

토픽모델링을 활용한 주요국의 스마트제조 기술 동향 분석⁺

(Analysis of global trends on smart manufacturing technology using topic modeling)

오 윤 환¹⁾, 문 형 빈^{2)*}
(Yoonhwan Oh and HyungBin Moon)

요약 본 연구는 스마트제조 관련 국내·외 특허 데이터와 토픽모델링 방법을 활용하여 스마트 제조 관련 기술의 세부 영역을 식별하고 해당 영역에서 미국, 일본, 독일, 중국, 한국 등 주요국의 기술 개발 동향을 비교하였다. 이를 위해 1991년부터 2020년 사이에 미국과 유럽에서 출원된 특허를 수집하고 특허 초록을 가공한 후, LDA 모델을 적용해 토픽을 식별하였다. 연구 결과, 스마트제조 관련 기술의 세부 영역은 크게 7개로 구분되며 글로벌 차원에서는 최근 ‘데이터 처리 시스템 관련 기술’과 ‘열·유체 관리 기술’의 기술 개발 비중이 상당히 높아지고 있는 것으로 나타났다. 주요국과 한국의 기술 개발 동향을 비교한 결과, ‘열·유체 관리 기술’ 분야에서 상대적인 강점이 있다는 점을 고려하면 국내 주력산업인 중화학 제조업과 연계한 스마트제조 관련 연구개발 및 관련 산업의 육성 추진 전략이 효과적일 것으로 보인다. 본 연구는 기존 정성적 기술 수준 평가의 한계를 극복하고, 텍스트마이닝 기법을 적용한 기술 역량 평가 방법론을 제안하였다는 측면에서 의의가 있다.

핵심주제어: 스마트제조, 특허 분석, 토픽모델링, 기술 트렌드, 기술 전략

Abstract This study identified smart manufacturing technologies using patent and topic modeling, and compared the technology development trends in countries such as the United States, Japan, Germany, China, and South Korea. To this purpose, this study collected patents in the United States and Europe between 1991 and 2020, processed patent abstracts, and identified topics by applying latent Dirichlet allocation model to the data. As a result, technologies related to smart manufacturing are divided into seven categories. At a global level, it was found that the proportion of patents in ‘data processing system’ and ‘thermal/fluid management’ technologies is increasing. Considering the fact that South Korea has relative competitiveness in thermal/fluid management technologies related to smart manufacturing, it would be a successful strategy for South Korea to promote smart manufacturing in heavy and chemical industry. This study is significant in that it overcomes the limitations of quantitative technology level evaluation proposed a new methodology that applies text mining.

Keywords: Smart manufacturing, Patent analysis, Topic modeling, Technology Trends, Technology strategy

* Corresponding Author: hbmoon@pknu.ac.kr

+ 본 논문은 2021학년도 부경대학교 자율창의학술연구비(2021년)에 의하여 연구되었음.

+ 본 논문은 2021년 과학기술정책연구원에서 수행한 「Covid-19 이후 중소·벤처기업 지원 정책의 전환과 설계」 연구보고서 일부(제3장 기존 중소·벤처기업 지원 정책의 전환과 설계)의

내용을 기초로 하여 수정·보완 및 고도화되었음.

Manuscript received April 18, 2022 / revised July 06, 2022 / accepted July 11, 2022

1) 과학기술정책연구원 미래사회연구단, 제1저자

2) 부경대학교 데이터정보과학부 빅데이터융합전공, 교신저자

1. 서론

데이터, 네트워크, 인공지능, 클라우드 등 4차 산업혁명의 핵심 기반 기술이 발전하고 범용기술로서 여러 산업 분야에서 다양하게 활용되면서, 전 산업 분야에서 디지털 전환은 시대적 흐름이 되었다. 특히 전통적인 굴뚝산업으로 평가받아오던 제조업 분야에서 디지털 전환은 산업 전반의 생산성을 비약적으로 높이고 파괴적 혁신(disruptive innovation)을 불러오고 있는 듯하다. 제조 분야의 디지털 전환은 단순한 자동화 개념을 넘어, 우리 경제사회 체제 전반에의 변화를 가져올 중요한 동인으로 주목 받고 있다 (Park et al., 2020). 과거 산업화 시대의 제조 방식이 기계화 혁명, 생산 혁명에 기반한 대량 생산체제였다면, 4차 산업혁명 시대의 생산은 가상물리시스템 CPS(Cyber Physical System), 디지털 트윈(Digital Twin) 등 ICT 기술을 활용한 가상세계와 물리세계 간의 융합에 기반한 새로운 제조 패러다임으로 전환하고 있다. 더 나아가 최근의 COVID-19(코로나바이러스감염증-19, 이하 코로나19) 팬데믹(pandemic) 상황 속에서의 글로벌 공급망 문제 해결과 가속화 되는 디지털 전환 추세는 스마트제조 현실화를 앞당기고 있다. 이처럼 기존의 제조 패러다임이 완전히 바뀌면서 산업의 경쟁 양상도 변화되고 있으며, 산업 내 주도권도 디지털 전환의 성패에 따라 크게 재편될 것으로 전망되는 상황이다. 이에 따라 우리나라를 포함한 제조업 기반 경제를 구축하고 있는 세계 주요국들은 경쟁적으로 제조 산업에 디지털 전환을 촉진하고 있다. 영국은 코로나19에 따른 제조업 공급망 취약성 극복 및 생산성 강화를 위하여 스마트제조 기반의 디지털 공급망 연구를 추진하고 있으며, 중국 또한 코로나19 위기를 디지털 경제 발전을 위한 전략적 기회로 인식하고, 스마트제조 분야 기술표준 주도권 확보를 위하여 「스마트제조발전 제14차 5개년 계획(21~25)」을 발표하는 등 주요국들 간 스마트제조 분야 선도를 위한 경쟁이 심화되고 있다. 따라서 빠르게 심화되는 경쟁 환경 속에서의 기술의 발전과 변화를 확인하고 향후 대응방안을 모색하는 것은 현 시점에서

매우 중요하다고 할 수 있다.

제조 분야에서의 디지털 전환은 스마트제조(smart manufacturing), 스마트 팩토리(smart factory), 지능형 공장(intelligence factory), 디지털 제조(digital manufacturing) 등 다양한 용어로 표현되지만 핵심적인 개념은 유사하다고 볼 수 있다. 우리 정부는 “제조업 전 과정을 지능화하고 상호 연결함으로써 제조업 가치사슬을 확장하고 산업구조를 혁신하는 활동”으로 정의하고 있으며(KISTEP, 2020), Jung et al. (2019)는 스마트제조에 대하여 “급속한 기술발전의 성과를 적용하여 제조업 활동 전반에 걸쳐 정보를 수집, 분석하고 활용함으로써 부가가치 사슬 간의 연계성과 통합성을 높여 새로운 제조업으로 이행하는 과정”으로 설명하고 있다. Oh et al. (2021)에서는 “기존 생산 공정을 개선하며, 혁신 신제품을 개발하고, 새로운 디지털 서비스를 도출하기 위한 제조 생산과정의 디지털전환”으로 설명하고 있다. 본 연구에서는 제조 분야에서 이루어지는 디지털 전환을 표현하는 용어로 ‘스마트제조’를 활용하며, 이들 선행연구에서의 정의를 기반으로 스마트제조를 “제조 과정에서의 첨단 운영기술(OT, operation technology)와 정보통신기술(IT, information technology)을 적용하여 기존 제조업의 생산성을 높이는 디지털 전환”으로 설명한다.

