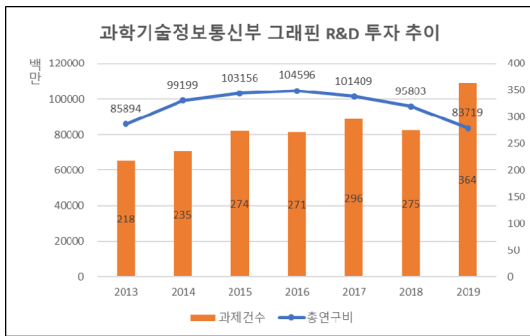


그림 3. 과학기술정보통신부 그래핀R&D 투자 추이

과학기술정보통신부는 2013년부터 그래핀 관련 R&D를 추진하기 시작하였으며, 과제건수는 2016년과 2018년에 소폭 감소한 것을 제외하고는 지속적으로 증가하는 추세이며 2019년에 364건의 가장 많은 과제에 투자하였다. 연구비는 2013년(약 859억)에서 2016년(약 1,046억)까지 증가하다가 감소하는 추이를 보여 2019년에는 약 837억으로 감소하였다. 관련 부처는 소관 산업 분야를 중심으로 그래핀 관련 계획을 발표하였는데, 2015년 산업통상자원부와 과학기술정보통신부(구 미래부)가 공동으로 발표한 ‘그래핀 사업화 촉진 기술 로드맵(2015~2020)’이 그 예다.

그래핀 관련 국가R&D 과제를 위탁 수행한 주체로는 대학, 출연연구소, 중소기업, 대기업, 중견기업, 국공립 연구소 등이 있다. 대학에서 가장 많은 3,164건(약 78%)의 과제를 수행하여 압도적인 1위를 차지하였다. 이는 부처별 R&D 투자 현황에서 확인하였듯이 과학기술정보통신부 산하의 한국연구재단과 교육부가 추진한

과제 비중이 컸던 결과에 기인한 것이다. 대학의 뒤를 이어서는 출연연구소가 460건(약 11%), 중소기업이 265건(약 6%)으로 그래핀 관련 국가R&D 과제 수행의 중추 역할을 하고 있는 것으로 나타났다.

2) 연관규칙 기법에 의한 문장 단위 연관어 탐색

본 논문에서는 아이템(item) 간의 관련 규칙을 찾기 위한 비지도학습(Unsupervised Learning) 기법의 하나인 연관규칙(Association Rule) 기법을 R 언어의 arules 패키지를 이용해 구현하고, 그래핀 관련 신문기사에 문장 단위로 적용하여 연관어를 탐색하였다. 연관규칙은 특정 사건 A가 발생할 때 사건 B가 동시에 발생하는 규칙, 즉 {A}=>{B} 형태의 패턴을 찾아내는 분석 과정이라고 할 수 있다. 이러한 패턴은 지지도(support)와 신뢰도(confidence), 및 향상도(lift)를 도출하여 분석한다.

또한, 2010~2019년 사이의 국가R&D 과제정보 중 연구내용요약을 문장 단위로 구분하고, R의 NLP4kec 패키지의 형태소 분석을 통해 추출된 문장 단위의 단어들에 대해 연관규칙의 트랜잭션(transaction)을 생성한 후, 단어 간 연관규칙을 산출하여 연관단어를 igraph를 이용해 시각화하였다.

[그림 4]는 국가R&D 과제정보의 연구요약내용으로부터 추출된 총 80,148개의 문장 단위에서 출현한 단어 아이템(item)의 빈도를 나타낸 것이다. 지지도는 0.05, 신뢰도는 0.20으로 설정하였으며, 이에 따라 빈도수별 상위 10개 단어는 ‘개발’, ‘그래핀’, ‘연구’, ‘나노’, ‘기술’, ‘특성’, ‘통하다’, ‘이용’, ‘구조’, ‘위하다’ 순으로 나타났다.

[그림 5]는 17개의 연관규칙을 그래프로 시각화한 것으로, 단어 아이템 간에 숨겨져 있는 연관성을 발견할 수 있다.

원의 크기는 지지도(support) 크기를, 색깔은 향상도(lift)를 나타낸다. 본 분석에서는 최소 지지도 이상의 빈발항목 집합만을 찾아내어 연관규칙을 계산하는 ‘Apriori algorithm’의 아이디어를 사용하여 지지도 0.05, 신뢰도 0.20 수준으로 분석을 진행하였다. 향상도의 경우 일반적으로 1 이상부터 해당 분석의 유의성을 인정하는데, 본 분석에서는 1.3 이상인 규칙만을 도

