

4차 산업혁명 제조업 혁신을 위한 글로벌 R&D 과제 트렌드 분석 연구

Analysis of Global Project Trends for the Industry 4.0 Manufacturing Innovation

정윤모¹, 박혜진², 허요섭^{3*}

Yoonmo Cheong¹, Hyejin Park², Yoseob Heo^{3*}

〈Abstract〉

One of the core pillars of the Fourth Industrial Revolution is the innovation of the manufacturing industry. From the beginning, the 4th Industrial Revolution appeared in Germany under the concept of 'Industrial 4.0', which means a radical change in the manufacturing industry that can provide super intelligent product production and services based on artificial intelligence and big data. Since manufacturing innovation is a change in the industrial character of the entire nation, the initial role of government is important. Korea also has various policies related to the 4th Industrial Revolution, but there are still various problems to be solved. Therefore, this paper monitors and analyzes the public R&D projects of the advanced countries on manufacturing innovations in the background mentioned above, and through this, the policy implications are drawn.

Keywords : ndustry 4.0, R&D project data, R&D trend, Manufacturing

1 제1저자, 고려대학교 과학기술학 박사수료
E-mail: yoonquite@naver.com
소상공인시장진흥공단 정보화전략실 실장
前)한국정보화진흥원, 한국국제협력단, 한국조세재정연구원
2 제2저자, 한국직업능력개발원 동향·데이터분석센터
E-mail: jeane@hanmail.net
3* 교신저자, 과학기술연합대학원대학교(UST), 과학기술경
영정책학 박사, E-mail: light107@naver.com

1 Small Enterprise and Market service Informatio Strategy
General Manger
2 Korea Research Institute for Vocational Education Trends
and Data Analysis Center
3* University of Science&Technology Doctor

1. 서론

2016년 클라우스 슈밥(Klaus Schwab)이 스위스의 다보스 포럼에서 4차 산업혁명 시대의 본격적인 도래에 대해 선언하며, 이로 인해 경제, 사회, 산업 구조의 전반과 그 체질이 근본적이고 혁신적으로 바뀔 것을 예고하였다[1]. 우리나라 정부 역시 새로운 미래 먹거리 발굴과 일자리 창출을 핵심 목표로 지정하여 혁신 성장을 통한 4차 산업혁명 대응 전략을 수립해나가고 있다[2].

4차 산업혁명에서 가장 핵심을 이루는 하나의 축은 제조업의 혁신을 꼽을 수 있을 것이다. 초기부터 4차 산업혁명은 독일에서 ‘인더스트리 4.0(Industry 4.0)’이란 개념으로 등장했으며[3], 이는 인공지능과 빅데이터를 바탕으로 초지능적인 제품 생산과 서비스를 제공할 수 있는 획기적인 제조업 전반의 변화를 의미한다[4]. 이러한 획기적인 변화의 저변에는 인더스트리 4.0이 기존의 3차 산업혁명과 다르게 가지는 획기적인 차별점이 존재한다. Lasi et al.[5]은 인더스트리 4.0(Industry 4.0)을 크게 적용 견인(application-pull)과 기술 주도(technology-push)의 두 가지 측면에서 개념화했다. 적용 견인(application-pull)이란 사회, 경제, 정치 등의 외부 상황과 조건들에 따라 함께 변화한 시장과 고객의 요구(needs)의 관점에서 인더스트리 4.0의 특성을 설명하는 관점이다. 기술 주도(technology-push)의 관점은 비약적인 기술의 발전이 제조업의 변화를 이끌어냈다는 것이다. 두 관점에 해당하는 인더스트리 4.0 개념의 특징에 대한 세부 사항들은 <Table 1>에 정리해 두었다.

