



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

메타팩토리 환경에서의  
상용 이산사건 시뮬레이션 패키지 분석

Analysis of Commercial Discrete Event Simulation  
Packages in a MetaFactory Environment

울 산 대 학 교 대 학 원  
산업경영공학과  
박 지 현

메타팩토리 환경에서의  
상용 이산사건 시뮬레이션 패키지 분석

지도교수 황규선

이 논문을 공학석사학위 논문으로 제출함

2024년 02월

울산대학교 대학원  
산업경영공학과  
박지현

박지현의 공학석사학위 논문을 인준함

심사위원장            이 수 동            인

심사위원            정 기 효            인

심사위원            황 규 선            인

2024년 02월

울 산 대 학 교 대 학 원

2024년 02월

# 국문 요약

## 메타팩토리 환경에서의 상용 이산사건 시뮬레이션 패키지 분석

울산대학교 대학원  
산업경영공학과  
박지현

빠르게 변화하는 고객의 Needs와 다품종 소량 생산 체계의 생산 방식 변화에 따라 공정의 복잡도가 증대되며 고도화된 생산 공정을 사전에 예측하고 최적화하기 위해 디지털 트윈환경에서 생산 시뮬레이션 기법이 각광받고 있다. Industry 4.0의 초연결화, 초지능화 된 ICT 기술과 Society 5.0의 인간중심의 가상현실이 함께 발전하고 물리적 공간인 현실 세계와 가상의 공간인 메타버스 세계가 상호작용하며 가치를 창출하는 시대로 나아가고 있는 상황이다. 이에 따라 제조업에 메타버스와 디지털 트윈 기술을 빠르게 도입하고 있다. 그러나 메타팩토리 개념이 등장한 초기 단계로 기존의 스마트팩토리 개념 및 기술과 명확하게 구분되지 않고 있다. 또한 디지털 트윈의 발전과 함께 신규 시뮬레이션 패키지가 빠르게 개발되고 기존 패키지의 기능이 업데이트됨에 따라 사용자들이 어떤 시뮬레이션 소프트웨어 패키지를 활용하여 개발을 진행하는지에 대한 의사결정이 어려운 실정이다.

이에 본 연구에서는 3가지 연구 질문과 답변으로 구성하여 연구 결과를 도출하였다. 실제 문제에 상용 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어를 적용해 연구를 진행한 문헌을 기반으로 주요 소프트웨어를 도출하고 패키지의 각 특성을 분석해 소프트웨어 선택에 어려움을 겪고 있는 기업과 사용자에게 선택의 기반을 제공한다. 다음으로 스마트팩토리과 디지털 트윈, 메타팩토리의 개념과 주요 기술을 비교하여 정리해 각 특성

과 차이점을 명확하게 정의하였다. 메타팩토리의 가상공간에 현실과 동일한 공장을 구축하고 시뮬레이션을 통해 효율성과 생산성을 향상하게 되면서 시뮬레이션의 중요성도 커지고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 메타팩토리의 주요 기술 특성을 기반으로 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어의 구현 수준을 평가하여 메타팩토리와 연계성을 분석해 추후 메타팩토리를 구축하고 가상 시뮬레이션을 수행하고자 하는 기업 및 사용자에게 기초자료로 사용될 것으로 판단한다.

# 목 차

국문초록 .....	i
그림 목차 .....	iii
표 목차 .....	v
<b>I. 서론 및 이론적 고찰 .....</b>	<b>1</b>
1.1 4차 산업혁명과 스마트팩토리 .....	1
1.2 디지털 트윈과 메타버스 .....	4
1.3 시뮬레이션 방법론 .....	8
1.4 논문의 구성 .....	12
<b>II. 문제 정의 및 연구 목표 .....</b>	<b>14</b>
2.1 문제 정의 .....	14
2.2 관련 연구 분석 .....	18
2.3 연구 목표 및 연구 방법 설계 .....	21
<b>III. 연구 결과 .....</b>	<b>24</b>
3.1 상용 이산사건 시뮬레이션 패키지 분석 .....	24
3.2 스마트팩토리 와 메타팩토리 비교 분석 .....	40
3.3 상용 이산사건 시뮬레이션과 메타팩토리 연계성 .....	53
<b>IV. 결론 .....</b>	<b>57</b>
4.1 연구결과 요약 .....	57
4.2 한계점 및 추후 연구방향 .....	58
참고문헌 .....	60
Abstract .....	65

## 그림 목차

[그림 1] 4차 산업혁명의 작동원리 .....	2
[그림 2] 스마트팩토리 적용 범위 .....	3
[그림 3] 디지털 트윈 개념도 .....	5
[그림 4] 메타버스의 4가지 유형 .....	6
[그림 5] 기존의 공장과 스마트팩토리 환경 .....	9
[그림 6] 시뮬레이션 방법론 추상화 수준 .....	10
[그림 7] 메타팩토리 개념 등장 배경 .....	17
[그림 8] 6년간 산업 메타버스 관련 주제로 게재 된 논문 수 .....	20
[그림 9] 전체 연구 흐름 .....	22
[그림 10] 발간년도에 따른 소프트웨어 사용 빈도 변화 .....	28
[그림 11] 시뮬레이션 소프트웨어를 사용한 연구 수 .....	29
[그림 12] 시뮬레이션 방법론에 따른 소프트웨어 사용 비율 .....	29
[그림 13] 시뮬레이션 목적에 따른 소프트웨어 사용 비율 .....	30
[그림 14] 시뮬레이션 시나리오에 따른 소프트웨어 사용 비율 .....	31
[그림 15] 제1저자 국가별 시뮬레이션 소프트웨어 사용 빈도 .....	32
[그림 16] 제1저자 국가별 시뮬레이션 사용 비율-상위 5개국 .....	32
[그림 17] Anylogic을 사용하는 업종 비율 .....	33
[그림 18] Anylogic에서 GIS를 사용하는 산업의 비율 .....	34
[그림 19] Arena를 사용하는 업종 비율 .....	34
[그림 20] Plant Simulation 사용 업종 비율 .....	35
[그림 21] 시뮬레이션 시나리오에 따른 업종 비율 .....	35
[그림 22] 대상 객체에 따른 시뮬레이션 방법론 적용 비율 .....	36
[그림 23] 시뮬레이션 시나리오에 따른 대상 객체 비율 .....	37
[그림 24] 시뮬레이션 소프트웨어 업데이트 추세 .....	38
[그림 25] 스마트팩토리 와 메타버스 개념 .....	42

[그림 26] 메타팩토리 구축 체계 .....	46
[그림 27] 디지털 트윈 발전 역사 .....	49
[그림 28] 메타팩토리에서 원격 협업의 단계 .....	51
[그림 29] 메타팩토리화 시뮬레이션 .....	53
[그림 30] 이산사건 시뮬레이션과 메타팩토리 공통 특성 .....	54

## 표 목차

[표 1] 산업혁명의 발전과정	1
[표 2] 스마트팩토리 5대 요건	4
[표 3] 메타버스 관련 기술과 카테고리	7
[표 4] 메타버스 주요 유형과 기능	7
[표 5] 메타버스 핵심 특징	8
[표 6] 시뮬레이션 방법론 요약	12
[표 7] 시뮬레이션 소프트웨어 관련 연구 요약	19
[표 8] 산업 메타버스 관련 연구 요약	21
[표 9] DES 소프트웨어 빈도 분석	25
[표 10] DES 소프트웨어 관련 연구 수	26
[표 11] DES 소프트웨어 분류 항목	27
[표 12] 시뮬레이션 소프트웨어 업데이트 특성	28
[표 13] 시뮬레이션 소프트웨어 분석 결과 요약	37
[표 14] 시뮬레이션 소프트웨어별 업데이트 현황	39
[표 15] Industry 4.0과 Society 5.0 비교	41
[표 16] 기업 별 제조혁신 사례	44
[표 17] 메타팩토리 구축 수준	47
[표 18] 스마트팩토리 구축 수준 단계	48
[표 19] 디지털 트윈 기술 발전 단계	50
[표 20] 스마트팩토리와 디지털 트윈, 메타팩토리 개념 비교	52
[표 21] 주요 시뮬레이션 패키지 사양 요약	55
[표 22] DES 소프트웨어와 메타팩토리 연계성	56

# 제1장 서론 및 이론적 고찰

## 1.1 4차 산업혁명과 스마트팩토리

### 1.1.1 산업혁명과 발전과정

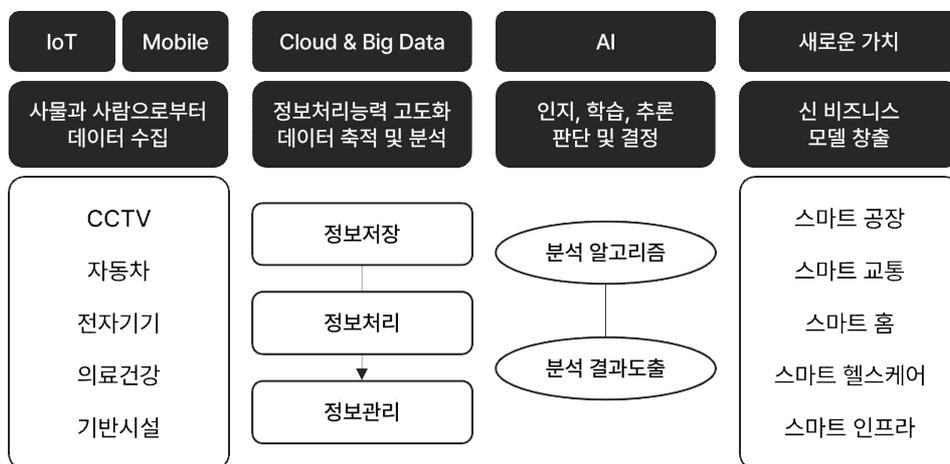
산업혁명이란 18세기에 영국에서 시작된 기술혁신과 사회 및 경제의 큰 변화를 의미한다. 농업 중심의 사회에서 공업사회로 변화하는 과정으로, 공업화로 불리기도 한다. 갑자기 발생한 격렬한 현상이 아니라 서서히 점진적으로 진행된 연속적인 기술혁신의 과정으로 경제와 사회 조건이 누적되어 급속도의 변화가 일어나는 현상을 말한다. 1차 산업혁명의 원동력인 증기기관, 2차 산업혁명인 전기에너지, 3차 산업혁명인 컴퓨터 발전을 거쳐 2016년 다보스 포럼이 4차 산업혁명의 이해(Mastering the Fourth Industrial Revolution)라는 주제로 개최되며 4차 산업혁명이 도래하고 있음을 공표하였다[1]. 산업혁명의 단계 별 발전 과정은 [표 1]에서 나타내었다.

