Journal of the Korea Industrial Information Systems Research Vol.27 No.6, Dec. 2022 :127-140
http://dx.doi.org/10.9723/jksiis.2022.27.6.127 ISSN:1229-3741

제 4차 산업혁명 중심의 사물인터넷 지적 구조 시각화

(Visualization of the Intellectual Structure on the Internet of Things Focuses on the Industry 4.0)

임 혜 정[1], 서 창 교[2]*
(Hyaejung Lim and Chang-Kyo Suh)

요 약 최근 정보통신기술(ICT)의 발달로 산업혁명은 3차 산업에서 4차 산업으로 옮겨가고 있다. 기업이 미래에 생존하기 위해서는 이러한 기술을 채택해야 한다는 것에는 의심의 여지가 없다. 본 연구의 목적은 제4차 산업혁명을 위한 사물인터넷(IoT) 연구 문헌의 지적 구조를 분석하여 해당 분야에 대한 더 나은 통찰력을 제시하는 것이다. 연구 데이터는 Web of Science 데이터베이스에서 추출되었으며, CiteSpace를 사용하여 총 1,631개의 문서와 72,754개의 참고 문헌을 분석하였다. 저자동시인용분석을 이용하여 제4차 산업혁명을 위한 사물인터넷 연구 분야의 지적 구조를 분석하기 위해 군집분석, 타임라인 분석, 연구전환점 분석을 수행하여 'Supply Chain', 'Digital Twin', 'Smart Manufacturing System' 등 12개의 하위 영역을 식별하였다. 타임라인 분석을 통해 연구가 확대되고 있는 분야와 축소되고 있는 분야를 분석하였으며, 연구의 한계점과 향후 연구방향을 결론과 함께 제시하였다.

핵심주제어: 사물인터넷, 4차 산업혁명, 지적구조, CiteSpace, 저자동시인용분석, 시각화

Abstract With the recent development of the ICT (information and communication technology), the revolution of the industry has moved on from the third industry to the fourth. There is no doubt that the companies would not survive in the future without adopting these technologies. The purpose of this research is to analyze the intellectual structure of the internet of things(IoT) literature for the Industry 4.0 to suggest a better insight for the field. The data for this research is extracted from the Web of Science database. Total of 1,631 documents and 72,754 references are used for the research with the analysis program CiteSpace. Author co-citation analysis is used to analyze the intellectual structure and performed clustering, timeline and burst detection analysis. We identified 12 sub-areas of IoT for the Industry 4.0 which are 'Supply Chain', 'Digital Twin', 'Smart Manufacturing System' and etc. Through the timeline analysis we can find out which clusters will increase or decrease its reputation. As concluding remarks, limitations and further research suggestions are discussed.

Keywords: Internet of Things(IoT), Industry 4.0, Intellectual Structure, CiteSpace, Author Co-citation Analysis, Visualization

* Corresponding Author: ck@knu.ac.kr
Manuscript received October 12, 2022 / revised December 11, 2022 / accepted December 13, 2022
1) 경북대학교 대학원 경영학부, 제1저자
2) 경북대학교 경영학부, 제2저자, 교신저자

1. 서 론

제 4차 산업혁명은 2016년 세계 경제 포럼(World Economic Forum)에서 Klaus Schwab에 의해 제안되었으며, 정보통신 기술(information and communication technologies, ICT)의 융합은 산업 및 고용의 구조적 변화를 초래하고 더 나아가 세계 경제성장에도 지대한 영향을 미치게 되며(박은엽, 2021), 이 혁명의 핵심은 '데이터 경제(data economy)'를 활성화하는 인공지능(artificial intelligence, AI), 빅 데이터(big data) 그리고 사물인터넷(Internet of Things, IoT) 등의 기술들이다(Jang, 2019). 이 기술들을 활용하여 지능화된 제품들의 상용화 등, 제 4차 산업혁명이 공급 사슬과 유통, 경제 전반에서 주역이 될 날이 가까워지고 있다(오병기, 2018). 제 4차 산업혁명을 이루는 다양한 기술들 중, 사물인터넷은 4차 산업혁명이 도래하는 분야들의 주요 기반 요소로 더욱 중요한 가치를 지니는 것으로 판단된다(김진영, 2018).

사물인터넷은 1999년 당시 MIT의 Auto-ID Center 소장이었던 Kevin Ashton에 의해 처음 제안된 용어이다(신동희 외, 2013). 개념적으로 1980년대 Mark Weiser가 주장한 유비쿼터스 컴퓨팅(ubiquitous computing)과 유사한 개념이기도 하다(이재현, 2021). 사물인터넷은 각 사물(제품 등)에 센서를 내장하여 서로 인터넷을 통해 연결하여 데이터를 실시간으로 공유함으로써 더 광범위한 서비스를 제공하는 것을 의미한다(Kranenburg et al., 2011). 기술의 발전으로 정보 서비스에만 제한되지 않으며, 제품에서 더 나아가 제조업(스마트 팩토리), 농림어업(스마트 팜), 도시(스마트 시티), 정부(스마트 거버넌스) 등 1차 산업에서 3차 산업까지 모든 산업 분야와 융합할 수 있는 특성으로 많은 기업들이 사물인터넷에 관심을 가지고 있다(박주섭, 2016; 김현규, 2020; 류민호, 2020; 문애경, 2021; 김용석, 2022).

제 4차 산업혁명에 들어선 지금, 사물인터넷이 우리 사회에서 어떤 역할을 하고 있으며 향후 어떤 분야에서 연구가 필요한지에 대한 정리가 필요한 시점이라 사료된다. 선행 연구를 기반으로 특정 분야 또는 학문의 구조를 파악하기 위해서는 지적 구조를 우선적으로 분석하는 것이 가장 적합한 방법으로 제안되어 왔다(서은경, 1992;, 김영준, 김채환, 2007; 박형주, 2022; Cui et al., 2018; Azam et al., 2021). 본 연구는 Web of Science에서 2015년에서 2022년까지의 데이터를 대상으로 저자동시인용분석 방법을 활용해 제 4차 산업혁명에서 사물인터넷을 활용한 연구들의 지적 구조를 시각화하고자 한다. 시각화 분석 프로그램인 CiteSpace를 통해 군집 분석, 타임라인 분석, 그리고 연구 전환점 탐지 분석을 실시하였다.

본 연구는 결론을 제외한 총 네 장으로 구성되어 있다. 제 2장에서는 저자동시인용분석과 CiteSpace 분석 프로그램에 대한 선행 연구를 정리하였다. 다음 제 3장에서는 연구 방법과 분석 과정을 소개하였고, 제 4장에서는 분석 결과인 시각화 네트워크를 제시하였다. 마지막 장에서는 분석 내용을 요약하여 제시하고 시사점으로 마무리하였다.