주요 제조강국들은 제조혁신을 선도할 수 있는 기술혁신역량 확보를 위한 다양한 정책적 지원을 실시하고 있다. 미국은 지난 2018년 국가과학기술위원회(NSTC)는 「첨단 제조업 리더십 확보 전략(Strategy for American Leadership in Advanced Manufacturing)」을 발표하고 스마트제조를 주요 요소기술로 선정한 바 있으며, 미국 전역에 제조혁신연구소(Institutes for Manufacturing Innovation)를 중심으로 스마트제조 분야 주요 요소기술 R&D를 지원하고 있다(Oh et al., 2021). 중국 역시 미국의 제조혁신 연구소와 유사하게 국가단위 제조업 혁신센터 구축을 추진 중이며, 「중국제조 2025」에서 제시한 기술적 목표 달성을 위하여 「선진제조 첨단 기술 개발을 위한 제13차 5개년 특별계획」, 「스마트제조발전 제14차 5개년 계획(21~25)」

등 후속 사업을 지속적으로 실시하고 있다. 한국 역시 스마트제조 경쟁력 확보를 위해 그동안 중소벤처기업부를 중심으로 추진되었던 「스마트공장 보급·확산 사업」 중심의 정책적 지원을 다양화하여 확대하고 있다(Oh, 2022). 2022년부터는 중소벤처기업부와 과학기술정보통신부가 공동으로 기획한 「스마트 제조혁신 기술개발사업」을 본격적으로 추진될 예정이며, 3대 핵심 분야로 첨단제조, 유연생산, 현장적용을 정하고 기계학습(머신러닝), 디지털 트윈, 산업용 사물인터넷 등 49개 개발품목을 제시하여 지원할 계획이다. 스마트제조혁신 기술개발사업은 스마트공장 등 기업 현장의 인프라 구축 중심의 정부 지원정책을 기술혁신역량 확보 관점으로 전환하는 중요한 변곡점이 될 것으로 기대되고 있다. 다만 정부의 정책 사업을 통하여 확보하고자 하는 기술혁신역량의 목표점을 명확히 제시하고, 주요국 대비 경쟁력을 객관적으로 확보하기 위한 기술수준 분석이 필요하다.

기존에 스마트제조 관련 기술 동향 및 수준 분석을 살펴보면, 주로 정성적인 접근법이 활용되어 온 것으로 확인된다. 구체적으로, 많은 경우 전문가의 의견에 기반하여 산업 환경을 분석하거나 기술발전 트렌드를 도출한 결과가 산업 및 기술 동향 분석의 결과로서 제시되고 있다. 일부 정량적인 기술수준평가가 이루어지고는 있지만, 이 역시 전문가 의견에 근거한 방법론인 델파이 기법이 활용되고 있는 상황이다. 이와 같이 전문가 의견에 기반한 정성적인 방법들은 설문조사를 통해 이루어지는데, 전문가 설문조사는 비용이 많이 들며 시간도 오래 걸린다는 단점이 있다. 또한 객관성이 부족하다는 것이 전문가 의견 기반 방법론의 가장 큰 한계이다. 이에 따라, 정량 분석 기반의 기술 동향 및 수준 분석의 필요성이 점차 증가하고 있으나, 여전히 구체적인 자료로서 활용될 수 있는 연구가 현재 미비한 상황이다(Kim et al., 2021). 스마트제조와 관련한 일부 연구에서는 논문, 특허 등 정량적인 자료를 활용하여 기술 동향 및 수준을 분석하고 있기는 하지만, 주로 논문, 특허의 양적 관점에 이루어지고 있는 것으로 확인된다.

이에 본 연구에서는 스마트제조와 관련한 국

내·외의 특허 자료를 분석하여 세부 기술 영역을 식별하고 주요국의 기술개발 동향을 비교함으로써, 각국의 기술 경쟁력을 분석하고 우리나라의 기술 기회를 도출하고자 한다. 이를 위해 특허 정보 중 초록에 포함된 방대한 양의 텍스트 자료를 수집하고 토픽모델링(topic modeling) 기법을 적용하여 기술 영역을 식별하였다. 스마트제조 기술과 관련해서는 아직 정립된 표준이나 세부기술의 범위 및 종류가 확정되어 있지 않으며, 다양한 요소기술 간의 융합기술로 여겨지고 있다. 이러한 융합기술에 대한 현황 및 특징 등을 분석하기 위해서 특허 자료를 활용한 여러 연구들이 있어왔으나, 국제특허분류체계(이하 IPC, International Patent Classification) 등의 특허분류를 활용한 분석은 급속도로 발전하고 변화하는 융합기술의 특성을 반영하지 빠르게 반영하지 못하는 분류체계의 특성 상, 융합기술에 적합한 분류를 설정할 수 없다 한계가 지적되고 있다(Jeong et al. 2016). 따라서 이러한 융합적 특성을 가진 기술에 대한 분석을 위해서는 비구조화된 빅데이터에 대한 분석방법론이 중요하다. 이에 본 연구에서는 특허의 내용적 측면에서의 분석 관점에서 토픽모델링을 적용한 분석을 활용하였다. 본 연구는 스마트제조 기술 동향 및 수준 등과 관련된 기존 연구들의 정성적인 접근법과는 달리 객관적인 자료에 근거한 정량분석을 수행하였다는 점에서 장점이 있으며, 특히 기존의 정적인 특허 분류 코드로는 확인할 수 없는 융합 기술을 식별하였다는 점에서 의의가 있다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 본 연구와 관련한 선행 연구에 대해 검토한다. 구체적으로 각 분야의 기술개발 동향 분석에 있어서의 토픽모델링을 활용한 연구들을 검토하고 본 연구의 차별성을 도출한다. 3장에서는 본 연구의 분석 모형에 대해서 기술하고, 4장에서 분석 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결과를 종합하고 주요한 정책적 시사점을 도출한다.

2. 선행 연구 검토

빠르게 변화하는 기술 발전 속도에 따라 기술, 산업, 경제, 정책 환경 역시 급변하고 있으며, 이에 대한 실효성 높은 정책적 대안 마련을 위해서는 기술 환경에 대한 정확한 동향 분석이 중요하다. 이를 위해 국내외 연구기관을 비롯하여 다양한 연구에서 각 분야의 기술 동향 분석을 위해 여러 가지 자료와 방법론을 활용하고 있다. 많은 연구들에서 분석자료로 국가연구개발사업 등 연구과제 단위에서의 정보를 활용하거나, 연구성과로서 논문이나 특허 등의 자료를 활용하고 있다. 특히 국내의 경우에는 국가연구개발사업 관련 정보들을 NTIS(국가과학기술지식정보서비스) 등 공공기관에서 데이터베이스화하여 제공하고 있어, 이들 자료를 활용한 연구도 많이 이루어지고 있다. Yang et al. (2021)는 인공지능 분야 연구개발투자방향에 대한 시사점 도출을 위하여, NTIS에서 해당 과제에 대한 정보를 기반으로 분석 데이터셋을 구축하고 토픽 모델링 분석을 적용하였다. Woo and Lee (2020)의 연구에서는 ICT 분야의 연구개발 동향 탐색을 위해 NTIS 정보뿐만 아니라, 정보통신기획평가원의 EZone 시스템을 매칭하여 활용하기도 하였으며, Choi and Shim (2020) 역시 과학기술정보통신부와 정보통신기획평가원이 제공하는 ITFIND 포털의 자료를 활용하여 ICT융합 트렌드 분석을 위한 텍스트셋을 구축하였다.

