

## 키워드 빈도 및 중심성 분석에 기반한 디지털 트윈 연구 동향 : 독일 · 미국 · 한국을 중심으로

이택균\*

### *Research Trend on Digital Twin Based on Keyword Frequency and Centrality Analysis : Focusing on Germany, the United States, Korea*

Lee Taekkyeun

#### 〈Abstract〉

This study aims to analyze research trends in digital twin focusing on Germany, the US, and Korea. In Elsevier's Scopus, we collected 4,657 papers about digital twin published in from 2019 to 2023. Keyword frequency and centrality analysis were conducted on the abstracts of the collected papers. Through the obtained keyword frequencies, we tried to identify keywords with high frequency of occurrence and through centrality analysis, we tried to identify central research keywords for each country. In each country, 'digital\_twin', 'machine\_learning', and 'iot' appeared as research keywords with the highest interest. As a result of the centrality analysis, research on digital twin, simulation, cyber physical system, Internet of Things, artificial intelligence, and smart manufacturing was conducted as research with high centrality in each country. The implication for Korea is that research on virtual reality, digital transformation, reinforcement learning, industrial Internet of Things, robotics, and data analysis appears to have been conducted with low centrality, and intensive research in related areas appears to be necessary.

Key Words : Digital Twin, Trend, Centrality, Frequency

## I. 서론

디지털 트윈이란 현실 세계와 동일한 가상 세계를 만들어서 현실 세계와 가상 세계를 연결하는 기술이다. 디지털 트윈에서는 가상 세계에 구축된 모델을 기반으로

한 시뮬레이션을 통하여 현실 세계에서 시간 및 비용으로 인해서 다루기 어려운 문제를 해결하고자 한다[1]. 현실 세계의 사물을 데이터로 전환하는 디지털 전환(Digital Transformation)에 의해서 데이터화가 진행되면서 4차 산업혁명에서 디지털 트윈이 중요한 기술로 부각되고 있다[2]. 또한 마켓앤마켓에 따르면, 디지털 트윈의 글로벌 시장 규모는 2028년 1,101억 달러로 성장하며 연

\* 아주대학교 다산학부대학 조교수(단독저자)

간 61.3%의 성장률을 기록할 것으로 전망되고 있으며 특히 제조업과 의료 산업 부문의 높은 시장 성장이 예측되었다[3].

디지털 트윈은 제조업 분야에서 빠르게 적용되었으며 점차 다양한 분야로 확대되고 있다. 디지털 트윈과 사물인터넷을 기반으로 한 스마트 팩토리(Smart Factory) 시스템 연구[4-6], 스마트 시티 구축을 위한 디지털 트윈 기반의 모델링 및 시뮬레이션 연구[7-9], 개인의 건강 관리 및 치료에 디지털 트윈을 적용한 연구[10, 11], 차량 운행 및 교통 흐름 제어를 위한 디지털 트윈 모델 연구[12-15] 등이 진행되었다.

디지털 트윈과 관련된 기존의 국내와 국외 동향 분석에 대해서 살펴보면, 국내 동향 분석에서 신상희[16]는 디지털 트윈의 개념 및 활용 분야를 소개하였으며 디지털 트윈 관련 표준화 동향 및 국가별 프로젝트도 설명하였다. 최상수[17]는 디지털 트윈 관련 국내 논문에 대한 연구 동향을 분석하였으며, 분석 결과에 따르면 대부분의 연구가 디지털 트윈을 산업 분야에 적용하기 위한 초기 단계 기술에 관한 연구들이었으므로 기술하였다. 윤재석[18]은 디지털 트윈의 개념 및 디지털 트윈 구현을 위한 주요 기술들을 소개하였으며 국내외 27편의 논문을 이용하여 표준화 동향에 관해서 기술하였다.

국외 동향 분석에서 Wang[19]는 사물인터넷을 기반으로 하는 디지털 트윈 기술들을 소개하였으며 그리고 사물인터넷 기반의 디지털 트윈 환경에서 발생할 수 있는 보안 및 프라이버시 위협과 대응 방법에 관해서 설명하였다. Fuller[20]는 디지털 트윈을 적용할 응용 분야로 스마트 시티(Smart City), 제조(Manufacturing), 헬스케어(Healthcare) 등을 소개하였으며 이러한 분야에 디지털 트윈을 적용하기 위해서 필요한 기술과 구현을 위한 고려 사항에 관해서 기술하였다. Zhang[21]은 스마트 그리드(Smart Grid), 스마트 시티, 스마트 팜(Smart Farm) 등의 분야에 적용할 디지털 트윈 기술을 소개하였으며, 또한 디지털 트윈 기술 관련된 이슈에 대해서 기술하였다. Zayed[22]는 인공지능, 머신러닝을 이용한 지능적인 디

지털 트윈의 구현을 위해서 요구되는 기술과 고려 사항에 대해서 소개하였으며 이러한 지능적인 디지털 트윈을 활용할 분야에 대해서도 설명하였다.

국내 및 국외 동향 분석[16-22]에서는 디지털 트윈의 개념에 대해서 소개하고 디지털 트윈을 적용할 수 있는 응용 분야 및 관련 기술에 관해서 설명하였다. 그러나 국내 동향 분석에서 신상희[16]의 경우에는 산업체 관련 표준화 동향 및 사례 중심으로 소개하였으며 연구 논문 기반의 동향 분석을 하지는 못하였다. 또한 최상수[17]는 국내 연구 논문을 기반으로 동향 분석을 하였으며 국외 연구 논문 기반의 동향 분석을 하지는 못하는 한계를 가지며 윤재석[18]은 27편의 국내외 논문을 이용하여 디지털 트윈 관련 표준화 동향을 중심으로 분석하였다. 그뿐만 아니라 국내와 국외 동향 분석[16-22]에서는 디지털 트윈과 관련된 연구를 진행하는 주요 국가 간의 비교를 통하여 시사점을 제시하지 못하는 한계를 가진다.

따라서 본 연구에서는 유럽에서 주요 연구 국가인 독일, 북미 대륙에서 주요 연구 국가인 미국 그리고 한국의 디지털 트윈 연구 동향을 파악하고자 하였다. 본 연구를 위하여 수집된 논문은 Elsevier의 Scopus로부터 2019년부터 2023년까지 디지털 트윈과 관련된 논문 총 4,657편을 수집하였으며 수집된 논문의 초록을 대상으로 키워드 빈도를 구하고 중심성 분석을 진행하였다. 본 연구에서는 중심적인 연구 키워드의 파악을 위해서 먼저 키워드 빈도를 구하였다. 빈도가 높은 상위 빈도 키워드를 대상으로 중심성 분석을 진행하였다. 중심성 분석에서는 대표적인 중심성 분석 방법인 연결 중심성과 매개 중심성을 이용하였다. 키워드 빈도 및 중심성 분석 결과에 대해서 국가별로 비교하였으며 향후 한국의 디지털 트윈 관련 연구를 위한 방향성을 제시하고자 시사점을 도출하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 디지털 트윈 관련 연구 동향 분석 및 중심성에 대한 내용을 작성하였다. 3장에서 연구 질문을 설정하고 자료 수집에 관해서 설명하였으며 자료 전처리 및 분석 방법을 기술하였다. 4장에서는 키

워드 빈도와 중심성 분석에 대한 결과를 제시하였다. 5장에서는 분석 결과를 바탕으로 논의하였고 6장에서는 결론으로 마무리하였다.

## II. 관련 연구

### 2.1 디지털 트윈 연구 동향 분석

디지털 트윈과 관련된 국내 동향 분석에서, 신상희[16]는 디지털 트윈의 개념과 디지털 트윈이 적용될 수 있는 여러 응용 분야들에 대해서 소개하였다. 또한 디지털 트윈과 관련된 데이터와 모델링 표준화 동향에 대하여 기술하였으며 국가마다 진행하고 있는 디지털 트윈 프로젝트 사례들도 설명하였다.

