

# 4차 산업혁명 차세대 생산혁신 기술 탐색: 키워드 네트워크를 중심으로

이수철<sup>1</sup>, 고미현<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>목포대학교 경영학과 조교수, <sup>2</sup>한국과학기술정보연구원 연구전략센터 선임연구원

## Exploring the Key Technologies on Next Production Innovation

Suchul Lee<sup>1</sup>, Mihyun Ko<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, Department of Business Administration, Mokpo National University

<sup>2</sup>Senior researcher, R&D Strategy Center, Korea Institute of Science and Technology Information

요 약 본 연구는 4차 산업혁명으로 불리는 생산 패러다임 변화에 선도적으로 대응하기 위해 차세대 생산혁신 기술을 증거 기반 키워드 네트워크를 통해 분석하는 것을 목적으로 한다. 분석을 위해 차세대 생산혁신 기술과 관련한 총 441건의 논문 데이터를 추출하였고, 이 논문들의 저자 키워드 동시 등장 관계를 기반으로 차세대 생산혁신 기술 네트워크를 구축하였다. 구축된 기술 네트워크를 바탕으로 중심성 및 키워드 그룹 분석을 통해 주요 기술을 탐색하였다. 그 결과 'digital twin', 'modeling and simulation' 등 가상세계와 물리세계를 실시간으로 완벽하게 연결하여 인사이트를 발견하고, 이를 설계 및 공정에 반영하는 기술들이 주요 기술로 분석되었다. 이러한 결과는 관련 산업 내에서 4차 산업혁명으로 인한 변화를 대비하는 기업들에게 의미 있는 정보를 줄 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 : 4차 산업혁명; 차세대 생산혁신; 차세대 생산혁명; 차세대 제조혁신; 키워드 네트워크

**Abstract** This study aims to analyze Next Production Revolution (NPR) technologies through evidence-based keyword network in order to cope with the change of production paradigm called the Fourth Industrial Revolution (4IR). For the analysis, a total of 441 papers related to NPR or 4IR were extracted and the NPR technology network was constructed based on the simultaneous appearance relationship of the author keywords of these papers. Based on the NPR technology network, we explored key technologies through analysis of centrality and keyword group. As a result, technologies such as 'digital twin' and 'modeling and simulation', discovering insights by connecting the virtual and physical world in real time and reflecting them into design and process, are analyzed as key technologies.

**Key Words** : forth industrial revolution; next production innovation; next production revolution; next manufacturing revolution; co-word network; keyword network

### 1. 서론

최근에 들어 '4차 산업혁명(forth industrial revolution)'

의 개념이 급부상하면서 관련 정책 수립 및 연구의 필요성이 증대되고 있다. 4차 산업혁명이란 과거 노동력 및 자동화 중심의 단순 제조가 아닌 지능화와 스마트화 기

\*This Research was supported by Research Funds of Mokpo National University in 2017.

\*Corresponding Author : Mihyun Ko (mihyungo@kisti.re.kr)

Received July 16, 2018

Accepted September 20, 2018

Revised August 16, 2018

Published September 28, 2018

반 첨단 제조화를 통한 새로운 산업혁명을 의미하는 개념이다[1]. 이러한 개념은 2016년 WEF (The World Economic Forum), OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) 프로젝트 등에서 논의가 되기 시작하면서 빠른 속도로 변화가 진행되고 있다. 이와 같은 첨단 제조화 기반 새로운 산업혁명은 4차 산업혁명이라는 용어 외에도 차세대 생산혁명, 차세대 제조혁명, 인더스트리 4.0 등의 용어로 논의되고 있는데, 이는 4차 산업혁명이 ICBM (Internet of Things (IoT), Cloud, Big data, Mobile)으로 대표되는 ICT (Information and Communication Technology)와 제조업이 융합됨으로써 새로운 혁신이 일어난다고 보기 때문이다. 따라서 4차 산업혁명은 제조업 혁신의 개념이며, 차세대 생산기술 혁신과 밀접한 관계를 가진다.

이와 같은 관점에서 주요 선진국들은 4차 산업혁명으로 대표되는 변화를 선도하고 적응하기 위한 다양한 정책을 수립하여 시행하고 있다. 예를 들어 전통적인 제조강국인 독일의 경우, 기존의 제조분야 패권을 유지하기 위해 새로운 생산 구조를 인더스트리 4.0(Industrie 4.0) 프로젝트를 통해 정책적으로 보급하고 있다. 인더스트리 4.0은 4차 산업혁명을 위한 가장 주목할 만한 혁신을 ‘제조업 혁신’으로 바라보고 있으며[2], 어떠한 특정 기술을 지칭하는 것이 아닌 제조업 패러다임 변화를 통칭한다[3, 4]. 또한, 영국은 차세대 제조혁명(NMR, Next Manufacturing Revolution) 프로그램을 진행 중에 있는데, 이 프로그램은 제조 기업들의 수익과 고용 및 지속가능성을 실현하는 것을 목적으로 하여 비노동자원 생산성에 초점을 두고 있는 제조혁명을 의미한다[5]. 뿐만 아니라 OECD에서는 융복합 첨단기술(사물인터넷, 3D 프린팅, 산업 바이오 및 나노기술 등)의 발전으로 기존의 생산방식을 근본적으로 바꾸게 될 새로운 환경을 위해 차세대 생산 혁명(NPR, Next Production Revolution)에 관한 프로젝트에 착수하기도 하였다[6].

