https://doi.org/10.21289/KSIC.2023.26.3.471

특허정보를 활용한 디지털 트윈 기술 동향 분석 및 기술융합기회 발굴

Exploring Technology Development Trends and Discovering Technology Convergence Opportunities in the Digital Twin using Patent Information

유경영[1], 송지훈[2*]

Kyungyung Yu[1], Chie Hoon Song[2*]

〈Abstract〉

Digital twin is considered as a key technology of industry 4.0, thus being essential for the future of industrial production. Despite the significance, a systematic analysis of its technological landscape is lacking. This study aims to investigate the technological development trends and newly emerging technological convergence opportunities in the domain of digital twin by exploiting patent information derived from USPTO. For this purpose, this study visualized and predicted the convergence dynamics among patent classification codes by adopting patent co-classification analysis and link prediction approach. The findings show that the number of digital twin-related patent applications has increased significantly since 2018. The CPC code G06F showed the highest eigenvector centrality, while G05B was characterized by highest betweenness centrality. According to the predictive model, 41 novel links were revealed, acting as potential technology convergence opportunities. These links were then categorized into 11 different domains. The most dominant category was “digital data processing and artificial intelligence”, which could play a foundational role in the diffusion of digital twin technology. The presence of digital twin technology is dominant in manufacturing, but its applications are expected to expand, including “climate

1 제1저자, 석사과정, 경상국립대학교 대학원 기술경영학과
E-mail: dbrudfud3@gnu.ac.kr

2* 교신저자, 조교수, 경상국립대학교 대학원 기술경영학과
E-mail: chsong01@gnu.ac.kr

1 First author, Graduate Student (Master’s program) Gyeongsang National University, Department of Management of Technology
E-mail: dbrudfud3@gnu.ac.kr

2* Corresponding author, Assistant Professor Gyeongsang National University, Department of Management of Technology
E-mail: chsong01@gnu.ac.kr

change", "healthcare" and "aerospace engineering". The derived insights can support R&D managers and policy makers in formulating R&D strategies and directing future R&D investment decisions.

Keywords : Digital Twin, Patent Analysis, Technology Convergence, Network Analysis, Link Prediction

1. 서 론

제4차 산업혁명으로 인한 기술 융합은 기존 산업 구조의 디지털 전환을 촉진해 과학 난제를 해결하고, 시장 경쟁 구도의 변화를 통해 신시장을 창출하며, 미래 사회 문제 해결에 있어 중요한 돌파구의 하나로 여겨지고 있다[1]. ICT(information and communications technology) 융합이 기업의 생산성을 높이고 새로운 기술과 서비스의 상용화를 가능하게 했다면, 디지털 전환은 디지털 기술을 활용해 비즈니스 모델 및 운영방식의 혁신을 도모함으로써 개인화된 고객 경험(customer experience)을 강화하고 고객 중심의 가치 창출에 기여하고 있다[2]. 디지털 전환의 중심에는 데이터가 있으며, 제품 및 공정에 대한 데이터를 센서로 수집해 가상 세계에 해당 제품과 동일한 제품을 구현하는 기술인 디지털 트윈(digital twin)에 대한 여러 산업계의 관심이 고조되고 있다[3]. 특히, 스마트 공장, 스마트 시티, 자율주행 등과 같은 대규모의 데이터를 활용하는 혁신생태계(innovation ecosystem) 구현을 위해 디지털 트윈은 매우 중요한 구성요소로 언급되고 있다. 디지털 트윈의 현대적 개념을 제안한 마이클 그리브스 (Michael Grieves) 교수는 디지털 트윈을 제품에 대한 정보를 현실 공간(real space)에서 가상공간(virtual space)으로 이동시켜 (반대의 경우도 포함) 완벽히 묘사가 가능한 가상의 정보 집합으로 표현하였다[4].

이렇듯 디지털 트윈은 물리적 영역과 디지털 영역을 연결해 주는 가교역할을 함과 동시에, 전체 제품 수명 주기에 대한 디지털 프로필을 확보하여 제품 및 프로세스 개발을 가속화하고 유지보수를 예측할 수 있는 프로세스 관리 방법으로도 주목받고 있다. 물리적 세계에 대한 정교한 복제를 통해 디지털로 시뮬레이션과 모델링을 통해 얻을 결과들을 기반으로 기업은 데이터 기반의 선행적 의사결정을 내릴 수 있으며, 보다 효율적인 리스크 관리에 대한 방안을 제시할 수 있다. 디지털 트윈의 중요성은 정부 정책에서도 강조되고 있으며, 특히 공간 중심의 활용성이 증대되면서 재난재해 대응 분야에서 디지털 트윈 구축을 통한 재난 대응 시스템의 구축 및 도시문제 해결이 핵심 과제로 부각되고 있다[5].