최상수[17]는 디지털 트윈과 관련된 국내 논문에 대한 연구 동향을 분석하였다. 분석 결과에 의하면 아직 디지털 트윈 기술은 적용 초기 단계이고 디지털 트윈 관련 대부분의 논문이 해당 산업 분야에 디지털 트윈을 적용하기 위한 초기 단계 기술에 대해서 다루고 있으며 구체적인 산업 분야에 적용한 논문은 적은 편인 것으로 설명하였다.

윤재석[18]은 디지털 트윈 개념과 디지털 트윈 구현을 위한 주요 기술로 IoT, AI, 빅데이터, 클라우드, 증강 현실, 혼합 현실, 3D/4D 모델링 등을 소개하였다. 그리고 디지털 트윈에 관한 국내외 27편의 논문을 인용하였으며 디지털 트윈 관련 국내외 표준화 동향에 관해서 기술하였다.

디지털 트윈과 관련된 국외 동향 분석에서, Wang[19]은 사물인터넷을 기반으로 하는 디지털 트윈의 아키텍처를 소개하였으며 이러한 아키텍처 구현을 위하여 필요한 기술에 대해서 설명하였다. 그리고 사물인터넷 기반 디지털 트윈과 관련된 보안 및 프라이버시 위협과 위협에 대응하기 위한 기법도 제시하였다.

Fuller[20]는 디지털 트윈의 개념과 디지털 트윈 구현을 위한 핵심 기술에 대해서 설명하였다. 디지털 트윈 기술을 적용할 수 있는 응용 분야로 스마트 시티, 제조, 헬스케어 등을 소개하였으며, 이러한 분야에 디지털 트윈이 적용되는 경우에 고려되어야 하는 여러 사항에 관해서 기술하였다.

Zhang[21]은 디지털 트윈 관련 여러 플랫폼에 관해서 설명하였으며 디지털 트윈을 활용할 수 있는 분야로 효율적인 에너지 관리를 위한 스마트 그리드(Smart Grid), 향상된 공공 서비스가 제공되는 스마트 시티, 경제적인 생산을 위한 스마트 팜(Smart Farm) 분야에 대해서 소개하였다. 또한 이러한 분야에 디지털 트윈 기술이 이용되는 경우에 발생하는 이슈에 관해서 기술하였다.

Zayed[22]는 인공지능 및 머신러닝에 기반한 디지털 트윈 연구들에 관해서 소개하였다. 인공지능 및 머신러닝에 기반한 지능적인 디지털 트윈 시스템의 구현을 위하여 요구되는 기술 및 고려 사항에 대해서 소개하였으며 지능적인 디지털 트윈의 활용할 분야들도 기술하였다.

디지털 트윈 연구 동향에 대해서 전체적으로 정리를 하면, 대체적으로 국내 및 국외 디지털 트윈 연구 동향에서는 공통으로 디지털 트윈 개념과 디지털 트윈 관련 기술에 대해서 소개하였다. 그러나 국내 디지털 트윈 연구 동향에서는 주로 디지털 트윈 연구의 성숙 정도를 구분하여 디지털 트윈의 기술적 실현 수준을 파악하고자 하였으며, 국외 디지털 트윈 연구 동향에서는 디지털 트윈과 관련된 구현 가능한 기술 및 연구에 대한 평가를 제공하고 실제적으로 디지털 트윈을 적용하여 개발하기 위한 아키텍처에 대한 소개를 중요하게 다루고 있다.

### 2.2 중심성

사회망분석(Social Network Analysis)이란 다양한 행위자 간의 관계를 관계망으로 나타내어서 연결 관계를 분석하고 관계망 네트워크의 특성을 파악하는 분석 방법

이다. 사회망분석은 사회적 행위자 간의 관계를 이해하는 것에 이용되며 다양한 분야의 관계망을 파악하는 것에 이용되고 있다. 또한 비정형 텍스트를 분석하기 위해서 사회망분석을 대표적으로 이용한다[23, 24].

사회망분석에서 사용되는 중심성(Centrality) 분석은 텍스트 데이터에서 키워드를 추출하고 추출된 키워드를 이용하여 키워드 간의 관계를 키워드 네트워크로 구성하여 나타낸다. 구성된 키워드 네트워크로부터 키워드 간의 관계를 분석하여 중심 키워드를 파악한다[25]. 중심성 분석은 중심적인 키워드의 파악이 필요한 연구 동향 분석 또는 트렌드 분석에 사용된다[26].

본 연구의 중심성 분석을 위해서 연결 중심성(Degree Centrality), 매개 중심성(Betweenness Centrality)을 사용하였다. 연결 중심성은 키워드 네트워크상에서 노드의 연결 정도를 나타내는 지표이다. 하나의 노드가 여러 노드와 얼마나 많이 연결되었는지 나타낸다. 노드가 여러 노드와 많이 연결될수록 네트워크상에서 해당 노드의 연결 중심성은 높아지며 다른 노드들과 많은 연관성이 있는 것을 의미한다[27]. 매개 중심성은 노드가 키워드 네트워크상에서 다른 노드들에 대해서 매개적 역할을 하는 정도를 나타내는 지표이다. 노드가 다른 노드 간의 가장 짧은 경로에 위치할수록 해당 노드의 매개 중심성은 커지며 매개 중심성이 높은 키워드일수록 한 연구에서 여러 키워드와 같이 고려되는 정도가 높아진다[28, 29].

키워드 빈도 및 중심성 분석에 기반한 연구들을 살펴보면, 김명미[30]는 Web of Science로부터 헬스케어 관련 논문을 수집하고 키워드를 추출하였으며, 추출된 키워드를 통해서 매개 중심성, 근접 중심성을 이용한 중심성 분석을 하였다. 정도법[31]은 한국학술지인용색인(KCI)에서 인공지능 관련 논문을 수집하고 수집된 논문으로부터 추출된 키워드를 기반으로 키워드 빈도를 구하고 연결 중심성을 이용한 중심성 분석을 진행하였다. 또한 김송주[32]는 한국학술지인용색인 및 학술연구정보서비스(RISS)에서 국내 스마트팩토리 관련 논문을 수집하고 키워드를 추출하였으며 추출된 키워드를 기반으로 키워드

출현 빈도를 구하고 연결 중심성과 매개 중심성을 이용하여 중심성 분석을 하였다. 기존의 키워드 빈도 및 중심성 분석에 기반한 연구들[30-32]에서는 키워드를 분야별로 구분하고 해당 분야에서 가장 연결 중심적이며 매개 중심적인 연구 키워드가 무엇인지를 제시하지 못하였다. 그뿐만 아니라 연결 중심적이며 매개 중심적인 키워드를 국가별로 구분하지 못하였으며, 또한 국가 간에 중심적인 연구 키워드의 비교를 제시하지 못하였다.

### III. 연구 방법

#### 3.1 연구 질문

우선 아래의 연구 질문 설정을 통해서 디지털 트윈에 관련된 연구 동향을 파악하고자 한다.

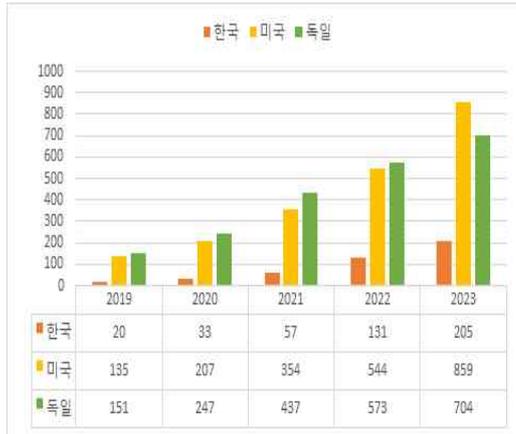
연구 질문 1 : 디지털 트윈과 관련된 키워드 빈도를 구한 결과는 어떠한가?