NTIS 등 국가연구개발사업 정보들을 활용한 분석은 연구과제나 사업 단위에서의 연구개발 예산 투입이라는 관점에서 연구개발 동향을 주로 분석을 한다면, 논문이나 특허 등은 연구의 대표적인 직접 산출물이라는 관점에서의 연구성과에 대한 동향 분석에 적합하다. 특히 특허는 응용연구에 초점을 두고 있으며 산업·경제적인 활용도가 높은 연구 성과를 보호받으려 출원한다는 점을 고려한다면, 특허를 활용한 기술 동향 분석은 향후 해당 분야의 산업적 우위를 차지하기 위한 혁신정책 수립에 있어서 활용도가 높다. 기존의 특허분석의 경우 IPC 등을 활용한 특정 기술분야와 관련된 특허의 출원 및 등록 수, 인용 수 등 양적인 관점의 분석이 많이 활용되었다. 그러나 IPC 분류를 활용한 분석의 경우, 급변하는 기술의 융복합 환경 속에서의 첨

단 기술을 세부기술 수준에 맞게 IPC 분류에 적절하게 연결하고 식별하는데 한계가 존재한다. 실제 스마트제조 기술의 범위와 분류에 대해서는 많은 연구들에서 다양한 세부기술 간의 융합으로 정의하고 있어 IPC만을 활용한 분석으로는 한계가 존재한다. 국가기술표준원에서는 스마트공장 주요 기술을 애플리케이션, 플랫폼, 디바이스로 구분하고 있으며(KATS, 2015), 한국전자통신연구원(ETRI)에서도 유사하게 스마트제조 공정모델 기술을 응용 애플리케이션 기술, 플랫폼 기술, 디바이스·네트워크 기술, 제조보안 기술로 구분하고 있다(ETRI, 2018). 국제적으로 살펴보았을 때, 스마트제조에 대하여 아직 정립된 표준은 없는 상황이나 ISO TC 184, IEC TC 65, IEC SMB SG 8, JTC1 등의 국제표준화 기구에서 스마트제조와 관련된 범위, 항목 등 개념적인 단계에서의 논의가 이루어지고 있다(ETRI, 2021).

융합적 추세를 보이는 첨단 기술에서의 분석 한계를 극복하기 위하여 최근에는 토픽 모델링 분석이나 네트워크 분석 등 다양한 방법론을 적용하여 특허 분석의 한계를 보완하고 있다. 이중 토픽 모델링은 문서들을 구성하는 단어들의 공동 출현 양상을 통해 여러 문서 내에 잠재된 토픽을 식별하는 방법론으로서(Blei et al., 2003), 모형의 가정에 따라 LSA(Latent Semantic Analysis), pLSA(probabilistic LSA), LDA(Latent Dirichlet Allocation) 등으로 구분된다. 토픽 모델링은 명시적으로 드러나 보이지 않는 잠재된 토픽을 확인할 수 있다는 장점이 있어(Lee, 2020; Chae et al., 2021), 최근 특허 문서의 텍스트 데이터로부터 기술 영역 및 융합 양상을 식별하는 데에 많이 활용되고 있다.

Jeong et al. (2016)에서는 다양한 이종 기술 간의 융합 경향성 및 확산 분석을 위해 토픽 모델링을 적용하고, 그 결과를 활용하여 기술 확산 엔트로피 맵으로 도식화하였다. Lee et al. (2021)은 토픽 모델링과 더불어 특허 인용 정보를 활용한 네트워크 분석을 통하여 의료기기 산업에서의 융합연구 경향을 분석하고, 기술 간 유사도 및 융합성을 분석하기도 하였다. Cho and Chang (2020)은 국내 및 미국 특허들을 활용하여 스마트공장 중 5G 통신과 관련된 동향

분석을 실시하기도 하였다. 다양한 분야에의 토픽모델링을 적용한 연구들이 이루어지고 있지만 대부분의 연구들이 특정 시점에서의 단편적인 현황을 중심으로만 분석 중심으로 진행되어, 최초 출원에서부터 등록에 이르기까지 시간이 소요되는 특허의 특성을 반영하거나, 해당 분야의 과거부터 현재까지의 연구개발 트렌드를 분석하는데 있어서는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 1991년부터 2020년까지 상대적으로 긴 기간 동안의 관련된 특허를 대상으로, 특허 초록의 자료를 활용한 토픽모델 분석을 통해 우리 산업 현장에서 빠르게 현실화 되고 있는 스마트제조 분야 기술 동향을 분석하고자 한다.

3. 분석 모형

3.1 분석 개요

본 연구는 응용연구를 통한 기술 개발의 대표적인 성과로서 여겨지는 특허를 활용하여 스마트제조 분야의 기술 동향을 살펴보고 이에 대한 주요 국가별 차이를 확인한다. 본 연구의 분석 과정을 요약하면 다음과 같다. 먼저, 스마트제조와 관련한 특허 자료를 수집한 다음, 양적 관점에서 특허 출원 동향을 분석한다. 즉 시점별, 출원인 국적별, 기술 분야별로 스마트제조 관련 특허가 얼마나 많이 출원되고 있는지를 살펴본다. 다음으로, 특허 초록을 텍스트 마이닝(text mining) 하여 기술 군집(토픽)을 확인함으로써, IPC 등 기존의 특허 분류 체계로는 확인할 수 없었던 융합 기술 영역을 식별한다.¹⁾ 또한 이렇게 식별된 기술 군집의 크기가 시간에 흐름에 따라 어떻게 변화해왔는지도 확인한다. 마지막으로, 제조업 중심 경제를 구축하고 있는 미국, 일본, 독일, 중국, 한국 등 주요 5개국에 대해서 기술 군집의 크기를 비교함으로써 각 국가가 중

점적으로 개발하고 있는 스마트제조 세부 기술 분야를 식별하고, 한국의 기술 전략을 도출한다.

3.2 분석 데이터

본 연구에서 활용한 특허 데이터는 특허 검색 서비스인 웹스온(WIPS)을 통해 수집하였으며, 미국과 유럽에서 1991년부터 2020년 사이에 출원된 특허 중 스마트제조 관련 특허를 분석에 활용하였다. 본 연구는 특허 초록을 텍스트 마이닝하여 스마트제조 관련 글로벌 기술 동향을 살펴보고 국가별 중점 기술의 차이를 확인하고자 하므로, 영문 초록을 제공하면서 글로벌 관점에서 대표성을 가진 미국과 유럽 특허청에 출원된 특허를 분석대상으로 한정하였다. 스마트제조 관련 특허는 ‘smart’, ‘advanced’, ‘cloud’, ‘digital’, ‘intelligent’, ‘real-time’, ‘ubiquitous’ 등의 단어와 ‘manufacturing’, ‘factory’를 결합한 검색어를 통하여 수집하였으며, 총 7,555개의 특허를 확보할 수 있었다.

3.3 분석 방법론

특허 초록을 텍스트 마이닝하여 기술 군집을 확인하기 위해서 본 연구에서는 토픽 모형 계열에 속하는 LDA 모형을 활용한다. LDA 모형은 문서 내의 단어들의 동시 출현 경향을 분석하여 전체 문서 내에 잠재적으로 존재하는 토픽을 추출하는 방법론으로서(Park et al., 2017; Nam and Choi, 2018), 각 특허 문서별 단어 집합이 분석 데이터로 활용된다. 이에 따라 LDA 모형 적용에 앞서서 특허 초록에 포함된 문장으로부터 단어 집합을 도출하는 토큰화(tokenization)와 의미를 가진 단어만 추출하는 불용어 처리 등의 데이터 전처리 과정이 필요하며, 본 연구에서는 해당 과정에 파이썬(python)의 nltk 모듈을 활용하였다.

LDA 모형을 도식화하면 Fig 1과 같으며, 구체적인 구동 방식은 다음과 같다. 먼저, 각 특허(문서)는 잠재 토픽의 확률 분포(θ)로, 그리고 각 토픽은 단어들의 확률 분포(β)로 표현됨을 가정한다. 다음으로, 문서 m 에 대한 잠재 토픽 θ_m 은 모수 α 의 디리클레 분포를, 문서 m 에 포

1) 특허 초록 내 문장을 형태소 단위로 구분하고 특별한 의미가 없는 형태소(불용어)를 분석대상에서 제외한다. 각 특허 문서별로 유의미한 형태소로 이루어진 집합을 구성한 다음 이를 토픽 모형에 적용하여 전체 특허 문서 속에 숨겨진 토픽을 식별한다.