디지털 트윈에 대한 학술적 정의는 아직 완전히 정립되지 않았지만, 관련 시장은 빠르게 성장하는 추세다. 연구개발특구진흥재단의 유망시장 Issue Report에 의하면, 디지털 트윈 글로벌 시장은 2020년 31.5억 달러에서 연평균 58% 성장하여 2026년에는 482.7억 달러 규모에 이를 전망이다[6]. 디지털 트윈 연구 동향[7], 적용사례 및 정책 동향[8]에 관한 연구는 수행되어 왔고 이는 이론적 지평을 넓혔으나, 기술 융합 관점에서 특허정보를 이용한 계량적 접근 방법을 통해 기술 발전 동향을 분석한 연구는 아직 부족한 실정이다. 디지털 트윈은 다양한 산업 분야에 적용할 수 있으며, 이러한 신흥기술(emerging technology)은 기술 융합을 통해 발전하기 때문에, 정성적 분석

만으로는 진화하는 기술 변화의 본질을 객관적으로 파악하는 데 한계가 있다고 볼 수 있다. 아울러 기존 연구는 기업 R&D를 포함한 산업적 관점에서 디지털 트윈 기술의 발전 동향을 다루지 못한다는 제한점을 지닌다.

최근 들어 융합기술의 학제적 특성을 파악하고 잠재적 기술 기회를 발굴하기 위한 목적으로 특허정보를 활용한 기술 동향 분석이 활발히 연구되고 있다. 이는 특허가 발명을 기술한 표준화된 문서로서 혁신 활동에 필요한 기술 인텔리전스를 제공하는 데 핵심적인 역할을 하기 때문이다[9]. 무엇보다 기술 융합을 기반으로 하는 국가 R&D의 중요성이 증가함에 따라 향후 기술개발 전략을 수립하고 R&D 투자 방향을 제시하는 데 있어 기술 융합 특징에 대한 이해는 연구자 및 정책 입안자에게 대안적인 관점을 제공할 수 있다[10]. 향후 융합기술 발전 양상에 대한 선제적 대응을 위해서는 기술 융합 관계에 관한 예측이 새로운 기술응용 분야를 개척하는 데 있어 점차 중요시되고 있다[11].

따라서 본 연구는 선진특허분류 체계인 CPC (cooperative patent classification) 코드의 동시출현(co-occurrence) 네트워크 분석을 통해 디지털 트윈 분야 기술융합의 구조적 특성을 도출하고자 한다. 또한, 네트워크상 존재하는 노드(node) 간 링크(link) 정보에 의거해 미래에 출현 가능성이 큰 잠재적 링크의 존재 여부를 예측함으로써 이를 새로운 기술 융합 기회로 제시하고자 한다. 이를 위해 미국 특허청(USPTO)에 2010년부터 2022년 사이 출원된 디지털 트윈 기술 분야 특허정보를 기반으로 동시분류(co-classification) 분석 및 링크 예측(link prediction) 기법을 활용해 기술 융합 기회를 예측한다. 본 연구는 단순 특허의 서지정보 또는 동시 분류 분석이 아닌 링크 예측을 통해 디지털 트윈 분야 미래 유망 기술 융합 기회를 발굴할 수 있는 모델을 제시한다는 측면에서 의의가 있다. 또한, 본 연구에서 도출된 결과는 향후 디지털 트윈의 적용 범위 확대에 있어 그 잠재성을 정략적으로 제시함에 따라 디지털 트윈 분야 의사결정권자들의 R&D 기획 수립을 위한 근거자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문의 2장에서는 연구에 사용되는 데이터 및 전반적인 분석 절차에 관해 서술한다. 3장에서는 연구 결과에 대해 논의하고, 4장에서는 연구의 결론, 한계점 및 향후 연구방향에 대해 서술한다.

2. 데이터 및 연구 방법론

본 연구에서는 Fig. 1에 제시된 데이터 분석 절차를 따라 연구를 수행하였으며, 이는 링크 예측을 바탕으로 새로운 기술 융합 기회 발굴을 위한 총 4단계의 절차로 구성하였다. 예측 모델을 생성하고 이를 이용해 구체적인 기술융합기회를 도출

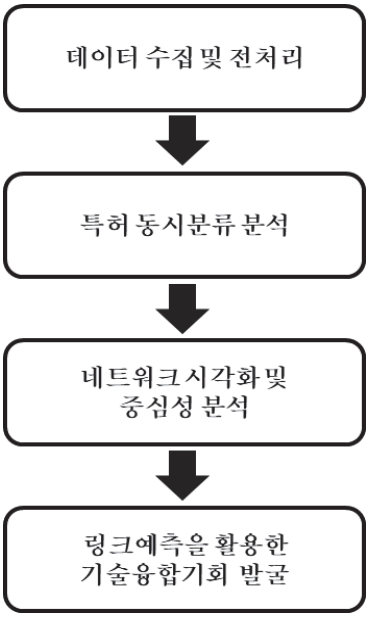

Fig. 1 Overview of the data analytics procedure

하기에 앞서, 특허분류코드의 동시 출현 빈도 측정을 기반으로 다양한 기술 분야 간 지식흐름의 특성 분석을 통해 타 분야에 미치는 영향력이 높은 세부기술에 대해 논하고자 한다. 이번 장에서는 단계별 분석 프로세스와 적용된 분석 기법에 대해 간략히 서술한다.