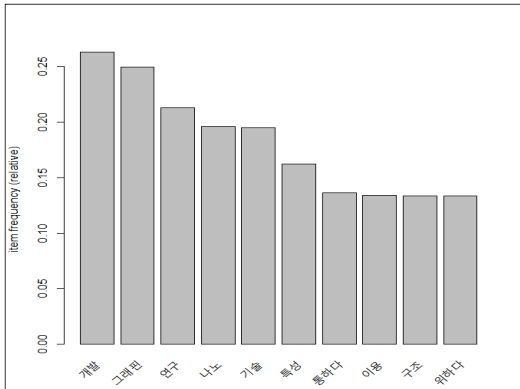


그림 4. 연관규칙분석에 따른 빈도수별 상위 10개 단어

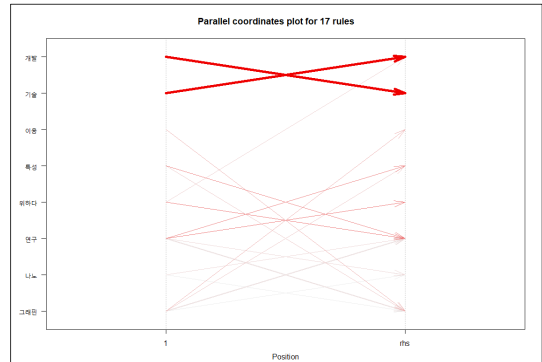


그림 6. 연관 평행좌표 그래프

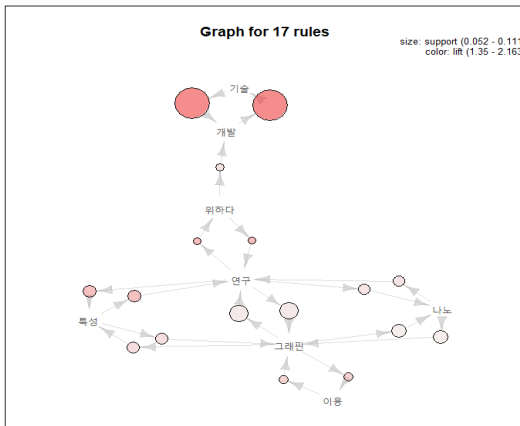


그림 5. 연관 네트워크 출력 결과

출하도록 설정하였다. ‘그래핀’과 ‘연구’가 연관 관계의 중심에 위치하고 있음을 확인할 수 있으며, ‘기술’과 ‘개발’은 지지도가 0.11, 신뢰도가 0.57로 각 문장 단위에서 동시 발생 확률이 가장 높았다.

[그림 6]은 단어 아이템 간의 연관성을 평행좌표로 표현한 그래프이며 선의 두께는 지지도(support)를 나타낸다. {기술}=>{개발}, {연구}=>{그래핀}, {나노}=>{그래핀}, {특성}=>{연구} 등이 연관성이 높은 것으로 나타났다. 이를 통해 대부분의 그래핀 관련 국가R&D가 기초연구 단계에 머물러 있는 만큼 그래핀 상용화 사업보다는 그래핀 기술개발에 더 많은 투자가 이루어지고 있음을 짐작할 수 있으며, 차세대 나노물질로서의 그래핀 특성 연구가 많이 이루어지고 있음을 직관적으로 파악할 수 있다.

3) 녹색기술분야 과제 분석

2010년부터 2019년까지 수행되고 있는 그래핀 관련 국가R&D 과제는 총 4,054건이다. 그 중 녹색기술분야 분류에 해당하는 과제는 총 826건이다.

녹색기술은 우리 정부가 2008년 8월 ‘저탄소 녹색성장’ 비전을 선포하고 2009년 1월 녹색기술 연구개발 종합 계획을 수립하면서 저탄소 녹색성장의 핵심 동력으로 부상하였다. 녹색기술은 기후변화 및 유가 상승으로 인한 에너지 고갈 문제가 전 세계적인 문제가 되면서 부상하기 시작하였고, 당시 선진국들도 녹색기술 개발을 최우선 과제로 추진하였다.

미국은 친환경 연료 및 차량, 재생에너지, 에너지 효율 등 크게 3개 분야 녹색기술 개발에 자금을 집중 지원하고, 일본은 ‘Cool Earth 에너지 혁신기술계획(’08.5)’을 통해 21대 핵심 녹색기술 개발을 위한 로드맵을 제시하였다.

유럽연합은 자동차 이산화탄소 배출 규제, 재생에너지 비중 확대 등 강력한 환경규제를 통해 녹색기술 개발 및 시장 창출을 유도하는 정책을 펼쳤다[18]. 파리협정의 발효로 2020년 이후 전 세계는 신기후체제에 돌입하였으며, 기후변화 해결의 열쇠로 ‘기술’이 주목받고 있다.

우리 정부 역시 포스트 코로나 시대에 한국 경제의 도약을 위한 한국판 뉴딜 프로젝트에 오는 2025년까지 76조원을 투입하기로 하였다. 한국판 뉴딜은 우리나라의 강점인 디지털을 중심으로 하는 디지털 뉴딜과 그린 뉴딜이라는 2개의 큰 축으로 추진된다. 그린뉴딜의 주

요 산업 분야로는 재생에너지뿐만 아니라 2차전지와 전지차, 수소차 등이 있다.

그린뉴딜의 핵심은 태양광, 풍력 등 발전설비를 정보 기술(IT) 인프라에 연계하는 것이고, 이 과정에서 에너지 저장기술의 중요성이 크게 부각됨에 따라 그래핀을 주요 소재로 적용한 차세대 배터리 개발이 주목되고 있다. 이러한 정책적 흐름에 따라 그래핀 관련 국가R&D 과제 중 녹색기술분야로 분류되는 과제만을 추출하여, 정부 정책을 기반으로 한 연구 동향을 파악해보았다.

[그림 7]은 녹색기술분야 분류에 해당하는 그래핀 관련 과제를 녹색기술분야 세부 기술별로 차지하는 비율을 보여준다.