4차 산업혁명에 따른 제조업 혁신은 국가 전체의 산업적 성격을 바꾸는 일이기 때문에 초기에는 정부의 역할이 중요하다. 중국에는 시장의 플레이

Table 1. The extensive approaches of the perspectives of application-pull and technology-push

적용 견인(application-pull)
<ul style="list-style-type: none"> • 개발 기간 단축 (short development periods) • 수요의 개인화 (individualization on demand) • 생산의 유연성 (flexibility) • 생산과 수요의 탈중앙화 (decentralization) • 자원 효율성 강조 (resource efficiency)
기술 주도(technology-push)
<ul style="list-style-type: none"> • 향상된 기계화 및 자동화 (Further increasing mechanization and automation) • 디지털화와 네트워킹 (Digitalization and networking) • 소형화 (Miniaturization)

어에 해당하는 민간이 주도로 혁신을 해나가야겠지만, 변화하는 환경 속에서 초기 생태계 구축을 시장의 자율성에 맡긴다면 오히려 시장의 양극화를 심화시키는 등의 다양한 부작용을 나올 수도 있다. 또한 중국이나 동남아시아의 국가들과 같은 신흥 제조업 강국들의 등장으로 인해 전 세계적인 제조업 경쟁 심화가 나타나고 있고, 전통적으로 우리나라가 우세하던 지역기반 주력 제조업 분야인 조선과 자동차 산업이 쇠퇴하면서 복합적인 경제문제를 야기하고 있는 지금, 제조업 혁신에 있어서 국가의 참여는 선택이 아닌 필수가 된 시점이라 할 수 있다[6].

실제로 우리나라에서는 이러한 상황에 발맞춰 4차 산업에 대응한 다양한 정책을 펼치고 있다. 2017년 11월에는 산업혁신, 사회문제 해결, 신산업 일자리 창출을 주요 골자로 하는 「4차 산업혁명 대응계획」을 발표하였고, 1) 현재 대통령 직속의 ‘4차 산업혁명 위원회’가 운영되며 4차 산업혁명에 대한 종합적인 국가전략과 액션플랜을 강구하고 있다. 그럼에도 불구하고 세계적인 경제 불황

1) 4차 산업혁명위원회 및 관계부처 합동(2017. 11), “4차 산업혁명 대응계획”

으로 인한 장기적인 불확실성의 증가, 중국의 거센 추격, 전통 산업의 반발, 여러 가지 규제에 인한 제약사항, 전문인력 부족, 4차 산업생태계 조성 미흡 등의 문제는 여전히 남아있는 것이 사실이다.

따라서 본 논문에서는 앞서 언급한 배경 속에서 4차 산업혁명에 따른 제조업 혁신에 대한 선진국들의 공공 차원에서의 R&D 과제들을 모니터링하고 분석하여, 선도적으로 4차 산업혁명에 대비한 국가들에 대한 정보 분석을 통해 정책적 함의를 도출하고자 한다. 이러한 R&D 모니터링 및 분석은 과학기술정책의 과학화(Science of Science Policy) 관점에서 그 자체로 유의미하다고 볼 수 있다. 과학기술 정책의 과학화는 증거기반의 과학기술정책이라는 기치 아래 미국에서 시작된 정책 방향으로 보다 객관적이고 과학적인 과학기술 정책 수립을 위해 도입되었다. 실제로 미국의 과학과 공학 분야의 정부 지원금의 집행하는 미국국립과학재단(NSF)에서 운영하는 프로그램인 Science of Science and Innovation Policy(SciSIP)의 3가지 주요 목표를 보면 다음과 같다 [7].

- (1) 증거 기반의 과학 및 혁신 정책 의사 결정(advancing evidence-based science and innovation policy decision-making)
- (2) 과학 및 혁신 정책을 연구하기 위한 과학 커뮤니티 구축(building a scientific community to study science and innovation policy)
- (3) 다른 국가들의 경험을 활용(leveraging the experience of other countries)

즉, 미국에서도 과학기술 정책 수립 시에 기본적으로 다른 국가들의 R&D를 모니터링하고 분석하여 벤치마킹하고, 이를 증거로 정책에 반영하여

활용한다는 것이다.