이처럼 주요 선진국에서는 4차 산업혁명으로 대표되는 생산혁신에 대해 선도적으로 대비하고 있으나, 아직까지 우리나라에서는 이러한 주요 선진국의 논의를 바탕으로 옮기는 수준에 그치고 있으며[1], 관련 연구도 부족한 실정이다. 특히, 차세대 생산혁명 기술에 대해 논하는 대부분의 선행연구들은 4차 산업혁명 시대에 유망할 것으로 여겨지는 기술을 정성적 관점에서 제시하는 것에 그치고 있다. 따라서 본 연구에서는 4차 산업혁명 시대를

대비하기 위해 차세대 생산혁신 기술을 증거기반 키워드 네트워크를 통해 분석하여 관련 시사점 및 향후 연구기반 자료를 제공하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 4차 산업혁명 및 생산혁신의 개념에 대해 고찰하고, 차세대 생산혁신 기술 분석과 관련한 선행연구를 검토한다. 3장에서는 본 연구의 연구절차 및 방법론을 소개하고, 4장에서는 차세대 생산혁신 기술 분석을 수행한다. 마지막으로 결론에서는 분석 결과를 바탕으로 논의 사항 및 시사점을 제시한다.

## 2. 선행 연구

### 2.1 4차 산업혁명과 생산혁신

2016년 WEF에서 ‘4차 산업혁명의 이해(Mastering the Fourth Industrial Revolution)’를 주요 의제로 선정하면서 4차 산업혁명에 대한 전 세계적 관심을 촉발시켰다. 당시 WEF의 설립자이자 의장인 클라우스 슈밥(Klaus Schwab)은 4차 산업혁명이 기하급수적인 진행 속도(velocity), 범위와 깊이(breadth and depth), 파급력(system impact) 측면에서 이전의 3차례의 산업혁명과는 차별화된다고 주장하면서 그 중요성을 강조하였다[7].

4차 산업혁명에 대한 실체와 개념적 논란이 있기는 하지만, 1차 산업혁명을 18세기 후반 증기기관의 발명으로 촉발된 초기 자동화의 시작으로, 2차 산업혁명을 전기에너지와 자동화를 통한 본격적인 대량생산 체제의 발전으로, 이후 20세기 후반 전기 장치와 정보기술, 인터넷이 개발되며 이른바 ICT 시대의 서막을 알렸던 3차 산업혁명에 이어, 인공지능과 빅데이터 등 새로운 기술의 등장과 기술적 혁신의 가속화로 또 다른 산업혁명인 4차 산업혁명의 시대가 도래하였다고 보는 것이 일반적이다. 제일 먼저 4차 산업혁명이라는 화두를 던진 WEF의 ‘The Future of Jobs’ 보고서에서는 4차 산업혁명을 ‘디지털 혁명(3차 산업혁명)에 기반하여 물리적 공간, 디지털적 공간 및 생물학적 공간의 경계가 희석되는 기술융합의 시대’로 정의하였고[8], 3차 산업혁명에서 축적된 ICT에 기술의 융복합화와 지능화가 더해져 4차 산업혁명을 주도할 것으로 예상하였다. 또한, Bloem et al. [9]은 4차 산업혁명을 IT (Information Technology)와 OT (Operational Technology)와의 결합으로 정의하였고,

Morgan [10]은 실제 세계(real world)와 기술 세계(technological world)의 구분을 모호하게 만드는 개념으로 정의하였는데 이는 현재 4차 산업혁명에서 주요 개념으로 다루어지고 있는 CPS (Cyber-Physical Systems)와 그 맥락을 같이 한다.

사실 슈밤의 4차 산업혁명론 등 4차 산업혁명의 개념은 2011년 제조업이 직면한 문제를 해결하기 위해 제조업에 정보통신기술을 접목해 시작된 독일의 인더스트리 4.0을 배경으로 탄생했다고 볼 수 있다[11, 12]. 앞서 4차 산업혁명의 핵심기술로 언급한 CPS는 인더스트리 4.0에서 사물인터넷 및 기계/전기적 물리 장치와 소프트웨어 기반 ICT 융합을 가능하게 하는 핵심요소로 정의하고 있으며, 이것이 제조업의 완전한 자동 생산 체계를 구축하고 모든 생산 과정이 최적화되는 제조업의 혁명적 변화를 가져온다고 하였다[2, 13]. 즉, CPS에 기반한 인더스트리 4.0은 독일이 제조업 주도권을 이어가기 위해 구상한 차세대 생산혁신을 지칭하는 동시에[14], 4차 산업혁명 또한 CPS 기반 제조업 혁신을 큰 줄기로 하고 있으며 차세대 생산기술 혁신과 밀접한 관계를 가진다고 할 수 있다.