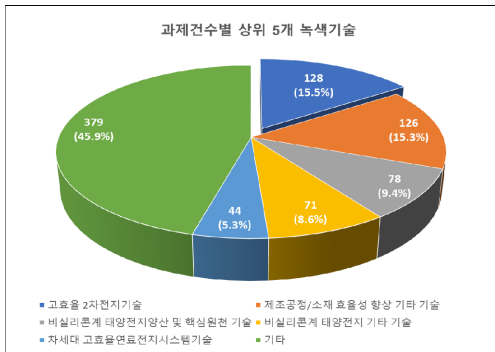


그림 7. 과제건수별 상위 5개 녹색기술

과제건수를 기준으로 정렬했을 때 상위 5개 순위에 해당하는 녹색기술분야분류는 ‘고효율 2차전지기술’, ‘제조공정/소재 효율성 향상 기타 기술’, ‘비실리콘계 태양전지양산 및 핵심원천 기타 기술’, ‘비실리콘계 태양전지 기타 기술’, ‘차세대 고효율연료전지시스템기술’로 나타났다.

전체 826건의 연구과제 중 128건을 차지하는 ‘고효율 2차전지기술’로 분류되는 연구과제의 비중이 15.5%로 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 2차전지는 전기를 저장하여 반복적으로 사용 가능한 전지로, 환경친화적이고 경제적이란 장점이 있다.

이러한 특징으로 인해 2차전지는 가전, 교통, 전력망 등에서 활용될 수 있는 유망한 산업으로 주목받고 있으며 IT 기기, 전지차, 대용량 저장장치 분야에 필수적인 핵심 부품으로 활용되고 있다.

2차전지는 양극과 음극의 전압 차이를 통해 전기를 저장 및 발생시키는 원리이며, 고용량 및 고전압 특성을 요구하는 시장이 확대됨에 따라 기존의 니켈수소전지를 대체하는 리튬이온전지(LiB) 시장이 커지는 추세이다[19].

[그림 8]은 그래핀 관련 국가R&D 과제 중 녹색기술분야로 분류되는 과제들의 건수 및 총연구비를 연도별로 나타낸 그래프다.

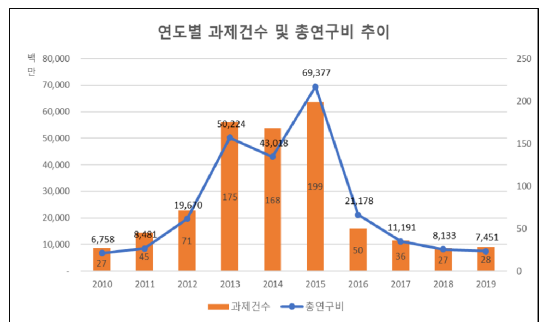


그림 8. 연도별 과제건수 및 총연구비 추이(녹색기술)

2010년 그래핀을 발견한 영국 맨체스터 대학교의 안드레 가임과 콘스탄틴 노보셀로프에게 노벨상이 수여되면서 그래핀 관련 연구가 급증하였다.

우리나라에서도 이 시점부터 그래핀 관련 국가R&D 과제가 기획된 것을 확인할 수 있다. 2010년부터 2012년까지 각각 66.6%, 57.8% 증가하다가 2013년을 기점으로 146.5%의 폭발적인 증가율을 보였다. 2013년에서 2015년까지 각각 175건, 168건, 199건에 달하는 상대적으로 많은 연구과제가 기획 및 선정되었는데, 이는 전 세계적으로 그래핀 기술개발 경쟁이 치열해짐에 따라 우리나라도 그래핀 시장 선점을 위한 체계적인 R&D 투자 전략을 마련하기 시작하였기 때문이다.

2012년 우리 정부는 그래핀을 포함한 산업적 가치와 미래 성장 가능성이 큰 6개 탄소 소재를 선정해 집중 육성하기 시작하였다. 정부가 추진한 ‘C-Star 소재개발 사업’은 탄소 소재의 산업화를 위한 중간 원료부터 소재, 완제품에 이르는 패키지 형태의 밸류체인 개발을 목표로 하였다[20].

가장 많은 과제건수가 나타난 2015년에는 그래핀 세계시장 선점을 통한 미래소재 산업 선도국 실현을 위해

‘그래핀 사업화 촉진 기술 로드맵(2015~2020)’을 수립하였다.

우리나라의 CVD(화학기상증착법) 그래핀 특허는 세계 1위, 그래핀 플레이크 특허는 세계 2위 수준에 올라 있다. 주요 응용분야는 우리나라의 시장 점유율이 높은 디스플레이, 휴대폰, 에너지 분야다. 이러한 기술우위 및 수요기반을 바탕으로 그래핀 시장 선점을 위한 체계적이고 전략적인 R&D 투자 전략을 마련하였다. [그림 9]의 꺾은선 그래프는 녹색기술분야 분류 과제의 총연구비 증감 추이를 나타낸 것이다. 전체 그래핀 관련 국가R&D 과제 4,054건의 총연구비는 1조 3,324억 4,488만 2,089원으로 집계되었다. 이 중 녹색기술분야 분류 과제의 총연구비는 2,454억 8,108만 1,578원으로 전체 과제 총연구비의 약 17.1%를 차지한다.

총연구비 그래프는 연도별 과제건수의 증감 추이와 유사하게 표현된 것을 확인할 수 있다. 총연구비는 과제건수와 마찬가지로 2015년에 약 6,938억 원으로 가장 높게 나타났다. 이는 2015년 과학기술정보통신부와 산업부가 발표한 ‘그래핀 사업화 촉진 기술 로드맵(2015~2020)’에 따라 2019년까지 1,255억 원을 투자해 그래핀의 사업화를 지원하기로 하고, 당해 새로운 관련 사업들이 기획 및 수행된 것으로 보인다.