연구 질문 2 : 디지털 트윈과 관련된 연결 중심성, 매개 중심성 분석 결과는 어떠한가?

연구 질문 3 : 디지털 트윈과 관련된 중심성 분석 결과로부터 도출되는 한국 관련 시사점은 무엇인가?

#### 3.2 자료 수집

본 연구를 위해서 Elsevier의 Scopus에서 2019년부터 2023년까지 발표된 논문을 대상으로 검색 키워드 'digital twin'을 사용하여 수집을 진행하였다. <그림 1>에 수집된 논문 현황을 나타내었으며 국가별로 수집 논문 편수는 2,112편(독일), 2,099편(미국), 446편(한국)이다. 국가별로 살펴보면, 독일이 발표한 논문 편수는 2019년부터 2023년까지 지속해서 증가하였다. 미국이 발표한 논문 편수도 2019년부터 2023년까지 계속해서 증가하였으며 2023년에는 독일보다 미국에서 많은 논문이 발표되었다.



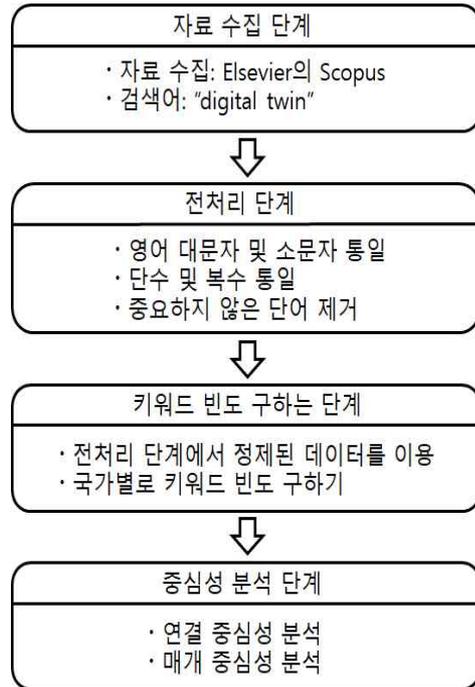
〈그림 1〉 수집 논문 현황

한국이 발표한 논문 편수는 독일과 미국에 비해서 적은 편이나 2019년부터 2023년까지 점진적으로 증가하였다. 국가별 총 논문 편수에서 독일에 의해서 발표된 논문 편수가 가장 많으며 한국에 의해서 발표된 논문 편수가 가장 적다. 또한 연도별 수집 논문 편수는 306편(2019년), 487편(2020년), 848편(2021년), 1,248편(2022년), 1,768편(2023년)이며 연도별 수집 논문 편수는 2019년부터 2023년까지 지속해서 증가하였다.

### 3.3 자료 전처리 및 분석 방법

〈그림 2〉에 본 연구의 전체 절차를 나타내었다. 수집된 논문들의 초록을 기반으로 단어(키워드)를 추출하였고 추출된 단어들에 대하여 전처리 작업을 하였다. 전처리 작업을 통해서 텍스트에 있는 대문자 및 소문자를 일치시키고 같은 의미의 단수 및 복수 단어를 통일하는 작업을 하였다. 그뿐만 아니라 부사, 관사 등과 같이 의미가 중요하지 않은 단어를 제거하는 작업을 진행하였다.

전처리 과정으로부터 얻은 데이터를 이용하여 키워드 빈도를 구하는 작업을 진행하였으며 키워드 빈도는 국가별로 구하였고 키워드 빈도가 높은 상위 15개 키워드를 선별하여 <표 1>에 나타내었다.



〈그림 2〉 전체적인 절차

키워드 빈도 분석은 텍스트 자료에 자주 출현하는 키워드일수록 강조하는 키워드일 가능성이 높으므로 키워드의 출현 빈도를 기반으로 복잡하지 않게 연구 동향을 파악할 수 있는 장점이 있는 방법이다. 그러나 키워드 간의 연관성을 이용하는 중심성 키워드를 파악하기에는 키워드 빈도 분석은 한계가 있다. 그래서 본 연구에서는 논문들의 초록에서 추출된 빈도가 높은 키워드들을 대상으로 중심성 분석을 통하여 중심적인 연구 키워드를 파악하고자 하였다.

키워드 네트워크에 기반하여 키워드 간의 관계를 분석하는 중심성 분석을 진행하였다. 중심성 분석을 하기 위해서 연결 및 매개 중심성을 사용하였다. 연결 중심성이란 키워드 네트워크상의 키워드가 여러 노드와 연결된 정도를 지표로 나타낸 것이며 각 노드의 중심성 값이 0에서 1 사이의 값이 되도록 정규화 값으로 나타내었다.

매개 중심성은 키워드 네트워크상의 각 노드가 여러 노드 간에 매개적 역할을 하는 정도를 값으로 나타내었다. 키워드 네트워크에서 해당 노드가 여러 노드 사이에 위치하는 정도를 측정하여 해당 노드의 매개 중심성으로 나타내었다. 키워드 네트워크를 구성하는 각 키워드에 대한 연결 중심성, 매개 중심성을 구하였다. 국가별로 얻어진 연결 중심성이 높은 15개 키워드 그리고 매개 중심성이 높은 15개 키워드를 분석하였다. 프로그래밍 언어 R을 이용하여 전처리 과정을 처리하였으며 키워드 빈도 및 중심성 분석도 진행하였다.

## IV. 분석 결과

### 4.1 키워드 빈도 결과

추출된 키워드를 기반으로 키워드 빈도를 국가별로 구하였으며 <표 1>에 키워드 빈도가 가장 높은 15개 키

워드를 나타내었다. 빈도가 가장 높은 5개 키워드를 국가별로 <표 1>에서 살펴보면, 키워드 'digital\_twin', 'machine\_learning', 'iot'가 독일, 미국, 한국에서 공통으로 보이며 이 키워드 중에서 'digital\_twin'이 각 국가에서 빈도가 가장 높은 키워드로 나타났다. 국가마다 디지털 트윈 연구에 대해서 가장 높은 관심을 가지며, 또한 디지털 트윈과 관련된 머신러닝, 사물인터넷 연구도 공통으로 높은 관심을 가지는 연구들이다.

그 외에 키워드 'simulation', 'cyber\_physical\_system', 'artificial\_intelligence', 'smart\_manufacturing', 'virtual\_reality', 'augmented\_reality', 'industrial\_iot', 'deep\_learning'은 상위 5위에 안에 포함되지 않았지만, 국가마다 나타났으며 이 키워드들도 공통 관심 연구 키워드이다. 그뿐만 아니라 키워드 'metaverse', 'blockchain'은 미국과 한국에서 나타났고, 이를 통해서 두 나라에서 메타버스 및 블록체인 관련 연구에 높은 관심을 가졌던 것으로 나타났다.