2.1 데이터 수집 및 전처리

본 연구에서는 디지털 트윈 분야 기술 동향 분석을 위해 선행문헌 조사를 기반으로 특허 데이터 수집을 위한 대표 키워드를 선정하였다. 이를 위해 관련 해외 논문 및 한국특허전략개발원에서 제공하는 특허 기술 동향 보고서를 참조해 검색 키워드를 정의하였다[12,13]. 디지털 트윈은 최근 들어 디지털 전환을 촉진하는 핵심기술 중 하나로 주목받고 있기 때문에, 출원공개 또는 등록된 특허들에 대해서 중복건을 제외하고 수집하였다. Table 1의 검색식을 활용해 미국 특허청인 USPTO(United States Patent and Trademark Office)에 출원된 특허를 온라인 특허 검색서비스를 제공하는 업체인 윕스온(https://www.wipson.com)을 통해 확보하였다 (검색식은 윕스온의 특허 검색식 작성 방법에 따라 작성되었다). 최신 트렌드를 반영하고자 분석 범위를 2010년부터 2022년 사이에 출원된 특허 데이터를 수집하였으며, 검색은 2023년 3월에 이루어졌다. 노이즈 처리 기준을 세워 디지털 트윈과 연관성이 없는 특허는 정성적 스크리닝(screening) 과정을 거쳐 제거하였다. (예시: 키워드로 사용된 XR의 경우 화학식의 작용기(functional group)를 나타내거나 X-ray의 의미로도 사용이 됨을 확인할 수 있었다.) 필터링을 거쳐 최종적으로 분석 대상이 되는 특허의 건수는 1649건이다.

Table 1. Patent search query

(("XR" OR (digital NEAR2 twin) OR "digital twin" OR "extended realities" OR "extended reality" OR "eXtended Reality" OR "Extended Reality" OR "cyber physical system" OR "cyber-physical system" OR "cyber physical systems" OR "cyber-physical systems" OR "physical twin" OR "physical twins" OR "digital thread" OR "human machine collaboration" OR "human robot collaboration" OR (realiz* NEAR3 virtualiz*) OR (realiz* NEAR3 digitaliz*)).TI. OR ((digital NEAR2 twin) OR "digital twin" OR "extended realities" OR "extended reality" OR "eXtended Reality" OR "Extended Reality" OR "cyber physical system" OR "cyber-physical system" OR "cyber physical systems" OR "cyber-physical systems" OR "physical twin" OR "physical twins" OR "digital thread" OR "human machine collaboration" OR "human robot collaboration" OR (realiz* NEAR3 virtualiz*) OR (realiz* NEAR3 digitaliz*)).AB. OR ((digital NEAR2 twin) OR "digital twin" OR "extended realities" OR "extended reality" OR "eXtended Reality" OR "Extended Reality" OR "cyber physical system" OR "cyber-physical system" OR "cyber physical systems" OR "cyber-physical systems" OR "physical twin" OR "physical twins" OR "digital thread" OR "human machine collaboration" OR "human robot collaboration" OR (realiz* NEAR3 virtualiz*) OR (realiz* NEAR3 digitaliz*)).CLA. AND (@AD>=20100101<=20221231))
검색범위: Title, Abstract 및 Claims (제목, 초록 및 청구항)
검색기간: 2010년 1월 1일 ~ 2022년 12월 31일

2.2 특허 동시 분류 분석

일반적으로 특허 정보 기반의 기술융합연구에서는 특허 간 인용 관계(citation relation) 분석 또는 특허분류코드의 동시 분류 분석이 활용되었다[14]. 특허분류코드는 모든 공개된 특허 문서에 부여되며 동시에 해당 발명이 속하는 지식 분야를 체계적으로 구분해 나타내는 유용한 자료로 인식된다. 또한, 계층적 구조를 지니고 있어 복잡한 특허정보의 검색을 보완해 주는 검색 도구로도 높

은 활용성을 갖는다. 출원된 특허는 발명의 성격에 따라 하나 이상의 분류 코드를 부여받을 수 있는데, 하나의 특허에 이종 분야의 분류 코드가 할당되는 경우 이들 지식 분야 간 상호작용을 통해 지식 흐름이 발생한다고 가정한다. 여기서 지식 흐름이란 한 분야에서 다른 분야로의 지식공유 또는 지식 이전 활동이 발생함을 의미하며, 이종 분야 간 지식 흐름의 빈도가 증가함에 따라 두 분야 간의 경계가 모호해지며 하나로 통합되는 현상을 융합이라 지칭한다[15]. 특히, 다학제적으로 융합된 기술은 신규 영역의 창출을 통해 산업 패러다임의 변화에 보다 유연하게 대처할 수 있는 시너지 발휘에 기여한다. 특허 동시 분류 분석은 간접적으로 지식 흐름의 패턴을 측정하는 대표적인 방법론 중 하나로, 본 연구에서는 지식 흐름의 행렬화를 통해 기술 분야 간 상호 연계성을 파악하고자 한다. 생성된 행렬은 대칭적인 m × m의 구조를 가지며 m은 분석 대상이 되는 CPC 코드 수의 합을 나타낸다.