[표 1] 산업혁명의 발전과정

구분	주요특징	핵심 산업	세부변화
1차 산업혁명	기계화	면방직 산업	개인생산 → 공장생산
2차 산업혁명	산업화	자동차, 중화학, 철강	분업화, 대량생산
3차 산업혁명	정보화	인터넷, 컴퓨터, 반도체	생산정보 자동화 체계
4차 산업혁명	지능화	스마트팩토리, ICT	사람중심의 초 연결사회

세계경제포럼의 클라우드 슈밥(Klaus Schwab)은 4차 산업혁명이 디지털 혁명인 3차 산업에 기반을 두며 기존 산업 영역의 경계가 흐려지며 융합하는 기술혁명이라고 정의하였다[2]. 이처럼 4차 산업혁명은 초

연결성(Hyper-Connected), 초지능화(Hyper-Intelligent) 특성을 기반으로 모든 것을 연결해 지능화된 사회로 변화하는 것을 의미한다. 4차 산업혁명은 자동화와 연결성이 극대화되는 변화로 제조업에서는 스마트팩토리 구현을 목표로 한다. 사물인터넷(IoT), 모바일(Mobile), 클라우드(Cloud), 빅데이터(Big Data) 기술을 기반으로 데이터를 수집, 분석하고 융합하여 국가와 사회, 기업의 경쟁력을 향상한다[3]. 4차 산업혁명의 작동 원리는 [그림 1]에서 나타낸 것과 같다.

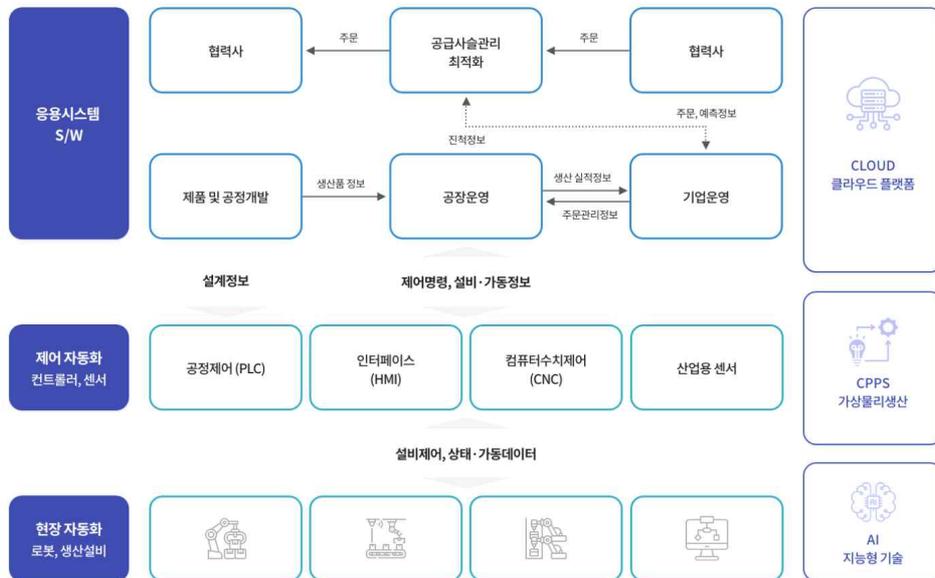


[그림 1] 4차 산업혁명의 작동원리  
(자료 : 한국연구재단)

### 1.1.2 스마트팩토리 개념

스마트팩토리는 전통 제조업에서 제품의 기획부터 판매까지 전 생산과정을 ICT 기술의 융복합을 통해 제품과 공장의 기계 및 설비, 공정이 서로 연결되어 디지털화되는 사람 중심의 첨단 지능형 생산 공장을 의미한다[4]. 제품의 기획, 개발부터 양산 단계까지 주문부터 완제품 출하의 제조 전 과정에서 응용 시스템뿐 아니라 현장 자동화와 제어 자동화 영역까지 모든 부분에서 지능화되며 기존의 일반 공장과 차별화된 특성을 갖는다. 기획·설계 단계에서는 가상공간을 활용해 제품 개발 전 시뮬

레이션을 수행해 기간을 단축하고 맞춤형 제품을 개발한다. 그 후 설비, 자재, 시스템 간 실시간 정보교환으로 다품종 대량생산과 에너지 효율을 관리한다. 유통 및 판매 단계에서는 생산 현황에 맞춘 실시간 자동화로 재고 비용을 감소하고 품질 및 물류 분야의 효율성을 향상한다. 즉, 스마트팩토리는 최소 비용과 시간으로 생산성을 극대화하는 것으로 정보 기술(ICT, Information and Communication Technology)과 자동화 기술(AT, Automation Technology), 그리고 운영 기술(OT, Operation Technology)이 복합적으로 구현되어야 함을 의미한다.



[그림 2] 스마트팩토리 적용 범위  
(자료 : KOSOMO 스마트공장 사업관리시스템)

이에 따라 스마트제조혁신추진단에서는 기업의 종합적인 스마트 역량을 측정해 기업제조혁신역량 수준을 5Level로 구분하여 단계적인 스마트팩토리 구축을 지원하고 있으며 스마트팩토리 5대 요건을 기반으로 지능화된 관리를 실현하고 있다[4]. 제시하고 있는 스마트팩토리 5대 요건은 [표 2]와 같다.

[표 2] 스마트팩토리 5대 요건  
(자료 : KOSOMO 스마트공장 사업관리시스템)

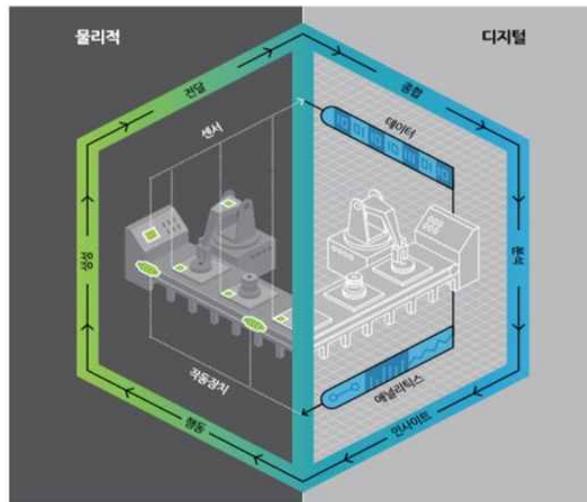
구분	요건	세부내용
1	4M+1E 디지털화	공장의 주요 구성요소인 Man, Machine, Material, Method, Environment의 측정 가능한 데이터를 실시간으로 수집하고 소통할 수 있어야 한다.
2	지능화	인공지능, 컴퓨팅, 알고리즘의 발전으로 첨단 IT 솔루션을 이용해 최적화를 수행하거나 선제적 예측으로 해결책을 제시한다.
3	통합	사회 및 제조 가치사슬을 기반으로 End-to-End 정보 교류를 위한 수직·수평적 통합을 지향한다.
4	엔지니어링 지식 창출	지속적으로 데이터를 수집하고 저장하여 빅데이터를 기반으로 제조 자동화 및 엔지니어링 기술을 창출해야 한다.
5	스마트시스템 연결	스마트 제품 및 추후에 발전할 스마트 시티와 통신 표준을 기반으로 연결·통합이 가능해야 한다.

## 1.2 디지털 트윈과 메타버스

### 1.2.1 디지털 트윈(Digital Twin) 개념

디지털 트윈은 2002년 미국의 마이클 그리브스 박사가 제품 생애주기 관리(PLM, Product Lifecycle Management)의 이상적 모델을 설명하면서 최초로 등장하였다. 2010년 나사(NASA)에서 우주선 모델의 시뮬레이션을 수행하고 우주 탐사 기술 로드맵에 디지털 트윈을 반영하며 시작되었다. 이후 미국 제너럴 일렉트릭(GE)이 제조업에 디지털 트윈을 적용하면서 디지털 트윈의 개념이 빠르게 확산되었다. GE는 제조 현장에서 공정 운영을 최적화하고 IoT 기술을 활용해 공장 자동화를 선보이며 디지털 트윈 기술을 적용하였다[5]. 디지털 트윈은 가상의 공간에 현실의 객체와 동일한 쌍둥이 모델을 만들어 시뮬레이션을 통해 결과를 미리 예측하고 검증 및 최적화를 수행하는 기술을 의미한다. 리서치 기관 가트너(Gartner)는 디지털 트윈을 3년 연속 10대 전략 기술로 선정하

며 제조업의 생산성, 효율성, 품질 향상을 위해 디지털 트윈 기술 가치를 입증했다. 또한 전략 컨설팅 업체 맥킨지(McKinsey)에 따르면 디지털 트윈은 2017년부터 연평균 37.87%의 높은 성장률을 보이며 2025년까지 3조 9000억 규모의 시장을 형성할 것으로 전망하고 있다[6]. 디지털 트윈은 단순히 데이터를 그대로 저장하는 디지털화와 달리 실시간 피드백을 통해 최적화를 수행하고 솔루션을 도출하는 동적인 모델에서 차별성을 가진다.