같은 맥락에서 4차 산업혁명을 선도적으로 대응하기 위해 수립하여 추진 중인 주요국 정책들의 공통점은 주요국 정책 모두 제조업 부흥을 위한 생산혁신 정책으로 연결된다는 점이다. 미국은 질 높은 제조업 고용 창출 및 제조업 분야 기업 간 협력 등을 통한 첨단 제조업 육성 및 고부가가치 창출을 목표로 '첨단제조파트너십(AMP, Advanced Manufacturing Partnership) 프로그램'을 추진하였으며, 첨단 제조 연구개발을 지원하는 '국가첨단제조전략계획(National Strategic Plan for Advanced Manufacturing)' 및 지방 제조 중소기업 지원을 위한 '제조혁신 기구(IMI, Institute for Manufacturing Innovation)'를 설치하는 등 적극적인 정책을 추진하고 있다. 독일은 국가기술발전 종합 계획인 '하이테크 전략 2020' 내에 IoT/CPS 기반 제조업 혁신, 제품 개발 및 생산공정 관리 최적화, 플랫폼 표준화 등이 구현된 스마트 공장(Smart Factory) 구축 등을 위한 '인더스트리 4.0' 과제를 본격 추진 중에 있다. 일본은 범정부차원에서 4차 산업혁명의 구상으로 '일본재흥전략 2016'을 수립하였으며, 중국 또한 글로벌 제조 강국 진입을 목표로 '중국제조 2025' 전략을 수립하고 과학기술이 주도하는 스마트제조업 혁신을 위해 5대 중점 프로젝트를 구체화하여 추진하

고 있다. 국내에서도 4차 산업혁명 대응을 위해 융합형 신제조업 창출, 주력산업 핵심역량 강화, 제조혁신기반 고도화 등 3대 전략을 기반으로 한 '제조업 혁신 3.0 전략'을 수립하고 2020년까지 CPS기반의 제조업 공장 스마트화 1만개 추진 등을 목표로 다양한 과제를 진행 중에 있으나 아직은 주요 선진국의 논의를 옮기는 수준에 그치고 있다[1]. 이처럼 주요국들은 4차 산업혁명을 선도하는 국가로 도약하기 위해 제조업 생산혁신 기반의 차별화된 정책지원을 추진하고 있고, 우리나라도 최근에 들어 대통령 직속 '4차 산업혁명위원회'를 발족시켜 적극적인 대응체제를 갖추어 나가고 있지만 관련 연구는 충분하지 않다. 따라서 본 연구에서는 제조업 생산혁신 기반의 차별화된 정책지원을 위해 차세대 생산혁신 기술을 증거기반 키워드 네트워크를 통해 탐색하여 관련 시사점을 도출하고자 한다.

## 2.2 차세대 생산혁신 기술

앞서 언급한대로 4차 산업혁명은 제조업 혁신의 개념이며, 많은 연구자들이 ICBM에 인공지능 기술(AI, Artificial Intelligence)을 덧붙인 ICBMA로 대표되는 ICT와 CPS 등을 4차 산업혁명 차세대 생산혁신의 대표 기술로 꼽고 있다.

4차 산업혁명의 기원이라 할 수 있는 독일인공지능연구소(DFKI, The German Research Centre for Artificial Intelligence)에서 제안한 인더스트리 4.0에서는 제조업 혁신의 핵심 기술을 CPS로 제시하고 있으며[2], 그 후 Davis [15] 또한 1~4차 산업혁명의 기술적 특징을 정리하면서 4차 산업혁명의 핵심기술을 CPS로 정의하였다. OECD [16]는 차세대 생산혁명을 이끌 핵심 기술로 '3D 프린팅', 'IoT', '로보틱스' 등을 중심으로 한 ICT 기반 융합기술을 강조하였고, 이러한 융합기술이 생산시스템과 접목되어 '스마트 제조(Smart Manufacturing)'를 실현한다고 하였다. 특히 IoT 기술은 물리적 세계와 디지털 세계를 연결하여 제조업에서의 막대한 경제적 가치를 창출할 것으로 예측되기도 하였다[17]. Kim et al. [11]은 4차 산업혁명의 광범위한 현상을 포괄하면서도 기술적 변화의 핵심을 포착하기 위한 기술동인으로 '사물인터넷', '클라우드 컴퓨팅', '빅데이터', '인공지능', '로봇'의 5대 핵심기술을 제안하였다. Kim et al. [19]은 4차 산업혁명을 통한 제조혁신에 '스마트 팩토리'의 도입과 CPS, 로보틱스, 3D 프린팅, 사물인터넷 등의 핵심 요소 기술이

필수적이라고 주장하였다. Cordes and Stacey [20]는 그 외 빅데이터, 클라우드 등의 활용을 통해 제조 프로세스에 대한 ‘산업 인터넷(Industrial Internet)’, ‘증강현실(AR, Augmented Reality)’, ‘적층가공(Additive Manufacturing)’ 등 제조혁신을 위한 8대 미래기술을 제시하였다.

이와 같이 4차 산업혁명에 대한 개념적인 논란은 있을 수 있으나, 앞서 살펴본 기술들을 분석해보면 그 핵심에는 앞으로 더욱 급진적으로 발전할 차세대 기술들이 가져올 새로운 형태의 생산혁신이 자리하고 있음은 분명해 보인다[18].

### 3. 연구 절차 및 방법론

4차 산업혁명으로 대표되는 차세대 생산혁신 기술을 키워드 네트워크를 통해 분석하여 관련 시사점 및 향후 연구기반 자료를 제공하고자 하는 본 연구는 크게 네 가지 단계로 진행된다(Fig. 1).

첫 번째 단계에서는 차세대 생산혁신 기술과 관련된 키워드들 간의 관계 네트워크를 구축을 위해 Web of Science (WoS)에서 관련한 논문 데이터를 추출한다. WoS 데이터는 세계에서 영향력 있는 논문 데이터베이스 중 하나로, SCIE, SSCI, AHCI 등과 널리 알려진 인용색인을 제공함으로써 연구 동향을 탐색하는데 많이 활용되고 있다. 본 연구에서는 이 WoS에서 최근 5년 간 forth industrial revolution, next production revolution, next manufacturing revolution, industry 4.0 등의 차세대 생산혁신을 의미하는 단어들과 연관된 주제(Title, Abstract, Author Keyword, Keyword Plus)를 바탕으로 출판된 논문을 중심으로 관련 데이터를 추출한다.