2.3 네트워크 시각화 및 중심성 분석

본 분석단계에서는 앞서 도출한 행렬을 네트워크로 시각화하며, 중심성 분석(centrality analysis)을 통해 융합관점에서 디지털 트윈 내 기술 분야에 미치는 파급효과가 더 큰 분류 코드를 정량화해 나타낸다. 네트워크는 분석 대상이 되는 객체인 노드와 노드 사이를 연결하는 링크로 이루어지며, 네트워크 분석은 노드 사이의 관계를 정량화하고 구조화하는 데 의의를 둔다. 이러한 융합기술의 구조와 특성의 이해를 위한 네트워크 분석 기법은 다양한 기술 및 산업 분야의 융합 현상 분석을 위해 적용되었다[16, 17]. 네트워크의 시각화는 오픈소스 프로그램인 gephi 0.9.6. 버전을 사용하였다. 본 연구에서는 네트워크 분석 기법의 중심성 지표 중, 매개 중심성(betweenness centrality)과 고유벡터 중심성(eigenvector centrality)을 산출하여 노드들의 특성을 확인한다. 매개 중심성은 최단경로를 기반으로 네트워크에서 중심성을 측정하는 척도로, 매개 중심성이 높은 노드를 통해 더 많은 정보가 통과하기 때문에 해당 노드는 정보 흐름에 대한 통제권을 더 많이 갖는다고 볼 수 있다. 고유벡터 중심성은 네트워크 내 노드의 영향력을 측정하는 데 사용되며, 직접적으로 연결된 인접 노드의 수와 인접 노드가 가지는 중요도에 의해 영향을 받는다.

2.4 링크 예측을 활용한 기술융합기회 발굴

링크 예측은 향후 네트워크상에서 생성될 것으로 예견되는 이전까지 연관성이 없는 노드 간의 새로운 링크의 출현을 예측하는 방법론이다. 이와 반대로 현재는 존재하지만, 미래에는 사라질 가능성이 높은 링크를 예측할 수도 있으며, 일반적으로 미래에 출현 가능성이 높은 기술 융합 기회 또는 기술 서비스의 개선 방향 도출을 위한 연구 분야에서 적용되었다[18]. 본 연구에서는 링크 예측을 일종의 이진 분류(binary classification) 문제로 정의하고 노드들의 특성 정보를 활용해 머신러닝 모델 학습을 통해 디지털 트윈 분야 새로운 기술 융합 기회를 예측한다. 분석에 사용한 특허 데이터를 동일한 시간 간격(2016-17, 2018-19, 2020-21)으로 그룹화한 후, 순차적으로 학습시켜 2022년 이후 연결 가능성이 높은 노드 쌍(node pairs)에 대한 예측을 진행하였다. 마지막 구간에 해당하는 입력변수를 최종적으로 학습된 모델에 적용시켰으며, 새롭게 예측된 기술 융합 기회는 시각화를 통해 직관적인 이해가 가능하도록 표현하였다.

3. 디지털 트윈 특허 분석 결과

3.1 기술통계 분석

이번 장에서는 분석에 사용한 데이터의 주요 특성에 관한 기술통계를 제공한다. Fig. 2는 2010년부터 2022년 사이 출원된 연도별 특허 건수 변화 추이를 보여주며, x-축은 출원 연도를 나타낸다. 초창기에는 기술의 발전이 더디었으나 2018년을 기점으로 특허출원 건수가 급격히 증가하였다. 2022년에는 출원율이 다소 감소하는 추세를 보이는데 이는 특허의 출원과 등록 사이에 발생하는 시차(time lag)로

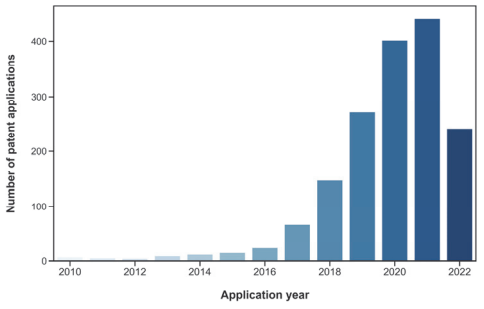

Fig. 2 Patent development trend of digital twin technology

Table 2. Frequency analysis of CPC codes (at subclass level)

No.	CPC	빈도수	No.	CPC	빈도수
1	G06F	2039	11	G16H	261
2	G06T	1393	12	H04N	200
3	H04L	843	13	G06V	122
4	G05B	593	14	B60W	92
5	G06Q	521	15	G09G	83
6	A61B	477	16	H04S	79
7	G06N	425	17	A63F	78
8	G02B	343	18	G10L	72
9	G06K	343	19	G07C	62
10	H04W	293	20	G05D	62

설명할 수 있다. 따라서, 2022년 실질적으로 출원된 특허 건수는 더 높을 것으로 예상된다. 위와 같은 급격한 증가추세는 2016년 10월 미국의 IT기술 컨설팅 가트너(Gartner)가 발표한 '2017년 10대 전략 기술'에 디지털 트윈이 포함되면서 디지털 트윈에 관한 관심이 증가한 영향으로도 볼 수 있다[19].