2. 이론적 배경

2.1 저자동시인용분석 선행연구

White and Griffith(1981)는 1972년 ~ 1979년의 정보과학 논문을 Social Sciences Citation Index에서 수집하여, 39명의 핵심 저자를 추출하고 저자동시인용분석을 적용하여, 정보 검색, 통계, 과학 커뮤니케이션, 일반 그리고 리더십으로 정보 과학 분야의 하위 영역으로 분석하였다.

Andrews(2003)는 American College of Medical Informatics에서 1994년부터 1998년까지 총 191개의 의료정보학 데이터를 수집하여 저자동시인용분석을 실시하였다. 연구 결과로 총 세 개의 군집들이 형성되었으며, clinical systems, decision-support, application and technology driver로 판명되었다.

Shiau et al.(2015)는 8개의 정보 시스템 학술지에서 총 118개의 데이터를 검색하여 저자동시인용을 분석하였다. 1996년 ~ 2010년까지의 학

술지 데이터의 분석 결과로 기업 성과, 기술 적용, 경쟁력, 정보 기술 그리고 기업 구조 등 총 13개의 하위 영역을 명명하였다.

Bhattacharyya and Verma(2020)는 기업의 사회적 책임(CSR) 분야에서 상위 25개의 학술지로부터 1998년에서 2019년까지 총 1,052개의 문헌들을 추출하여 분석하였다. 군집 분석 결과로 CSR drivers, contextual grounding of CSR, historical legacy of CSR, strategic CSR and CSR implementation으로 총 다섯 개의 군집들이 형성되었다.

저자동시인용분석 기법은 국외뿐만 아니라 국내에서도 정보검색 분야(서은경, 1992), 여성연구학(이명옥, 1996), 기록관리학(김희정, 2005), 국내 언론학(김영준, 2007), 사회복지학(김희전, 조현양, 2010), 의료정보학(허고은, 송민, 2013), 공급사슬관리 연구(임혜정, 서창교, 2018), 미세플라스틱(김영희, 장관종, 2022), 데이터사이언스(박형주, 2022) 등 다양한 학문 분야의 지적 구조 분석에 적용되고 있다.

2.2 CiteSpace 적용 선행연구

Chen(2004)은 java 기반의 분석 프로그램인 CiteSpace를 소개하면서, 1985년부터 2003년 사이에 Institute for Scientific Information에서 발표된 지식 시각화 분야의 논문을 수집하여 분석하였다. Chen(2004)은 CiteSpace의 다양한 기능들을 통해 지식 시각화 영역의 지적 구조를 네트워크를 통해 효과적으로 시각화하였다.

Mustafee et al.(2013)는 Web of Science에서 1995년 ~ 2013년까지 e-science 분야의 총 979개의 데이터를 추출하여 CiteSpace 프로그램으로 분석하였다. 동시인용을 이용하여 데스크톱 그리드, 그리드 컴퓨팅, 클라우드 컴퓨팅으로 총 세 개의 영역으로 e-science 분야를 분류하고 주요 저자들과 논문들을 탐색하였다.

Cui et al.(2018)는 2005년 ~ 2017년까지의 social commerce 분야의 12,089개 데이터를 CiteSpace에 입력하여 저자동시인용분석을 실시하였다. 이를 통해 영향력 있는 저자들을 도출하고 키워드 네트워크를 시각화하여 해당 분야의 지적 구조를 규명하였다.

Zhu et al.(2019)는 CiteSpace 프로그램을 통해 리더십 연구의 발전 과정을 시각화하였다. 해당 연구는 1990년 ~ 2017년의 6,528개의 데이터를 Web of Science에서 추출하여 동시인용분석과 동시출현분석을 사용하였다. 가치 기반의 리더십과 단점, 변혁적인 리더십의 제고, 팀 단위의 리더십, 일방적인 영향에서 상호간의 영향, 그리고 새로운 결과 요인 등 총 다섯 개의 발전 동향을 탐색하였다.

Azam et al. (2021)은 Web of Science에서 2005년부터 2020년까지 총 841개의 풍력발전(WPG) 분야 연구 데이터를 추출하여 분석에 활용하였다. CiteSpace를 활용하여 주제, 키워드, 핫스팟, 그리고 연구 경계선을 중심으로 시각화하였다. 연구 결과로 총 10개의 군집들이 형성되었으며 WPG와 관련하여 중국이 가장 큰 영향을 미치는 것을 파악할 수 있었다.

이상의 선행연구 외, 국내에서도 디지털 보존 지식영역(김희정, 2005), 사회 기호학(왕뢰, 김만수, 2019), 블록체인 연구(이현진, 김영희, 2021), 국제 아동 체능 연구(장명양, 2022) 등의 분야에서 지적 구조를 파악하기에 적합한 프로그램으로 네트워크의 시각화가 강화된 CiteSpace 분석 프로그램을 사용하고 있다.

3. 연구 방법

3.1 분석 방법 및 데이터의 수집

한 분야의 지적 구조를 분석하기 위해서는 특정 분야의 연구들이 지속적으로 누적되어야 한다. 이렇게 축적된 연구들 속에서는 보이지 않는 구조가 형성되며, 해당 구조를 다양한 방면에서 분석 및 해석이 가능하다. 일반적으로는 시간이 지날수록 더 많은 연구들이 발표되기 때문에 더 구체적인 분석이 가능하다. 본 연구는 제 4차 산업혁명과 관련된 사물인터넷의 지적 구조를 파악하기 위해 저자동시인용분석을 적용하였다. 저자동시인용분석 방법은 계량적 분석 방법으로 한 문헌에 인용된 두 명의 저자들은

학문적으로 서로 연관되어 있다는 의미를 내포하고 있다(김재욱 등, 2008, 김희전, 조현양, 2010, 문주영, 2011, 허고은, 송민, 2013).

본 연구는 2015년부터 최근 2022년 6월까지 약 8년간의 문헌들을 데이터로 하여 지적 구조를 규명하고자 하였다. 문헌들은 Web of Science에서 키워드 'Internet of things'와 'Industry 4.0'를 입력하여 총 1,732개의 문헌들을 추출하였다. 여기서 영어로 발행된 article로 정제하여 총 1,631개의 문헌들과 72,754개의 참고 문헌들이 활용되었다.