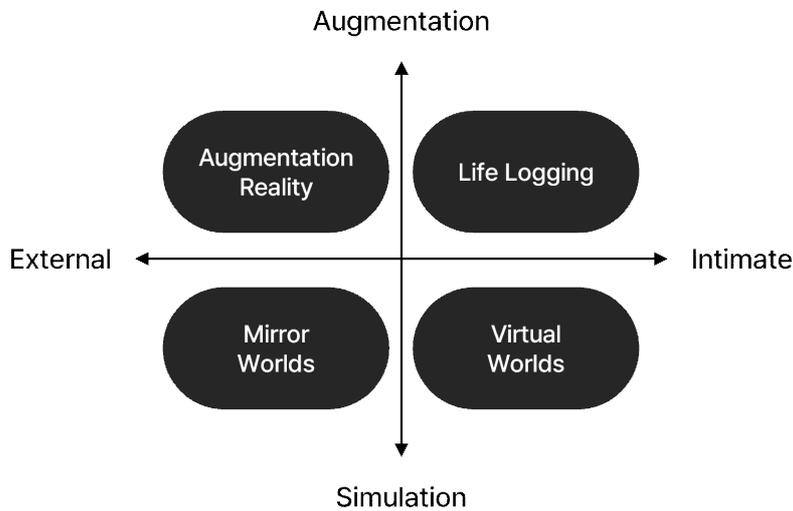
[그림 3] 디지털 트윈 개념도  
(자료 : 딜로이트)

디지털 트윈은 독립된 가상공간에 집중하는 메타버스에 비해 가상의 공간에 현실을 실시간으로 반영하여 운영하는 데 중점을 두는 개념으로 시뮬레이션, AI, IoT, 빅데이터, 3D 기술이 핵심적으로 적용되고 있다 [7].

### 1.2.2 메타버스(Metaverse) 개념

메타버스(Metaverse)는 초월을 의미하는 그리스어인 메타(meta)와 현

실 세계를 뜻하는 유니버스(universe)가 결합된 단어로 닐 스티븐슨의 SF소설인 Snow Crash(스노우 크래쉬)에서 3차원 가상 세계의 의미로 처음 등장하였다[8]. 메타버스는 기존의 가상현실(VR, Virtual Reality) 보다 확장된 개념으로 현실과 가상의 경계가 흐려지며 다양한 사회와 상호작용하고 경제적 활동까지 수반하는 특징을 가진다. 특히 메타버스는 4차 산업혁명의 초연결, 초지능화 발전 목표와 함께 5G의 상용화 및 COVID-19로 인해 진화하며 광범위한 의미로 빠르게 확산되었다.



[그림 4] 메타버스의 4가지 유형

미국의 미래가속화연구재단(Acceleration Studies Foundation, ASF)은 2007년 메타버스 로드맵을 통해 메타버스의 개념을 외부(External)와 내부(Intimate)의 X축과 증강(Augmentation)과 시뮬레이션(Simulation)의 Y축을 기준으로 사분면으로 나누어 각 유형을 나타내었다. X축을 기준으로 가상 세계의 정보 구현이 외부 환경인지 개인 중심의 구현인지 구분하였고, Y축을 기준으로 현실의 확장과 가상 세계의 모방으로 나누었다[9].

[표 3] 메타버스 관련 기술과 카테고리

카테고리	주요내용	관련기술
라이프로깅	가상공간에서 새로운 신원인 아바타(AVATAR)가 활동하는 공간	디지털 미
가상세계 증강현실	별도의 기기와 XR 생태계로 만든 새로운 디지털 현실	디지털 현실
미래월드	현실 복제를 넘어 시뮬레이션과 자동화를 위한 디지털 트윈 공간 구현	디지털 트윈

이러한 기준에 따라 메타버스 시나리오는 크게 아바타의 활동 공간(라이프로깅), XR의 구현 공간(가상 세계 및 증강현실), 디지털 트윈의 구현 공간(미래 월드)으로 재정의 되었다. 메타버스는 활용 목적에 따라 [표 4]에서 나타난 것과 같이 3가지 유형으로 구분한다.

[표 4] 메타버스 주요 유형과 기능

유형	주요기능	사례
사회관계 형성	SNS 또는 게임에 놀이 및 문화 활동 접목	제페토, 로블록스
디지털자산 거래	가상부동산이나 가상 상품 직거래	어스2, 디센트럴랜드
원격협업지원	원격 의사소통 및 다중 협업 지원	NVIDIA Omniverse

각 유형의 메타버스는 초기에 독립적으로 발전하다가 점차 여러 유형이 상호 융합하며 통합된 형태의 메타버스로 발전하고 있다. 다양한 산업 분야에 적용되고 있는 메타버스 기술이 가지는 공통적인 특징은 집단 가상 공유 공간을 기반으로 SPICE 모델에서 5가지의 핵심 특징을 정립하였다[10]. [표 5]에서 메타버스가 가진 주요 특징을 비교해서 정리하였다. 가상과 현실이 융합된 공간에서 세계관을 공유하는 다양한 주체간의 소통을 통해 새로운 가치를 생산하고 경제와 문화적 활동을 수행

하기 위해서 메타버스는 확장현실(XR, eXtended Reality), 디지털 트윈, 블록체인, AI, 클라우드 등 다양한 ICT 기술을 기반으로 구현된다.

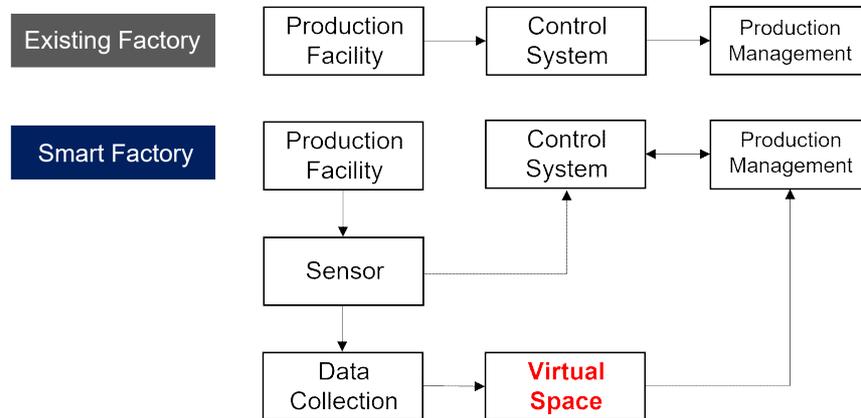
[표 5] 메타버스 핵심 특징

SPICE 모델		Cuofano의 메타버스 핵심특징	
구분	내용	구분	내용
연속성 (Seamlessness)	단절되지 않은 연속적 경험	영속성 (Persistence)	메타버스의 영속적 존재
실재감 (Presence)	가상현실이지만 실제 현장의 느낌	동시성 (Synchronicity)	동시간에 상호작용하는 사용자
상호운용성 (Interoperability)	현실과 가상의 상호작용	연결성 (Accessibility)	메타버스의 연결된 가상세계
동시성 (Concurrency)	여러 사용자가 동시에 활동	경제적 기능 (Economy)	재화와 서비스를 거래하는 경제흐름
경제흐름 (Economy)	가상재화를 통한 경제 시스템	범위 (Scope)	사적/공적 범위를 포괄하는 경험
		상호운용성 (Interoperability)	현실과 가상의 상호작용
		기여 (Contribution)	사용자들의 경험으로 채워진 확장된 세계

### 1.3 시뮬레이션 방법론

컴퓨터의 정보화와 생산의 자동화를 일으킨 3차 산업혁명에 이어서 로봇과 인공지능(AI, Artificial Intelligence), 사물인터넷(IoT, Internet of Things) 기술을 기반으로 가상현실과 실제 현실이 통합되는 4차 산업혁명이 진행되며 스마트팩토리와 공장 자동화, 디지털 트윈 기술이 급속도로 발전하였다. 수시로 변화하는 고객의 수요와 고객 맞춤형 제품을 제공하는 시장 상황에 대응하기 위하여 생산 공정은 점차 고도화되고 복잡해지고 있는 상황이다. 이에 따라 공장의 환경을 수리적으로 모델링하여 생산 최적화를 하는 것은 더더욱 어려워지고 있다. 또한 가동 중인 공장에 개선 활동을 적용하는 것은 많은 위험이 따르고, 신규 공장 설계 검증과 같이 존재하지 않는 것에 대한 평가를 하는 것이 어려운 상황이

다. 이러한 상황에서 문제의 해결책을 찾기 위해서 생산 시뮬레이션 기법이 많은 산업에서 활용되고 있다. [그림 5]와 같이 기존의 공장은 생산 설비를 제어하기 위해 통제시스템으로부터 쌓은 실적 데이터를 기반으로 생산 관리가 진행된다면, 스마트팩토리 환경에서는 설비에 있는 센서에서 모든 데이터가 수집되고, 이를 기반으로 가상의 환경에서 물리적 대상과 동일한 수준으로 관리가 가능해지게 되었다. 이에 따라 기존의 공장에서는 제품의 개발 단계나 설계를 검증하는 단계에서 제품에 대해 시뮬레이션 기법을 사용하였지만, 디지털 트윈 환경에서는 생산의 영역까지 시뮬레이션 기법이 적용되게 되었다.