‘그래핀 사업화 촉진 기술 로드맵(2015~2020)’의 국가R&D 지원 현황 분석에 따르면 당시 그래핀 관련 국가R&D 투자 규모가 급격히 증가했으나, 응용분야 기술에 집중되어 있어 원소재 개발에 대한 투자는 상대적으로 미흡하였다.

NTIS 과제정보 분석 결과, [그림 9]에서 확인할 수 있듯이 2010년부터 2019년까지의 그래핀 관련 국가R&D의 연구개발단계별 과제건수를 분석하였을 때, ‘그래핀 사업화 촉진 기술 로드맵(2015~2020)’ 발표 이후 기초연구에 더 많은 투자가 이루어진 것을 알 수 있다.

또한, 정부는 정부와 민간의 역할분담을 고려하여 응용분야 기술개발은 민간에서 집중하고, 정부는 원소재 제조기술 개발 및 핵심 응용제품 사업화를 전략적으로 추진하는 지원방안을 마련하였다. 이를 고려하였을 때, 본 분석에 사용한 데이터는 NTIS 정부R&D 과제이며 민간R&D 과제를 포함하고 있지 않다는 점에서 정부의

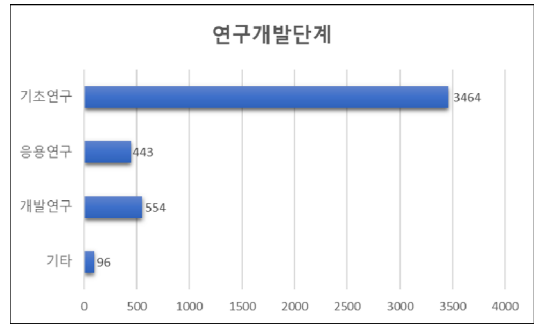


그림 9. 연구개발단계별 과제건수(녹색기술)

이러한 R&D 지원방안에 따라 기초연구의 비중이 크게 나타난 것으로 해석된다.

2. 신문기사 텍스트 마이닝 분석 및 지식구조 탐색

1) 그래핀 신문기사 텍스트 마이닝

텍스트 마이닝을 활용한 분석에서는 국내 전문지 e신문에서 ‘그래핀’을 키워드로 하여 최신순으로 500건의 신문 기사를 수집하였다. 발행일은 2014년 8월 20일부터 2020년 8월 13일로, 약 6년 치 관련 기사가 수집되었다. 관련 신문기사의 제목 및 내용을 분석함으로써 그래핀과 관련된 이슈와 주요 키워드를 추출하고 추론할 수 있다. 워드클라우드는 R의 NLP4kec, tm, wordcloud2 등의 패키지를 사용하였으며, 빈도가 높은 단어일수록 크고 굵게 표시되기 때문에 텍스트에서의 해당 키워드 빈도를 직관적으로 파악할 수 있게 하였다.

[그림 10]과 [그림 11]은 각각 수집된 기사들의 제목과 내용을 형태소 분석하여 명사만 추출한 뒤 워드클라우드로 시각화한 그림이다. ‘그래핀’은 검색 키워드로 모든 기사에서 출현하므로 분석에서 불필요하여 불용어로 처리하였다.

그래핀과 관련된 기사의 제목을 바탕으로 빈도분석을 실시한 결과, ‘개발’, ‘기술’, ‘나노’, ‘소재’, ‘교수’ 등이 기사 제목에서 가장 많이 사용된 단어로 나타났으며, 기사의 내용을 바탕으로 빈도분석을 실시한 결과, ‘기술’, ‘연구’, ‘개발’, ‘소재’, ‘나노’ 등이 가장 많이 사용된 단어로 나타났다. 빈도가 높은 순서대로 상위 20개 단어를 정렬한 결과는 [표 2]와 같다. 그래핀은 탄소 원자



그림 10. 기사 제목 워드클라우드 시각화



그림 11. 기사 내용 워드클라우드 시각화

가 별집 모양으로 이루어진 2차원 물질로, 우수한 물리적, 전기적 특성으로 인해 꿈의 소재, 차세대 나노 소재로 불린다. 상용화에 적용 가능한 그래핀 합성 기술이 개발되면서 국내 대학, 기업 및 연구소에서 그래핀 관련 연구가 심층적으로 이루어지고 있으며, 우리 정부는 관련 지원 정책을 마련하여 그래핀 기술의 연구개발에 투자하고 있다. 따라서 위와 같은 단어들이 기사 제목과 내용에서 각각 상위 5위에 위치하였다.

또한, 제목과 내용에서 11~20위에 등장한 '반도체', '에너지', '상용', '적용', '활용' 등의 키워드는 실리콘을 대체할 차세대 반도체 및 에너지용 전극 소재 등 그래핀의 다양한 산업적 응용분야가 나타난 결과이다.

표 2. 빈도수별 상위 10개 단어

제목			내용		
순위	단어	빈도	순위	단어	빈도
1	개발	193	1	기술	1463
2	기술	127	2	연구	924
3	나노	82	3	개발	898

4	소재	79	4	소재	837
5	교수	56	5	나노	771
6	연구	45	6	산업	415
7	산업	32	7	교수	395
8	세계	25	8	전자	381
9	전자	25	9	분야	324
10	세미나	24	10	전기	267

다음으로는 시간 흐름에 따른 키워드 변화를 살펴보기 위해 수집된 기사 수를 고려하여 기간을 두 개로 구분해보았다.