3.2 CiteSpace의 분석

본 연구에서는 Chen이 개발한 CiteSpace 분석 프로그램(http://cluster.cis.drexel.edu/~cchen/citespace/)을 통해 저자동시인용분석을 적용하여 지적 구조를 파악하고자 한다. CiteSpace 프로그램을 활용하여 추출한 결과는 하나의 네트워크로 시각화되며, 분석 방법에 따라 특정한 분야의 발전 역사와 향후 연구 동향을 파악할 수 있다. 또한, 연구자가 원하는 분석 기법에 따라 데이터의 단위를 정하여 네트워크를 추출 할 수 있다. 연구자가 선정한 데이터의 단위는 하나의 노드(node)로 나타나며, 노드의 크기는 중심성(centrality)을 의미한다(Chen, 2017).

네트워크의 통계적 분석은 매개 중심성(betweenness centrality), 모듈성 Q(modularity Q), 그리고 실루엣 수치(silhouette) 세 가지로 분류하여 파악할 수 있다. Freeman(1977)에 의해 제안된 매개 중심성은 노드들 간의 연결 정도로 계산된다. 각 노드는 다른 노드(들)와의 하나 또는 그 이상의 연결선을 가지고 있으며, 데이터의 네트워크가 커질수록 여러 개의 연결선이 존재한다. 일반적으로 매개 중심성은 많은 연결선을 가지고 있는 노드가 높다. 즉, 매개 중심성이 높은 노드는 전체 네트워크에서 다른 노드들과의 연결을 통해 강한 통제력을 가지게 된다(Wikipedia, 2021a). 모듈성 Q는 네트워크의 군집들의 분리 정도를 평가한다(Newman, 2006). 0에서 1 사이의 값을 가지는 모듈성 Q는 1에 가까울수록 군집들이 잘 분리되어 있는 네트워크라고 평가된다. 네트워크의 군집들이 명확한 경계선을 가지고 있지 않아 모호하게 분리되는 경우는 모듈성 Q의 값이 0에 가깝게 된다. -1에서 1사이의 값을 가지는 실루엣 수치는 군집의 불확실성 정도를 측정하며 군집 분석이 잘 이루어져 불확실성이 낮을수록 1에 가까운 값을 가진다(Rousseeuw, 1987; Wikipedia, 2021b)). 실루엣 수치는 모듈성 Q와 유사한 의미를 지니고 있지만, 모듈성 Q는 전체적인 네트워크의 관점에서 군집들이 잘 구분되어 있는지 파악하는 수치이며, 실루엣 수치는 각 군집들의 관점에서 해당 데이터가 각 군집의 주체성을 얼마나 잘 나타내고 있는지 의미한다.

CiteSpace로 분석하기 위해 수집한 1,631개의 논문을 저자(AU), 초록(AB), 참고문헌(CR) 등으로 나뉘어 정리한 상세 정보를 텍스트 형식의 파일로 추출하여 CiteSpace의 데이터로 입력하였다. CiteSpace는 각 항목들의 요소들을 분리하여 분석하게 된다.

4. 연구 결과

4.1 군집 분석(Cluster Analysis)

지적 구조를 파악하기 위해 추출한 네트워크는 분석 방법에 따라 데이터의 군집을 이루게 된다. 군집 분석에서 형성된 하나의 군집 노드들은 상대적으로 가까운 거리에 위치하며 유사한 성격 및 특성을 띄고 있다. 군집 분석 결과의 군집들은 해당 분야의 하위 영역 중 하나를 의미한다. 군집 분석의 원리는 일반적으로 군집 간의 거리를 그래프로 계량화하여 기울기가 완만해지는 부분을 기준으로 하여 군집의 수를 결정하거나 Ward 연결 방법을 적용시켜 덴드로그램으로 나타낸 후 적합한 군집의 수를 결정하게 되는데 이러한 연구 방법은 군집의 수에 대한 연구자의 선택에 따라 군집 분석의 결과가 달라진다. 그러나 본 연구는 CiteSpace 프로그램을 이용하여 연구자의 주관을 배제하고 가장 적합한 군집의 수를 자동으로 적용하였다. CiteSpace의 군집 분석 결과인 네트워크는 Fig. 1과 같다. 총

군집의 개수는 12개이며, 모든 군집들의 레이블과 기본적인 통계 수치는 Table 1에서 확인 할 수 있다.

군집의 순서는 군집의 크기에 따라 자동으로 정해진다. 가장 많은 연구들을 포함하는 군집은 인지도가 현 시점에서 가장 큰 영역으로 볼 수 있다. 본 연구의 가장 큰 군집 #0(Supply Chain)은 118개의 문헌들로 이루어져 있으며, 그 다음으로 큰 군집 #1(Digital Twin)은 81개의 문헌들을 포함한다. 가장 낮은 실루엣 수치를 가진 군집은 군집 #0(Supply Chain)인 0.65이지만 나머지 군집들이 모두 0.7 이상으로 나타나 상대적으로 높은 수치를 기록하였다. 실루엣 수치는 1에 가까울수록 군집들의 경계가 더 명확하게 구분되어 있다는 것을 뜻한다.

군집 분석의 결과로 각 군집 레이블은 CiteSpace 프로그램이 군집들을 생성시키는 과정에서 논문 제목, 논문 키워드 그리고 초록의 명사들을 대상으로 추출해 낸다. CiteSpace 프로그램은 문서 빈도 및 역문서 빈도의 결합(tf*idf), log-likelihood ratio(LLR), 그리고 mutual information(MI)인 세 가지의 알고리즘을 통해 레이블을 추출한다. 연구자가 레이블 추출 방법을 지정할 수 있지만, Chen(2019)의 연구에 따르면 log-likelihood ratio 알고리즘이 군집의 고유한 특성과 coverage에 가장 좋은 결과를 추출하여 해당 알고리즘을 추천하고 있으며, 실제로 다수의 연구자들은 log-likelihood ratio를 지정하고 있다. 본 연구에도 log-likelihood ratio를 통해 군집 레이블을 추출하였다. 이렇게 생성된 군집들의 레이블은 분석하고자 하는 분야의 하위 영역들로 정의 내릴 수 있다. 본 연구는 제 4차 산업혁명의 변화에서 사물인터넷이 어떤 영역에서 어떻게 활용되고 있으며, 이를 통해 기업들이 앞으로 어떤 방식으로 적용 및 적응해야 할지에 대한 방향을 파악하고자 하였다. 분석의 결과로 추출된 12개의 군집들 중 상위 세 개의 군집들을 상세 분석하였다.