이와 같이 추출된 논문 데이터를 기반으로 차세대 생산혁신 기술들 간의 관계를 나타내는 차세대 생산혁신 기술 네트워크를 구축한다. 즉, 첫 번째 단계에서 추출된 각 논문의 author keyword들의 동시 등장 관계 정보를

통해 co-word network를 구축한다. 이렇게 구축된 co-word network의 노드(node)는 차세대 생산혁신 기술 키워드이며, 엣지(edge)는 두 키워드가 한 논문의 author keyword에서 동시 등장할 경우 생성되게 된다. 예를 들어 논문 A의 author keyword가 a, b, c이고, 논문 B는 b, c, d라면, b와 c의 연결을 매개로 a, d는 간접적으로 연결되는 네트워크를 구성하게 된다. 따라서 이 co-word network는 논문에서 등장하는 차세대 생산혁신 기술과 관련된 다양한 키워드들 사이의 관계를 보여주는 ‘차세대 생산혁신 기술 네트워크’가 된다.

이를 기반으로 구축된 차세대 생산혁신 기술 네트워크를 구성하고 있는 각 노드의 네트워크 중심성(centrality)을 분석함으로써 어떤 키워드가 차세대 생산혁신 기술 관점에서 중요도가 높은지 분석한다. 다양한 중심성 지표 중 본 연구에서는 연결중심성(degree centrality)과 매개중심성(betweenness centrality)을 활용하여 중요도를 분석한다. 연결중심성은 다른 노드와 직접적으로 연결된 수를 의미하며[21-28], 매개중심성은 최단거리 관점에서 다른 노드들을 이어주기 위해 중계자의 역할을 얼마나 수행하고 있는지를 나타낸다[22, 25, 27, 28]. 연결중심성이 높은 노드는 직접적으로 연결된 노드 수를 많이 보유하고 있다는 의미로, 이는 연결성의 측면에서 허브(hub)의 역할을 나타낸다. 매개중심성이 높은 노드는 다른 두 노드의 최단거리가 해당 노드를 많이 지나고 있다는 의미로, 이는 직접적으로 연결되지 않은 다른 두 노드를 연결시켜주는 역할을 나타낸다. 이와 같은 측면에서 볼 때, 네트워크 구조 관점에서 다른 노드와 다수의 연결을 보유하고, 다른 노드를 중계하는 역할을 하는 노드는 네트워크 상에서 주요한 지점이라고 볼 수 있다[29].

이어서, 차세대 생산혁신 기술 네트워크에 위치하고 있는 키워드 그룹(sub-community)을 탐지하여 분석한다. 네트워크 구조는 연결이 밀집된 구역과 희박한 구역으로 분할될 수 있는데, 이와 같은 상황에서 밀집하게 연결된 키워드 그룹을 식별해 낸다면 네트워크 구조를 통

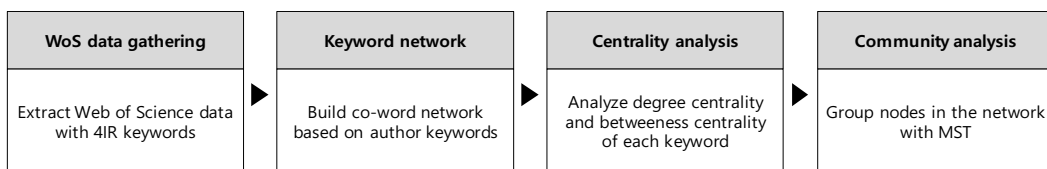


Fig. 1. Research framework

해 주요하게 거론되는 주제 분류가 가능해 진다[30]. 네트워크 상 밀집된 그룹을 탐지하는 여러 가지 알고리즘 중 본 연구에서는 Girvan & Newman의 방식[31]을 활용한다. 키워드 그룹 탐지에 앞서 차세대 생산혁신 기술 네트워크의 최대 신장 트리(maximum spanning tree, MST)를 먼저 구축한다. 그 이유는 co-word network 전체는 연결이 복잡하게 얽혀 있기 때문에 전반적인 논의 구조를 파악하기 어렵기 때문이다[30]. 즉 MST를 추출하여 네트워크 구조 간소화를 통해 주요 맥락을 용이하게 파악할 수 있게 되며, 트리 구조를 추출하는 알고리즘 중 Prim 알고리즘[32]을 적용한다.

본 연구에서 WoS에서 추출된 데이터 전처리는 Knowledge Matrix plus를 활용하여 수행되었으며, 이후 네트워크 분석은 R (버전 3.4.3)에서 수행되었다.

#### 4. 분석 결과 및 토의

##### 4.1 차세대 생산혁신 기술 네트워크 분석

Fourth industrial revolution, next production revolution, next manufacturing revolution, industry 4.0 등 차세대 생산혁신 의미를 포함하는 용어를 기반으로 WoS를 통해 관련 논문을 검색한 결과 최근 5년(2012~2017)간 441건의 논문이 추출되었다(Fig. 2). 차세대 생산혁신 관련 논문은 2012년 2건으로 시작하여 2016년 125건, 2017년 270건으로 최근에 들어 관련 논문 출판 수가 비약적인 증가 추세를 있음을 확인하였다.