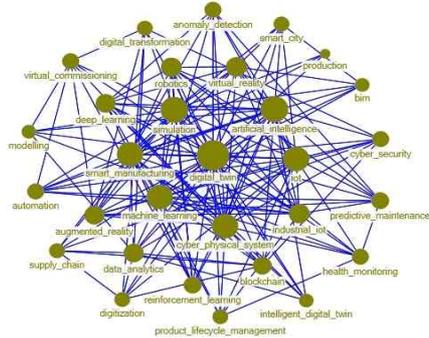
<표 1> 독일, 미국, 한국의 상위 빈도 키워드

순위	독일	미국	한국
1	digital_twin	digital_twin	digital_twin
2	simulation	machine_learning	iot
3	machine_learning	artificial_intelligence	metaverse
4	iot	iot	machine_learning
5	cyber_physical_system	simulation	artificial_intelligence
6	artificial_intelligence	smart_manufacturing	blockchain
7	smart_manufacturing	cyber_physical_system	deep_learning
8	virtual_reality	deep_learning	virtual_reality
9	augmented_reality	industrial_iot	smart_city
10	industrial_iot	metaverse	augmented_reality
11	deep_learning	virtual_reality	smart_manufacturing
12	automation	blockchain	cyber_physical_system
13	virtual_commissioning	health_monitoring	industrial_iot
14	bim	cyber_security	simulation
15	product_lifecycle_management	augmented_reality	smart_factory

## 4.2 중심성 분석 결과

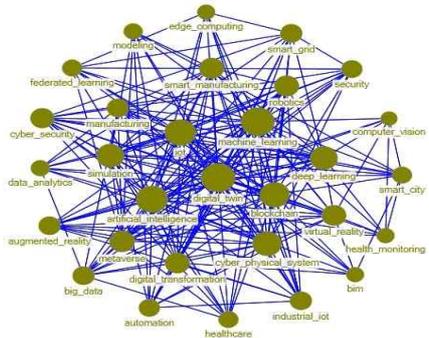
### 4.2.1 키워드 네트워크

중심성 분석을 하기 위해서 국가별로 키워드 빈도가 높은 30개 키워드를 사용하여 <그림 3>, <그림 4>, <그림 5>의 키워드 네트워크를 구성하였으며 각 키워드 네트워크를 이용하여 국가별로 연결 중심성, 매개 중심성을 구하였다.



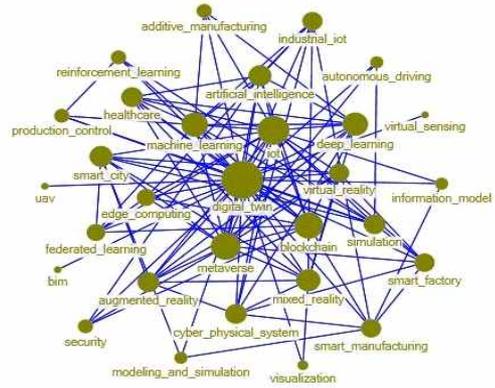
<그림 3> 독일의 키워드 네트워크

<그림 3>은 독일에서 발표한 논문들의 초록으로부터 추출된 키워드 중에서 키워드 빈도가 높은 30개 키워드를 이용하여 구성된 키워드 네트워크를 나타낸다. 키워드 네트워크상에서 노드는 키워드를 나타내며 연결선은 노드 간의 관계를 의미한다. 독일의 키워드 네트워크를 이용하여 연결 중심성 및 매개 중심성을 구하였다.



<그림 4> 미국의 키워드 네트워크

미국에서 발표한 논문들의 초록으로부터 추출된 키워드 중에서 키워드 빈도가 가장 높은 30개 키워드로 구성된 키워드 네트워크를 <그림 4>에 나타냈으며 미국의 키워드 네트워크를 이용하여 연결 중심성 및 매개 중심성을 구하였다.



<그림 5> 한국의 키워드 네트워크

<그림 5>에 한국에서 발표한 논문들의 초록으로부터 추출된 키워드 중에서 키워드 빈도가 높은 30개 키워드를 사용하여 키워드 네트워크를 나타내었으며 한국의 키워드 네트워크를 사용하여 연결 중심성 및 매개 중심성을 구하였다.

### 4.2.2 연결 중심성 분석

<그림 3>에 있는 독일의 키워드 네트워크, <그림 4>에 있는 미국의 키워드 네트워크, <그림 5>에 있는 한국의 키워드 네트워크를 기반으로 하여 국가별로 연결 중심성을 구하였다. 또한 연결 중심성이 가장 높은 15개 키워드를 국가별로 <표 2>에 나타내었다. <표 2>에 국가별로 나타난 연결 중심성 순위는 해당 키워드가 다른 연구 키워드들과 얼마나 연관성이 높은 중심 연구 키워드인지를 나타낸다. 또한 국가 간의 키워드 연결 중심성을 비교하였다.

<표 2>에는 여러 분야의 키워드가 포함되어 있으며, 따라서 이러한 키워드들을 분야별로 파악하기 위해서 <표 2>에 있는 키워드들을 분야별로 정리하였다. 그래서 디지털 트윈 분야(분야A), 인공지능 분야(분야B), 사물인터넷 분야(분야C), 보안 분야(분야D), 기타 분야(분야E)로 구분하여 <표 3>에 정리하였다.

<표 2>에서 살펴보면, 'digital\_twin', 'machine\_

learning', 'iot'가 국가마다 공통으로 나타났다. 이 중에서 디지털 트윈 연구가 가장 높은 연결 중심성을 가지고 진행되었으며 디지털 트윈을 기반으로 한 머신러닝, 사물인터넷 연구도 높은 연결 중심성 연구로 진행되었다.

분야별로 살펴보면, <표 3>에서 디지털 트윈 분야(분야A)와 관련된 키워드 'digital\_twin', 'simulation', 'cyber\_physical\_system', 'virtual\_reality'가 각 국가에서

<표 2> 독일, 미국, 한국의 상위 연결 중심성 키워드

순위	독일	미국	한국
1	digital_twin (1.0)	digital_twin (1.0)	digital_twin (1.0)
2	simulation (0.724)	machine_learning (0.965)	iot (0.586)
3	artificial_intelligence (0.724)	artificial_intelligence (0.862)	metaverse (0.517)
4	machine_learning (0.655)	iot (0.827)	blockchain (0.482)
5	iot (0.655)	blockchain (0.758)	machine_learning (0.413)
6	cyber_physical_system (0.655)	cyber_physical_system (0.724)	deep_learning (0.379)
7	smart_manufacturing (0.655)	simulation (0.655)	mixed_reality (0.344)
8	virtual_reality (0.413)	deep_learning (0.655)	artificial_intelligence (0.310)
9	industrial_iot (0.413)	metaverse (0.551)	smart_city (0.310)
10	robotics (0.413)	smart_manufacturing (0.517)	augmented_reality (0.275)
11	augmented_reality (0.379)	virtual_reality (0.517)	cyber_physical_system (0.275)
12	deep_learning (0.379)	digital_transformation (0.517)	simulation (0.275)
13	data_analytics (0.379)	robotics (0.517)	healthcare (0.275)
14	blockchain (0.344)	cyber_security (0.482)	virtual_reality (0.241)
15	reinforcement_learning (0.310)	industrial_iot (0.413)	smart_manufacturing (0.241)

<표 3> 분야에 따른 국가별 연결 중심성 키워드

분야	독일	미국	한국
A	digital_twin, simulation, cyber_physical_system, virtual_reality, augmented_reality	digital_twin, cyber_physical_system, simulation, metaverse, virtual_reality, digital_transformation	digital_twin, metaverse, mixed_reality, augmented_reality, cyber_physical_system, simulation, virtual_reality
B	artificial_intelligence, machine_learning, deep_learning, reinforcement_learning	machine_learning, artificial_intelligence, deep_learning	machine_learning, deep_learning, artificial_intelligence
C	iot, industrial_iot	iot, industrial_iot	iot
D	blockchain	blockchain, cyber_security	blockchain
E	smart_manufacturing, robotics, data_analytics	iot, industrial_iot, smart_manufacturing, robotics	smart_city, healthcare, smart_manufacturing

나타났으며 디지털 트윈 관련 연구를 포함하여 시뮬레이션, 가상 물리 시스템, 가상 현실에 관한 연구도 국가마다 연결 중심으로 진행되었다. 키워드 'augmented\_reality'는 독일과 한국에서 그리고 'metaverse'는 미국과 한국에서 나타났다. 독일과 한국에서는 증강 현실(Augmented Reality) 연구 그리고 미국과 한국에서는 메타버스(metaverse) 연구가 보다 연결 중심으로 수행되었다.