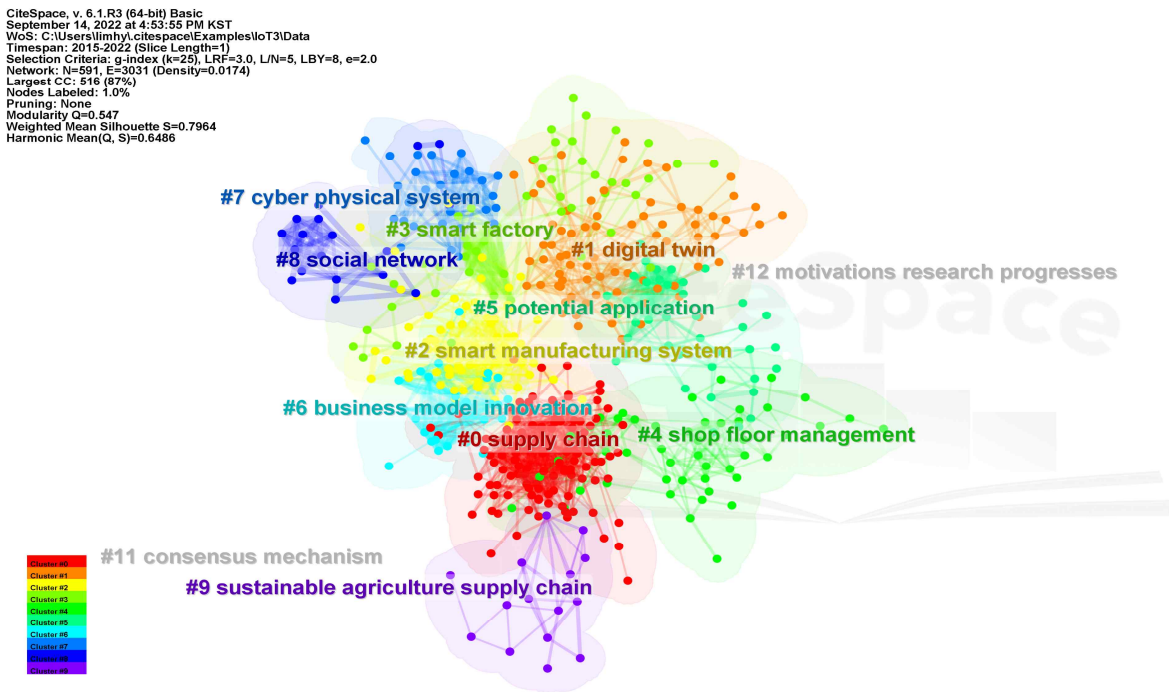

Fig. 1 Network of the Cluster Analysis

Table 1 General Information of the Clusters

Cluster	Label (Log-likelihood ratio)	Size	Silhouette	Mean Year
0	Supply Chain	118	0.65	2020
1	Digital Twin	81	0.733	2019
2	Smart Manufacturing System	70	0.719	2018
3	Smart Factory	52	0.851	2017
4	Shop Floor Management	49	0.86	2020
5	Potential Application	40	0.941	2019
6	Business Model Innovation	30	0.916	2017
7	Cyber Physical System	28	0.926	2017
8	Social Network	19	0.988	2016
9	Sustainable Agriculture Supply Chain	15	0.973	2021
11	Consensus Mechanism	7	0.983	2020
12	Motivations Research Progress	7	0.991	2021

Table 2 Cluster #0 - Supply Chain

#0 - Supply Chain				
Cited References				
Cites	Author	Year	Title	Journal
79	Frank	2019	Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies	International Journal of Production Economics
57	Muller	2018	What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability	Sustainability
53	Dalenogare	2018	The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance	International Journal of Production Economics
51	Lee	2015	The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises	Business Horizons
47	Kamble	2018	Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives	Process Safety and Environmental Protection
Citing Articles				
Coverage(%)	Author	Year	Title	Journal
48	Javaid	2021	Significant applications of big data in Industry 4.0	Journal of Industrial Integration and Management
48	Nara	2021	Expected impact of Industry 4.0 technologies on sustainable development: A study in the context of brazil's plastic industry	Sustainable Production and Consumption
39	Cugno	2021	Openness to Industry 4.0 and performance: The impact of barriers and incentives	Technological Forecasting and Social Change
35	Verma	2022	Identifying and prioritizing impediments of Industry 4.0 to sustainable digital manufacturing: A mixed method approach	Journal of Cleaner Production
34	Yang	2021	Industry 4.0, a revolution that requires technology and national strategies	Complex & Intelligent Systems

4.1.1 군집 #0(Supply Chain)

첫 번째 군집 #0은 가장 큰 군집으로 총 118개의 문헌들을 포함하고 있으며 실루엣 수치는 0.65로 높은 측에 속한다. 해당 군집의 레이블은 'Supply Chain'으로 명명되었다.

제 4차 산업혁명은 사물인터넷과 클라우드와 같은 첨단 정보통신 기술을 활용하여 기업의 전반적인 시스템에서 혁신적인 변화가 나타나는 현상을 말한다. 경쟁력을 창출하는 공급사슬관리에서 4차 산업혁명을 이루는 ICT의 활용으로 효율성의 극대화 및 비용의 감소 등 긍정적인 영향을 확인 할 수 있다. 첫 번째 군집인 공급사슬관리에 관한 연구들을 살펴보면 4차 산업혁명 기술들을 활용한 기업 내부의 시스템적인 연구, 외부의 협력 연구, 그리고 기업 내/외부를 아우르는 최적화 모델 연구 등이 포함된다. 향후, 클라우드 환경에서 빅 데이터, 사물인터넷, 인공지능 등의 활용으로 공급사슬관리의 역동적인 연구에 더욱 박차를 가하고 기업의 의사결정에 기여하는 등, 큰 변화를 일으킬 것으로 예측된다. 해당 군집에 포함하고 있는 상위 다섯 개의 논문(citing article)과 참고 문헌들은(cited references) Table 2에 제시하였다.

Table 3 Cluster #1 - Digital Twin

#1 - Digital Twin				
Cited References				
Cites	Author	Year	Title	Journal
44	Chen	2018	Smart factory of Industry 4.0: Key technologies, application case, and challenges	IEEE Access
43	Monostori	2016	Cyber-physical systems in manufacturing	Cirp Annals
37	Qi	2018	Digital twin and big data towards smart manufacturing and Industry 4.0: 360 degree comparison	IEEE Access
36	Tao	2018	Data-driven smart manufacturing	Journal of Manufacturing Systems
34	Kusiak	2018	Smart manufacturing	International Journal of Production Research
Citing Articles				
Coverage (%)	Author	Year	Title	Journal
52	Janmaijaya	2021	Industry 4.0: Latent dirichlet allocation and clustering based theme identification of bibliography	Engineering Applications of Artificial Intelligence
43	Muhuri	2019	Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview	Engineering Applications of Artificial Intelligence
34	Aceto	2019	A survey on information and communication technologies for Industry 4.0: State-of-the-art, taxonomies, perspectives, and challenges	IEEE Communications Surveys and Tutorials
31	Javaid	2021	Significant applications of big data in Industry 4.0	Journal of Industrial Integration and Management
27	Yang	2021	Industry 4.0, a revolution that requires technology and national strategies	Complex & Intelligent Systems

4.1.2 군집 #1(Digital Twin)

두 번째로 큰 군집은 총 81개의 문헌들로 이루어져 있으며 실루엣 수치는 0.733으로 상대적으로 높은 편이다. 군집 #1의 레이블은 'Digital Twin'이다.