함된 n 번째 단어 $w_{m,n}$ 가 포함된 토픽 $z_{m,n}$ 은 모수 θ_m 의 다항분포를 따른다고 가정한다. 토픽 k 에 대해서 단어별 비중을 β_k 라고 하면, 각 단어가 출현할 확률은 식 (1)과 같으며 모형의 각 모수는 식 (2)의 사후분포를 통해 추정된다.

$$p(w_{m,n}|z_{m,n}, \beta_k) \tag{1}$$

$$p(\theta, \beta, z) \sim p(w|\beta, z)p(z|\beta)p(\beta)p(\theta) \tag{2}$$

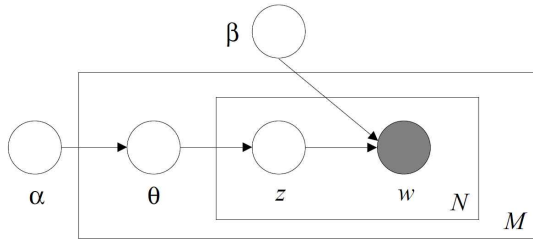


Fig. 1 Structure of LDA model (Blei et al., 2003)

4. 스마트제조 특허 출원 현황

LDA 분석에 앞서 수집된 7,555개 특허 데이터의 특징을 살펴보고자 한다. 먼저, 분석 기간인 1991년~2020년 동안 연도별 특허 출원 수 분포를 살펴보면 Fig 2와 같다. 2015년까지 스마트제조 관련 출원 특허 수는 연평균 약 12.7% 수준의 완만한 증가세를 보이다가 2016년을 기점으로 급격한 증가가 이루어졌음을 확인할 수 있다. 2016년 기준 미국과 유럽 특허청에 출원된 특허 중 스마트제조 관련 특허 수는 651건으로서 2015년 408건 대비 약 59.6% 증가하였다.

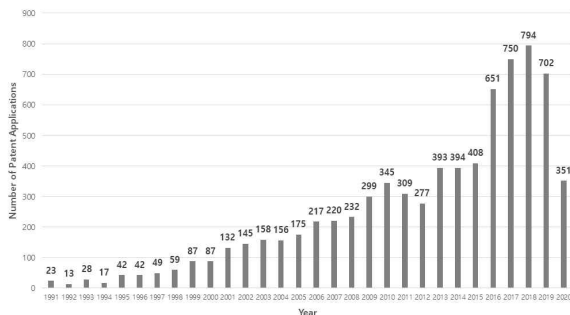


Fig. 2 Number of patent applications by year

즉, 스마트제조와 관련한 특허의 출원, 다시 말해 스마트제조 관련 상용 기술의 개발은 2016년 이후 활발히 이루어지고 있다고 할 수 있다. 여기서 유의할 점은 특허는 출원 이후 공개된 특허에 대해서만 정보를 확인할 수 있는데, 미국과 유럽 특허청은 특허 출원 이후 일반적으로 18개월이 지나면 해당 특허의 정보를 공개하고 있다는 점이다. 따라서 분석에 활용된 특허 데이터가 수집된 2021년 4월 시점에서는 2019~2020년에 실제 출원된 특허 중 일부만 공개된 것으로 판단되므로, 2019~2020년에 실제 출원 특허 수는 Fig 2에 나타난 것보다 더 많을 것으로 예상된다.

Table 1은 스마트제조 관련 특허 출원인의 국적 통계이다. 출원인은 특허의 권리를 가지며 출원인이 법인기업인 경우 출원인 국적은 법인이 설립된 국가를 의미한다는 점을 고려하면 특허 출원인 국적을 통하여 해당 국가에서의 기술 개발 동향을 가늠할 수 있다. Table 1의 결과를 살펴보면, 지난 30년간(1991년~2020년) 미국과 유럽 특허청에 출원된 스마트제조 관련 특허 중 절반 이상인 51.6%가 미국 국적의 출원인으로부터 출원되었으며, 그 다음으로 일본, 독일, 케이만군도, 중국이 각각 4.6%, 4.3%, 4.0%, 3.9%를 차지하는 것으로 나타났다. 한국 국적의 출원인은 지난 30년간 137건의 스마트제조 관련 특허를 출원한 것으로 나타났으며, 이는 전체의 1.8%를 차지하여 8위에 해당하는 수준이다.

Table 1 Number of patent applications by country

Rank	County	No. of Patent	Share
1	US	3,897	51.6%
2	Japan	349	4.6%
3	Germany	326	4.3%
4	Cayman	305	4.0%
5	China	292	3.9%
6	Taiwan	166	2.2%
7	UK	147	1.9%
8	South Korea	137	1.8%
9	France	118	1.6%
10	Netherlands	85	1.1%
Etc.		641	8.5%
	Not informed	1,092	14.5%
	Total	7,555	100.0%

다음으로 각 특허에 제시된 복수의 IPC 코드 중 가장 관련도가 높은 것으로 판단되는 첫 번째 IPC 코드를 활용하여 스마트제조 관련 특허의 IPC별 통계를 산출하여 살펴보면, 주요 기술 영역은 반도체 장치 기술(H01L21, H01L29, H01L27, H01L23), 컴퓨팅 또는 데이터 처리 기술(G06F17, G05B19, G06F19, G05B23, G06Q10, H04L29, H04L12, G06F15, G06F3), 물질 제조 및 가공 기술(B29C64, B29C67, B22F3, A61F2, B23K26)인 것으로 파악된다. 즉, IPC 코드를 기준으로 보면 스마트제조와 관련된 세부 기술 영역은 크게 위와 같이 구성되는 것으로 분석되었다. IPC 코드별 특허 통계의 구체적인 내용은 Table 2에 제시되어 있다. 여기서 초록색, 노란색, 회색은 각각 반도체 장치 기술, 컴퓨팅 또는 데이터 처리 기술, 물질 제조 및 가공 기술과 관련된 IPC 코드이다.

Table 2 Number of patent applications by IPC

Rank	IPC	No. of Patent	Share
1	H01L21	492	6.5%
2	G06F17	342	4.5%
3	H01L29	279	3.7%
4	G05B19	251	3.3%
5	G06F19	196	2.6%
6	H01L27	171	2.3%
7	B29C64	160	2.1%
8	H01L23	154	2.0%
9	G05B23	153	2.0%
10	B29C67	125	1.7%
11	G06Q10	124	1.6%
12	F01D5	113	1.5%
13	H04L29	112	1.5%
14	B22F3	103	1.4%
15	A61F2	90	1.2%
16	G06K9	88	1.2%
17	H04L12	86	1.1%
18	G06F15	79	1.0%
19	B23K26	78	1.0%
20	G06F3	73	1.0%
Etc.		4,286	56.7%
Total		7,555	100.0%

5. 분석 결과 및 시사점

5.1 스마트제조 관련 토픽 식별 결과

LDA 모형에서는 연구자가 외생적으로 설정한 토픽의 수에 따라서 각 토픽별 단어 집합이 결정된다. 만약 사전적으로 적절한 토픽 수에 대한 정보가 있으면 그를 적용하여 토픽별 단어 집합을 도출할 수 있겠지만, 토픽 수에 따른 LDA 모형의 성능을 평가하여 최적의 토픽 수를 찾고 토픽 분석을 진행하는 것이 일반적이다. LDA 모형의 성능은 perplexity (held-out likelihood), coherence score 등의 지표를 활용하여 평가할 수 있으며(Roder et al, 2015), 본 연구에서는 coherence score를 이용하여 최적의 토픽 수를 찾아내었다. coherence score 평가 결과 7개의 토픽이 최적인 것으로 확인되었으며, 이에 따라 도출된 7개 토픽별 단어 집합은 Table 3과 같다.

도출된 토픽별 단어 집합을 살펴보면, 각 토픽이 어떠한 기술 분야를 표현하고 있는지 가늠할 수 있다. 각 토픽에 매칭된 단어들을 조합함으로써 각 토픽을 식별할 수 있는 것이다. 예를 들면, Topic 1의 경우 material, layer, surface, metal이라는 단어와 semiconductor, device, electrode라는 단어로 구성되어 있는 것으로 보아, 물질의 가공이나 제조에 활용되는 전자 관련 기술을 표현하는 것으로 볼 수 있다.