Table 2는 특허분류코드인 CPC의 상위 20개 출현빈도를 나타낸다. CPC는 섹션(section), 클래스(class), 서브클래스(sub-class), 메인그룹(main-group), 서브그룹(sub-group)의 계층적 구조로 기술을 분류하는데, 본 연구에서는 서브클래스 수준의 코드만을 고려해 등장하는 세부 기술 분야에 대해 탐색을 한다. 가장 출현 빈도가 높은 코드는 G06F(전기에 의한 디지털 데이터처리), G06T(일반적으로 이미지 데이터 처리 또는 생성), H04L(디지털 정보의 전송), G05B(제어 또는 조정 시스템 일반) 그리고 G06Q(관리, 상업, 재무, 관리 또는 감독 목적을 위해 특별히 적용된 정보통신기술) 순으로 나타났다. 이는 디지털 데이터 관련 처리 기술이 높은 중요도를 차지하고 있음을 의미한다. 전반적으로 ICT 분야와 연관되거나 이로부터 파생된 기술들이 대다수를 차지하는 가운데, A61B(진단; 수술; 개인 식별), B60W(도로 차량 구동 제어시스템)와 A63F(게임하는 물체의 작은 움직임을 이용한 실내 게임) 등과 같은 디지털 트윈 기술의 응용분야 또한 확인할 수 있었다. 이는 디지털 트윈 기술이 고도화 및 확산함에 따라 자율주행 시뮬레이션 및 의료와 같은 산업군에서 활용성이 점차 확대되고 있음을 간접적으로 시사한다[20].

Fig. 3은 국가별 및 주요 상위 출원인별 특허출원 현황을 나타내며, 이를 통해 기술개발을 주도하는 주체에 대한 현황을 파악하게 해준다. 왼쪽의 그림은 국가별 출원 동향을 포착하며, 미국의 특허출원 건수가 압도적으로 많은 것으로 나타나는데, 이는 미국 특허청에 출원된 특허 정보 조사로 인해 나타난 결과이다. 글로벌 특허 기술시장에서 미국 시장

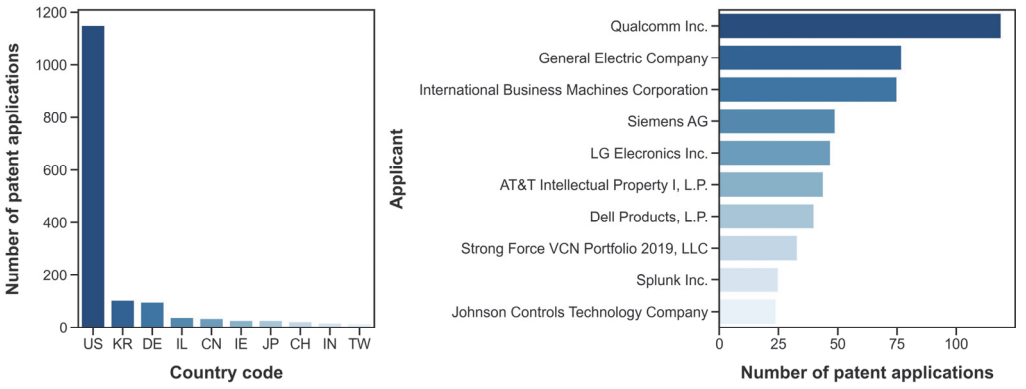

Fig. 3 Visualization of patents by country of origin and assignee distribution

의 영향력이 가장 크다고는 단정 지을 수 없지만, 상대적으로 기술시장을 선도하고 있는 기업을 다수 보유하고 있다고 판단할 수 있다. 미국 다음으로 출원을 많이 한 국가로는 한국, 독일, 이스라엘, 중국, 아일랜드, 일본, 스위스, 인도, 대만 순으로 나타나는데, 주로 과학기술 중심의 국가경쟁력을 추구하는 나라들이 높은 비중을 차지하고 있다. Fig. 3의 오른쪽 그림은 주요 출원인별 출원 동향을 나타낸다. 출원인별 특징을 살펴보면 미국의 퀄컴, 제너럴 일렉트릭, IBM, 독일의 지멘스, 한국의 LG전자 등과 같은 글로벌 기업이 상위권에 포진해 있다. 퀄컴, 제너럴 일렉트릭, 지멘스, IBM, Dell, LG 전자와 같은 기업은 대부분 전자/기계/컴퓨터 장비 산업에 속하는 기업이지만, 통신서비스를 제공하는 AT&T도 특허출원 상위권에 있음을 찾아볼 수 있다. 이는 이동통신사가 5G에 이어 2030년 6G 상용화를 위해 확장 현실 및 메타버스를 위한 AI와 머신러닝 관련 기술을 도입하고자 하는 점을 시사한다[21].