2014~2016년과 2017~2020년(8월)로 나누어 분석해본 결과, 주목할만한 점은 '에너지'가 19위(112회)에서 14위(150회)로 상승하였다는 점이다. '그린 에너지'는 세계 각국에서 전략적으로 투자하는 분야로, 우리나라는 2009년 '제1차 그린 에너지 전략 로드맵'을 수립함으로써 세계 연료전지 시장 1위 강국 실현을 위한 발돋움 하였다.

2011년 '제2차 그린 에너지 전략 로드맵(2011~2020)'에서는 연료전지, 태양광, 풍력, 석탄가스화복합발전(IGCC), 바이오연료, 이산화탄소 포집·처리(CCS), 청정연료, 에너지 저장, 고효율 신광원, 그린카, 에너지 절약형 건물, 히트펌프, 원자력, 스마트그리드(지능형 전력망), 청정화력발전이 15대 분야로 선정되었다[21].

그래핀은 전기차 등에 사용될 수 있는 대용량, 고속 충전 장치와 같은 에너지 저장 장치에 새로운 기능들을 제공할 수 있는 잠재력을 지닌 물질로서 에너지 저장 분야가 핵심 분야로 선정됨에 따라 그래핀 활용 연구에 대한 지원이 꾸준히 증가하게 된 것이다.

2013년 정부는 그래핀 관련 산업 육성을 위해 6년간 정부 출연금 470억원을 투자한다는 계획을 밝혔고, 정부 지원을 받은 기관이 그래핀 소재·부품·제품 개발에 적극적으로 나서게 되었다.

2019년에는 '제4차 에너지기술개발계획'을 수립하고 신산업 선도를 위한 에너지기술 강국 도약이라는 비전 하에 에너지 전환을 효과적으로 뒷받침하기 위한 4대 전략을 제시하였다. 에너지 기본계획의 중점과제 추진을 위한 '차세대 2차전지'를 포함한 16대 에너지 중점 기술 분야를 제시하고, 에너지 R&D의 90% 이상을 집중 지원하기로 하였다.

그래핀은 특히 넓은 비표면적 및 우수한 전기전도도를 지녀 슈퍼커패시터(super capacitor, 초고용량 축

전지) 및 2차전지와 같은 에너지 저장 소자로의 응용이 가능하다. 따라서 그래핀을 전극 소재로 활용한 에너지 저장 소자에 관한 연구가 활발히 전개되고 있다. 전자 기기의 발전에 따라 에너지 저장 소자는 그린 에너지 정책에 부합하기 위해 소형화 및 고효율화를 이루어야 하는데, 이를 실현할 수 있는 물질로 그래핀과 같이 뛰어난 전기화학적 특성을 지닌 나노 재료가 주목받고 있다[22].

2) 연관규칙 기법에 의한 문장 단위 연관어 탐색

본 연관규칙 분석 과정에서는 신문기사 500개를 2,416개 문장 단위로 구분하고, 국가R&D 과제정보에 대해 수행한 분석 방법을 동일하게 적용하였다. 국가 R&D 과제정보 분석 시 설정한 지지도 0.05, 신뢰도 0.20 수준은 너무 많은 규칙이 생성되어, 지지도를 0.10, 신뢰도를 0.40으로 상향 조정한 뒤 향상도 1.3 이상인 규칙만 검색한 결과 총 9개의 규칙이 생성되었다.

[그림 12]는 신문기사에서 추출된 2,416개 문장 단위에서 출현한 단어 아이템(item)의 빈도를 상위 10위까지 나타낸 그림이다. '기술', '있다', '개발', '그래핀', '연구', '소재', '나노', '산업', '교수', '분야' 순으로 빈번하게 출현한 것을 알 수 있으며, 국가R&D 과제정보를 분석한 결과와 비교하였을 때 신문기사에서는 그래핀의 전후방 산업구조 혹은 응용분야에 따른 관련 산업의 성장을 전망하는 보도가 많았던 것으로 나타난다.

[그림 13]은 9개의 연관규칙을 그래프로 시각화한 것

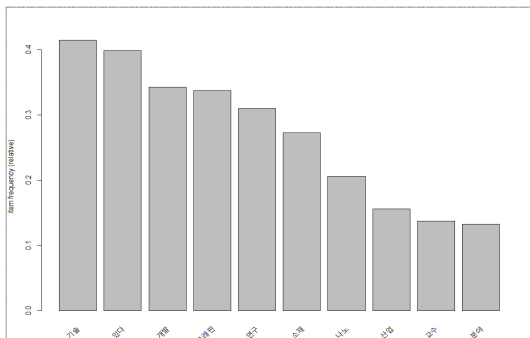


그림 12. 연관규칙분석에 따른 빈도수별 상위 10개 단어

으로 원의 크기는 지지도 크기를 보이며 단어 아이템 간에 숨겨져 있는 연관성을 발견할 수 있다. 국가R&D 과제정보 분석 결과와 동일하게 '기술'과 '개발'을 중심 키워드로 하여 노드가 형성된 것을 확인할 수 있고, 두 단어의 동시출현빈도가 가장 높은 것으로 해석된다.