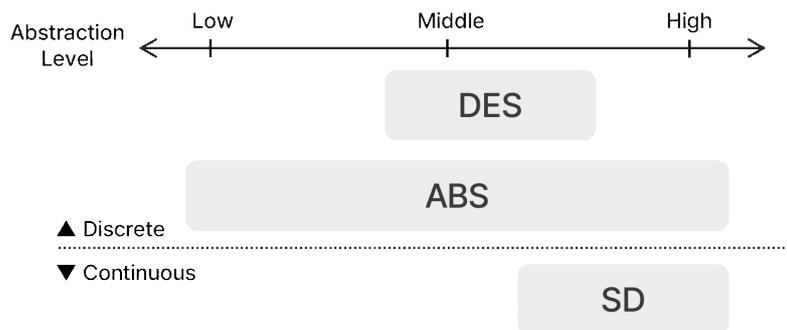


[그림 5] 기존의 공장과 스마트팩토리 환경

시뮬레이션 기법은 생산 및 제조 분야를 넘어서 경제, 에너지, 안전, 도시개발 등 점차 넓은 범위에서 상황을 개선하고 문제를 해결하기 위해 사용되고 있다. 시뮬레이션 방법론에는 ① 이산사건 시뮬레이션, ② 에이전트(행위자) 기반 시뮬레이션, ③ 시스템 다이내믹스 기법이 사용된다. 3가지 방법론의 특징과 장단점에 대해 설명하고 [표 6]을 통해 정리하였다.

## 1) Discrete Event Simulation

이산사건 시뮬레이션(DES, Discrete Event Simulation)은 프로세스를 불연속(이산)적으로 발생하는 개별적인 사건을 기반으로 모델링하는 기법이다. 프로세스 지향적인 접근법으로 사건에 초점을 맞춰 모델링하여 프로세스를 정확하게 정의하며 확률적인 분포를 통해 불확실성 표현이 가능한 장점이 있다[11]. 불확실성을 표현하기 위한 큐 시뮬레이션은 DES의 핵심 요소로 작용한다[12]. 이산사건 시뮬레이션 접근 방식은 세부적인 사항보다는 시스템의 프로세스를 중심으로 사용되고 있다. DES를 사용해 정확한 시스템을 모델링을 하려면 정밀하고 방대한 데이터가 필요하다. 또한, 모델의 복잡성이 커짐에 따라 기하급수적으로 모델링 파일의 복잡성이 증가하며 시뮬레이션 속도가 저하될 수 있다[13]. 이산사건 시뮬레이션 접근 방식은 추상화 수준의 중단 수준에서 주로 사용되며, 세부적인 사항보다는 시스템의 프로세스를 중심으로 사용되고 있다[14].



[그림 6] 시뮬레이션 방법론 추상화 수준  
(자료 : Khan,A.A.(2022) [15])

## 2) Agent Based Simulation

에이전트(행위자) 기반 시뮬레이션(ABS, Agent Based Simulation)은 시스템을 구성하는 개별적인 에이전트의 행동과 개인의 상호작용을 통

해 시스템을 정의하는 접근방식이다. ABS에서 에이전트는 군중 속의 사람과 의학적 세포 등 다양한 대상이 될 수 있으며 광범위한 상황의 모델링이 가능한 장점이 있다[16]. 특히 의사결정 과정에서 결정권자의 영향이나 집단에서 인간 행동 측면을 반영하기 위해 주로 이용한다. 그러나 ABM은 시스템을 구성하는 다수의 에이전트를 구현하는데 복잡한 계산 과정이 필요하며 각 에이전트 요소의 특성에 대한 데이터가 필요하다[13]. 또한 에이전트 기반 모델링은 낮은 수준부터 높은 수준까지 모든 추상화 수준의 모델링을 설계하는데 사용되고 있다.

### 3) System Dynamics

시스템다이내믹스(SD, System Dynamics)는 DES와 다른 추상적인 기법이며 사건의 세부적인 특성이나 행위자의 개별 행동보다는 복잡한 시스템에 중점을 두고 모델링을 하는 방식이다[17]. 시스템 다이내믹스 시뮬레이션은 장기적이며 전략적인 복잡한 시스템의 인과 관계를 모델링하는 기술이다. SD는 시스템 전체를 하나의 단위로 구성하며 모델 정의를 위해 두 가지 접근 방식을 사용한다. 첫 번째는 시스템 내부의 관계를 피드백 루프 개념을 기반으로 구현하여 수학적 모델링 기술을 통해 동적인 원리를 설명한다. 두 번째는 데이터를 사용해 재고 및 흐름을 설명하는 것으로 데이터를 활용하여 복잡한 시스템을 설명하는 방법이다[18]. 장기적이고 복잡한 시스템의 인과관계를 설명하는데 강점을 갖지만 사건의 세부적인 특성이나 개별 행동을 구현하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 시스템 다이내믹스 기법은 추상화 수준의 가장 높은 단계에서 연속적인 시뮬레이션을 수행하기 위해 주로 사용되고 있다.

[표 6] 시뮬레이션 방법론 요약

	DES	ABS	SD
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 불연속적인 사건을 기반으로 모델링</li> <li>- 시스템 프로세스를 중심으로 함</li> </ul>	개별 에이전트의 행동과 상호작용을 통해 시스템 구성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 복잡한 시스템을 중점으로 모델링</li> <li>- 시스템을 하나의 단위로 구성</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 확률적 분포를 통해 불확실성 표현</li> <li>- 프로세스 지향적으로 정확한 프로세스 정의</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 의사결정을 위한 인간 행동 측면 반영 가능</li> <li>- 광범위한 상황의 모델링 가능</li> </ul>	장기적이며 복잡한 시스템의 인과관계 설명 가능
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정밀하고 방대한양의 데이터 필요</li> <li>- 모델의 복잡성에 따라 속도 저하</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 다수의 에이전트 구성에 복잡한 계산 과정 필요</li> <li>- 에이전트 특성에 대한 데이터 필요</li> </ul>	사건의 세부적인 특성이나 행위자의 개별 행동을 구현하기 어려움
패키지	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plant Simulation</li> <li>- Arena</li> <li>- Automod</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anylogic</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anylogic</li> <li>- Omniverse</li> </ul>

#### 1.4 논문의 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장에서는 연구의 배경이 되는 4차 산업혁명과 스마트팩토리 개념에 대해 정리하였고 스마트팩토리의 핵심 기술 중 하나인 디지털 트윈과 메타버스에 대해 설명하였다. 또한 시뮬레이션을 수행할 때 사용되는 3가지 방법론의 특징을 비교하였다. 2장에서는 시뮬레이션 소프트웨어 선택의 어려움과 메타팩토리 개념의 등장과 적용으로 나누어 문제 상황을 정의하였으며 관련 문헌 조사를 통해 이전 연구의 한계점과 본 연구의 차별성을 정리하였다. 다음으로 전체 연구 흐름과 주요 목표를 설정하며 2장을 마무리한다. 3장에서는 연구

흐름에서 나타난 것과 같이 상용 이산사건 시뮬레이션 패키지 분석 및 스마트 팩토리와 디지털 트윈, 메타팩토리 주요 개념 및 기술의 비교 분석을 수행하고 해당 분석 결과를 기반으로 DES 소프트웨어와 메타팩토리 연계성을 도출하였다. 마지막 4장에서는 연구 결과를 요약 및 정리해 결론을 제시하고 본 연구의 한계점과 추후 연구 방향에 대해 서술하였다.

## 제2장 문제 정의 및 연구 목표

### 2.1 문제 정의

#### 2.1.1 시뮬레이션 소프트웨어 시장의 다양성

시뮬레이션 기법은 다양한 분야의 산업에서 선제적인 문제 예측과 해결 방안을 수립하기 위해 넓은 범위에서 사용되고 있다. 시뮬레이션을 수행하기 위해 다양한 소프트웨어가 사용되며 각 패키지별 가진 특성과 장단점이 다양하다. 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어는 배포 방식에 따라서 상용 소프트웨어(COTS, Commercial Off-The-Shelf)와 오픈소스 소프트웨어로 나뉘어진다. 상용 소프트웨어는 다양한 모델링 기능과 시각화 기법, 분석 도구 등 최적화된 개발 환경을 제공하지만 높은 구매 비용으로 기업이나 개인이 쉽게 접근하고 사용하기에 용이하지 않다. 그에 반해 오픈소스 소프트웨어는 COTS에 비해 비용적인 측면에서 장점을 갖지만 개발 편의성과 기능적인 측면에서는 불편함이 있다. 또한 NVIDIA사에서 지멘스의 생산 로직과 AI 기반 시각화 기능을 연계한 Omniverse 패키지를 출시하고, 기존의 상용 패키지들이 시각화를 강화하거나 데이터 연결성을 확장하는 등의 기능 업데이트를 함에 따라 사용자들은 패키지의 장단점을 판단하기 어려워지고 있다. DES 소프트웨어를 선택할 때는 구매 비용, 해결하고자 하는 문제 상황, 사용자의 이해 수준 등 사용하고자 하는 기업의 상황을 반영하여 적합한 소프트웨어를 선정하는 것이 중요하다. 그러나 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어를 쉽게 선택할 수 있는 기준이 없으며 각 소프트웨어의 특성과 기능, 장단점이 명확하지 않아서 DES 수행하려는 사용자들이 적합한 소프트웨어 선택에 어려움을 겪고 있는 상황이다. 또한, 복잡한 제조 환경에서 디지털 트윈 환경의 발전과 함께 시뮬레이션 기법이 각광받고 있는 만

큼 다양한 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어 신규 패키지가 개발되고 기존 패키지들의 기능이 빠르게 업데이트되면서 의사결정의 어려움이 가중되고 있다.