3.2 네트워크 시각화 및 중심성 분석

Fig. 4는 동시 분류 분석을 통해 얻은 지식 흐

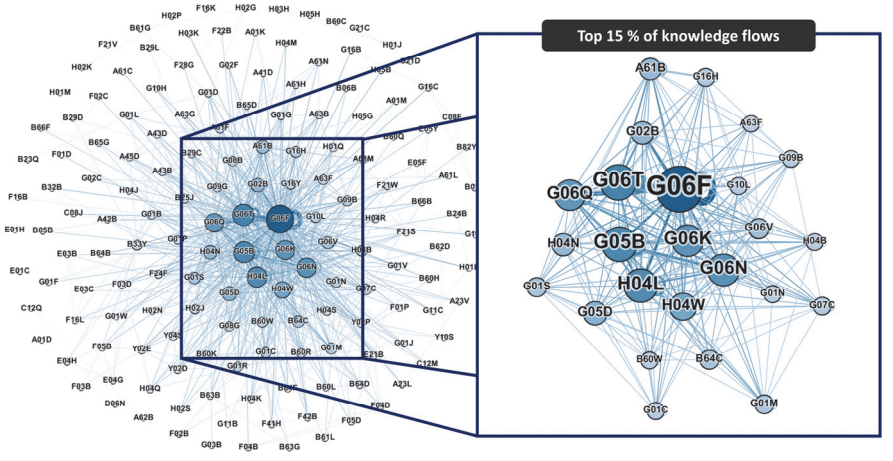

Fig. 4 Visualization of network based on CPC co-classification analysis

름 행렬을 네트워크로 시각화해 나타낸 그림이며, 왼쪽에는 전체 네트워크를 오른쪽에는 상위 15%에 해당하는 주요 지식 흐름을 강조하였다. 전체 네트워크는 총 노드 수는 160이며 866개의 링크를 갖는다. 노드의 색상은 해당 노드와 직접 연결된 인접 노드의 수와 비례하며, 그중 짙은 색을 띠고 있는 G06F의 연결 중심성이 제일 높다. Table 3은 네트워크 중심성 분석을 통해 획득한 상위 20개 매개 중심성 및 고유벡터 중심성 값을 나타낸다.

중심성 값은 고유벡터 중심성을 기준으로 높은 순에서 낮은 순으로 정렬하였으며, 디지털 트윈 기술 내에서 가장 폭넓은 영향력을 미치는 분야는 G06F로 이들의 순위는 Table 2의 출현 빈도와 유사한 경향을 나타낸다. 고유벡터 중심성이 높은 분류 코드는 전체 지식 흐름에 행사하는 종합적인 영향력이 크며, 이는 융합기반의 혁신 기회를 제공하는데 긍정적인 작용을 한다고 판단할 수 있다. 대체로 데이터 처리 및 통신 기술과 관련된 특허 분류 코드가 높은 고유벡터 중심성과 매개 중심성을 보이는데 G06F 외 G05B(제어 또는 조정 시스템 일반)와 G06N(특정 계산 모델 기반의 컴퓨팅 장치)이 디지털 트윈 기술 분야 내 정보 흐름을 조정하는 중개자 역할을 담당하고 있다고 볼 수 있다. 그러나, 단순 출현 빈도 결과와는 다르게 B60W 분류 코드는 낮은 고유벡터 중심성을 보이며, 이는 융합 경향이 출현빈도에 비해 다소 낮다고 판단할 수 있다.

Table 3. Network centrality scores (at subclass level)

No.	CPC 코드	매개 중심성	고유벡터 중심성
1	G06F	0.2488	0.7276
2	G06T	0.0687	0.4206
3	G06Q	0.0773	0.3271
4	H04L	0.0959	0.2191
5	G05B	0.2546	0.2118
6	G02B	0.0805	0.1942
7	G06N	0.1586	0.1551
8	G06K	0.0264	0.0993
9	A61B	0.0181	0.0913
10	H04W	0.0444	0.0654
11	G09G	0.012	0.0552
12	G06V	0.0026	0.046
13	H02J	0.0668	0.0304
14	H04N	0.0331	0.03
15	G16H	0.0034	0.0292
16	H04B	0.0308	0.018
17	A61M	0	0.0146
18	A63F	0.0411	0.0144
19	G07C	0.0019	0.0141
20	G09B	0.0091	0.0112

헬스케어 분야와 밀접한 A61B 외 A61M(인체의 안으로 또는 표면에 매체를 도입하는 장치)이 고유벡터 중심성만을 가지는 특성을 보이는데 이는 A61M이 지식 이전을 통해 기술 융합에 미치는 영향력이 미비하다고 할 수 있다.

3.3 링크 예측 분석

Fig. 5는 학습한 예측 모델을 기반으로 2022년 이후 나타날 수 있는 잠재적 기술 융합 기회를 초록색 링크로 시각화해 나타낸다. 본 연구에서는 최적의 예측 모델을 선정하기 위해 총 10종의 여러 기계학습 알고리즘(서포트 벡터 머신, 로지스틱 회귀, 랜덤 포레스트, 엑스트라 트리, 다층 퍼셉트론(MLP), XGBoost, 그래디언트 부스팅, LightGBM, 어댑티브 부스팅(AdaBoost), K-최근접 이웃)을 비교분석 하였고, 그 결과 인공신경망의 일종인 다층 퍼셉트론이 가장 적합한 성능을 보였다. 학습을 위해 Common Neighbors, Adamic Adar, Jaccard coefficient 등과 같은 이웃 노드 기반 네트워크 변수를 추출해 입력변수로 활용하였다[11, 22]. 데

이터의 70%는 학습으로 30%는 검증으로 사용했으며 정확도(accuracy) 보다는 불균형한 데이터 모델 평가에 적합한 정밀도(precision) 값을 개선하는 데 중점을 두었다. 또한, 학습모델의 신뢰성을 확보하기 위해 5-fold Stratified 교차검증을 활용하였다. 학습된 모델은 약 92%의 정확도, 73%의 정밀도와 43%의 재현율(recall)을 보였다.