R&D 모니터링 시, 활용할 수 있는 데이터 중 본 논문에서는 주요 선진국들이 공개하고 있는 공공 R&D 과제 데이터를 활용하였다. 논문은 학술적인 의미가 강하고 특히는 산업적인 의미가 강하기 때문에 국가 주도의 4차 산업혁명 대응 정책을 살펴보기에는 한계가 있을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 국가가 다양한 연구기관에 발주한 공공 R&D 프로젝트 데이터를 기반으로 기반으로 과학계량적분석(scientometrics)을 통해 4차 산업혁명에 대응하여 주요 선진국들이 제조업 혁신을 위해 수행하고 있는 R&D 트렌드를 분석하고 정책적인 함의를 분석해보았다.

2. 데이터 수집 및 연구방법론

본 연구에서 사용한 데이터는 주요 선진국들이 공개하고 있는 공공 R&D 과제 정보로, 미국과 EU의 데이터를 활용하였다. 미국의 경우 연방 R&D 데이터를 수집하는 STAR METRICS®²⁾로부터, EU는 CORDIS(Community Research & Development Information Service)³⁾로부터 데이터를 수집하였다. “Industry 4.0”이라는 키워드가 과제의 제목이나 초록에 포함된 과제들만 수집하였으며, 과제시작년도의 범위는 2012년~2017년, 과제종료년도의 범위는 2013년~2022년이다. 총 76건의 과제가 검색되었으며, 미국의 STAR METRICS®로부터는 26건, CORDIS로부터는 47건의 데이터가 검색되었다.

이러한 과제 정보를 바탕으로, 각각의 과제 정보로부터 자연어처리(NLP, natural language process)를 통해 키워드를 추출하였고, 추출한 키

2) <https://www.starmetrics.nih.gov/>

3) <http://cordis.europa.eu/>

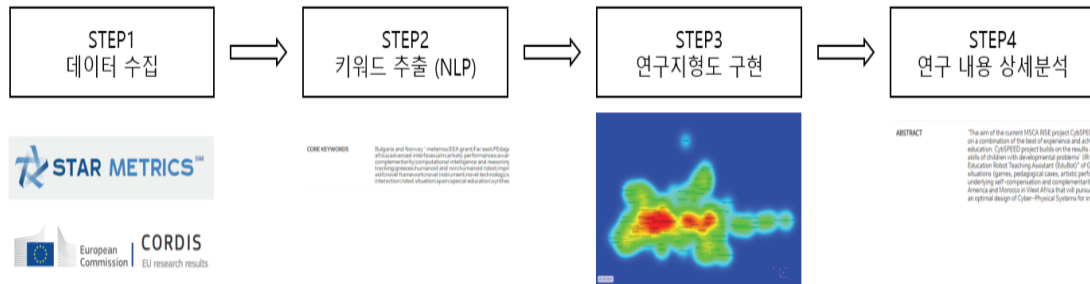


Fig. 1 Research framework for scientometric analysis of global R&D projects concerning 'Industry 4.0'

워드클라우드를 바탕으로 연구지형도를 구현하여 지형학적인 분석을 수행하였다. 이를 통해서 전반적인 연구주제들을 확인하였다. 연구지형도를 구현함에 있어서 활용된 소프트웨어는 VOSviewer 시스템(Leiden University, the Netherlands, ver. 1.6.12)이고, 연구지형도 구현의 수학적 알고리즘은 Van Eck and Waltman[8]의 연구에서 확인할 수 있다.

또한 연구지형도 구현 후 나타난 연구 주제들에 대하여 실제 R&D 과제들 중 대표적인 과제들의 내용을 살펴본다면 보다 세부적인 정책적 함의를 도출할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 인더스트리 4.0의 핵심적인 주제에 따른 선진국들의 R&D 과제의 핵심적인 내용들을 정성적으로 살펴보았다. 전체적인 연구 프레임워크는 단계별로 <Fig. 1>에 나타내었다.