'Digital Twin'은 General Electric(GE)이 제안한 개념으로, 가상세계에 실제 사물 또는 물리적 제품을 구현하는 것이며, 물리적 제품의 정보를 포함하며 성능 특징을 보다 잘 이해하고 예측하는 데 사용된다(Jones, 2020). 실제 제품 또는 프로세스를 실현하여 특징을 파악하는 것보다 가상적으로 디지털에 그대로 복제하여 현실 세계의 조건 또는 환경 등을 적용하여 결과나 가치를 현실 세계 운영에 반영할 수 있다. 제 4차 산업혁명을 적용하는 과정에서 스마트 팩토리나 스마트 시티와 같은 복잡한 시설이나 프로세스를 미리 시뮬레이션하여 성능 실험 및 문제점을 미리 파악해볼 수 있는 장점이 있다. 이로써 digital twin은 4차 산업혁명에서 주요 기술 중 하나라고 평가된다. 특히 사물인터넷 기술을 활용하여 실시간 정보를 수집 및 추출할 수 있다. Digital twin은 기업, 행정, 환경, 학교 그리고 정부 등 다양한 분야에서 활용 가능하기 때문에 핵심 기술, 문제점 그리고 사례들을 해당 군집에서 확인 할 수 있다. 군집 #1(Digital Twin)의 상위 다섯 개의 논문 및 참고 문헌들은 Table 3에 나열하였다.

Table 4 Cluster #2 - Smart Manufacturing System

#2 - Smart Manufacturing System				
Cited References				
Cites	Author	Year	Title	Journal
151	Lasi	2014	Industry 4.0	Business and Information Systems Engineering
113	Hermann	2016	Design principles for industrie 4.0 scenarios	Hawaii International Conference on System Sciences
102	Zhong	2017	Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A review	Engineering
100	Lu	2017	Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues	Journal of Industry Information Integration
86	Lee	2014	Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment	Procedia Cirp
Citing Articles				
Coverage (%)	Author	Year	Title	Journal
42	Janmaijaya	2021	Industry 4.0: Latent dirichlet allocation and clustering based theme identification of bibliography	Engineering Applications of Artificial Intelligence
38	Muhuri	2019	Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview	Engineering Applications of Artificial Intelligence
30	Aceto	2019	A survey on information and communication technologies for industry 4.0: State-of-the-art, taxonomies, perspectives, and challenges	IEEE Communications Surveys and Tutorials
29	Fettermann	2018	How does industry 4.0 contribute to operations management?	Journal of Industrial and Production Engineering
28	Mueller	2018	What drives the implementation of industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability	Sustainability

4.1.3 군집 #2(Smart Manufacturing System)

세 번째 군집의 레이블은 'Smart Manufacturing System'이며 실루엣 수치는 0.719으로 나타났다. 해당 군집은 총 70개의 문헌들로 이루어져 있다.

앞서 첫 번째 군집 #0(Supply Chain)이 제 4차 산업혁명 적용 방식에서 사물인터넷으로 인한 공급사슬의 변화에 관한 것이라면, 군집 #2(Smart Manufacturing System)는 사물인터넷이 제조 산업을 특정하여 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구들이 포함되었다. 제조 산업에서의 제 4차 산업혁명의 도래는 시장의 변화를 빠르게 감지하여 생산전략에 반영하는 체제가 요구된다. 즉, 정보통신기술(ICT)을 활용해 제조업의 지속적인 경쟁력 강화를 위해서 스마트 팩토리의 도입은 선택이 아닌 필수이다(김현규, 2020). 활용되는 정보통신기술들에는 'smart-'한 기능을 가진 제품 및 서비스, 즉, 사물인터넷이 핵심으로 꼽힌다.

해당 군집에서 이 현상에 대한 연구는 특히 제조업계에 집중되어 있는데, 이는 제 4차 산업혁명을 가장 효율적 및 효과적으로 이끌 수 있는 분야이기 때문이다. 과거에도 그랬듯이, 제조업이 산업혁명의 변화를 가늠할 수 있는 잣대가 될 수 있기 때문에 사물인터넷이 제조업계에서 제 4차 산업혁명을 이루어 지속적인 발전 가능성에 어떤 영향을 미치며, 어떤 상관관계를 가지고 있는지에 대한 연구의 중요성을 해당 군집에서 파악해 볼 수 있다. 군집 #2(Smart Manufacturing System)에 포함되어 있는 상위 다섯 개의 논문 및 참고문헌들은 Table 4에서 볼 수 있다.

4.2 타임라인 분석(Timeline Analysis)

타임라인 분석은 군집 분석에서 형성된 군집들을 기반으로 군집들의 연결성을 시간의 흐름에 따라 시각화한 방법이다. 결과를 통해 어떤 군집이 어느 시점에서 가장 활발한지 파악할 수 있다. 가장 큰 군집이더라도 최근에 그 크기가 감소했다면 해당 군집의 명성은 감소할 것이며, 소규모의 군집이 최근 시점에서 노드 및 연결의 수가 증가한다면 향후 해당 군집의 주제를 면밀히 살필 필요성이 있음을 예측할 수 있다.