하지만 Table 3에 제시된 단어의 조합만으로는 기술 분야를 가늠하기 어려운 토픽이 존재할 뿐만 아니라, 토픽이 명확하게 식별된다고 하더라도 그 결과를 검증하는 과정이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 토픽별 단어 집합과 토픽별 IPC 코드 통계를 함께 활용하여 각 토픽이 표현하는 기술 분야를 식별하고자 하였다. 이를 위해서 특허를 중심으로 토픽과 IPC 코드를 매칭하여 토픽별 IPC 코드 통계를 도출하였으며, 구체적인 과정은 다음과 같다. 먼저 LDA 분석 결과로서 도출된 각 특허의 토픽별 비중 정보에 기반하여 특허를 가장 잘 설명하는 토픽, 즉 해당 특허에서 비중이 가장 높은 토픽을 식별하였다. 이를 통해 특허와 토픽을 1대 1로

Table 3 Set of keywords by topic (LDA result)

Topic 1	Topic 2	Topic 3	Topic 4	Topic 5	Topic 6	Topic 7
material	data	data	wall	build	system	material
layer	device	image	sensor	model	cooling	structure
surface	storage	sensor	beam	assembly	machine	three dimensional
region	system	circuit	value	body	tool	node
substrate	network	control	layer	feature	device	printing
semiconductor	information	edge	signal	signal	surface	layer
device	process	system	device	cell	data	powder
metal	production	detection	light	flow	support	data
collection	model	channel	surface	wireless	service	charging
additive	product	signal	laser	location	communication	metal
gate	user	power	output	memory	fluid	polymer
electrode	virtual	parameter	direction	chamber	module	process
structure	parameter	line	article	circuit	member	pattern
alloy	layer	state	information	flexible	section	model
contact	gate	terminal	channel	shaft	platform	composition

Table 4 Top 10 IPC codes by topic

Rank	Topic 1	Topic 2	Topic 3	Topic 4	Topic 5	Topic 6	Topic 7
1	H01L21	G06F17	G05B23	G06F17	G06F17	F01D5	H01L21
2	H01L29	G05B19	G06F17	A61B5	A61F2	G05B19	B29C64
3	H01L27	G06Q10	G05B19	B23K26	B29C67	G06F19	B29C67
4	H01L23	G05B23	G06K9	G06F19	B29C64	G06F17	H01L29
5	B29C64	G06F19	G06F19	B22F3	G05B19	H04L29	B22F3
6	B22F3	H04L29	G01N27	G05B19	A61C13	G06F15	G06F19
7	H01L31	H04L12	H04L12	F01D5	G06K9	B23K26	G06F17
8	A61F2	G06F3	B26B19	B29C67	G06F19	F02C7	H01L27
9	B29C67	G06F21	H04L29	G06K9	G11C11	A61C7	G05B19
10	G02F1	G06F15	H04W72	G01B11	G06Q10	F01D9	B23K26

Table 5 Identification of technology areas

Topic	Technology area	Keywords from LDA	Related IPC codes
1	Semiconductor technology used in material manufactu	material, layer, surface, semiconductor, device, gate, electrode	H01L21 (Processes/apparatus specially adapted for the manufacture/treatment of semiconductor/solid state devices), H01L29 (Semiconductor devices specially adapted for rectifying, amplifying, oscillating or switching), H01L27 (Devices consisting of a plurality of semiconductor formed in or on a common substrate), H01L23 (Details of semiconductor/other solid state

	ring and processing		devices), B29C64 (Additive manufacturing or additive layering), B22F3 (Manufacture of workpieces from metallic powder characterised by the manner of compacting)
2	Data processing system technology	data, device, storage, system, network, information, process	G06F17 (Digital computing, data processing methods), G06Q10 (Administration; Management), G06F19 (Digital computing or data processing equipment/methods, specially adapted for specific applications), H04L29 (Arrangements, apparatus, circuits or systems)
3	Process management and control technology	control, system, detection, channel, power, parameter, line, state, terminal	G05B23 (Testing or monitoring of control systems), G06F17 (Digital computing, data processing methods), G05B19 (Programme-control systems), H04L12 (Data switching networks), H04L29 (Arrangements, apparatus, circuits or systems), H04W72(Local resource management)
4	Measurement and recognition technology	sensor, beam, signal, output, direction	G06F17 (Digital computing, data processing methods), A61B5 (Measuring for diagnostic purposes), G06K9 (Methods or arrangements for reading/recognising printed/written characters/patterns), G01B11 (Measuring arrangements by the use of optical means)
5	Manufacturing Modeling technology	build, model, assembly, body, memory, circuit	G06F17 (Digital computing, data processing methods), A61F2 (artificial substitutes/replacements for parts of the body), B29C67 (Shaping techniques), G05B19 (Programme-control systems)
6	Thermal/fluid management technology	system, cooling, machine, device, support, fluid	F01D5(Blades; Heating, heat-insulating, cooling, or antivibration means on the blades), G05B19 (Programme-control systems), G06F19 (Digital computing or data processing equipment/methods, specially adapted for specific applications), F02C7 (Air intakes for jet-propulsion plants), F01D9 (Stators)
7	Additive manufacturing technology	material, three dimensional, printing, layer, powder, metal, polymer, pattern, model, composition	H01L21 (Processes/apparatus specially adapted for the manufacture/treatment of semiconductor/solid state devices), B29C64 (Additive manufacturing or additive layering), B29C67 (Shaping techniques), H01L29 (Semiconductor devices specially adapted for rectifying, amplifying, oscillating or switching), B22F3 (Manufacture of workpieces from metallic powder characterised by the manner of compacting)

매칭한 이후, 각 특허의 대표 IPC 코드(특허에 제시된 복수의 IPC 중 첫 번째 IPC)를 함께 매칭함으로써 토픽별로 IPC 코드 통계를 확인할 수 있다. 각 토픽별 상위 IPC 코드를 식별하면 Table 4와 같다.

Table 3에 제시된 토픽별 단어 집합과 Table 4에 제시된 토픽별 상위 IPC 코드로부터 정보를 조합하면 각 토픽이 표현하고 있는 기술 분야를 비교적 명확히 확인할 수 있다. Table 5는 각 토픽에 해당하는 기술 분야를 식별하는 데에

Table 3와 Table 4로부터 활용된 부분을 정리한 것이다. 이를 통해 Topic 1은 물질 제조·가공에 활용되는 반도체 기술, Topic 2는 데이터 처리 시스템 관련 기술, Topic 3은 공정 관리·제어 기술, Topic 4는 측정 및 인식 기술, Topic 5는 제조 모델링 기술, Topic 6는 열·유체 관리 기술, Topic 7은 적층 제조 기술임을 확인할 수 있었다. 앞서 언급한 바와 같이, 본 연구에서는 coherence score라는 지표를 활용하여 최적의 토픽 수가 7개임을 보였다. 각 토픽이 의미하는 기술영역을 위와 같이 식별한 결과를 통해서도 스마트제조 관련 세부기술 토픽을 7개로 구분하는 것이 타당함을 확인할 수 있다. Lee and Lee (2015)는 스마트제조 관련 기술유형은 크게 애플리케이션, 플랫폼, 디바이스로 구분되며 활용 분야는 공장 운영 분야와 설비 자동화 분야로 구분된다고 하였다. 이를 바탕으로 본 연구에서 도출된 7개의 토픽을 살펴보면, 토픽들은 각 기술유형과 활용 분야의 대표적인 세부 기술들이라는 점이 확인된다. 이를 정리하면, Table 6와 같다.