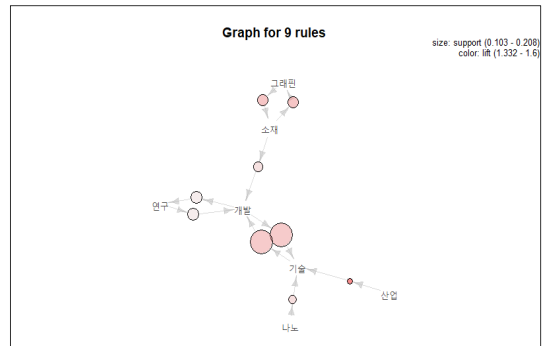


그림 13. 연관 네트워크 출력 결과

[그림 14]는 단어 아이템 간 연관성을 평행좌표표로 표현한 그래프이다. 선의 두께가 두꺼울수록 높은 지지도 (support)를 나타낸다는 점을 고려하였을 때, {개발}=>{기술}, {개발}=>{연구}, {소재}=>{그래핀}, {소재}=>{개발} 등이 연관성이 높은 것으로 나타났다.

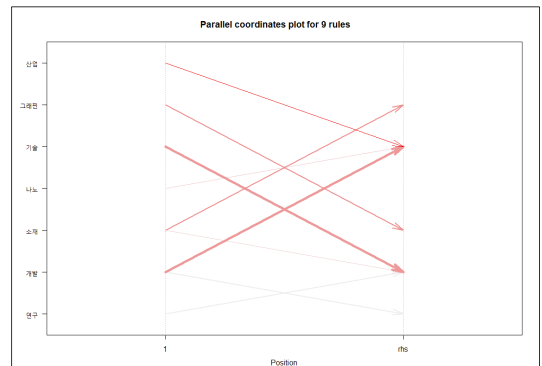


그림 14. 연관 평행좌표 그래프

3. 유망기술 탐색과 결과종합

그래핀은 우리의 일상생활을 바꿀 만큼 큰 잠재력을 지닌다. 역사상 철, 석유, 플라스틱 발견 이후 가장 혁신적인 차세대 신물질로 평가받고 있다.

그래핀이 상용화되면 배터리 분야뿐만 아니라 플렉시블 디스플레이, 반도체, 태양전지, 풍력발전기 블레이드, 방탄복, 나노바이오 소재 등 여러 분야에 다양하게 응용될 수 있다.

그린뉴딜의 주요 산업 분야에서 그래핀이 활용될 분야로는 대표적으로 2차전지와 전기차가 있다. 현재까지는 리튬이온 배터리가 스마트폰, 컴퓨터와 같은 디지털 기기뿐만 아니라 전기차에 대량으로 사용되고 있었으나 차세대 배터리 소재로 그래핀이 가장 주목받고 있다.

특히 S사가 개발한 배터리 소재인 '그래핀볼'은 충전용량을 45% 향상시키고, 충전 속도를 1시간에서 12분으로 5배 이상 빠르게 올릴 수 있을 만큼 기존 리튬이온 배터리의 성능을 압도한다. T사는 리튬이온 배터리를 묶음으로 사용하는 방식으로 전기차를 만드는데, 배터리 충전용량을 매년 개선하고 고속충전소를 만들어 40분 만에 80% 충전을 구현하였으나 운행거리는 아직 400km 안팎에서 머물고 있다.

F사는 그래핀 배터리를 장착해 한 번 충전 시 최대 640km 이상 주행할 수 있는 전기차를 출시하겠다고 발표한 바 있다. 향후 전기차에 사용될 그래핀 배터리는 레이저로 그래핀을 가공해 부드럽게 휘어지도록 만든 슈퍼커패시터가 핵심으로, 전기에너지를 빠르게 대량 저장하여 높은 전류를 신속하고 안정적으로 공급하는 장치다. 아직 그래핀 배터리를 탑재한 상용차가 없기 때문에 그래핀 슈퍼커패시터가 전기차의 주행거리 및 가속능력을 얼마나 개선시킬지에 대해 전 세계의 기대가 크다.

2차전지는 올해 1010억 달러(약 123조원) 규모로 글로벌 시장 형성이 예상되며 L사, S사, I사가 점유율 40%대로 선전하고 있다. 또한 올해 초 N사는 중국 내 2차전지 업계에서 최고 수준의 기술력을 입증받은 F사의 2대주주 지위를 확보하여 그래핀을 주요 소재로 적용한 차세대 배터리 개발에 착수하였다.

연구결과에 따르면 그래핀을 음극재로 사용할 경우 배터리 셀은 기존 음극재인 흑연 대비 용량이 3배 이상 증가하는 것으로 확인되었다. 스마트폰, 웨어러블 전자 기기, 전기차 등은 배터리 없이는 구동되지 않으며, 전기차의 성능은 배터리로 가늠되는 만큼 배터리 성능 개

선을 위한 기술개발이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

전기자동차에 사용되는 리튬이온 배터리의 기술적 발전은 이미 한계에 봉착하였을 만큼 이루어졌으며, 이에 '그래핀 배터리'의 상용화를 위한 연구개발에 대한 지원이 증가할 것으로 전망된다.

그래핀은 다른 소재와 결합되었을 때 기존 소재를 더 가볍고, 유연하고, 단단하게 만든다. 전기가 통하지 않는 플라스틱에 1%의 그래핀만 섞어도 전기가 잘 통하게 되며, 0.1%의 그래핀을 섞으면 열에 대한 저항이 30%나 증가한다[23].