3. 인더스트리 4.0 관련 R&D 과제 연구지형도 분석 결과

인더스트리 4.0 관련 미국과 EU의 R&D 과제에 대한 키워드 기반의 연구지형도를 구현한 결과는 <Fig. 2>와 같다. 연구지형도에서 x축과 y축은 연구내용과 협력강도에 의해 키워드가 배치되며,

z축은 정보발생빈도, 즉 키워드 발생빈도를 의미하고 이는 지형도 상에서 키워드의 크기와 지형색의 진한 정도로 나타난다. 다시 말해, 지형도 상에서 가까이 위치한 키워드일수록 하나의 주제, 혹은 군집으로 묶일 가능성이 높은 키워드임을 의미하며, 키워드 강도가 클수록 핵심적인 주제 혹은 많이 연구되고 있는 연구주제임을 의미할 가능성이 높다.

<Fig. 2>에 나타난 바와 같이 연구지형도를 바탕으로 인더스트리 4.0의 연구 주제 군집을 분류할 수 있었다. 연구 주제 군집 분류는 Lasi et al.[5]의 연구를 근거로 분류하였다. 총 7개의 연구 주제로 분류하였으며, 연구 주제와, 각 주제로 분류하게 된 근거가 된 키워드는 <Table 2>에 정리해두었다.

키워드의 강도로 비교해보았을 때, 다른 분야에 비해 비교적 연구가 활발하게 진행되고 있는 분야는 연구지형도의 중앙에 위치한 스마트 팩토리(A), 사이버 피지컬 시스템(B), 제품과 서비스 개발의 새로운 시스템(E), 수요에 대한 대응(F)이 있으며, 그 중에서도 스마트 팩토리(A)와 제품과 서비스 개발의 새로운 시스템(E)은 높은 키워드 강도뿐만 아니라 키워드의 스펙트럼이 넓은 것을 확인할 수 있었다.

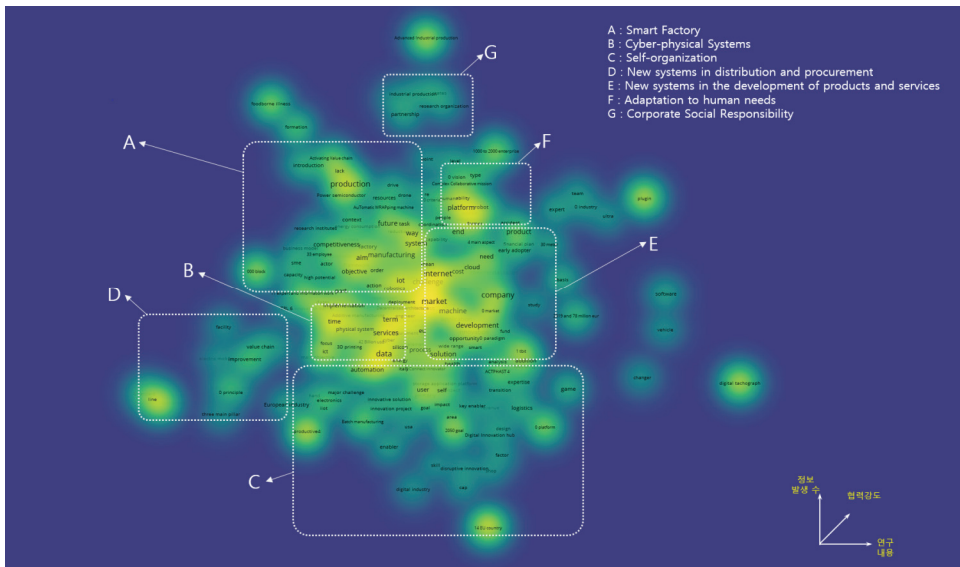


Fig. 2 Research topographic map of global R&D projects concerning 'Industry 4.0'

Table 2. Research topics of global R&D projects concerning 'Industry 4.0'

군집	주제	근거 키워드
A	Smart Factory	manufacturing, IOT, robotics, production, system, activating value chain, energy consumption, etc.
B	Cyber-physical Systems	physical system, cyber, ICT, data, etc.
C	Self-organization	automation, self, user, innovative solution, design, etc.
D	New systems in distribution and procurement	value chain, facility, line, improvement, etc.
E	New systems in the development of products and services	development, cloud, commercialization, financial plan, market, etc.
F	Adaptation to human needs	human, early adaptor, platform, etc.
G	Corporate Social Responsibility	partnership, society, organization, etc.