인공지능 분야(분야B) 키워드 'artificial\_intelligence', 'machine\_learning', 'deep\_learning'이 국가마다 나타났으며, <표 2>에서 이 분야의 키워드 간의 순위를 보면, 'artificial\_intelligence'는 독일에서 그리고 키워드 'machine\_learning'은 미국 및 한국에서 가장 연결 중심성이 높은 키워드로 나타났다. 따라서 독일에서는 디지털 트윈을 기반으로 한 인공지능 연구 그리고 미국 및 한국에서는 머신러닝 연구가 이 분야에서 가장 연결 중심적인 연구로 진행되었다.

사물인터넷 분야(분야C)의 키워드를 보면, 키워드 'iot'가 국가마다 공통으로 나타났고 키워드 'industrial\_iiot'는 독일과 미국에서 나타났다. 국가마다 공통으로 디지털 트윈과 연관된 사물인터넷 연구가 그리고 독일과 미국에서는 산업용 사물인터넷이 적용된 디지털 트윈 시스템 연구가 연결 중심으로 수행되었다.

보안 분야(분야D)에서 키워드 'blockchain'이 국가마다 공통으로 나타났으며 키워드 'cyber\_security'는 미국에서 나타났다. 즉, 각 국가에서는 디지털 트윈 환경에 적용되는 블록체인 연구를 그리고 미국에서는 디지털 트윈 보안을 위한 사이버 보안 연구를 연결 중심적인 연구로 진행하였다.

기타 분야(분야E)의 키워드 'smart\_manufacturing'은 각 국가에서 나타났으며 키워드 'robotics'는 독일 및 미국에서 나타났다. 국가마다 디지털 트윈 기술이 적용된 스마트 제조(Smart Manufacturing)와 관련해서 그리고 독일 및 미국에서는 디지털 트윈이 접목된 로봇 공학과 관련해서 연결 중심적인 연구를 진행하였다.

#### 4.2.3 매개 중심성 분석

<그림 3>에 있는 독일의 키워드 네트워크, <그림 4>에 있는 미국의 키워드 네트워크, <그림 5>에 있는 한국의 키워드 네트워크를 기반으로 하여 국가별로 매개 중심성을 구하였다. 또한 매개 중심성이 가장 높은 15개 키워드를 국가별로 <표 4>에 나타내었다. <표 4>에 국가별로 나타난 매개 중심성 순위는 국가별로 각 키워드가 얼마나 매개적인 역할을 하는 연구 키워드인지를 의미하며 이를 이용하여 국가 간의 키워드 매개 중심성을 비교하였다.

<표 4>에는 여러 분야의 키워드가 포함되어 있으며, 따라서 이러한 키워드들을 분야별로 파악하기 위해서 <표 4>에 있는 키워드들을 분야별로 정리하였다. 그래서 디지털 트윈 분야(분야A), 인공지능 분야(분야B), 사물인터넷 분야(분야C), 보안 분야(분야D), 기타 분야(분야E)로 구분하여 <표 5>에 정리하였다.

<표 4>에서 매개 중심성 5위 안에 국가마다 공통으로 포함되는 키워드를 살펴보면, 키워드 'digital\_twin'는 각 국가에서 나타났고 가장 높은 매개 중심성을 보이는 키워드이며 국가마다 디지털 트윈 연구가 가장 높은 매개 중심적인 역할을 하는 연구로 진행되었다. 또한 세 국가에서 공통으로 나타나지 않았지만, 매개 중심성 5위 안에 포함되는 키워드로 'artificial\_intelligence'는 독일과 미국에서 나타났으며 그리고 'machine\_learning', 'iot', 'blockchain'은 미국과 한국에서 공통으로 나타났다. 이를 통해서 독일과 미국에서는 디지털 트윈과 인공지능 융합 연구 그리고 미국과 한국에서는 디지털 트윈과 접목된 머신러닝, 사물인터넷, 블록체인 연구가 높은 매개 중심성 연구로 수행되었다.

분야별로 보면, <표 5>의 디지털 트윈 분야(분야A)와 관련된 키워드 'digital\_twin', 'cyber\_physical\_system', 'simulation', 'augmented\_reality'가 국가마다 나타났다. 즉, 디지털 트윈 관련 연구를 포함하여 가상 물리 시스템, 시뮬레이션, 증강 현실(Augmented Reality)에 대한

연구도 매개 중심적으로 수행되었다. 또한 키워드 'virtual\_reality', 'digital\_transformation'은 독일과 미국에서 나타났으며 두 나라에서는 가상 현실 및 디지털 전환(Digital Transformation) 관련 연구가 매개적인 역할을 한 연구로 진행되었다.

<표 5>에 있는 인공지능 분야(분야B)의 키워드를 살펴보면, 'artificial\_intelligence', 'machine\_learning', 'deep\_learning'이 각 국가에서 나타났으며 <표 4>에서

이 분야의 키워드 간의 순위를 살펴보면, 'artificial\_intelligence'는 독일에서 그리고 'machine\_learning'은 미국 및 한국에서 가장 매개 중심성이 높은 키워드로 나타났다. 따라서 독일에서는 디지털 트윈 기반의 인공지능 연구 그리고 미국 및 한국에서는 머신러닝 연구가 이 분야에서 가장 매개 중심적인 연구로 수행되었다.

사물인터넷 분야(분야C)의 키워드 'iot'는 국가마다 나타났다 키워드 'industrial\_iot'는 독일과 한국에서 나타

<표 4> 독일, 미국, 한국의 상위 매개 중심성 키워드

순위	독일	미국	한국
1	digital_twin (0.398)	digital_twin (0.200)	digital_twin (0.987)
2	simulation (0.172)	machine_learning (0.177)	iot (0.129)
3	artificial_intelligence (0.132)	artificial_intelligence (0.115)	metaverse (0.088)
4	smart_manufacturing (0.106)	iot (0.095)	blockchain (0.079)
5	cyber_physical_system (0.096)	blockchain (0.081)	machine_learning (0.051)
6	iot (0.093)	cyber_physical_system (0.057)	mixed_reality (0.033)
7	machine_learning (0.082)	deep_learning (0.052)	smart_city (0.030)
8	data_analytics (0.030)	simulation (0.044)	simulation (0.029)
9	augmented_reality (0.028)	virtual_reality (0.028)	smart_manufacturing (0.023)
10	industrial_iot (0.017)	metaverse (0.026)	deep_learning (0.022)
11	virtual_reality (0.016)	digital_transformation (0.025)	cyber_physical_system (0.018)
12	virtual_commissioning (0.013)	smart_city (0.019)	smart_factory (0.013)
13	deep_learning (0.013)	smart_manufacturing (0.019)	industrial_iot (0.011)
14	digital_transformation (0.012)	augmented_reality (0.017)	artificial_intelligence (0.010)
15	cyber_security (0.010)	robotics (0.016)	augmented_reality (0.005)

<표 5> 분야에 따른 국가별 매개 중심성 키워드

분야	독일	미국	한국
A	digital_twin, simulation, cyber_physical_system, augmented_reality, virtual_reality, virtual_commissioning, digital_transformation	digital_twin, cyber_physical_system, simulation, virtual_reality, metaverse, digital_transformation, augmented_reality	digital_twin, metaverse, mixed_reality, simulation, cyber_physical_system, augmented_reality
B	artificial_intelligence, machine_learning, deep_learning	machine_learning, artificial_intelligence, deep_learning	machine_learning, deep_learning, artificial_intelligence
C	iot, industrial_iot	iot	iot, industrial_iot
D	cyber_security,	blockchain	blockchain
E	smart_manufacturing, data_analytics	smart_city, smart_manufacturing, robotics	smart_city, smart_manufacturing, smart_factory

났다. 각 국가에서 디지털 트윈 환경에 활용될 사물인터넷 연구가 매개 중심으로 수행되었으며, 특히 독일과 한국에서는 디지털 트윈과 접목된 산업용 사물인터넷 연구가 매개적인 역할을 하였다.