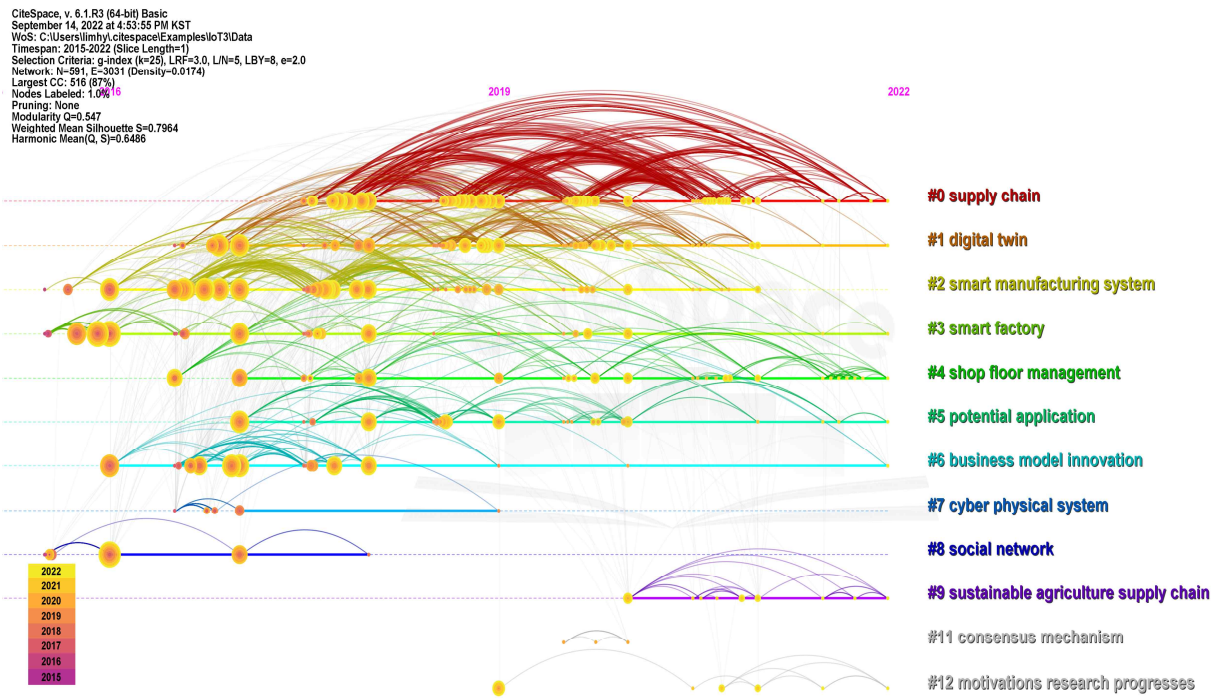

Fig. 2 Network of the Timeline Analysis

분석 결과, 12 개의 군집들 중 가장 최근까지 많은 연결선을 보이는 군집은 #0(Supply Chain), #4(Shop Floor Management)이다. 세계적으로 기업들은 제 4차 산업혁명을 통해 조직적 그리고 국가적으로 경쟁력을 얻으면서 현재 그리고 향후에 이를 지속적인 발전으로 이어나갈 수 있는 가능성에 대한 방향을 연구하고자 한다. 이에 반해, 두 번째 군집인 #1(Digital Twin)과 군집 #3(Smart Manufacturing System)은 과거에는 굵은 연결선들이 존재하였지만, 약 2020년 이후에는 약해지는 것을 알 수 있다. 이는 향후에는 영향력이 약해질 것을 의미한다. 그러나 군집 #9(Sustainable Agriculture Supply Chain)과 군집 #12(Motivations Research Progress)은 과거에는 연결선이 없었지만, 최근에 생겨난 군집들로 현재까지도 연결선이 이어지고 있다. 즉, 향후에 해당 영역들의 행보가 더 활발히 연구될 것으로 기대되는 바이다. CiteSpace로 타임라인 분석의 결과는 Fig. 2와 같다.

4.3 연구 전환점 분석(Burst Detection Analysis)

일반적으로 하나의 문헌의 명성은 발행된 시점부터 시간이 지남에 따라 다른 연구자들에 의해 인용 수가 누적됨에 따라 증가된다. 그러나 특정 상황이나 사건에 의해서 특정 문헌이 갑작스럽게 인용 횟수가 증가될 수 있다. 이렇게 탐지된 논문은 해당 분야의 주요 논문으로 추가적으로 검토할 가치가 있다. 연구 전환점 탐지 분석 결과에는 총 두 개의 논문들이 추출되었다(Fig. 3 참고). 먼저 전환점 수치가 3.1로 더 높은 논문은 2015년도에 발행된 Weyer의 'Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems'이다. 해당 논문은 제 4차 산업의 초기 단계에 연구된 것으로, 사물인터넷이 기업의 유연성과 적용효과에 어떤 영향을 미치는지에 대해 파악하고자 하였다. 제 4차 산업혁명이 새로운 혁신을 불러일으키기 때문에 이를 성공적으로 이루기 위해서 개방적이고 정규화된 시스템이 필요하다고 제안하였다. 두 번째로 추출된 논문은 Gorecky(2014)의 'Human-machine-interaction in the Industry 4.0 Era'이다. 해당 논문은 앞서 군집 #0(Digital Transformation)에서도 언급되었으며 디지털 전환의 중요한 부분인 Cyber Physical Systems에 대한 이해도를 높이고 이를 활용하는 사용자들의 다양한 관점에서 CPS와의 상호작용 시스템의 아키텍처를 분석하였다. CPS는 IIoT(Industrial Internet of Things)를 기반으로 두는 기술이며 스마트 팩토리로 나아가기 위해 기술적인 지원을 통해서 사용자들은 더욱 전략적이고 효과적인 의사결정을 기대할 수 있다.

연구 전환점 탐지 분석 결과로 추출된 두 논문들을 통해 제 4차 산업혁명을 이루고자 하는 기업들에게 좋은 지침서가 될 것으로 판단된다.

Top 2 References with the Strongest Citation Bursts

References	Year	Strength	Begin	End	2018 - 2022
Weyer S, 2015, IFAC PAPERSONLINE, V48, P579, DOI 10.1016/j.ifacol.2015.06.143, DOI	2015	3.1	2018	2020	
Gorecky D, 2014, IEEE INTL CONF IND I, V0, P289, DOI 10.1109/INDIN.2014.6945523, DOI	2014	2.19	2018	2020	

Fig. 3 Result of the Burst Detection Analysis

5. 결 론

5.1 결론 및 시사점

본 연구에서는 제 4차 산업혁명의 핵심 요소인 사물인터넷 연구의 지적구조를 분석하였다. Web of Science에서 키워드 'Industry 4.0'와 'Internet of Things'를 입력하여 총 1,631개의 문헌들과 72,754개의 참고 문헌들을 최종 데이터로 추출하였다. 본 연구의 분석 방법으로는

저자동시인용분석 방법을 이용하여 시각화에 특화된 분석 프로그램 CiteSpace를 활용하였다. 저자동시인용분석 기법들 중 군집 분석, 타임라인 분석 그리고 연구 전환점 탐지를 집중적으로 분석 및 해석하였다.