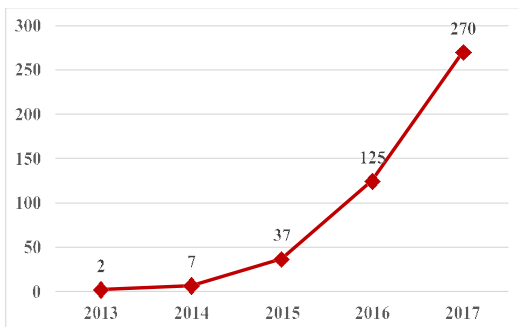


Fig. 2. Published papers related to next production innovation 2012-2017

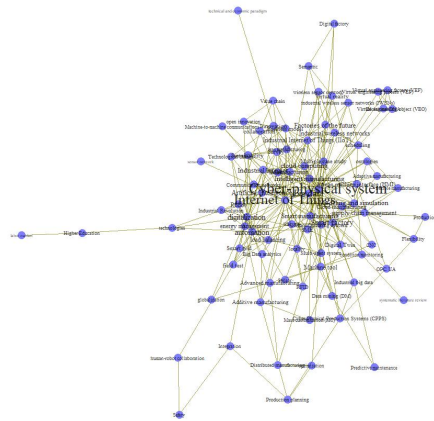


Fig. 3. Next production innovation technology network

이와 같이 추출된 논문 데이터를 기반으로 차세대 생산혁신 기술 네트워크를 구축하였다(Fig. 3). 총 441건의 논문 데이터에서 유사 의미를 나타내는 용어를 동일 용어로 전처리하여 총 1,231개 키워드가 추출되었으나, 주요 맥락을 파악하기 위해 차세대 생산혁신 자체를 나타내는 키워드(예, industry 4.0, fourth industrial revolution 등)를 제외하고, 3번 이상 등장한 키워드로 스크리닝 한 결과 총 86개 키워드를 노드로 하는 차세대 생산혁신 기술 네트워크가 구성되었다.

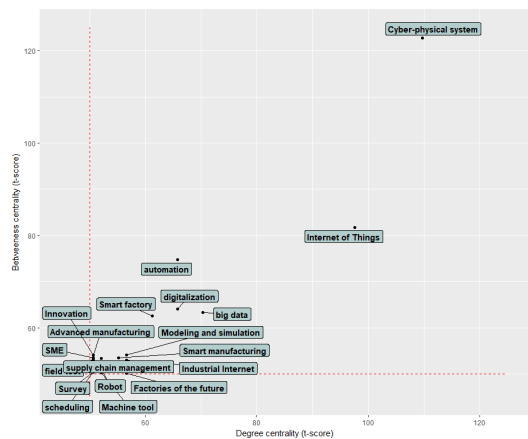


Fig. 4. Results of centrality analysis

차세대 생산 혁신 기술 네트워크를 구성하고 있는 86개 노드에 대한 중심성 분석을 수행하였다. 기 기술한 바와 같이 중심성 분석은 전체 노드 중 네트워크 구조 상 주요한 위치를 차지하고 있는 노드를 발견하기 위함이며,

이를 위해 연결중심성 및 매개중심성을 분석하였다. 연결중심성과 매개중심성은 분석 결과 도출되는 값의 범위가 상이하기 때문에 비교 용이성 확보를 위해 도출된 중심성 값에 대한 정규화 과정을 거쳐 t-점수를 최종적으로 도출하였다. 그 결과 연결중심성과 매개중심성의 t-점수가 평균(50점)을 상회하는 노드는 19개로 분석되었다(Fig. 4).

이 19개 노드 중 ‘cyber-physical system (가상물리시스템)’ 노드의 경우 연결중심성 및 매개중심성 모두에서 다른 노드들에 비해 매우 높은 값으로 나타났다. 가상물리시스템은 사물인터넷 환경을 기반으로 가상공간의 컴퓨터가 네트워크를 통해 실제 물리 시스템을 제어하는 기술로 차세대 네트워크 기반 분산제어 시스템으로 볼 수 있다. 이와 같은 이유로 가상물리시스템은 smart factory로 일컬어지는 미래 공장 실현의 핵심 기술이기 때문에 높은 중심성 값을 보이는 것으로 분석된다. 그 외에도 가상물리시스템의 기반 기술인 ‘internet of things (사물인터넷)’ 노드 역시 상대적으로 높은 중심성 값을 나타내고 있으며, 차세대 생산혁신을 주제로 구축한 네트워크 구조이기 때문에 ‘smart factory’, ‘digitalization’, ‘automation’, ‘smart manufacturing’, ‘modeling and

simulation’ 등의 노드들도 높은 중심성 값을 보이는 것으로 분석되었다.

#### 4.2 키워드 그룹 탐지 분석

기 구축된 생산혁신 기술 네트워크(Fig. 3)는 노드 간의 관계가 복잡하게 얽혀 있어 전반적인 구조 파악에는 한계점이 존재한다. 따라서 차세대 생산혁신 기술의 논의 구조 파악을 위해 생산혁신 기술 네트워크는 최대 신장 트리로 재구성하고, 이를 기반으로 키워드 그룹을 탐지한 결과는 Fig. 5과 같다.