보안 분야(분야D)에서 키워드 'blockchain'은 미국 및 한국에서 공통으로 나타났으며, 키워드 'cyber\_security'는 독일에서 나타났다. 즉, 미국과 한국에서는 디지털 트윈 환경에 적용될 블록체인 연구 그리고 독일에서는 디지털 트윈 관련 보안 문제 해결을 위해서 위한 사이버 보안 연구가 매개 중심으로 수행되었다.

기타 분야(분야E)의 키워드 'smart\_manufacturing'은 국가마다 나타났으며, 각 국가에서 생산성 및 품질 향상을 위해서 디지털 트윈 기술이 활용된 스마트 제조 관련해서 매개 중심적인 연구가 진행되었다. 키워드 'smart\_city'는 미국과 한국에서 나타났으며 두 나라에서는 도시민의 향상된 서비스 제공을 위해서 디지털 트윈 기술이 적용된 스마트 시티 관련해서 매개 중심적인 연구가 이루어졌다.

## V. 논의

본 장에서는 3장에서 설정된 연구 질문들에 관한 내용을 논의하고자 한다. 첫째, 디지털 트윈과 관련된 키워드 빈도를 구한 결과에서는 키워드 'digital\_twin', 'machine\_learning', 'iot'가 국가마다 나타났으며 이 키워드들이 각 국가에서 가장 높은 관심을 가지는 공통 연구 키워드로 보인다. 그뿐만 아니라 상위 5위에 포함되지 않았지만, 키워드 'simulation', 'virtual\_reality', 'cyber\_physical\_system', 'artificial\_intelligence', 'industrial\_iiot', 'deep\_learning', 'smart\_manufacturing', 'augmented\_reality'도 국가마다 나타났으며 공통 관심 연구 키워드로 파악된다.

둘째, 전체적으로 디지털 트윈과 관련된 연결 중심성

과 매개 중심성 분석 결과를 상위 5위 순위에 포함되는 키워드 중심으로 보면, 키워드 'digital\_twin'은 각 국가에서 가장 연결 중심적이고 매개 중심적인 키워드로 나타났다. 세 국가에서 공통으로 나타나지 않았지만 키워드 'machine\_learning', 'iot', 'blockchain'은 미국과 한국에서 그리고 키워드 'artificial\_intelligence'는 독일 및 미국에서 연결 중심성과 매개 중심성이 높은 키워드로 나타났다. 이를 통해서 각 국가에서 공통으로 디지털 트윈 연구가 가장 중심적인 연구로 진행된 것으로 보인다. 또한 미국과 한국에서는 디지털 트윈 기반의 머신러닝, 사물인터넷, 블록체인 관련 연구 그리고 독일과 미국에서는 디지털 트윈 및 인공지능이 융합된 연구가 높은 연결 및 매개 중심성 연구로 보인다.

분야별로 살펴보면, 디지털 트윈 분야에서 키워드 'digital\_twin', 'simulation', 'cyber\_physical\_system'이 국가마다 상위 15개 순위에 포함되었으며 높은 연결 중심성과 매개 중심성을 가진 키워드로 나타났다. 또한 세 국가에서 공통으로 중심적인 키워드로 보이지는 않았지만, 키워드 'virtual\_reality'는 독일과 미국에서 그리고 'augmented\_reality'는 독일과 한국에서 연결 및 매개 중심적인 키워드로 나타났다. 즉, 디지털 트윈 연구와 시뮬레이션, 가상 물리 시스템 관련 연구가 각 국가에서 높은 중심성을 가진 연구로 수행된 것으로 파악된다. 독일과 미국에서는 가상 현실에 관한 연구 그리고 독일과 한국에서는 증강 현실 관련 연구가 중심으로 이루어진 것으로 보인다.

인공지능 분야를 보면, 키워드 'artificial\_intelligence', 'machine\_learning', 'deep\_learning'은 각 국가에서 상위 15개 키워드에 포함되었으며 높은 연결 및 매개 중심성 키워드로 나타났다. 세 국가에서는 공통으로 인공지능, 머신러닝, 딥러닝 관련 연구가 높은 중심성 연구로 파악된다. 그뿐만 아니라 키워드 'artificial\_intelligence'의 연결 및 매개 중심성은 독일에서 가장 높았으며 'machine\_learning'의 연결 및 매개 중심성은 미국 및 한국에서 가장 높았다. 따라서 독일에서는 디지털 트윈 및

인공지능 융합 연구가 중심성이 높은 연구로 그리고 미국 및 한국에서는 머신러닝 기술이 적용된 디지털 트윈 연구가 중심성이 높은 연구로 수행된 것으로 판단된다.

사물인터넷 분야의 키워드 'iot'는 각 국가에서 연결 중심성과 매개 중심성이 높게 나타났으며, 디지털 트윈 관련 사물인터넷 연구가 국가마다 공통으로 높은 중심성을 가진 연구로 판단된다. 국가마다 공통으로 중심적인 키워드로 보이는 않았지만, 키워드 'industrial\_iiot'는 독일에서 높은 연결 및 매개 중심성 키워드로 나타났으며 독일에서는 디지털 트윈 및 산업용 사물인터넷 융합 연구가 중심적으로 이루어진 것으로 보인다.

보안 분야에서 키워드 'blockchain'은 미국과 한국에서 연결 및 매개 중심성이 높은 키워드로 나타났으며 키워드 'cyber\_security'는 미국에서 높은 연결 중심성 그리고 독일에서 높은 매개 중심성 키워드로 나타났다. 즉, 디지털 트윈에 적용될 블록체인 연구는 미국 및 한국에서 높은 중심성을 가진 연구로 파악되며 디지털 트윈 환경에서 발생하는 전체적인 보안 위협에 대응하기 위한 사이버 보안 연구는 미국에서는 연결 중심적이고 독일에서는 매개적인 역할을 하는 연구로 수행된 것으로 파악된다.

기타 분야의 키워드 'smart\_manufacturing'이 국가마다 높은 연결 및 매개 중심성을 가지는 키워드로 나타났으며 각 국가에서 공통으로 디지털 트윈 기술이 적용된 스마트 제조와 관련하여 중심적인 연구 진행이 이루어진 것으로 보인다. 또한 키워드 'robotics'는 독일 및 미국에서 높은 연결 중심성 키워드로 그리고 'smart\_city'는 미국과 한국에서 높은 매개 중심성 키워드로 나타났다. 이를 통해서 독일과 미국에서는 디지털 트윈과 융합된 로봇 공학 연구가 연결 중심적으로 그리고 미국 및 한국에서는 디지털 트윈 기술이 적용된 스마트 시티 연구가 매개 중심적으로 이루어진 것으로 판단된다.