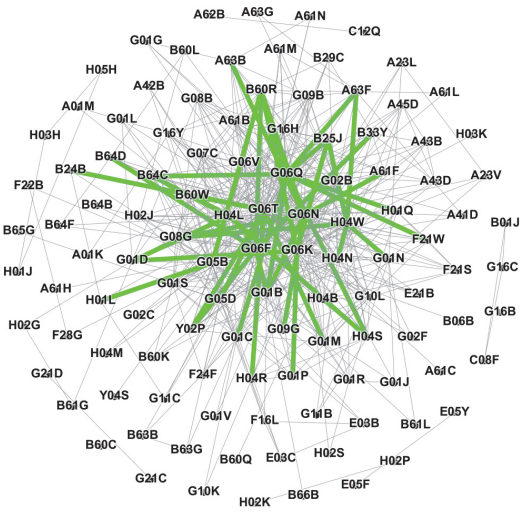

Fig. 5 Visualization of network based on link prediction

분석 결과에 의하면 총 41쌍의 분류 코드 간 기술 융합 기회가 예측되었으며, 이들은 Table 4에 한국표준산업분류(KSIC)-국제특허분류 상호연계표와 한국전자통신연구원의 기술분류체계를 참조해 도메인별로 분류하였다[23, 24]. 그 결과 새롭게 등장할 것으로 예상되는 기술 분야는 총 11개의 도메인으로 요약할 수 있으며, 대부분 "디지털 데이터 처리 및 인공지능" 분야 코드와의 융합을 통해 새롭게 출현할 것으로 나타난다. 이는 디지털 트윈의 적용에 있어 사물인터넷, 고속통신망, 빅데이터 및 인공지능 등이 핵심 요소기술로 작용하며 이를 통한 융합기술의 확산이 활발히 이루어질 것을 시사한다. 또한, 디지털 트윈 기술은 제조업에서 강세를 보이지만 그 외에도 "기후변화", "의료", 및 "항공·우주공학"으로 그 응용범위가 넓혀질 것으로 기대되고 있다. 특히 주목할 만한 기술 융합 기회로는 "자동차 제조" 분야를 언급할 수 있는데, 디지털 트윈 기술은 증강현실 디스플레이 적용을 통해 운전자의 인지능력을 보조하는 역할을 돕거나 공간정보의 구현을 통해 자율주행 시스템 개발에 활용될 것으로 전망된다.

Table 4. Classification of link prediction results

도메인	CPC 코드	기술융합기회 빈도
ICT 장비	G08G, G09G, H01Q, H04L, H04N, H04R, H04S, H04W,	17
디지털 데이터 처리 및 인공지능	G06F, G06K, G06N, G06T, G06Q, H01L,	31
소비재 및 기타제품	A63B, A63F	3
농축·수산	B25J	3
3D 프린팅	B33Y	1
측정, 제어, 정밀기기	G01B, G01C, G01D, G01M, G01N, G01P, G05B, G05D,	12
특수 기계제조	B24B	1
자동차 제조	B60R, B60W, F21W	8
기후변화	Y02P	2
의료	A61F	1
항공·우주공학	B64C, B64D	3

4. 결 론

디지털 전환에 관한 관심과 투자가 증가하면서 디지털 트윈이 물리적 세계와 가상 세계를 연결하는 새로운 기술 수단으로 다양한 산업 분야의 디지털 및 지능형 혁신을 실현하는 데 중요한 역할을 맡고 있다. 이러한 배경에서 디지털 트윈과 관련된 기술의 수요가 증가할 것으로 기대되는데, 이는 이종 기술 간 융합을 바탕으로 새로운 산업 생태계 조성에 긍정적인 기여를 할 것으로 판단된다. 이에 따라 디지털 트윈 기술 내 잠재적 기술 기회 발굴에 관한 연구의 필요성이 대두되었다.

본 연구에서는 디지털 트윈 관련 특허데이터 분석을 통해 전반적인 기술 동향을 파악하고, 링크 예측 기법의 적용을 통해 새로운 기술융합기회를 도출하였다. 그 결과 기술 간 융합에 미치는 파급력이 큰 기술 분야를 네트워크 중심성 분석을 통해 확인하였으며, 이들은 향후 기술 융합 기회를 예측하는 데 있어 선도적인 역할을 맡는다. 예측 모델을 통해 도출된 기술융합기회는 총 11개의 도메인으로 정의할 수 있으며, 이는 디지털 트윈 기술이 여러 산업 분야로 전파되며 발전할 수 있음을 시사한다. 이러한 연구 결과는 향후 디지털 트윈 기술의 확산에 기여할 뿐만 유망 신산업 분야의 R&D 담당자들이 기술정보 활동을 수행하고 정책적 의사결정을 내리는 데 있어 도움이 될 것으로 기대된다. 나아가 본 연구는 데이터 마이닝 방식의 접근을 통해 보다 객관적인 시선에서 기술환경에 대한 이해를 제고한다.

본 연구의 한계점으로는 미국 특허청의 데이터만을 활용함으로써 국가 간 기술 발전 전개에 대한 직접적 비교가 어렵다는 부분이다. 또한, 기술적 의미가 다소 모호할 수 있는 CPC 코드의 서브클래스를 기준으로 기술 융합 기회를 도출함으로써 구체적인 기술적 의의를 도출하지 못한다는 점이다. 따라서, 향후 연구에서는 더욱 세밀한 기술분류체계 또는 기술 특성을 반영한 예측 모델을 제시함으로써 기업 또는 기관의 R&D 기획역량 향상 및 경쟁우위 확보에 도움이 되는 인사이트를 제공할 수 있을 것으로 기대한다. 이에, 후속연구에서는 한국에 특화된 사례연구를 통해 디지털 트윈의 융합가능성을 예측하거나 기존의 재래식 산업분야(기계, 자동차, 조선 등)의 융합 방향성을 제시하는 연구가 필요하다고 판단한다. 이는 동시에 제안한 연구 방법론에 관한 검증사례가 될 것으로 기대된다. 마지막으로 딥러닝 기반의 모델을 적용한 연구를 통해 더 정확한 기술 융합 기회에 대한 단서를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 논문은 산업통상자원부의 ‘융합기술사업화 확산형 전문인력 양성사업’의 지원을 받아 수행된 논문임.