전체 86개 노드는 8개의 그룹으로 분류되었다. 각 그룹은 차세대 생산혁신 기술과 관련한 연구 주제로 볼 수 있으며, 각 연구 주제의 명칭은 다른 주제와 연결되는 지점에 위치한 노드의 이름으로 설정하였다. 각 그룹의 명칭 및 연결 노드의 수는 Table 1과 같다. 키워드 네트워크 기반으로 탐색된 주요 연구 주제는 4차 산업혁명 또는 차세대 생산혁신의 기반 기술이라고 언급되고 있는 cyber-physical system, internet of things, automation, big data를 포함하여 digital twin, modeling and simulation, cloud manufacturing 등으로 구성됨이 확인되었다.

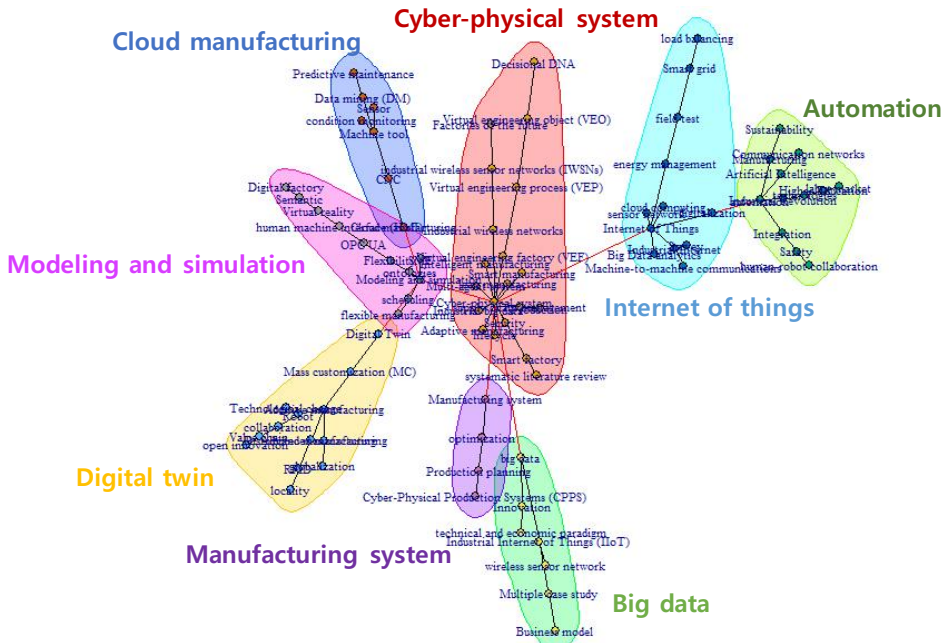


Fig. 5. Keyword groups in next production innovation technology network

이 중 ‘modeling and simulation’ 기술은 제품의 기획 및 설계, 제조 단계에서 비용, 시간, 생산방법을 고려하여 여러 상황에 따른 시뮬레이션을 통해 제품의 신뢰성을 높이고 불필요한 시제품 제작을 최소화하여 비용 및 시간을 획기적으로 절감할 수 있게 하는 기술로[33, 34], 인공지능, 사물인터넷, 로봇틱스와 함께 4차 산업혁명 시대 혁신 기술로 주목받고 있다[34, 35].

Table 1. Keyword groups with the number of connected nodes

Keyword group	# of connected nodes	Connected nodes (selected)
Cyber-physical system	20	Virtual engineering process, Smart factory, Industrial wireless sensor networks, Smart manufacturing
Digital twin	13	Additive manufacturing, Robot, Mass customization, Advanced manufacturing
Internet of things	12	Smart grid, Industrial Internet, Cloud computing, energy management
Automation	12	Artificial intelligence, Integration, Sustainability, human-robot collaboration
Modeling and simulation	11	Semantic, Flexibility, Virtual reality, human machine interface
Cloud manufacturing	7	Data mining, CNC, Machine tool
Big data	7	Wireless sensor network, Business model
Manufacturing system	4	Production planning, Optimization

또한 ‘digital twin’ 기술은 현실 세계의 개체 또는 시스템을 디지털화 하여, 실제 대상들과 연결되면서 정보를 제공하고, 변화에 대응하면서 운영을 최적화하는데 활용되는 기술을 의미한다[36]. 이 ‘digital twin’ 기술은 전통적인 ‘modeling and simulation’ 기술에서 나아가 실물과 트윈이 1 대 1로 매칭된다는 점에서 차이가 있으며, 이러한 이유에서 물리적 개체나 프로세스 등 현실 환경의 시스템 활동을 디지털 세계와 거의 실시간에 가깝게 종합적으로 연결함으로써 인사이트를 제공하고 제품 설

계 또는 제조 공정의 변경과 같은 물리적 대응을 가능하게 해주는 생산혁신 기술이다[37].

이와 같이 증거기반 네트워크를 통해 탐색된 차세대 생산혁신 기술은 주로 디지털화(digitalization)와 관련된 기술인 것으로 분석되었다. 이 결과는 additive manufacturing (적층가공 또는 3D 프린팅)이 4차 산업혁명 시대 핵심 기술로 많이 언급되는 것과는 차이가 있다. 물론 차세대 생산혁신 기술 네트워크 상에서 digital twin 노드와 additive manufacturing 노드가 연결은 되어 있으나 additive manufacturing 기술은 하나의 요소 기술인 것으로 파악된다. 설계, 공정, 제조 등 생산 과정의 디지털화 기술의 발전은 근래에 들어 저렴해지고 강력해진 센싱 기술과 컴퓨팅 기술을 기반으로 가상세계와 물리세계의 실시간에 가까운 상호작용이 가능해졌기 때문이다 [37]. 즉, ‘digital twin’, ‘modeling and simulation’ 등으로 대표되는 차세대 생산혁신 기술은 가상세계와 물리세계를 실시간으로 완벽하게 연결하여 인사이트를 발견하고, 이를 설계 및 공정에 반영하는 기술을 중심으로 연구가 진행되는 것으로 파악되었으며, 해당 기술은 internet of things, big data 등 4차 산업혁명의 기반 기술을 활용하여 실제적인 부가가치를 창출하는 방향으로 발전하고 있는 것으로 해석된다.