2015년 한국과학기술원(KIST)과 서울대 재료공학부가 공동으로 '그래핀 플라스틱' 제조 공법을 개발하였다. 그래핀 플라스틱은 열 전달 및 전자파 차단 기능을 갖추고 있어 향후 자동차 내장재 또는 발광다이오드(LED) 부품 개발 등에 적용할 수 있을 것으로 전망한 바 있다[24].

그래핀의 유연하고 신축적인 특성 및 우수한 전기전도 특성에 따라 그래핀은 유연 투명 터치패널, 플렉시블 디스플레이, 웨어러블 전자기기, 유연 투명 전자파 차폐 소재 등 응용분야가 다양하다. 그 중 웨어러블 디바이스는 최근 많은 관심을 끌고 있는데, 이는 그래핀의 유연성과 신축성, 높은 전기 전도도가 웨어러블 디바이스의 착용감과 연관되는 초소형화, 유연화, 신축화, 저전력화 등의 요건들을 충족시킬 수 있을 것으로 보고 있기 때문이다[25].

웨어러블 디바이스에 필요한 배터리, 히터, 센서, 디스플레이 등 부품 분야에서 국내외 연구팀이 그래핀의 가능성을 확인한 바 있다. 국내 대학 및 출연연구소에서는 2017년 그래핀 히터를 방한 의류에 탑재하는 데 성공하였고, 2020년에는 유기 태양전지, 스트레처블 리튬이온 배터리, 초민감형 투명 촉각 센서 등 제작에 성공하면서 그래핀의 웨어러블 디바이스용 소재로서의 활용 가능성을 확인하였다. 그러나 향후 제품의 상용화에 이르기까지는 연구가 더 필요한 상황이다.

최근 코로나19 팬데믹에 따라 이에 대응하기 위한 웨어러블 디바이스의 기술 및 제품 개발이 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 네덜란드에서는 코로나19 환자를 비대면 원격 모니터링할 수 있는 웨어러블 바이오

패치를 부착할 수 있게 하였고, 핀란드에서는 코로나19 감염 예측을 목적으로 한 링형 웨어러블 센서를 선보였다. 이러한 다양한 기술이 그래핀을 기반으로 한 웨어러블 디바이스로 발전되어 혁신적인 방식의 감염병 예방, 진단 및 예측이 가능해질 것으로 기대한다.

본 논문은 차세대 신소재로서 전 세계가 주목하고 있는 그래핀의 국내 연구개발 동향 파악 및 응용분야 탐색을 목적으로 한 연구다. NTIS의 국가R&D 과제정보를 활용하여 연도별 과제건수 및 연구비 증감 추이를 바탕으로 분석하였으며, e신문에 보도된 그래핀 관련 신문기사를 수집하여 이슈 및 키워드 동시출현 분석을 수행하였다.

연구 결과, 그래핀 연구개발은 기초 단계에 많이 집중되어 있으나, 충분한 기술개발을 거쳐 본격적으로 상용화가 시작된다면 2030년까지 연평균 22.1%의 성장률을 시장이 확대될 것으로 전문가들은 전망하고 있다. 그래핀을 반도체, 디스플레이, 자동차 등 국내 우위 산업과 융합하여 상용화 기술을 획득한다면 그래핀 시장 선점을 통한 미래소재 산업 선도국으로 도약이 가능해질 것이다.

VI. 결론

지금까지 본 논문에서는 차세대 신소재 그래핀을 주제로 NTIS 국가R&D 과제정보를 활용한 연구개발 동향 파악 및 신문기사 텍스트 마이닝을 통한 이슈 분석을 수행하였다. 더불어 그래핀 기술의 응용분야를 탐색하고, 우리나라 정부 정책 하에서 그래핀 연구개발 및 해당 산업의 활성화를 위한 시사점을 도출해보았다.

본 연구는 다음과 같은 시사점과 한계점을 가진다. 본 연구에서는 신문기사 및 국가R&D 과제 데이터에 대해 연관규칙 분석이라는 새로운 접근을 시도하였다는 데 의미가 있다.

지지도, 신뢰도, 향상도 등 신뢰성 있는 수치 및 다양한 시각화 자료를 통해, 보다 직관적으로 단어 간 동시출현 빈도 및 연관성을 탐색해볼 수 있었다. 하지만 연관규칙 분석은 일반적으로 콘텐츠 기반 추천(contents-based recommendation)의 기본이 되는

방법으로, 본 연구에서와 같이 텍스트 분석에 적용하는 경우에는 일반적으로 유추할 수 있는 정도의 연관성 이외의 의미 있는 결과를 발견하기에 한계가 있을 수 있다.

또한, 본 연구에서 분석대상으로 활용한 NTIS 데이터는 국가R&D 과제만을 포함하며, 민간R&D 과제정보는 본 연구에 포함시키지 못하였다. 일반적으로 민간 R&D 정보는 공개되고 있지 않기 때문에 향후 연구에서 가능한지 여부는 불확실하다.