Table 6 Application and type of technology area

Technology area	Application	Type
Semiconductor technology used in material manufacturing and processing	FA	D
Data processing system technology	FO, FA	P
Process management and control technology	FO	A, P
Measurement and recognition technology	FA	D
Manufacturing Modeling technology	FO, FA	P
Thermal/fluid management technology	FA	A, P, D
Additive manufacturing technology	FA	D

FO: Factory Operation, FA: Facility Automation, A: Application, P: Platform, D: Device

5.2 시점별 토픽 비중 변화 분석

다음으로 시간에 흐름에 따른 토픽의 크기를 살펴보면 Fig 3과 같다. 여기서 토픽의 크기는 5.1절에서 도출한 특허와 토픽 간 1대 1 매칭 결과를 활용하여 파악할 수 있다. 즉, 각 토픽에 매칭된 특허의 수를 전체 특허의 수로 나눔으로써 각 토픽의 비중을 산출할 수 있다.

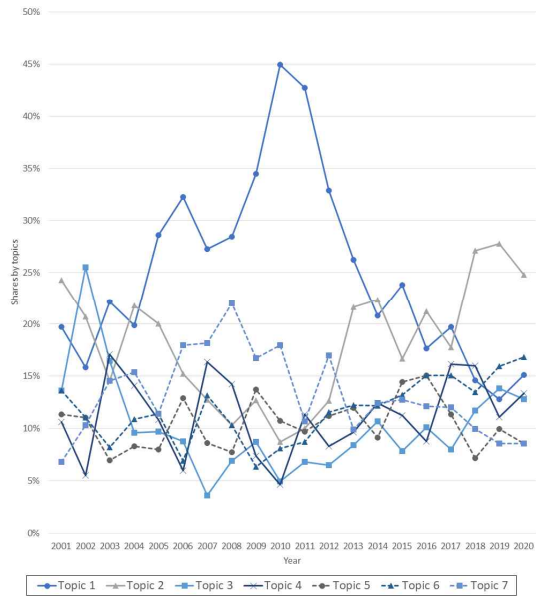


Fig. 3 Topic sizes by year

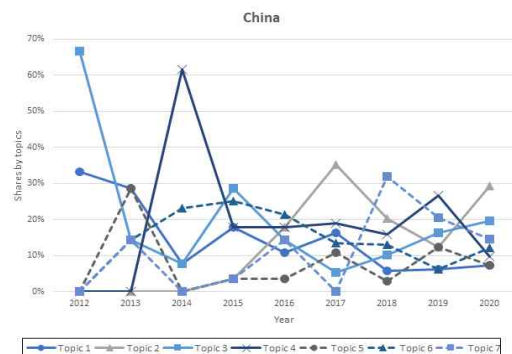
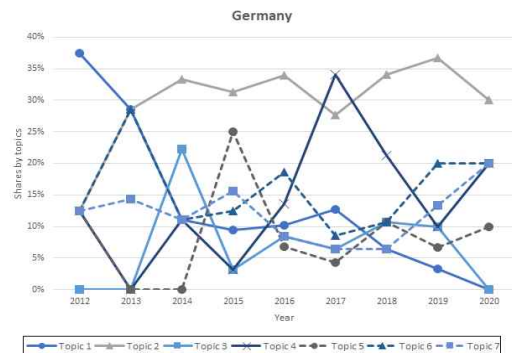
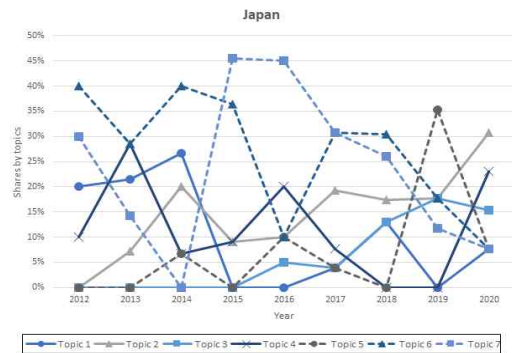
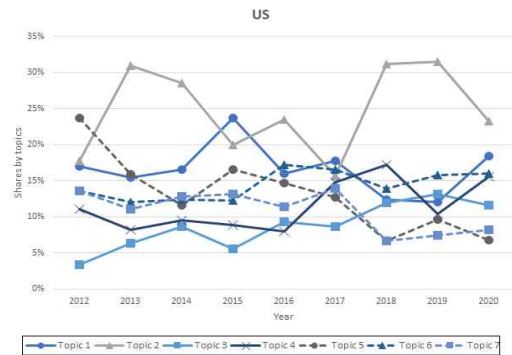
토픽별 비중은 2010년을 기준으로 하여 변화하는 양상을 보인다. 물질 제조·가공에 활용되는 반도체 기술(Topic 1)과 적층 제조 기술(Topic 7)은 2010년까지 비중이 증가하다가 2010년 이후 감소하는 추세를 보이는 반면, 데이터 처리 시스템 관련 기술(Topic 2)와 공정 관리·제어 기술(Topic 3)은 그 반대로 전체 기술 중 차지하는 비중이 2010년 이전까지의 감소세에서 2010년 이후 증가세로 변화한 것으로 나타났다. 열·유체 관리 기술(Topic 6)은 2010년 전에는 그 비중이 증가와 감소를 반복하다가 2010년 이후부터 꾸준한 증가세를 보이고 있다. 측정 및 인식 기술(Topic 4), 제조 모델링 기술(Topic 5)은 특정한 트렌드를 보이지는 않고 있으며 증가와 감소가 주기적으로 반복되는 경향을 보였다.

이를 통해 스마트제조 분야에서 기술트렌드가 2010년을 기점으로 변화한 것으로 판단할 수 있으며, 2010년 이후부터는 스마트제조에 활용될 수 있는 데이터 처리 시스템 관련 기술, 열·유체 관리 기술, 공정 관리·제어 기술과 관련한 기술의 개발이 이전보다 상대적으로 활발해진 것으로 볼 수 있다. 특히 데이터 처리 시스템 관련 기술의 경우, 2018년 이후부터는 다른 기술 분야와 비교할 때 압도적인 비중을 보이고 있어 향후 관련 기술의 적용과 확산이 예상된다. 물질 제조·가공에 활용되는 반도체 기술은 과거에 비해 전체 기술에서 차지하는 비중이 많이 감소하기는 했지만, 최근 데이터 처리 시스템 관련 기술 개발의 증가와 함께 향후 다시 반등할 가능성이 있는 것으로 보이며 해당 기술의 2019~2020년 트렌드는 이와 같은 가능성을 보여준다.

5.3 주요국별 토픽 비중 비교 분석

국가별 토픽 비중을 비교 분석하게 되면 각 국가의 주력 기술 영역을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 스마트제조 관련 특허 출원국 상위 국가이면서 제조업 중심 경제를 구축하고 있는 미국, 일본, 독일, 중국, 한국 등 주요 5개국에 대해서 토픽별 비중을 비교하고자 한다. 이를 통해 향후 스마트제조 기술 시장의 세부 영역에서 어떤 국가가 주도권을 가지게 될지 예측할 수 있으며, 우리나라의 기술 전략도 도출할 수 있다. 국가별 토픽 비중을 도출하기 위해서 먼저 특허 출원인 국적을 기준으로 5개국에 해당하는 특허를 분류하였다. 다음으로, 각 국가에 대해서 특허-토픽 매칭 결과를 활용함으로써 국가별로 토픽별 비중을 산출하였다. Fig 4는 미국, 일본, 독일, 중국, 한국의 2012년부터 2020년까지의 토픽별 비중 변화이다.