## 5. 결론

본 연구는 차세대 생산혁신 기술을 논문 데이터를 기반으로 키워드 네트워크를 구축하여 이를 분석함으로써 결과 및 시사점을 논하였다. 구축된 차세대 생산혁신 기술 네트워크를 그룹화함으로써 어떤 주제가 주로 연구되고 있는지 탐색하였다. 그 결과 차세대 생산혁신 기술은 현실 물리 세계의 디지털화를 중심으로 발전하고 있는 것으로 분석되었으며, 이는 곧 4차 산업혁명의 기반 기술을 바탕으로 실제 설계 및 공정에서 새로운 부가가치를 창출하는 방향으로 차세대 생산혁신이 이루어지고 있는 것으로 해석된다.

본 연구는 논문에서 언급되는 author keyword를 활용하여 co-word network를 구축한 후, 이 결과를 통해 차세대 생산혁신 기술을 분석하여 그 시사점을 제시함으로써 관련한 추후 연구의 기반 자료를 증거 기반으로 제공하였다. 본 연구가 새로운 방법론을 제안한 것은 아니지

만, 정량적인 데이터를 기반으로 연구 및 논의 주제를 파악하는 체계적인 접근 방법을 제시한 점, 그리고 현재 진행 중인 4차 산업혁명으로 대변되는 제조 및 생산 패러다임 변화를 정량 데이터를 기반으로 분석하는 방향성을 제시한 점이 학술적인 기여점으로 판단된다. 실무적 측면에서는 차세대 생산혁신 기술 네트워크를 연구 주제별로 그룹화함으로써 최근 주로 수행되고 있는 연구 현황을 제시하였다는 점이 주요 기여점이다. 그 결과 차세대 생산혁신 기술은 ‘modeling and simulation’, ‘digital twin’ 등의 기술을 중심으로 생산의 디지털화에 초점을 두고 발전하고 있는 것으로 파악되었으며, 이러한 결과는 관련 산업 내에서 미래 대응을 준비하는 많은 기업들에게 새로운 인사이트를 줄 수 있을 것으로 기대된다.

하지만 본 연구에서 제시하는 방법은 다음과 같은 한계가 존재한다. 첫째, 차세대 생산혁신 기술 네트워크 구축을 위한 기반 데이터로 논문만을 활용하였다. 논문이 현재 연구개발 중인 기술을 보여주는 대표적인 자료임에는 틀림없으나, 논문 외에도 특허, 그리고 나아가 웹 데이터 등에서도 기반 데이터를 수집한다면 보다 정확한 분석이 가능할 것으로 보인다. 둘째, 최근 5년 간의 논문 데이터 전체를 두고 기술 네트워크를 구축하고 분석하였기 때문에 시간의 흐름에 따른 변화를 탐지하지 못하였다. 사실 2016년 WEF에서 ‘4차 산업혁명’이 언급되면서 관련 논의가 활발히 시작되었기 때문에 시계열 변화를 파악하는 것에는 한계가 있으나, 추후 연구에서는 시간의 흐름에 따른 차세대 생산혁신 기술 연구 주제가 어떻게 변화되고 있는지 파악하는 것도 새로운 인사이트를 주는 것에 도움이 될 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] S. Kim & M. Kim. (2016). *Manufacturing Innovation Policy Challenges for Next Production Revolution*. STEPI.
- [2] H. Kagermann, W. Wahlster & J. Helbig. (2013). *Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. BMBF.
- [3] Deloitte. (2015). *Industry 4.0*. Deloitte Consulting.
- [4] Y. Kim. (2017). *Policy direction for the 4th industrial revolution era*. KERI Brief, 16(33), 1-16.
- [5] G. Lavery, N. Pennell, S. Brown & S. Evans. (2013). *The Next Manufacturing Revolution: Non-Labour Resource Productivity and its Potential for UK Manufacturing*. Institute for Manufacturing, Cambridge University.
- [6] OECD. (2016). *Enabling The Next Production Revolution: The Future Of Manufacturing And Services - Interim Report*. OECD.
- [7] K. Schwab. (2017). *The fourth industrial revolution*. Crown Business.
- [8] WEF. (2016). *The Future of Jobs*.
- [9] J. Bloem, M. Van Doorn, S. Duivestijn, D. Excoffier, R. Maas & E. Van Ommeren. (2014). *The Fourth Industrial Revolution: Things to Tighten the Link Between IT and OT*. VINT.
- [10] J. Morgan. (2016). *What skills and education do you need to succeed in the Fourth Industrial Revolution?* (2018. 07. 12.). <http://www.forbes.com/sites/jacobmorgan/2016/04/11/skills-education-succeed-fourth-industrial-revolution/#1ba8620c9b4b>.
- [11] S. Kim, B. Choi, H. Yang, P. Jang, S. Son, B. Jang, J. Lee, S. Kim, D. Lee & D. Kim. (2017). *Technological Drivers and Industrial Impacts of the Fourth Industrial Revolution*. STEPI.
- [12] D. Choi, D. Kim, J. Lim, M. Lee & S. Lee. (2017). *Start of Deep Shift, the Forth Industrial Revolution*. *Chindia Plus*, 122(3-4), 8-23.
- [13] W. Wahlster. (2013). *Industry 4.0: the semantic product memory as a basis for cyber-physical production systems*, in SGAICO Forum.
- [14] H. Park & Y. Kim. (2014). *Industry 4.0, Germany's Future Manufacturing Blueprint*. POSRI.
- [15] N. Davis. (2016). *What is the fourth industrial revolution?* (2018.07.12.). <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/what-is-the-fourth-industrial-revolution/>.
- [16] OECD. (2017). *The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business*. Paris: OECD Publishing.
- [17] J. Manyika. (2015). *The Internet of Things: Mapping the value beyond the hype*. McKinsey Global Institute.
- [18] Y. Jang & Y. Choi. (2017). *OECD Discussion on the Next Production Revolution and Policy Implications for the Fourth Industrial Revolution*. STEPI.
- [19] K. Kim, Y. Choi, K. Kim, & M. Park. (2018). *4th Industrial Revolution and manufacturing innovation: Smart factories and manufacturing paradigm shift*. Samjong KPMG.
- [20] F. Cordes & N. Stacey. (2017). *Is UK Industry Ready for the Fourth Industrial Revolution*. Boston, MA.