이에 본 연구에서는 최적화된 시뮬레이션 개발 환경을 제공하는 상용 소프트웨어를 대상으로 분석을 진행하고자 한다. 상용 소프트웨어만 분석 범위로 설정하였으며, 오픈소스 소프트웨어와 기업 내부적으로 자체 개발을 통해 시뮬레이션 환경을 구축하고 수행한 경우는 분석 대상에서 제외하였다. 먼저 10년간 이산사건 시뮬레이션 패키지를 사용하여 실제 문제를 해결한 연구를 분석해 사용 빈도가 높은 패키지를 도출하였다. 다음으로 각 패키지를 시뮬레이션 기법, 주요 업종, 시뮬레이션 수행 대상 및 사용 국가 등으로 분류하여 각 특성과 특화된 장점을 도출해 사용 현황에 대한 비교 분석을 진행하였다. 본 연구 결과를 통해 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어 선택에 어려움을 겪는 기업과 사용자에게 선택의 기반을 제공하며 추후 메타팩토리와 연계하여 사용할 수 있는 활용성에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

**RQ1** : 다양한 상용 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어 선택의 어려움

▶ **RA1** : 사용 빈도가 높은 주요 소프트웨어를 도출해 실제 산업에 적용한 연구를 기반으로 각 특성을 분석한다.

### 2.1.2 메타팩토리 개념의 등장과 적용

18세기부터 시작된 산업혁명은 기술의 혁신과 함께 수반된 생산성 향상과 시스템의 혁신으로 사회와 경제 구조에 큰 변화를 불러왔다. 1차 산업혁명부터 4차 산업혁명까지 점진적이고 연속적인 기술혁신의 과정을 거치며 제조 산업과 공장의 발전도 진행되었다. 기계화, 대량생산, 디지털화를 거쳐 모든 것이 연결되고 초 지능화된 사회로 진화하는 4차 산업혁명 시대가 되며 IoT, 로봇, 인공지능(AI), AR/VR 기술이 적용된

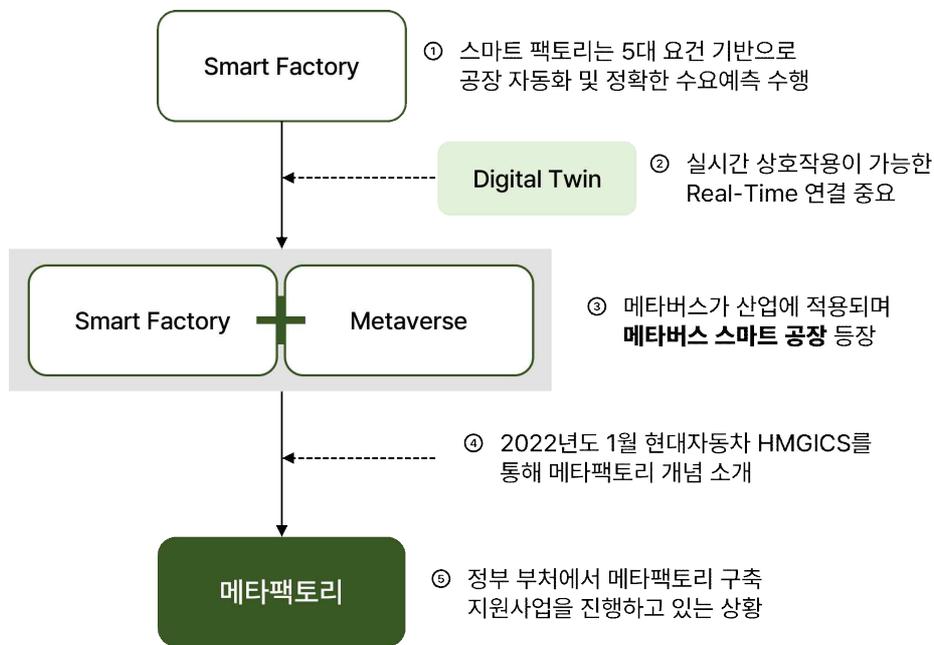
스마트 팩토리가 핵심 개념으로 각광받고 있다. 스마트팩토리는 생산 설비와 제어시스템으로 공장을 관리했던 일반 공장에서 IT와 OT의 융합으로 지능화된 공장을 뜻한다. 즉, 제품 생산 가치사슬 전체가 실시간으로 연결되며 이를 사물인터넷(IoT), CPS, IoS 등 ICT 기술을 적용하여 생산 환경을 구현한 것이다. 특히 현실의 제조 환경에서 센서와 사물인터넷을 통해 데이터를 수집하고 가상의 공간에서 시뮬레이션을 통해 데이터를 분석하여 실제 공장을 최적화함으로써 최적의 비용과 시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 것을 목표로 한다[4].

스마트팩토리는 5대 요건을 기반으로 공장 자동화 및 정확한 수요예측을 수행하며 제품의 생산과 수익 극대화를 위한 산업 구조를 뒷받침해 왔다. 그러나 점차 지속 가능성과 탄력성, 인간 중심의 산업 방향으로 전환되며 유연하고 지속 가능한 인간 중심의 산업을 위한 Industry 5.0 시대로 진화하고 있다. Industry 5.0은 6가지 범주로 나뉜다[19].

- ① 인간과 기계의 상호작용
- ② 생물에서 영감을 받은 기술과 스마트재료
- ③ 디지털 트윈 및 시뮬레이션
- ④ 데이터 저장 및 분석 기술
- ⑤ 인공지능
- ⑥ 에너지 효율성과 재생에너지

[그림 7]과같이 로봇과 AR/VR 등 실시간 상호작용을 위한 디지털 기술을 기반으로 기술이 진화하며 현실과 가상환경의 Real-Time 연결의 중요성이 커지고 있다. 이에 따라 현실 세계와 상호작용하고 경제적 영향을 미치는 가상 세계 공간을 의미하는 메타버스(Metaverse) 기술이 산업에 적용되며 메타팩토리 개념이 등장하기 시작했다. 국내에는 2022

년도 1월 현대자동차에서 HMGICS를 통해 소개되었다. 메타팩토리는 현대자동차에서 처음으로 만든 신조어로, 기존에는 Industrial Metaverse, Metaverse for manufacturing으로 불렸다[20]. 현재 주요 대기업에서는 스마트팩토리에서 디지털 트윈 기술을 고도화하거나 메타버스 개념을 도입하여 제조 혁신을 추진하고 있는 상황이다. 이에 따라 정부에서는 중소벤처기업부와 스마트제조혁신추진단이 2023년 메타버스팩토리 구축 지원 사업을 통해 메타버스를 활용한 미래형 제조 공장 구축 수준을 정의하며 제조 혁신을 추진하고 있다.



[그림 7] 메타팩토리 개념 등장 배경

그러나 해당 개념이 등장한지 초기 상황으로 메타버스 스마트 공장과 메타팩토리 명칭을 혼동하여 사용하고 있으며, 기존의 스마트공장 개념과의 차별성이나 역할 등이 명확하게 정의되어 있지 않은 상황이다. 따라서 스마트팩토리과 메타팩토리의 개념과 차이점이 명확히 정의되어야 하며, 주요 기술 중 하나인 시뮬레이션 기법을 위한 이산사건 시뮬레이

선 통과와 연계성을 분석하는 것이 중요하다. 이에 따라 본 연구에서는 ① 메타팩토리의 개념 및 주요 기술이 정확하게 정리되지 않은 것과 ② 스마트공장 발전 단계별 시뮬레이션 방법론과 개발 수준이 명확하지 않은 상황을 문제로 정의하고 2가지 연구 질문과 답변으로 아래와 같이 구성하였다.

**RQ2 : 스마트팩토리와 메타팩토리의 특성 및 차이점이 무엇인가?**

- ▶ RA2 : 스마트팩토리와 메타팩토리의 개념과 주요 기술을 비교하여 정리하고 추가적으로 디지털 트윈 개념을 포함하여 분석한다.

**RQ3 : 메타팩토리에서 시뮬레이션의 중요성과 특성에 적합한 시뮬레이션 소프트웨어는 무엇인가?**

- ▶ RA3 : 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어별로 메타팩토리 특성과의 연계성을 분석한다.