전체 7,555개 특허 중 출원인이 미국 국적인 특허가 전체의 50%를 상회하는 만큼, 미국의 시점별 토픽 비중 변화 양상은 글로벌 트렌드와 매우 유사하다. 글로벌 트렌드와 마찬가지로 미국에서는 2018년 이후 데이터 처리 시스템 관련 기술(Topic 2)이 다른 기술 분야보다 월등히 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 또



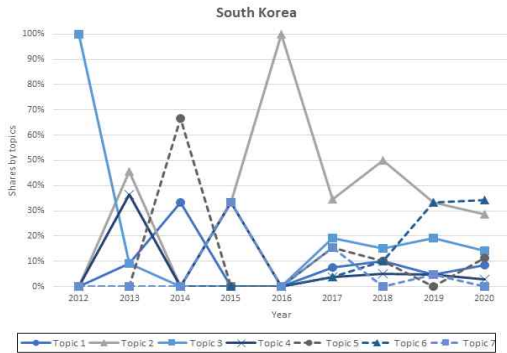


Fig. 4 Topic sizes by country

이 최근 3년 내에 크게 증가한 것과는 달리, 해당 기술 분야가 2013년 이후부터 30% 이상의 비중을 지속적으로 유지하는 경향을 보였다. 또한 2017년 이후부터 열·유체 관리 기술(Topic 6)과 적층 제조 기술(Topic 7)이 차지하는 비중이 증가하고 있다는 것도 독일의 특징이다. 측정 및 인식 기술(Topic 4) 분야는 2017년을 전후하여 높은 비중을 차지하였으며 시간에 흐름에 따라 해당 기술이 차지하는 비중의 편차가 다소 큰 것으로 나타났다. 또한 독일에서는 물질 제조·가공에 활용되는 반도체 기술(Topic 1)의 비중이 지속적으로 감소하고 있으며 2018년 이후부터는 7개 기술 분야 중 가장 낮은 비중을

Table 7 Main technology areas by country

Country	Top 1	Top 2	Top 3
US	Data processing system technology	Thermal/fluid management technology	Measurement and recognition technology
Japan	Data processing system technology	Measurement and recognition technology	Process management and control technology
Germany	Data processing system technology	Measurement and recognition technology, Thermal/fluid management technology, Additive manufacturing technology	
China	Data processing system technology	Process management and control technology	Additive manufacturing technology
South Korea	Thermal/fluid management technology	Data processing system technology	Process management and control technology

한 측정 및 인식 기술(Topic 4) 비중의 증가와 제조 모델링 기술(Topic 5) 비중의 감소가 미국의 최근 트렌드로 확인되었다. 일본의 경우, 2015년 이후 데이터 처리 시스템 관련 기술(Topic 2)과 공정 관리·제어 기술(Topic 3)의 비중이 점차 증가하는 추세를 보이는 반면, 적층 제조 기술(Topic 7)의 비중은 상당히 감소한 것으로 나타났다. 또한 열·유체 관리 기술(Topic 6)도 최근 3년간 상당한 감소세를 보이고 있는 것으로 분석되었다. 또한 가지 주목할 점은 2018년과 2019년에 출원이 없었던 측정 및 인식 기술(Topic 4) 분야가 2020년 급격한 상승세를 보였다는 점이다. 독일의 경우, 다른 국가들에서 데이터 처리 시스템 관련 기술(Topic 2)의 비중

차지하는 것이 확인되었다. 중국은 최근 들어 데이터 처리 시스템 관련 기술(Topic 2)과 공정 관리·제어 기술(Topic 3)의 비중이 증가한 것으로 나타났으며, 다른 국가들과 달리 적층 제조 기술(Topic 7) 개발의 비중이 상대적으로 높다는 특징을 가지고 있었다.

마지막으로 한국은 2016년 이후 데이터 처리 시스템 관련 기술(Topic 2)과 열·유체 관리 기술(Topic 6)의 비중이 이전에 비해 크게 증가한 것으로 나타났으며, 공정 관리·제어 기술(Topic 3) 분야에서도 상대적으로 활발한 기술 개발이 이루어지고 있는 것으로 보인다. 반면, 최근 들어 측정 및 인식 기술(Topic 4)과 적층 제조 기술(Topic 7)은 매우 작은 비중을 차지하고 있다.

이상의 결과는 2020년 각국의 기술 분야별 비중을 나타내는 Table 7을 통해서도 확인된다.

6. 결 론

본 연구는 스마트제조 관련 국내·외 특허 데이터와 토픽모델링 방법을 활용하여 스마트제조 관련 기술의 세부 영역을 식별하고 해당 영역에서 미국, 일본, 독일, 중국, 한국 등 주요국의 기술 개발 동향을 비교하였다. 스마트제조와 관련한 국내 기술적 수준을 평가하는데 있어서 기존의 연구들에서는 전문가들 대상의 설문조사 등 정성적인 방법을 활용하여, 선도국 대비 기술격차 등을 조사한다는 한계가 있다. 이에 반해 본 연구는 정량적인 근거에 의한 분석을 통해 증거 기반정책(evidence-based policy) 관점에서 객관적 자료를 제시하고 있다는 점에서 정책적으로 중요한 의미를 가진다. 뿐만 아니라, 본 연구는 특허 데이터에 텍스트마이닝 기법을 적용해 세부 기술영역을 식별하고 이에 기반하여 시점별·국가별 기술 역량을 평가할 수 있는 연구 방법론을 제안하였다는 측면에서도 의의가 있다. 본 연구에서 활용한 방법론은 다양한 분야로의 적용이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구의 주요 연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 특허 데이터를 통해 확인된 지난 25년간 스마트제조 관련 기술의 세부 영역은 크게 7개로 구분되는 것으로 나타났으며, 구체적으로 물질 제조·가공에 활용되는 반도체 기술, 데이터 처리 시스템 관련 기술, 공정 관리·제어 기술, 측정 및 인식 기술, 제조 모델링 기술, 열·유체 관리 기술, 적층 제조 기술이 여기에 해당한다. 둘째, 도출된 기술 분류 체계하에서 글로벌 관점의 스마트제조 기술개발 동향을 분석해보면, ‘물질 제조·가공에 활용되는 반도체 기술’은 시간의 흐름과 관계없이 꾸준히 높은 연구개발 비중을 보이는 것으로 나타났다. 최근에는 ‘데이터 처리 시스템 관련 기술’과 ‘열·유체 관리 기술’의 기술 개발 비중이 상당히 높아지고 있으며, ‘공정 관리·제어 기술’도 점차 개발이 활발해지는 것으로 나타났다. 셋째, 2020년을 기준으로 국가

별 기술 개발 동향을 비교하면, 스마트제조 분야에서 활발한 연구개발을 진행하고 있는 미국, 일본, 독일, 중국 모두에서 최근 ‘데이터 처리 시스템 관련 기술’의 비중이 가장 높은 반면, 한국은 ‘열·유체 관리 기술’과 관련한 특허의 출원이 가장 많은 것으로 나타났다. 또한 국가별 특징을 살펴보면, 일본과 독일은 ‘측정 및 인식 기술’에 대한 기술 개발이 상대적으로 활발한 상황이고, 중국과 독일은 ‘적층 제조 기술’의 비중이 다른 국가들에 비해 높은 상황이다.

이와 같은 분석 결과에 기반하여, 다음과 같은 우리나라의 스마트제조 기술 전략 도출이 가능하다. 첫째, 글로벌 관점에서 스마트제조와 관련한 ‘데이터 처리 시스템 관련 기술’ 분야에서 기술 경쟁이 치열한 상황이므로, 해당 분야에 대한 원천 기술 확보에 노력해야 할 것이다. 특히, 스마트제조의 전 과정에서 데이터의 활용성이 높아지고 있는 상황에서 ‘데이터 처리 시스템 관련 기술’은 스마트제조 분야에서 기반 기술의 성격을 가진다고 볼 수 있다. 따라서 각 국가가 주력하는 제조 산업 분야와 관계없이 ‘데이터 처리 시스템 관련 기술’은 제조 산업의 생산성과 경쟁력을 향상시키는 데에 필수 기술이 되므로 이에 대한 투자와 기술 확보가 중요하다. 둘째, 현재 우리나라가 여러 기술 분야 중 상대적인 강점을 가지고 있는 ‘열·유체 관리 기술’의 글로벌 경쟁력 확보에 중점 투자할 필요가 있다. 우리나라 전체 제조업 중 화학제품 분야의 비중이 크다는 점을 고려하면, 해당 분야에 주로 활용되는 ‘열·유체 관리 기술’의 기술 선점을 위한 우수한 기반은 확보하고 있다고 볼 수 있다. 즉, 기술 실증을 위한 인프라와 수요처도 확보된 상황인 것이다. ‘열·유체 관리 기술’ 분야와의 밀접도가 높으면서 국내의 대표적 주력산업 중 하나인 중화학 제조업과 연계한 스마트제조 관련 연구개발 및 관련 산업 육성 추진 전략을 통해 중점 투자가 이루어진다면 중화학 산업에서의 스마트제조와 관련한 글로벌 시장을 선도할 수 있으며 나아가 국내 제조업 전반의 경쟁력도 높일 수 있을 것으로 기대해볼 수 있다. 셋째, 3D 프린팅 기술로 일컫는 ‘적층 제조 기술’은 향후 제조의 패러다임을 완전히 바꿔놓