연구 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 군집 분석을 통해 총 12개의 군집들을 추출하였으며, 가장 큰 군집 #0은 'Supply Chain'이며, 다음 군집들은 'Digital Twin', 'Smart Manufacturing System', 'Smart Factory' 그리고 'Shop Floor Management' 외 일곱 개의 군집 순서로 제시하였다. 해당 군집들은 연구의 데이터로 한 논문들의 제목, 키워드, 초록의 명사들을 대상으로 하여 군집들의 레이블을 도출하였다. CiteSpace 프로그램이 자동으로 레이블을 명명함에 있어서 연구자의 주관적인 개입을 최소화하였으며 각 군집을 표현하는 주제어를 객관화하였다는 점에 의의가 있다고 판단된다.

둘째, 사물인터넷이 향후 제 4차 산업혁명에 핵심 요인으로 파악된 만큼 본 연구의 군집 분석의 결과를 통해 사물인터넷의 어떤 부분을 보다 집중적으로 연구해야 하는지 파악할 수 있다. 총 12개의 주제어가 순위별로 나열되어, 사물인터넷을 활용한 제 4차 산업혁명을 준비하고 있는 기업체들에게 하나의 가이드라인이 될 것으로 시사된다.

군집 분석 중 상위 세 개의 주제(레이블)의 연구 방향은 해당 군집들을 상세 분석하여 한 해석은 다음과 같다. 첫 번째 군집의 레이블은 'Supply Chain'으로, 사물인터넷을 활용한 공급사슬관리 영역에 대해 파악할 수 있다. 기업이 제 4차 산업혁명을 이루기 위해서 먼저 공급사슬관리의 변화를 거쳐야 한다. 기업들이 스마트 팩토리로 거듭나기 위해서는 대부분의 디지털 전환을 이룰 때 산업 사물인터넷(IIoT)을 핵심적으로 활용한다. 그러므로 제 4차 산업혁명을 대비하여 기업들은 디지털 전환에 대한 관심이 상승하고 학자들에 의해 연구 또한 활발하게 진행되고 있음을 알 수 있다. 군집 #1(Digital Twin)은 제 4차 산업혁명을 위한 디지털 트윈의 역할을 파악해볼 수 있다. Digital twin은 현실의 물리적 제품 및 프로세스를 가상 세계로 가져가서 시뮬레이션을 통해 성능, 문제점 및 가치를 파악하는 것이다. Digital twin은 4차 산업혁명에서 주요 분야로 평가되며 이를 실현하기 위해선 사물인터넷을 활용해야 한다. 4차 산업혁명과 digital twin의 상호작용과 과정에 대한 연구들이 해당 군집에서 분석하고 있다. 제 4차 산업혁명은 특히 제조 산업에서 활발히 진행되고 있다. 이에 대한 연구는 군집 #2(Smart Manufacturing System)로 분류되었다. 군집 #2는 제조 기업에서 4차 산업혁명의 적용이 어떤 효과 및 가치를 가져오며 스마트 팩토리는 어떤 시스템을 거쳐야 하는가 연구되고 있다.

셋째, 타임라인 분석을 통해 군집들의 전체적인 흐름을 시계열적으로 파악하였다. 군집 분석을 통해 총 12개의 주제들을 도출하였지만, 각 주제의 인지도는 특정한 사건 또는 시간의 흐름에 따라 달라질 수 있다. 이 부분은 타임라인 분석을 통해 각 주제에 대한 중요도를 예측해볼 수 있다. 가장 큰 군집이 항상 가장 큰 영향력을 가지고 있지 않으므로 타임라인 분석을 실시함으로서 시간적 흐름에 따른 연구의 변화에 대한 보다 상세한 분석이 가능하다. 타임라인 분석 결과, 군집 #1(Digital Twin)가 가장 두드러진 연결 정도를 보였다. 군집 #0 (Supply Chain)은 초기에 강한 밀집도를 보였지만 시간이 지나면서 영향이 약해졌음을 알 수 있다. 군집 #2(Smart Manufacturing System)의 연결선들은 강하지는 않지만 최근까지 영향이 이어지는 것을 파악할 수 있다. 군집 #3(Smart Factory)은 군집 #0(Supply Chain)과 유사한 행보를 보인 것을 파악하였다.

마지막으로 연구 전환점 분석을 실시하였다. 분석 결과 Weyer(2015)의 'Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems'와 Gorecky(2014)의 'Human-machine-interaction in the Industry 4.0 Era' 두 문헌 모두 디지털 전환에 필요한 안내 역할을 할 수 있는 것으로 파악되었다.

본 연구는 경제와 사회 등 전반적으로 제 4차 산업혁명시대가 도래한 지금 사물인터넷과 관련된 연구들을 통합적으로 정리하고 지적 구조를

규명할 필요성에서 시작되었다. 또한, 이러한 지적 구조를 추출하여 현 시점에서 가장 활발히 연구되고 있는 영역을 파악하고 분석하였다. 제시된 결과를 통해 실용자들이 4차 산업혁명을 위해 사물인터넷을 보다 빠르고 안정적으로 적용할 수 있을 것을 기대하는 바이다.

5.2 한계점 및 향후 연구 방향

본 연구의 한계점은 크게 두 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 저자동시인용분석은 지적 구조를 파악하기 위해서는 타당한 신뢰성을 가지고 있지만, 한계점 역시 존재한다. 저자동시인용분석에서 제 1저자만을 분석하기 때문에 공동 저자들에 대한 기여도는 추출되지 않았다. 향후 연구에서는 공동 저자들에 대한 기여도도 산출할 수 있는 방식으로 연구를 진행할 수 있도록 기대하는 바이다. 둘째, 해당 분석에서 쓰인 데이터는 Web of Science 하나의 데이터베이스에서 추출되었다. Web of Science는 현재 가장 우수한 연구결과물을 수록하고 있지만, 향후 연구에서 더 다양한 데이터베이스를 활용해 한계점을 보완하여 분석한다면 더 상세하고 깊이 있는 결과를 얻을 수 있을 것이다.

References

Andrews, J. E. (2003). An author co-citation analysis of medical informatics, Journal of the Medical Library Association, 91(1), 47.

Azam, A., Ahmed, A., Wang, H., Wang, Y. and Zhang, Z. (2021). Knowledge structure and research progress in wind power generation (WPG) from 2005 to 2020 using CiteSpace based scientometric analysis, Journal of Cleaner Production, 295, 126496.

Bhattacharyya, S. S. and Verma, S. (2020). The intellectual contours of corporate social responsibility literature: co-citation analysis study, International Journal of Sociology and Social Policy.

Chen, C. (2004). Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization, Proceedings of the National Academy of Sciences, 101(1), 5303-5310.

Chen, C. (2017). Science mapping: A systematic review of the literature, Journal of Data and Information Science, 2(2), 1-40.

Chen, C. (2019). How to Use CiteSpace, Leanpub.