## 2.2 관련 연구 분석

### 2.2.1 시뮬레이션 소프트웨어 관련 연구

[21]은 DES 소프트웨어 평가 항목의 의미와 기준을 명확하게 정의하기 위해서 주로 사용되는 용어의 의미를 범주별로 나누어 제공하였다. 서로 다른 의미로 사용되던 용어를 정리하여 DES 소프트웨어의 이해도를 향상하는 데 기여하였다. [22]는 시뮬레이션 방법인 이산 사건 시뮬레이션, 에이전트 기반 시뮬레이션, 시스템 다이내믹스 3가지 기법의 특징과 장단점을 비교하여 시뮬레이션 분류법에 대해 논의하였다. [23]은 의료분야에서 사용되는 이산사건 시뮬레이션 기술을 검토하여 여러 기법이 결합된 하이브리드 시뮬레이션 접근방식에 대해 분석하였다.

관련 연구는 모두 시뮬레이션 소프트웨어와 시뮬레이션 기법에 대해 논의하였지만 비교 항목과 기준이 명확하지 않았으며 특정한 업종에서

만 분석을 진행하여 다양한 산업에서 시뮬레이션 소프트웨어 선택을 위한 자료로 사용하기 어려운 한계점이 있다. 본 연구에서는 이러한 한계점을 해결하기 위하여 시뮬레이션 소프트웨어를 사용한 업종을 대상으로 하며 8가지 분류 항목을 가지고 분석을 진행하고자 한다. 또한, 산업에서 발생하는 문제를 해결하였거나 실제로 DES 소프트웨어를 적용한 문헌을 분석하고 시뮬레이션 기법을 기반으로 정리하여 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어를 사용한 업종별로 나누어 소프트웨어 사용자에게 선택의 기반을 제공하고자 한다. 즉, 이산사건 시뮬레이션 개념 설명부터 관련 문헌 검색 및 키워드, 분석 결과 시각화 자료를 제시한다. [표 7]에서 관련 연구를 요약하여 정리하였다.

[표 7] 시뮬레이션 소프트웨어 관련 연구 요약

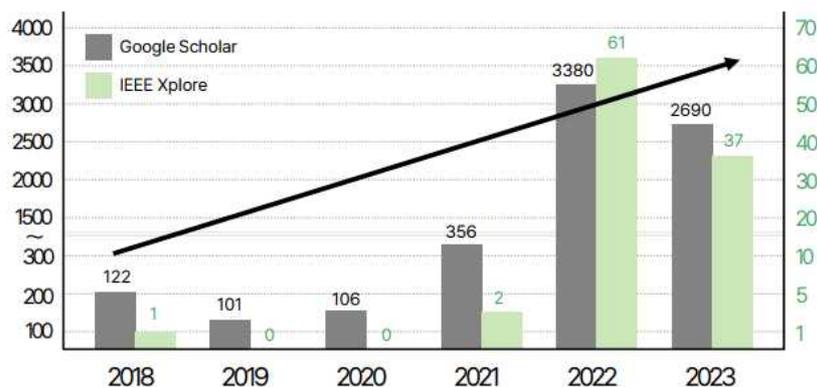
관련연구	연구 분야	산업 적용	세부내용
[21]	DES Software	×	DES 소프트웨어 평가 항목의 의미와 기준을 명확하게 정의하기 위해 주로 사용되는 용어의 의미를 범주별로 나누어 제공함
[22]	시뮬레이션 방법론	×	이산사건 시뮬레이션, 에이전트 기반 시뮬레이션과 시스템 다이내믹스의 3가지 기법 특징과 장단점을 비교하여 시뮬레이션 분류법에 대해 논의함
[23]	하이브리드 시뮬레이션	○	의료분야에서 사용되는 이산사건 시뮬레이션 기술을 검토해 여러 기법이 결합된 하이브리드 시뮬레이션 접근방식에 대해 분석함

## 2.2.2 산업 메타버스 관련 연구

스마트팩토리와 산업에 적용된 메타버스 및 디지털 트윈 개념을 분석하거나 각 발전단계에 대해 정의한 관련 문헌을 분석하였다. [24]는 스마트 제조에서 사용되는 빅데이터와 디지털 트윈을 검토하고 유사점과 차이점을 다양한 관점으로 비교하여 제시하였다. [25]는 DT(Digital

Transformation)와 관련된 논문 분석을 통해 연구 분야 및 주제를 파악하고 체계적인 분류법을 제시하였다. [26]은 스마트팩토리 도입에 영향을 미치는 요인을 발굴하여 연구모형을 개발하고 델파이 기법과 AHP 분석 방법을 사용해 실증적인 분석을 진행하였다. [27]은 4차 산업혁명과 관련된 선행 연구를 검토 및 분류하여 AHP 분석으로 우선순위를 도출하였다. [28]은 해외 스마트팩토리 성과 지표 개발 사례를 연구하고, 국내 기업에 맞는 새로운 수준 측정 체계를 제안하여 수준 진단 방안에 대해 제시하였다.

선행연구를 분석한 결과, 주로 ‘스마트팩토리’, ‘4차 산업혁명’, ‘Digital Transformation’ 키워드로 연구를 진행하였으며 스마트팩토리에서 디지털 트윈이나 메타버스 개념을 다루고 있는 연구는 거의 진행되지 않았다. 또한, 스마트팩토리 수준 진단 방법에서 시뮬레이션 기법을 고려하지 않은 문헌이 대부분인 한계점을 찾을 수 있었다. IEEE Xplore와 Google Scholar를 통해 6년간 산업 메타버스 관련 주제로 게재된 논문 수를 분석했을 때, 2020년대 이전에는 해당 주제로 진행된 연구가 거의 없는 수준이었지만 2022년을 기점으로 급격하게 증가하는 추세를 보이고 있으며 산업에 디지털 트윈과 메타버스 기술의 융합이 활발해지며 추후에도 관련 연구의 중요성이 커질 것으로 예상된다.



[그림 8] 6년 간 산업 메타버스 관련 주제로 게재된 논문 수

이에 따라 본 연구에서는 메타팩토리 개념 등장 초기 단계에서 기존의 스마트팩토리와 차별성을 가지는 개념에 대해 분석하고 복잡한 생산 환경을 운영하기 위한 기법인 DES Software와 메타팩토리의 연계성에 대해 분석한다. [표 8]에서 관련 연구를 요약하여 정리하였다.

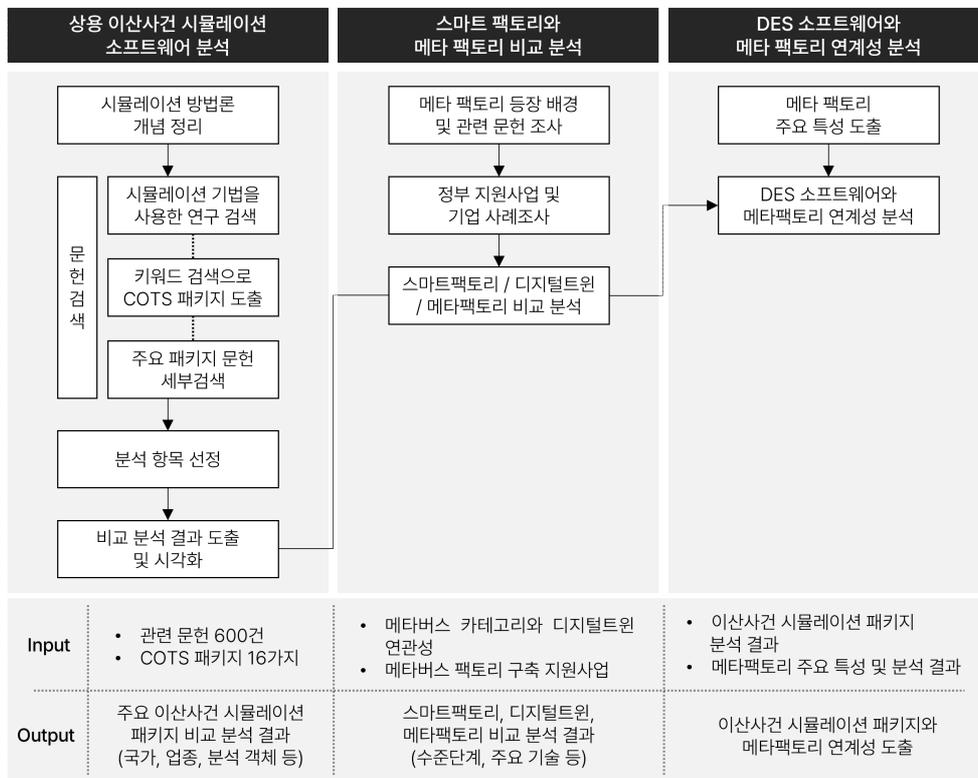
[표 8] 산업 메타버스 관련 연구 요약

관련연구	키워드	방법론	세부내용
[24]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Big Data</li> <li>▪ Digital Twin</li> <li>▪ Smart Manufacturing</li> </ul>	문헌 및 사례 연구	스마트 제조에서 사용되는 빅데이터와 디지털 트윈을 검토하고 유사점과 차이점을 다양한 관점으로 비교함
[25]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digital Transformation</li> </ul>	문헌 연구	DT 관련 논문 분석을 통해 연구 분야 및 주제를 파악하고 체계적인 분류법을 제시함
[26]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 스마트팩토리</li> <li>▪ 4차 산업혁명</li> <li>▪ 사이버물리시스템</li> </ul>	델파이 AHP	스마트팩토리 도입에 영향을 미치는 요인을 발굴하여 연구 모형을 개발하고 실증 분석을 진행함
[27]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 4차 산업혁명</li> <li>▪ 스마트산업기술</li> <li>▪ 초연결 기술</li> </ul>	문헌연구 AHP	4차 산업혁명과 관련된 선행 연구를 검토 및 분류하여 AHP 분석으로 우선순위를 도출함
[28]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 4차 산업</li> <li>▪ 스마트팩토리</li> <li>▪ 진단 방안</li> </ul>	문헌 및 사례 연구	해외 스마트팩토리 성과 지표 개발 사례를 연구하고, 국내 기업에 맞는 새로운 수준 측정 체계를 제안함