셋째, 디지털 트윈과 관련된 중심성 분석 결과로부터 도출되는 한국 관련 시사점을 보면, 디지털 트윈 분야에서 키워드 'virtual\_reality', digital\_transformation은 한

국의 상위 15개 매개 중심성 키워드로 포함되지 못하였다. 즉, 한국의 가상 현실 및 디지털 전환 연구는 독일 및 미국에 비해서 매개 중심성이 낮은 연구로 진행된 것으로 보인다. 따라서 이 키워드와 관련된 연구가 매개 중심적으로 진행되기 위해서, 다양하고 복잡한 현실 세계 모델 데이터를 디지털화하여 가상 현실 모델로 구현하는 연구 그리고 가상 현실 모델과 현실 세계 모델 간에 자동화된 양방향 데이터 흐름을 제공하는 시스템 연구와 같이 다양한 융합 연구가 활발하게 이루어질 필요가 있어 보인다.

인공지능 분야에서 키워드 'reinforcement\_learning'은 한국의 상위 15개 연결 중심성 키워드로 포함되지 못하였으며 한국의 강화 학습 관련 연구는 미국에 비해서 연결 중심성이 낮은 연구로 진행된 것으로 파악된다. 강화 학습 기술은 무인 차량 또는 무인 드론 연구에 적용이 가능하며, 더욱 연결 중심적인 연구로 진행되기 위해서 디지털 트윈 및 강화 학습을 적용한 무인 운송 시스템 관련 연구의 진행이 집중적으로 필요해 보인다.

사물인터넷 분야에서 키워드 'industrial\_iiot'는 한국의 상위 15개 연결 중심성 키워드로 포함되지 못하였으며 독일에 비해서 한국의 산업용 사물인터넷 연구가 연결 중심성이 낮은 연구로 진행된 것으로 파악된다. 한국의 산업용 사물인터넷 연구가 보다 연결 중심성이 높게 진행되기 위해서 디지털 트윈, 산업용 사물인터넷 및 인공지능과 같이 복합적인 기술이 적용된 지능형 공장 관련 연구가 필요해 보인다.

보안 분야에서 키워드 'cyber\_security'가 한국의 상위 15개 연결 및 매개 중심성 키워드로 포함되지 못하였으며 한국의 사이버 보안 관련 연구가 독일 및 미국에 비해서 낮은 연결 및 매개 중심성으로 진행된 것으로 파악된다. 한국의 사이버 보안 관련 연구가 더 중심적으로 진행되기 위해서, 디지털 트윈 환경에서 생산되는 다양하고 방대한 데이터에 대한 보안 및 개인 정보 보호가 필요하며 보안 위협에 대응하는 기법의 연구가 진행될 필요가 있어 보인다.

기타 분야에서 키워드 'robotics' 및 'data\_analytics'는 한국의 상위 15개 연결 및 매개 중심성 키워드로 포함되지 못하였다. 이를 통해서 한국의 디지털 트윈 관련 로봇 공학 및 데이터 분석 연구가 낮은 연결 및 매개 중심성으로 진행된 것으로 보인다. 이러한 연구들이 중심적인 연구로 진행되기 위해서, 디지털 트윈 기술을 산업체 제조 로봇에 적용하여 생산성을 향상할 수 있는 시스템의 연구가 필요해 보인다. 그뿐만 아니라 디지털 트윈 환경에서 생산되는 많은 데이터를 효과적으로 분석하는 연구 진행도 필요해 보인다.

## VI. 결론

본 연구에서 디지털 트윈 관련 연구 동향을 독일, 미국 그리고 한국을 중심으로 진행하였다. 본 연구의 연결 중심성과 매개 중심성 분석 결과에 의하면 키워드 'digital\_twin'이 가장 중심적이며 국가마다 디지털 트윈 연구가 가장 중심적인 연구로 수행되고 있는 것으로 파악된다. 또한 디지털 트윈 관련 핵심 분야인 시뮬레이션 및 가상 물리 시스템 연구, 디지털 트윈과 융합된 사물인터넷 및 인공지능 연구, 지능적인 디지털 트윈 기반의 스마트 제조 관련 연구도 높은 중심성 연구로 각 국가에서 공통으로 진행되는 것으로 보인다.

이택균[33-34]과 비교하여 공통점과 차이점을 살펴보면, 이택균[33]에서는 인공지능 보안 연구에 대한 중심성 분석을 진행하였다. 각 국가에서 인공지능 및 머신러닝을 활용한 사이버 보안 연구가 가장 중심적으로 진행되었으며, 또한 인공지능 보안 기술을 사물인터넷에 적용한 연구도 중심적으로 수행되었다. 이택균[34]에서는 블록체인 기반의 사물인터넷 연구에 대한 중심성 분석을 수행하였다. 국가마다 블록체인, 사물인터넷 관련 연구가 가장 중심적으로 수행되었으며 그 외에도 블록체인 기반 사물인터넷 환경에 인공지능 기술을 적용한 연구도 중심

적으로 진행되었다. 본 연구 및 이택균[33, 34]의 분석 결과에서는 인공지능, 사물인터넷, 보안 관련 연구가 공통으로 중심적인 연구로 진행되었다. 차이점을 살펴보면, 이택균[33, 34]에서는 클라우드 컴퓨팅, 엣지 컴퓨팅, 빅데이터, 프라이버시 연구가 중심적으로 진행되었으나 본 연구에서는 이러한 연구들이 중심적인 연구로 나타나지 않았다. 그뿐만 아니라 본 연구에서는 디지털 트윈과 관련된 시뮬레이션, 가상 물리 시스템, 가상 현실, 증강 현실, 스마트 제조, 로봇 공학 관련 연구들이 중심적인 연구로 수행되었으나 이택균[33, 34]에서는 이러한 연구들이 중심적인 연구로 나타나지 않았다.

디지털 트윈 관련 기술은 전체적으로 초기 수준이며 적용 범위도 다양하지 못하며 테스트를 위한 플랫폼 구축 정도에 적용되었다. 산업체 측면에서 디지털 트윈 시스템을 구축하기 위해서는 많은 비용이 요구되며, 또한 다양한 산업 환경에 디지털 트윈을 통합하는 것도 어려운 문제이다. 따라서 산업체에서는 합리적인 비용으로 디지털 트윈을 구축하고 산업체의 복잡하고 다양한 변화를 실시간으로 반영한 정보를 제공하는 디지털 트윈 시스템을 필요로 하고 있다. 국외 논문을 통해서도 디지털 트윈 관련 기술이 초기 단계에 있는 것으로 파악을 하고 있으며, 또한 외국에서도 디지털 트윈 구현에 핵심적인 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 등의 기술과 관련된 표준화 작업이 진행되고 있다. 향후에는 이러한 기술을 기반으로 스마트 제조, 스마트 시티 등의 다양한 분야에 증강 현실, 가상 현실이 적용되어서 사용자 편의성이 증가된 디지털 트윈 플랫폼 관련 연구가 많이 진행될 것으로 예상된다.

이러한 시사점을 통해서 한국의 디지털 트윈에 관한 연구의 방향성을 제시하고자 한다. 본 논문의 한계점으로는 디지털 트윈에 관한 연구 동향 분석을 독일, 미국 및 한국을 중심으로 진행하였으나 향후에는 디지털 트윈 관련 연구를 진행하고 있는 다양한 국가들을 포함하여 다양한 지역의 디지털 트윈에 관한 연구 동향을 분석하고자 한다.