4. 인더스트리 4.0 관련 R&D 과제 분석

각 주제별로 일부 대표적인 세부 R&D 과제 제목을 <Table 3>에 나타내었다. 우선 미국과 EU의 경우 4차 산업혁명에 대한 공공 R&D 과제가 대부분 중소기업(SME, Small and Medium Enterprise) 중심으로 나타나고 있는 것을 일단 확인할 수 있다. 각 주제별 주요 과제들의 내용

들을 살펴보면, 스마트 팩토리(A)의 경우 포그 컴퓨팅(fog computing), 인지 자동화(cognitive automation), 로봇틱스(robotics), 인라인 모니터링 및 검사(inline monitoring and inspection) 등의 첨단 기술이 활용된 첨단 스마트 공장에 대한 과제 내용이 다수를 차지하고 있었고, 특히 제조와 유통을 통합하거나, 신속하고 유연한 제조가 가능한 공장 형태를 지향하는 과제들이 주를 이루고 있었다.

사이버 피지컬 시스템(B)의 경우, 사실 스마트 팩토리와 따로 떼어놓고 보기는 어려운 측면이 있었다. 많은 과제들이 겹치기도 하였다. 증강현실(Augmented reality, AR)을 적용한 형태의 과제 도 존재하였고, 공장의 전체적인 유지보수에 대한

과정에 적용하는 과제역시 다수를 차지하였다. 셀프 오가니제이션(C)의 R&D 과제들의 경우, 탈중앙화(decentralization)가 핵심적인 키워드로, 제조의 탈중앙화를 위한 로봇이나 전기-기계 시스템의 활용에 대한 과제들이 다수를 차지했다.

Table 3. The specific global R&D projects concerning 'Industry 4.0' by the research topics

군집	주제	주요 과제 제목(title)
A	Smart Factory	<ul style="list-style-type: none"> • Efficient Material Hybridization by Unconventional Layup and Forming of Metals and Composites for Fabrication of Multifunctional Structures • Fog Computing for Robotics and Industrial Automation • Smart Manufacturing and Resources for Transforming the Future • Collaboration Network for Industry, Manufacturing, Business and Logistics in Europe • Internet 4.0 based Manufacturing Execution System for the SME sector • Integral Open Technology for Industry 4.0 • Cloud-based Rapid Elastic MANufacturing
B	Cyber-physical Systems	<ul style="list-style-type: none"> • Augmented Reality and Indoor Navigation for Enhanced ASSEMBLY • Next Generation Holistic Predictive Maintenance Software • Bringing to market an open source CFD framework as a fully automated simulation service with high performance computing cloud-based access
C	Self-organization	<ul style="list-style-type: none"> • Achieving Complex Collaborative Missions via Decentralized Control and Coordination of Interacting Robots • X5 bitworker-The Copying System for the Internet of Things and Industry 4.0 • New electro-mechanic access system with dematerialized keys for residential market
D	New systems in distribution and procurement	<ul style="list-style-type: none"> • Logistics for Manufacturing SMEs • Machine learning for Advanced Gas turbine Injection Systems to Enhance combustor performance. • Industry 4.0 for SMEs-Smart Manufacturing and Logistics for SMEs in an X-to-order and Mass Customization Environment • Collaboration Network for Industry, Manufacturing, Business and Logistics in Europe
E	New systems in the development of products and services	<ul style="list-style-type: none"> • Research and Innovation Centre on Advanced Industrial Production • Innovative drone-based solution for agriculture • Developing the EFAS Smart Services Initiative to introduce a game-changer in the digital tachograph market
F	Adaptation to human needs	<ul style="list-style-type: none"> • Flexible and Autonomous Manufacturing Systems for Custom-Designed Products • Cloud-based Rapid Elastic MANufacturing • Industry 4.0 for SMEs - Smart Manufacturing and Logistics for SMEs in an X-to-order and Mass Customization Environment
G	Corporate Social Responsibility	<ul style="list-style-type: none"> • DIGITAL MATERIALS Characterisation proof-of-process auto assembly

연구주제 D의 경우 새로운 유통 및 조달에 대한 내용으로, 주로 유통망 확보가 어려운 중소기업들을 위한 획기적인 형태의 유통 환경 구축에 관한 과제들이었다. 특히 드론이나 개인항공기를 활용한 항공 운송시대를 대비한 가스 터빈 연소 시스템을 개발하는 과제가 눈에 띄었다.