참고문헌

[1] 고병열, 김소영, 이재민. “융합지수 측정을 통한 출연연 융합연구영역 발굴모형 연구”, 기술혁신학회지, 22(3), pp. 446-474, (2019).
[2] Kraus, S., Jones, P., Kailer, N., Weinmann, A., Chaparro-Banegas, N., & Roig-Tierno, N. “Digital transformation: An overview of the current state of the art of research”, Sage Open, 11(3), pp. 1-15, (2021).
[3] 유재준, 이정구, 최원욱. “디지털 트윈 기술과 표준화 동향”, 한국통신학회지, 38(9), pp. 40-47, (2021).
[4] Grieves, M., Vickers, J. “Digital twin: Mitigating

unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems", Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches, pp. 85-113, (2017).
[5] 노재인, 박형수, 명승환. "디지털 트윈을 활용한 스마트시티 재난관리 방안 연구: 인천광역시 사례를 중심으로", 한국지역정보화학회지, 25, pp. 1-33, (2022).
[6] 연구개발특구진흥재단. "디지털 트윈 동향 Issue Report", 글로벌 시장동향 보고서, pp. 1-39, (2021).
[7] 이민영, 김도형, 임시영. "국내 디지털트윈 연구 동향을 통해 본 국토도시분야 디지털트윈 적용을 위한 제언", 대한공간정보학회지, 28, pp. 49-57. (2020).
[8] 이현정, 김성혜, 이진영, 유상근. "4차 산업혁명을 위한 제조 디지털 트윈 국제표준화 현황", 한국통신학회지, 37(7), pp. 43-50, (2020).
[9] Block, A., Song, C. H. "Exploring the characteristics of technological knowledge interaction dynamics in the field of solid-state batteries: A patent-based approach", Journal of Cleaner Production, 353, 131689, pp. 1-21, (2022).
[10] 서원철. "DEMATEL 을 활용한 특허분석 기반의 기술융합 분석 연구", 지역산업연구, 36(2), pp. 95-116, (2013).
[11] 서한빈, 이학연. "SVM 기반 링크 예측을 이용한 제조-서비스 기술 융합 예측", 대한산업공학회지, 44(2), pp. 141-152, (2018).
[12] Wang, K. J., Lee, T. L., Hsu, Y. "Revolution on digital twin technology—a patent research approach", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 107, pp. 4687-4704, (2020).
[13] 한국특허전략개발원. "특허기술동향조사 보고서 디지털트윈 모델 재사용 및 자동합성 기술 개발 과제", pp. 1-44, (2018).
[14] 진병삼, 배영철. "특허정보 기반의 기술 모니터링을 통한 첨단 정보통신기술 기반 융합 신기술 탐색 연구", 한국산업융합학회논문집, 23(3), 453-461, (2020).
[15] Song, C. H., Elvers, D., Leker, J. "Anticipation of converging technology areas—A refined approach for the identification of attractive fields of innovation", Technological Forecasting and Social Change, 116, pp. 98-115, (2017).
[16] 문진희, 권의준, 금영정. "특허 동시분류분석과 텍스트마이닝을 활용한 사물인터넷 기술융합 분석", 기술혁신연구, 25(3), pp. 1-24, (2017).
[17] 송지훈. "스타트업 데이터 기반의 시장융합 다이내믹스 분석: 한국을 중심으로", 한국산업융합학회 논문집, 25(4), pp. 627-636, (2022).
[18] 강호재, 이지호, 윤장혁. "기술 기반의 서비스 기회 분석 방법: 특허-상표 연계 데이터와 링크 예측 활용", 대한산업공학회지, 48(6), pp. 570-583, (2022).
[19] Panetta, K. "Gartner's Top 10 Technology trends for 2017", Gartner, (2016).
[20] 김승환, 정득영. "ICT 융합 기반의 비대면 헬스케어 기술 동향", 한국통신학회지, 37(9), pp. 77-84, (2020).
[21] 5G Americas. "Mobile Communications Towards 2030", White Paper, (2022).
[22] Aaldering, L. J., Song, C. H. "Tracing the technological development trajectory in post-lithium-ion battery technologies: A patent-based approach", Journal of Cleaner Production, 241, 118343, pp. 1-18, (2019).
[23] 이행병, 한규보, 이정훈. "KSIC-IPC 를 이용한 산업융합 평가모형 연구: 자동차 분야를 중심으로", 한국융합학회논문지, 13(3), pp. 227-237, (2022).
[24] 하영욱. "지능화 융합의 확산과 유망 분야: 미국 특허 데이터를 중심으로", 기술정책 이슈 2021-13, 한국전자통신연구원, pp. 1-33, (2021).

(접수: 2023.04.28. 수정: 2023.05.03. 게재확정: 2023.05.10.)