### 2.3 연구 목표 및 연구 방법 설계

본 연구는 스마트팩토리와 디지털 트윈 환경에서 중요한 기술 중 하나인 시뮬레이션 소프트웨어를 실제 산업에 적용해서 연구를 진행한 문헌을 대상으로 항목별로 분석하였다. 또한 실시간 연동과 시각화의 중요성이 커지며 기존의 스마트팩토리에 메타버스 기술이 융합된 메타팩토리의 등장 배경과 관련 기술 사례를 파악하고 정부 지원사업을 기반으로

스마트팩토리, 디지털 트윈, 메타팩토리의 개념과 주요 기술을 비교하여 정의하였다. 마지막으로 이산사건 시물레이션 소프트웨어 분석 결과를 통해 메타팩토리 환경에서 중요하게 다루는 주요 특성과 관련지어 연계성을 분석해 시물레이션 패키지를 선택하는데 어려움을 겪고 있던 기업이나 사용자에게 기초 자료를 제공한다. [그림 9]에서 연구 진행 흐름과 단계별 투입물과 산출물을 정리하였다. 연구는 [그림 9]에서 나타낸 것과 같이 상용 이산사건 시물레이션 소프트웨어 분석, 스마트팩토리 및 메타팩토리 비교 분석, DES 소프트웨어와 메타팩토리 연계성 분석 순서로 진행하였다.



[그림 9] 전체 연구 흐름

본 연구는 위와 같은 배경과 문제 상황을 고려하여 아래와 같은 목표를 설정해 진행되었다.

- 주요 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어 분석(RA1)

산업에 DES 소프트웨어를 적용한 문헌을 분석하고 시뮬레이션 기법을 기반으로 주요 시뮬레이션 패키지를 비교함으로써 이산사건 시뮬레이션 패키지 선택에 어려움을 겪는 사용자에게 의사결정의 기반을 제공한다. 따라서 2012년도부터 2021년도까지 10년간 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어를 적용한 문헌을 대상으로 사용 빈도가 높은 3가지 시뮬레이션 패키지(Arena, Anylogic, Plant Simulation)를 도출해 각 특성을 비교 분석하여 제시한다.

- 메타팩토리의 개념과 주요 기술 정의(RA2)

자동화 설비와 IoT 기술로 데이터를 실시간으로 수집하며 빅데이터를 통해 생산성과 효율성을 증대하던 스마트팩토리에서 실시간 상호작용과 Real-Time 연결이 중요해지며 등장한 메타팩토리 개념에 대해 정리하고 스마트팩토리, 디지털 트윈, 메타팩토리의 주요 기술과 특성을 발전단계를 기반으로 분석하여 제시한다. 또한 주요 기업과 정부 차원의 메타팩토리 구축 지원 사업을 통해 사례 조사를 진행한다.

- 메타팩토리에서 DES Software의 연관성 및 중요성 분석(RA3)

메타팩토리 구축 수준과 특성을 기반으로 주요 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어에서 제공하는 기술 수준을 비교하여 각 패키지와 메타팩토리 연계성을 분석하여 제시한다. 위에서 진행한 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어 분석 결과와 메타팩토리의 개념 분석결과를 통해 결과를 도출함으로써 메타팩토리로 발전하면서 시뮬레이션 방법론이 가지는 중요성에 대해 검증한다.

## 제3장 연구 결과

### 3.1 상용 이산사건 시뮬레이션 패키지 분석

#### 3.1.1 선행연구 검색 및 주요 시뮬레이션 패키지 도출

##### 1) 문헌 검색 방법

본 연구에서는 시뮬레이션을 수행하기 위하여 소프트웨어를 사용하여 연구한 문헌을 찾고 각 소프트웨어 패키지별로 2012년부터 2021년까지 10년간 시뮬레이션 기법을 사용한 연구를 검색하였다. 검색은 IEEE Xplore에서 키워드 검색을 통해 수행하였다. IEEE Xplore 디지털 라이브러리는 IEEE(전기 전자 엔지니어 협회)가 출판한 콘텐츠를 탐색 및 활용할 수 있으며 가장 많이 인용되는 간행물의 500만 개 이상의 문서를 제공한다. 또한, 세부적인 검색 엔진을 통해 사용자가 찾고자 하는 주제의 문서를 더욱 정확하게 보여준다. 260개 이상의 저널과 4백만 건 이상의 컨퍼런스 논문에서 키워드 검색을 통해 시뮬레이션을 수행하여 연구를 진행한 많은 수의 문헌을 분석하였다. 검색으로 얻은 600개의 문헌을 본 연구의 저자가 모두 확인한 후 시뮬레이션 소프트웨어를 사용해서 연구를 진행한 문헌만 선별하여 분석을 진행하였다[53].

##### 2) 시뮬레이션 패키지 사용 빈도 분석

상용 소프트웨어 패키지를 대상으로 문헌 검색 및 결과 분석을 진행하였다. 시뮬레이션을 수행 빈도를 확인하기 위해 IEEE Xplore의 키워드 검색 결과를 통해 다양한 소프트웨어 패키지를 정리하고 패키지별로 IEEE Xplore에 등록되어 있는 문헌의 개수를 확인하였다. 먼저 소프트웨어 패키지를 정리하기 위해 'Simulation software', 'Simulation Tool', 'Discrete event simulation software' 키워드로 발간 년도

2012년~2021년의 문헌을 검색하였다. 다음으로 소프트웨어별로 게재된 문헌 수를 조사하기 위해 ‘Software name’ 또는 ‘Simulation’을 결합하여 키워드를 생성하였다. 문헌 검색 결과는 [표 9]와 같다. 16가지 소프트웨어 중 키워드 검색으로 가장 많은 문헌이 도출된 상위 3가지 소프트웨어는 ‘Arena’, ‘Anylogic’, ‘Plant Simulation’ 순으로 확인되었다.

[표 9] DES 소프트웨어 빈도 분석

No.	Software	IEEE Xplore
1	Arena	340
2	Anylogic	152
3	Plant Simulation	108
4	GPSS	48
5	FlexSim	45
6	Simevents	43
7	Care pathway Simulation	39
8	ExtendSim	23
9	DELMIA	20
10	ProModel AutoCAD	18
11	SIMUL8	9
12	VisualSim	8
13	MS4 Modeling Environment	5
14	Micro Saint Sharp	2
15	GoldSim	2
16	Simcad Pro	1

### 3) 각 패키지 관련 문헌 검색

IEEE Xplore에서 많은 문헌이 게재되어 있는 ‘Arena’, ‘Anylogic’, ‘Plant Simulation’ 3가지 소프트웨어를 사용한 연구를 더욱 정확하게 찾기 위해 동일한 발간 년도 조건으로 상세한 키워드 검색을 진행하였다. 먼저 ‘Arena’ 소프트웨어를 연구에 사용한 문헌을 검색하기 위해서

‘Arena’와 ‘Simulation’을 포함하고 ‘acoustic’, ‘wifi’, ‘stadium’, ‘games’ 등과 같이 ‘Arena’가 다른 의미로 사용되는 단어를 제외하여 키워드를 구성하였다. 다음으로 ‘Anylogic’은 소프트웨어 자체의 고유한 이름으로 따로 추가적인 키워드를 붙이지 않아도 정확한 검색이 가능하였다. ‘Plant Simulation’은 배급사인 ‘Siemens’와 결합하거나 ‘Manufacturing’을 포함했으며 ‘Plant’와 같은 의미로 사용되는 ‘agriculture’, ‘crops’를 제외하였다. ‘Tecnomatix’와 ‘Simulation’을 사용하여 ‘Plant Simulation’으로 발견하지 못한 다른 연구까지 모두 찾을 수 있었다. 키워드 상세 검색을 통해 찾은 600개의 연구 내용을 모두 확인한 후 관련이 없거나 실제 문제 해결에 소프트웨어를 사용하지 않은 연구는 제외하고 분석 목적에 적합한 문헌만 정리하여 사용하였다. 그 결과는 [표 10]에서 나타낸 것과 같이 294개였으며, 소프트웨어별 논문 수를 비교하였다.

[표 10] DES 소프트웨어 관련 연구 수

Software	IEEE Xplore	Number of studies
Arena	340	110
Anylogic	152	142
Plant Simulation	108	42

#### 4) 분류 항목

소프트웨어를 사용한 문헌을 IEEE Xplore에서 키워드 검색으로 찾은 후, [표 11]의 8가지 분류 항목을 선정하여 특징을 정리하였다. 각 문헌의 발간 년도와 1저자의 국적, 연구에서 문제를 해결하기 위해 사용한 시뮬레이션 소프트웨어에 대해 정리하였으며 시뮬레이션을 수행한 방법과 해당 객체 대상, 사용한 업종을 기준으로 분류하였다. 그 후 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 새로운 시스템을 설계하였는지, 기존의 시

시스템을 수정한 것인지, 변경된 사항을 평가 및 분석하였는지 구분하였다. 또한, 여러 상황의 시나리오를 구성하여 What-If 시뮬레이션을 수행한 것인지, 각 요소를 최적화하기 위해서 최적의 값을 도출한 것인지 확인하였다.