Cui, Y., Mou, J. and Liu, Y. (2018). Knowledge mapping of social commerce research: A visual analysis using CiteSpace, Electronic Commerce Research, 18(4), 837 - 868.

Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness, Sociometry, 40(1), 35-41.

Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M. and Zühlke, D. (2014). Human-machine-interaction in the industry 4.0 era, In 2014 12th IEEE international conference on industrial informatics (INDIN), 289-294.

Heo, G. E. and Song, M. (2013). Examining the Intellectual Structure of a Medical Informatics Journal with Author Co-citation Analysis and Co-word Analysis, Journal of the Korean Society for Information Management, 30(2), 207-225.

Jang, H. D.(2019). A study on personal information legislation improvement plan for data economic regulatory innovation, Korean Industrial Economic Association (IKIEA), 32(6), 2589-2602.

Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J. and Hicks, B. (2020). Characterising the Digital Twin: A systematic literature review, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 29, 36-52.

Kim. H. G. (2020). A Study on the Factors Influencing on the Intention to

Continuously Use a Smart Factory, Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, 25(2), 73-85.

Kim, H. J. (2005). A Study on Visualization of Digital Preservation Knowledge Domain Using CiteSpace, Journal of the Korean Society for Library and Information Science, 39(4), 89 - 104.

Kim, H. J. and Cho, H. Y. (2010). A Study on Intellectual Structure Using Author Co-citation Analysis and Author Bibliographic Coupling Analysis in the Field of Social Welfare Science, Journal of the Korean Society for Information Management, 27(3), 283 - 306.

Kim, J. W., Kim, H. M., Lee, S. Y. and Rhee, J. W. (2008). Research Trend and Knowledge Structure of Relationship Marketing -Based on Authors Co-citation Analysis and Social Network Analysis to identify Authors Relationship, Korean Journal of Marketing, 23(3), 1-35.

Kim, J. Y. (2018). Regulations and Government Legislations Issues for Internet of Things, Journal of Law&Technology, 24(1), 43-92.

Kim, Y. H. and Chang, K. J. (2022). Microplastics Intellectual Network Analysis based on Bigdata, Journal of Convergence for Information Technology, 12(4), 239-259.

Kim, Y. J. and Kim, C. H. (2007). Mapping the intellectual structure of communication research field in Korea: An author co-citation analysis, 1989~2006, Korean Journal of Communication Studies, 15(3), 156-185.

Kim, Y., Park, Y. S. and Baek, D. (2022). High Power Energy Harvesting Systems for IoT Sensor Nodes Systems, Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, 27(4), 29-36.

Kranenburg, R. V., Anzelmo, E., Bassi, A., Capri, D., Dodson, S. and Ratto, M.(2011). The internet of things, 1st Berlin Symposium on Internet and Society, Oct. 25-28, Berlin, Germany, 25-27.

Lee, H. J. and Kim, Y. H. (2021). A Study on the Blockchain in Business: Research Trends and Issues between Korea and Overseas, The e-Business Studies, 22(1), 159-176.

Lee, J. H. (2021). Internet of Things and Philosophy, CommunicationBooks.

Lee, M. O. (1996). Major Themes and Trends in Korean Women's Studies: The Results of Author Co-citation Analysis, Journal of Korean Women's Studies, 12(1), 180-203.

Lim, H. J. and Suh, C. K. (2018). The Intellectual Structure of Supply Chain Management, Journal of the Korean Society of Supply Chain Management, 18(1), 1-14.

Moon, A., Lee, E., and Kim, S. (2021). Development of Microclimate-based Smart Farm Predictive Platform for Intelligent Agricultural Services. Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, 26(1), 21-29.

Moon, J. Y. (2011). Study on Intellectual Structure of Secretarial Studies Using Author Co-citation Analysis, Journal of Secretarial Studies, 20(1), 25-44.

Mustafee, N., Bessis, N., Taylor, S. J. and Sotiriadis, S. (2013). Exploring the E-Science knowledge base through co-citation analysis, Procedia Computer Science, 19, 586-593.

Oh, B. K. (2018). An Analysis on Adapted Relative Rankings using the Fourth Industrial Revolution Categories among the Regions of South Korea, Journal of Industrial Economics and Business, 31(1), 275-292.

Park, E. Y. (2021). Income Inequality and Fourth Industrial Revolution, Journal of Industrial Economics and Business, 34(3), 713-733.

Park, H. J. (2022). Analyzing and Visualizing the Intellectual Structure of Data Science, Journal of the Korea Contents Association, 22(7), 18-29.

Park, J. S., Hong, S. G. and Kim. N. R. (2016). A Development Plan for Co-creation-based Smart City through the Trend Analysis of Internet of Things, Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, 21(4), 67-78.

Rousseeuw, P. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis, Journal of Computational and Applied Mathematics, 20, 53-65.

Ryu, M. H. and Cho, H. S. (2020). An Analysis of IoT Service using Sentiment Analysis on Online Reviews: Focusing on the Characteristics of Service Providers, Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, 25(5), 91-102.

Shiau, W. L., Chen, S. Y. and Tsai, Y. C. (2015). Management information systems issues: Co-citation analysis of journal articles, International Journal of Electronic Commerce Studies, 6(1), 145-162.

Suh, E. K. (1992). Research Patterns of Information Retrieval in Information Science: The Changing Structure Across A Decade, Journal of the Korean Society for Information Management, 9(1), 55-82.

Wang, L. and Kim, M. S. (2019). Visualized Analysis on Multimodal Social semiotics(1999-2019) Based on CiteSpace, Journal of Korean Design Research Society, 4(2), 123-134.

Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M. and Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems, Ifac-Papersonline, 48(3), 579-584.

White, H. D. and Griffith, B. C. (1981). Author cocitation: A literature measure of intellectual structure, Journal of the American Society for Information Science, 32(3), 163-171.

Zhang, M. Y. (2022). Visual analysis of the development of international children"s physical fitness based on CiteSpace, Korean Journal of Sports Science, 31(2), 101-113.

Zhu, J., Song, L. J., Zhu, L. and Johnson, R. E. (2019). Visualizing the landscape and evolution of leadership research, The Leadership Quarterly, 30(2), 215-232.

임 혜 정 (Hyaejung Lim)

- 경북대학교 경영학부 학사
- 경북대학교 경영학부 석사
- 경북대학교 대학원 경영학부 박사과정 수료
- 관심분야: SCM, 딥러닝, 사물인터넷

서 창 교 (Chang-Kyo Suh)

- 종신회원
- 경북대학교 경영학과 학사
- POSTECH 산업공학과 석사
- POSTECH 산업공학과 박사
- (현재) 경북대학교 경영학부 교수
- 관심분야: SCM, 지능정보시스템, 텍스트 마이닝