향후 연구에서는 NTIS 과제정보 데이터의 '과학기술 표준' 분류를 활용하여 연구 분야 분류를 분석하거나 토픽모델링 기법을 활용한 기술개발 동향 및 예측에 관한 연구가 가능할 것이다. 또한, 그래핀 R&D 동향의 국가 간 비교·분석, 또는 그래핀 관련 국가R&D 과제의 논문 및 특허 데이터를 활용한 성과분석이 추가적으로 수행될 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] 김경남, "그래핀의 기술개발동향 및 응용," 전기전자자료, 제29권, 제6호, pp.3-11, 2016.
- [2] 미래창조과학부, 산업통상자원부, 미래소재산업 선도국 실현을 위한 그래핀 사업화 촉진 기술 로드맵(안)(2015~2020), 2015.
- [3] C. Lee, X. Wei, J. W. Kysar, and J. Hone, "Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene," Science, Vol.321, No.5887, pp.385-388, 2008.
- [4] 조윤상, *차세대 신소재 그래핀의 기술동향*, 산업은행 기술평가부, 2013.
- [5] 안세정, 김도현, 권오진, 배영철, 이준영, "유망영역 탐지를 위한 키워드 매핑의 동태적 분석: 그래핀 사례연구," 한국전자통신학회, 제7권, 제6호, pp.1393-1401, 2012.
- [6] 김상우, "그래핀 기술의 EMC 응용," 한국전자파학회지, 제24권, 제6호, pp.51-56, 2013.
- [7] L. Zou, L. Wang, Y. Wu, C. Ma, S. Yu, and X. Liu, "Trends analysis of graphene research and development," Journal of Data and Information Science, Vol.3, No.1, 2018.

[8] 현운진, 윌리엄, 김남규, “텍스트 마이닝 기반의 이슈 관련 R&D 키워드 패키징 방법론,” 인터넷정보학회 논문지, 제16권, 제2호, pp.57-66, 2015.

[9] 서호준, “텍스트 네트워크 분석을 활용한 우리나라 과학기술정책 50년의 주요 의제 분석 -과학기술 50년사를 중심으로-,” 과학기술정책, 제2권, 제2호, pp.171-202, 2019.

[10] 최용인, 이예원, “우리나라 과학기술정책과 국가연구개발사업의 키워드 흐름 비교분석 (2003~2017년),” 한국기술혁신학회, pp.80-98, 2018.

[11] 윤빛나리, 안세정, “텍스트 마이닝 기반 여성과학기술인 이슈 및 정책연구,” 한국여성커뮤니케이션학회 논문지, 제34권, 제1호, pp.175-207, 2019.

[12] <http://www.ntis.go.kr>, 2020.08.11.

[13] 이정우, 김민관, 임정선, 배성훈, “NTIS 국가R&D정보를 활용한 공간정보 분야 연구개발사업 현황 분석,” 한국생산제조학회 논문지, 제28권, 제6호, pp.358-367, 2019.

[14] 신호성, “국가 R&D 정보지식포털(NTIS) DB에 근거한 치과의료 R&D 현황,” 대한치과의료관리학회지, 제3권, 제1호, pp.21-30, 2015.

[15] 전익진, 은혜정, “연관 규칙 분석을 이용한 시청률 분석 연구: 지상파 드라마를 중심으로,” 한국언론학회, 제58권, 제5호, pp.391-416, 2014.

[16] 주길홍, 신은영, 이주일, 이원석, “연관규칙을 이용한 뉴스기사의 계층적 자동분류기법,” 멀티미디어학회 논문지, 제14권, 제6호, pp.730-741, 2011.

[17] 김남규, 이동훈, 최호창, William Xiu Shun Wong, “텍스트 분석 기술 및 활용 동향,” 한국통신학회 논문지, 제42권, 제2호, pp.471-492, 2017.

[18] 조은진, *세계를 이끌어갈 차세대 녹색기술*, Kotra Executive Brief 09-013, 2009.

[19] 전국경제인연합회, *2차전지 산업동향 및 발전방안*, FKI 전략산업리포트, 제182호, 2011.

[20] http://m.cnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=2012_11150909332360552, 2020.08.19.

[21] <http://www.igasnet.com/news/articleView.html?idxno=6499>, 2020.09.01.

[22] http://www.hellot.net/new_hellot/magazine/magazine_read.html?code=205&sub=002&idx=23388, 2020.09.01.

[23] http://www.hani.co.kr/arti/science/science_general/446727.html, 2020.09.02.

[24] <http://dongascience.donga.com/news.php?idx=6515>, 2020.09.02.

[25] 김완수, *그래핀 기반 웨어러블 디바이스 기술 동향*, 정보통신기획평가원 주간기술동향, 제1958호, 2020.

저 자 소 개

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

나 혜 인(Hye-In Na)

정회원



- 2011년 8월 : 전남대학교 경제학과(경제학사)
- 2013년 8월 : 전남대학교기술경영전문대학원(경영학 석사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 과학기술경영 정책 박사과정

〈관심분야〉 : 과학기술경영정책, 성과분석, R&D경제, 과학기술정보서비스

이 병 희(Byeong-Hee Lee)

중신회원



- 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, 과학기

술정보서비스, 빅데이터분석, 텍스트마이닝

김 태 현(Tae-Hyun Kim)

정회원



- 2001년 2월 : 충남대학교 컴퓨터과
학과(이학석사)
- 2001년 3월 ~ 2001년 11월 : ㈜
엔퀘스트테크놀러지 연구원
- 2002년 3월 ~ 2004년 2월 : 한국
전자통신연구원 연구원
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술

술정보연구원 선임연구원 / NTIS개발팀장

〈관심분야〉 : 정보검색, 정보분석, 전문용어사전구축, 소프트
트웨어공학