- [21] R. Aviv, Z. Erlich, G. Ravid & A. Geva. (2003). *Network analysis of knowledge construction in asynchronous learning networks*. Journal of Asynchronous Learning Networks, 7(3), 1-23.
- [22] S. P. Borgatti. (2005). *Centrality and network flow*. Social Networks, 27(1), 55-71.
- [23] R. Cross, A. Parker & S. P. Borgatti. (2002). *A bird's-eye view: Using social network analysis to improve knowledge creation and sharing*. Somers, New York.
- [24] M. De Laat. (2002). *Network and content analysis in an online community discourse*, Proceedings of the Conference on Computer Support for Collaborative Learning: Foundations for a CSCL Community, Boulder, Colorado, 625-626.
- [25] L. C. Freeman. (1979). *Centrality in social networks conceptual clarification*. Social Networks, 1(3), 215-239.
- [26] A. Heath. (2002). *Using social network analysis to study the interaction patterns in an online knowledge community*, in Proceedings of American Society for Information Science and Technology, 566-567.
- [27] G. C. Kane. (2009). *It's a network, not an encyclopedia: A social network perspective on wikipedia collaboration*, in Proceedings of Academy of Management 2009, 1-6: Academy of Management.
- [28] T. Muller-Prothmann, *Social network analysis: A practical method to improve knowledge sharing*, in Hands-on Knowledge Co-creation and Sharing: Practical Methods and Techniques, eds. A. Kazi, L. Wohlfart & P. Wolf, pp. 219-233, KnowledgeBoard, Stuttgart, Germany, 2007.
- [29] H. Yang. (2017). *Present and Future of the Fourth Industrial Revolution based on Keyword Network Analysis*. STEPI.
- [30] H. Yang. (2017). *Forth Industrial Revolution Discussion Trends with Keywords Network Analysis*. STEPI.
- [31] M. Girvan & M. E. Newman. (2002). *Community structure in social and biological networks*. Proceedings of the national academy of sciences, 99(12), 7821-7826.
- [32] R. C. Prim. (1957). *Shortest Connection Networks And Some Generalizations*. Bell System Technical Journal, 36(6), 1389-1401.
- [33] Y. Han, J. Y. Jeong, M. H. Ko, S. Lee & J. S. Kim. (2018). *Analysis of global competitiveness of engineering modeling and simulation technology for next-manufacturing innovation: Using quantitative analysis of patents and papers*. ICIC Express Letters, 9(4), 339-346.
- [34] J. Y. Jeong, Y. Han, J. S. Kim, S. C. Jeong, M. H. Ko & S. Lee. (2018). *Empirical study of engineering modeling and simulation in manufacturing innovation to lead 4th industrial revolution*. ICIC Express Letters, 9(5), 421-427.
- [35] Y. Kim. (2016). *Manufacturing Innovation and HPC (High Performance Computing) Utilization*. Journal of Korea Technology Innovation Society, 19(2), 231-253.
- [36] Gartner. (2017). *Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2018*. (2018.04.26.). <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2018/>.
- [37] A. Parrott & L. Warshaw. (2017). *Industry 4.0 and the digital twin*. D. U. Press.

이 수 철(Lee, Suchul)

[정회원]



- 2008년 2월 : POSTECH 산업경영공학과(공학사)
- 2014년 7월 : POSTECH 산업경영공학과(공학박사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 목포대학교 경영학과 조교수

• 관심분야 : 기술경영, 과학기술정책, 지식경영, 경영과학  
 • E-Mail : suchullee@mokpo.ac.kr

고 미 현(Ko, Mihyun)

[정회원]



- 2005년 2월 : 충북대학교 경영정보학과(경영학사)
- 2007년 8월 : 충북대학교 경영정보학과(경영학석사)
- 2011년 2월 : 충북대학교 경영정보학과(경영학박사)

• 2011년 9월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 선임연구원  
 • 관심분야 : MIS, 연구데이터, 과학기술정책, 연구전략  
 • E-Mail : mihyungo@kisti.re.kr