연구주제 E는 제품과 서비스를 개발하는 새로운 시스템에 관한 연구들로 농업, 의료, 에너지 등 다양한 분야의 연구과제들이 광범위하게 존재하였다.

수요에 대한 대응(F)에 관한 연구주제는 주로 수요자 개인 맞춤형 제품 생산체계에 관한 연구가 다수를 차지했고, 연구주제 G는 주로 탄소 배출 저감, 기후변화 대응과 같은 환경문제에 대응하는 연구주제들이 다수를 차지했다.

5. 결론

본 연구는 미국과 EU의 공공 R&D 프로젝트 데이터를 기반으로 인더스트리 4.0과 관련된 과제들을 분석하여 4차 산업혁명에 대응하는 선진국들의 정책적 방향을 탐구하였다.

우선 기존에 과학계량학적 방법에서 많이 활용되는 논문이나 특허 대신 공공 R&D 프로젝트 데이터를 가공하여 활용하였다는 점이 본 논문의 방법론상의 차별점이라 할 수 있다. 또한 이러한 R&D 프로젝트를 바탕으로 키워드 중심의 거시적 관점에서의 연구주제를 분석하고, 개별 과제들 중심의 미시적 분석을 동시에 진행함으로써 분석의 정합성을 담보하고자 하였다.

국가적으로 제조업 위기까지 거론되고 있는 가운데, 4차 산업혁명에 따른 제조업 혁신 정책은 위기 극복의 기회가 될 수 있을 것이다. 그리고 4차 산업혁명에 따른 제조업 정책을 기획하고 수립할 때에는 가능한 다양한 데이터를 수집 및 분석

하고, 다양한 의견을 수렴하는 것이 중요할 것이다. 본 연구는 이러한 맥락에서 증거기반의 과학기술정책 수립의 일환으로 과학계량학적 분석을 활용했다는 점에서 의의가 있다. 이러한 방법은 실제 4차 산업혁명 대응 제조업 관련 R&D 정책을 수립하고 기획하는 데에 근거를 제시해줄 수 있다. 따라서 과학기술 정책 수립의 강력한 도구가 될 수 있는 실무적 가치를 지닐 수 있다는 점에서 유의미하다고 볼 수 있다.

참고문헌

- [1] Schwab, K. "The Fourth Industrial Revolution", World Economy Forum, (2016).
- [2] 강호제, 류승한, 서연미, 표한형, "4차 산업혁명 시대의 혁신성장기업을 위한 입지정책방안," 국토정책Brief, 722, (2019).
- [3] Stock, T., Seliger, G. "Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0," Procedia Cirp, 40, pp. 536-541, (2016).
- [4] 정민희, 유성진, "4차 산업혁명 시대의 사운드 인터넷 산업 발전전략에 관한 연구: 기업측면의 비즈니스 모델혁신 방향을 중심으로," 25(2), pp. 57-75, (2019).
- [5] Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.G., Feld, T., Hoffman, M., "Industry 4.0," Business Information Systems Engineering, 6(4), pp. 239-242, (2014).
- [6] 장은교, "제조업 위기극복을 위한 혁신생태계 조성방안 미국제조혁신연구소 사례를 중심으로," 국토정책Brief, 697, (2019).
- [7] Lane, J., "The Science of Science Policy: Opportunities and Responsibilities for Statisticians," Science Policy News, Amstat News, (2009).
- [8] Van Eck, N.J., Waltman, L. "Visualizing bibliometric networks," In Y. Ding, R. Rousseau, D. Wolfram (Eds.), "Measuring scholarly impact: Methods and practice," (pp. 285-320). Springer, (2014).

(접수: 2019.06.07. 수정: 2019.09.09. 게재확정: 2019.09.09.)