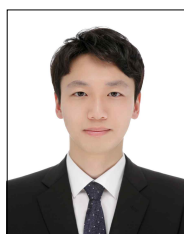
을 것으로 전망되고 있다. 즉, 개인 맞춤형 제조를 위한 다품종 대량생산의 기반 기술로서 주목 받는 기술로서, 반드시 확보해야 하는 기술이다. 최근 해당 기술 분야에서 독일과 중국이 상대적으로 경쟁력을 강화하고 있는 상황이기도 하나, 글로벌 관점에서는 아직 비중이 낮은 기술 분야이다. 따라서 우리나라도 해당 분야에서 기술 선점의 기회가 남아 있다고 판단되므로, 이에 대한 대비와 투자가 필요하다.

본 연구에서는 첨단 융복합 기술 및 산업 분야인 스마트제조 분야를 대상으로 토픽모델링 분석을 적용하였다. 융합 분야이기 때문에 다양한 기술들이 관련 분야에 적용되고 있으며, 최신 기술적 동향에 대한 IPC 분류가 제한적이라는 한계가 존재하였다. 이는 신기술이 산업적으로 성숙해나가는 과정에서의 일반적인 경향이긴 하나, 분석의 명료성에 있어서는 한계로 작용할 수밖에 없었다. 스마트제조 기술 발전 추세에 따라 그 범위에 대한 후속 연구가 중요한 의미를 가질 것이다. 뿐만 아니라, 구조적 토픽 모델링(structural topic modeling) 등 발전된 토픽 분석 방법을 활용하여 메타데이터와 토픽 간의 관계를 확인하는 것도 의미 있는 추후 연구 주제가 될 것이다.

References

- Blei, D. M., Ng, A. Y., and Jordan, M. I. (2003). Latent Dirichlet Allocation, *The Journal of Machine Learning Research*, 3, 993-1022.
- Chae, H. K., Lee, G. H., and Lee, J. Y. (2021). Analysis of Domestic and Foreign Financial Security Research Activities and Trends through Topic Modeling Analysis, *Journal of the Korea Society Industrial Information System*, 26(1), 83-95. <https://doi.org/10.9723/jksis.2021.26.1.083>
- Cho, E., and Chang, T.-W. (2020). Patent Analysis on 5G Technology Trends from the Perspective of Smart Factory, *The Journal of Society for e-Business Studies*, 25(3), 95-108. <https://doi.org/10.7838/jsebs.2020.25.3.095>
- Choi, H., and Shim, D. (2020). Analysis of Korean ICT Convergence Trend using Text Mining Methodology, *Innovation Studies*, 15(3), 257-281.
- Electronics and Telecommunications Research Institute. (2015). "Smart Manufacturing Technology and Standards", *ETRI Insight 2018-01*, Daejeon, Electronics and Telecommunications Research Institute.
- Electronics and Telecommunications Research Institute. (2021). *ICT Convergence Standard Framework - Smart Manufacturing and Digital Twin*, Daejeon, Electronics and Telecommunications Research Institute.
- Jeong, B., Kim, J., and Yoon, J. (2016). A Semantic Patent Analysis Approach to Identifying Trends of Convergence Technology: Application of Topic Modeling and Cross-impact Analysis, *Intellectual Property Review*, 11(4), 211-240.
- Jung, E.-M. et al. (2019). *Korean Smart Manufacturing Strategy*, Sejong. Korea Institute for Industrial Economics and Trade.
- Kim, S., Song, M., Oh, Y., Hong, J.-I., Jung, H., Jin, W., Lee, J., Kim, M. S., Park, J., Lee, J. Y., Lee, D., Kim, J., and Jung A. R. (2021). *Korea SME and Entrepreneurship policy responses to COVID-19*, Sejong. Science and Technology Policy Institute.
- Korean Agency for Technology and Standards. (2015). *Smart Factory Technology and Standardization Trend*, Eumseong-gun. Korean Agency for Technology and Standards.
- Korea Institute of Science and Technology Evaluation and Planning. (2020). *Preliminary Feasibility Study of R&D Project for Smart Manufacturing Innovation*, Eumseong-gun. Korea Institute of Science and Technology

- Evaluation and Planning.
- Lee, K., and Lee, G. (2015). Introduction to smart factory R&D roadmap, *KEIT PD Issue Report*, 15(11), 13-27.
- Lee, T. (2020). A Study on Analysis of Topic Modeling using Customer Reviews based on Sharing Economy: Focusing on Sharing Parking, *Journal of the Korea Society Industrial Information System*, 25(3), 39-51. <https://doi.org/10.9723/jksii.2020.25.3.039>
- Lee, S., Lee, S., and Seol, H. (2021). Research on the type of technology convergence in the medical device industry based on topic modeling and citation analysis, *Journal of the Korea Convergence Society*, 12(7), 207-220. <https://doi.org/10.15207/JKCS.2021.12.7.207>
- Nam, D., and Choi, G. (2018). Technology Trend Analysis in the Automotive Semiconductor Industry using Topic Model and Patent Analysis, *Journal of Korea Technology Innovation Society*, 21(3), 1155-1178.
- Oh, Y., Park, C., Baek, S., Kim, I., Koo, Y., and Yoon, H. I. (2021). *Research of the Smart Production by Operating the Open Innovation Lab (2nd Year)*, Sejong. Science and Technology Policy Institute.
- Oh, Y. (2022). *Policy Recommendations for Supporting Digital Transformation of Small and Medium-sized Enterprises based on Smart Manufacturing Test-bed*, STEPI Insight, 288. Sejong. Science and Technology Policy Institute.
- Park, J. S., Hong, S., and Kim, J. W. (2017). A Study on Science Technology Trend and Prediction Using Topic Modeling, *Journal of the Korea Society Industrial Information System*, 22(4), 19-28. <https://doi.org/10.9723/jksii.2017.22.4.019>
- Park, C., Oh, Y., Kim, I., and Koo, Y. (2020). *Research of the Smart Production by Operating the Open Innovation Lab (1st Year)*. Sejong. Science and Technology Policy Institute.
- Roder, M., Both, A., and Hinneburg, A. (2015). Exploring the space of topic coherence measures, *In Proceedings of the eighth ACM International Conference on Web Search and Data Mining*, 399-408. <https://doi.org/10.1145/2684822.2685324>
- Woo, C. W., and Lee, J. Y. (2020). Investigation of Research Topic and Trends of National ICT Research-Development Using the LDA Model, *Journal of the Korea Convergence Society*, 11(7), 9-18. <https://doi.org/10.15207/JKCS.2020.11.7.009>
- Yang, M., Lee, S., Park, K., Choi, K., and Kim, T. (2021). A Study on Analysis of national R&D research trends for Artificial Intelligence using LDA topic modeling. *Journal of Internet Computing and Services*, 22(5), 47-55. <https://doi.org/10.7472/jksii.2021.22.5.47>



오 윤 환 (Yoonhwan Oh)

- 정회원
- 서울대학교 기술경영경제정책대학원 협동과정 공학박사
- (현재) 과학기술정책연구원 미래사회연구단장



문 형 빈 (HyungBin Moon)

- 정회원
- 서울대학교 기술경영경제정책대학원 협동과정 공학박사
- (현재) 부경대학교 데이터정보과학부 빅데이터융합전공 조교수

- 관심분야: 기술예측, 계량분석, 머신러닝