## 참고문헌

- [1] 이현정 · 김성혜 · 이진영, "4차 산업혁명을 위한 제조 디지털 트윈 국제표준화 현황," 한국통신학회지, 제 37권, 제7호, 2020, pp.43-50.
- [2] 장예지, "디지털 전환의 핵심, 디지털 트윈-제조와 도시를 중심으로," ICT SPOT Issue 동향분석, 2019, pp.1-30.
- [3] 김달훈, "디지털 트윈 시장, 2028년까지 매년 61.5%씩 성장...제조 분야가 견인," 넘버스, <https://www.itworld.co.kr/numbers/82002/307531>, 2023.09.15.
- [4] 최상수 · 우정엽 · 박양호 · 송인호, "스마트 제조를 위한 클라우드 플랫폼 기반 사용자 친화적인 디지털 트윈 구축 방법," 대한기계학회논문집, 제45권, 제2호, 2021, pp.175-184.
- [5] 이양구 · 정우근 · 임영재 · 윤대섭, "디지털 트윈 기반 공장 물류 관리 시스템," 2022년도 한국통신학회 추계종합학술발표회 논문집, 2022, pp.710-711.
- [6] 이기한 · 이관우 · 장승환 · 박상철 · 이선재 · 유운유 · 윤정익, "조립 생산 시스템에서의 디지털 트윈 개발 : 사례 연구," 한국CDE학회 논문집, 제29권, 제1호, 2024, pp.42-49.
- [7] 방준성 · 이영호, "스마트시티 실현을 위한 디지털 트윈 기술 동향," 한국통신학회지, 제37권, 제5호, 2020, pp.11-19.
- [8] 장윤섭 · 장인성, "스마트 도시 실현을 위한 디지털 트윈 기술 동향," 전자통신동향분석, 제36권, 제1호, 2021, pp.99-108.
- [9] 한근희 · 홍성혁, "디지털 트윈 기반 스마트 시티 모델 연구 동향 분석," 융합정보논문지, 제11권, 제11호, 2021, pp.172-177.
- [10] 강유진 · 김주원, "헬스케어 디지털 트윈," 기술동향브리프 한국과학기술기획평가원, 2022, pp.1-41.
- [11] 양세모 · 이강운, "정신건강 위협 예측 및 관리를 위한 멘탈 헬스케어 디지털 트윈 기술 연구," 한국빅데이터학회 학회지, 제7권, 제1호, 2022, pp.29-36.
- [12] 박부기 · 서성혁 · 정보경 · 박다운, "디지털 트윈을 활용한 자율주행자동차 운행행태 최적화 연구," 대한교통학회 제86회 학술발표회, 2022, pp.469-470.
- [13] 오창근 · 김희주, "도심지 내의 안전한 UAM 이동경로를 모니터링하기 위한 혼합현실 기반 디지털 트윈 실증시스템 구현," 대한교통학회 제87회 학술발표회, 2022, pp.237-238.
- [14] 이현준 · 광태호 · 박규리 · 광찬 · 이영재 · 이재우, "도심 항공교통 흐름관리(UATM) 검증을 위한 UAM 운용 디지털 트윈 플랫폼 개발," 한국항공우주학회 2022 추계학술대회, 2022, pp.860-860.
- [15] 고민섭 · 임해리 · 임태규 · 김덕영, "교통 흐름 최적 제어를 위한 실시간 교통정보를 반영하는 교차로 디지털 트윈 모델," 대한산업공학회 춘계공동학술대회, 2023, pp.2404-2411.
- [16] 신상희, "디지털트윈 기술 동향과 전망," 국토, 제 474호, 2021, pp.6-12.
- [17] 최상수 · 우정엽 · 김준 · 최원화 · 김지수 · 이주연, "국내 디지털 트윈 연구동향 조사 및 분석," 한국CDE학회 논문집, 제26권, 제1호, 2021, pp.59-69.
- [18] 윤재석 · 김진민, "디지털 트윈 연구 및 표준화 동향 분석," 표준인증안전학회지, 제12권, 제1호, 2022, pp.31-47.
- [19] Wang, Y., Su, Z., Guo, S., Dai, M., Luan, T., and Liu, Y., "A Survey on Digital Twins: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Future Prospects," IEEE Internet of Things Journal, Vol.10, No.17, 2023, pp.14965-14987.
- [20] Fuller, A., Fan, Z., Day, C., and Barlow, C., "Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research," IEEE Access, Vol.8, 2020, pp.1-21.
- [21] Zhang, R., Wang, F., Cai, J., Wang, Y., Guo, H.,

- and Zheng, J., "Digital twin and its applications: A survey," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.123, 2022, pp.4123-4136.
- [22] Zayed, S., Attiya, G., El-Sayed, A., and Hemdan, E., "A review study on digital twins with artificial intelligence and internet of things: concepts, opportunities, challenges, tools and future scope," *Multimedia Tools and Applications*, Vol.82, 2023, pp.47081-47107.
- [23] 이은숙 · 차경진, "사회연결망분석을 활용한 웹 접근성 평가 지표 개발 방향 제안에 대한 연구," *스마트 미디어저널*, 제10권, 제1호, 2021, pp.47-54.
- [24] 김성호 · 김협, "소셜미디어를 활용한 대체 불가능 토큰의 글로벌 동향 분석: 사회 연결망 분석을 중심으로," *지급결제학회지*, 제14권, 제1호, 2022, pp.1-24.
- [25] 유재호 · 전의찬 · 김하나, "텍스트 분석을 활용한 기후변화 연구 동향 분석: 한국기후변화학회지를 중심으로," *Journal of Climate Change Research*, 제10권, 제3호, 2019, pp.161-172.
- [26] 황고은 · 문신정, "영상콘텐츠분야 정권별 빅데이터 분석-상위 중심성 값의 변화를 중심으로," *디지털콘텐츠학회논문지*, 제18권, 제5호, 2017, pp.911-921.
- [27] 한지윤 · 신영준, "인공지능교육 관련 연구 동향 분석: 키워드 네트워크 분석," *인공지능연구 논문지*, 제1권, 제2호, 2020, pp.20-33.
- [28] 류기진 · 남형식 · 조상호 · 류동근, "사회연결망 분석을 이용한 컨테이너 정기선 항로 패턴 분석에 관한 연구 : 부산항을 중심으로," *한국항해항만학회지*, 제42권, 제6호, 2018, pp.529-538.
- [29] 주재홍 · 송지훈, "키워드 네트워크 분석을 활용한 지식은폐 연구동향 분석," *지식경영연구*, 제22권, 제1호, 2021, pp.217-242.
- [30] 김명미, "노인 재활 헬스케어에 대한 키워드 연결 관계의 그래프 중심성 분석을 통한 계량 정보 분석," *한국전자통신학회 논문지*, 제14권, 제2호, 2019, pp.447-452.
- [31] 정도법 · 유화선 · 문희진, "논문 키워드 분석을 통한 인공지능의 주요 이슈에 관한 고찰: 사회과학 분야의 KCI 등재학술지를 중심으로," *한국콘텐츠학회논문지*, 제22권, 제7호, 2022, pp.1-9.
- [32] 김송주, "키워드 네트워크 분석을 통한 국내 스마트 팩토리 기술연구동향," *한국산학기술학회논문지*, 제23권, 제5호, 2022, pp.17-23.
- [33] 이택균, "키워드 빈도와 중심성 분석을 이용한 인공지능 보안 연구 동향: 미국·영국·한국을 중심으로," *디지털산업정보학회 논문지*, 제19권, 제4호, 2023, pp.13-27.
- [34] 이택균, "키워드 빈도와 중심성 분석을 활용한 블록체인 기반 사물인터넷 연구 동향: 미국·영국·한국을 중심으로," *디지털산업정보학회 논문지*, 제20권, 제1호, 2024, pp.1-15.

■ 저자소개 ■



이택균  
(Lee Taekyeun)

2016년 9월~현재  
아주대학교 다산학부대학 조교수  
2014년 3월~2016년 8월  
아주대학교 소프트웨어학과 강의교수  
2010년 9월 State University of New York at Buffalo, Computer Science and Engineering (공학박사)  
1998년 2월 고려대학교 전산학과(이학석사)  
관심분야 : 데이터 마이닝, 인공지능  
E-mail : taeklee@ajou.ac.kr

논문접수일: 2024년 5월 08일  
수정접수일: 2024년 5월 22일  
게재확정일: 2024년 6월 02일