[표 11] DES 소프트웨어 분류 항목

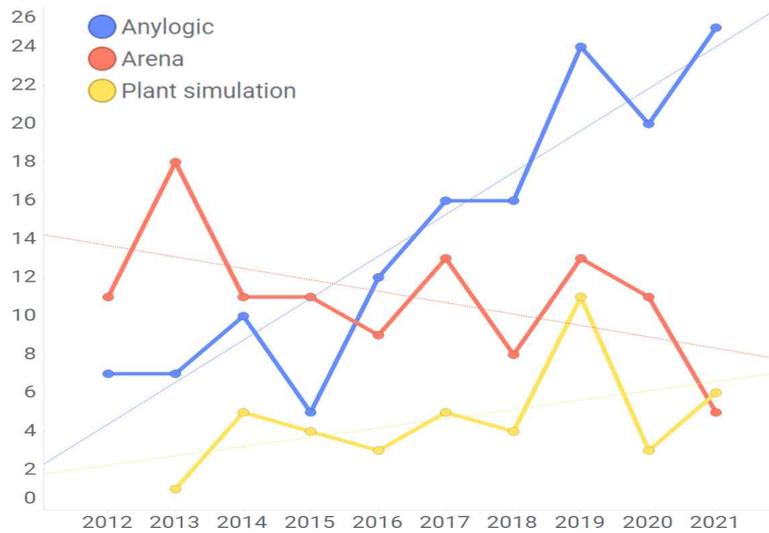
No.	Category	Details
1	Publication Year	2012 ~ 2021
2	Author's Country	The first author country of the literature
3	Simulation Software	- Arena - Anylogic - Plant Simulation
4	Simulation Method	- Discrete Event Simulation - Agent Based Simulation - System Dynamics
5	Simulation Purpose	- New system design - Modify an existing system - Evaluating changes
6	Simulation Scenario	- What-if simulation - Derive the optimum value
7	Target object	Target used for simulation
8	Target Industry	Industries using simulation

### 3.1.2 선행연구 분류 분석 결과

시뮬레이션 소프트웨어 사용 추세와 시뮬레이션 기법, 국가별로 어떤 업종에서 시뮬레이션을 사용하고 있는지 소프트웨어 패키지와 시뮬레이션 기법을 중점적으로 비교하고 선행연구 분석을 진행하였다.

#### 1) Simulation Software 비교

[그림 10]에서 문헌 발간 년도와 DES Software 사용 변화 그래프를 통해 점차 시간이 지나면서 변화하는 소프트웨어 사용 빈도를 확인할 수 있다.



[그림 10] 발간년도에 따른 소프트웨어 사용 빈도 변화

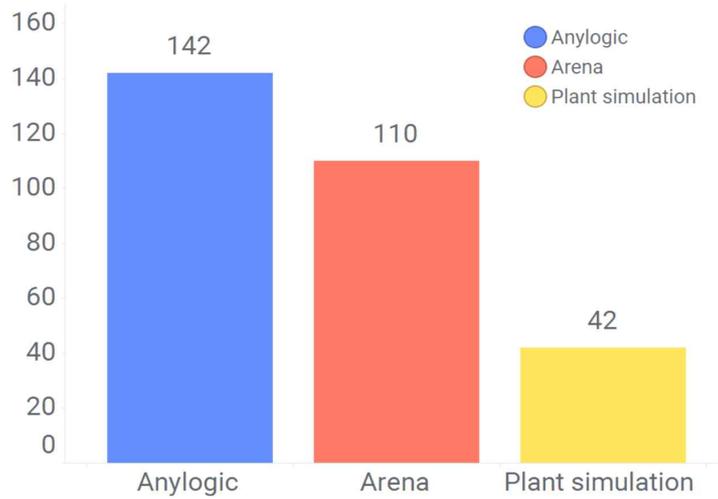
Anylogic은 계속해서 사용이 증가하는 반면 Arena는 최근 발간 년도가 될수록 사용이 감소하였다. Plant Simulation은 다른 소프트웨어에 비해 문헌 수가 적었지만, 점차 사용이 증가하는 추세를 확인할 수 있다. Arena는 다른 소프트웨어에 비해 시각화 기능이 부족하며 시뮬레이션 구현 환경이 복잡하지만 Anylogic은 시뮬레이션 기법 3가지 모두 구현이 가능하며 모델의 3D 시각화 기능까지 제공하여 기존의 Arena 사용자들이 Anylogic을 사용하는 경우가 점차 증가하는 상황이다[29].

[표 12] 시뮬레이션 소프트웨어 업데이트 특성

	Anylogic	Arena	Plant Simulation
Final update	November 2022	November 2020	January 2023
Update period	semiannual	two-year	yearly
Update Features	Increase since 2017	Not since 2020 years	Updated several times in year 2022

[표 12]에서는 시뮬레이션 패키지별 업데이트 특성 및 시기를 나타내었다. Anylogic과 Plant Simulation은 1년에 평균 3~4회의 버전 업데이트

이트를 진행하고 있지만 Arena는 2020년도에 16버전이 출시된 이후 업데이트 상황이 확인되지 않았다. 신규 업데이트 감소에 따라 Arena 패키지의 사용 빈도도 줄고 있다고 예상된다.



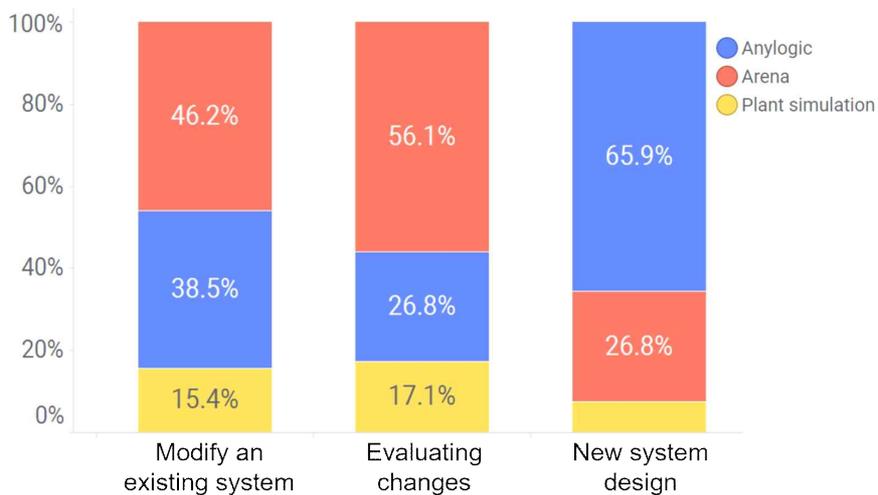
[그림 11] 시뮬레이션 소프트웨어를 사용한 연구 수

[그림 11]에서는 분석한 문헌 294개에서 Anylogic을 가장 많이 사용했으며, Arena, Plant Simulation 순으로 이용했음을 확인하였다.



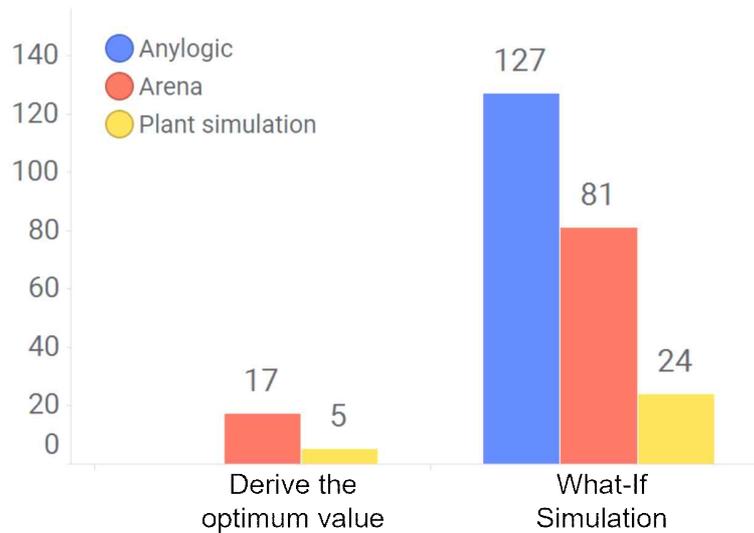
[그림 12] 시뮬레이션 방법론에 따른 소프트웨어 사용 비율

[그림 12]는 시뮬레이션 방법론별로 소프트웨어 사용 비율을 나타내었다. Anylogic이 3가지 방법의 시뮬레이션 환경을 모두 지원하는 만큼 모든 기법에서 Anylogic Software가 사용되고 있으며 두 가지 이상의 기법을 혼합하여 모델링한 상황에서도 Anylogic이 우세함을 확인하였다. 특히 에이전트 기반 시뮬레이션과 시스템 다이내믹스 기법에서는 모든 연구가 Anylogic 패키지를 사용하여 진행되었다[30,31]. Arena와 Plant Simulation은 이산사건 시뮬레이션 기법에서 주로 적용되었다.



[그림 13] 시뮬레이션 목적에 따른 소프트웨어 사용 비율

DES 소프트웨어를 사용하여 시뮬레이션을 수행한 목적을 3가지로 나누어 기존시스템을 수정하였는지, 변경 사항에 대한 평가 및 분석을 진행하였는지, 새로운 시스템을 설계한 것인지 확인하였다. [그림 13]에서 Anylogic은 문제 해결에 적합한 새로운 시스템을 설계하는 목적으로 높은 비율로 사용되었으며 Arena는 변경된 사항을 분석하고 평가하기 위해 사용되었다.

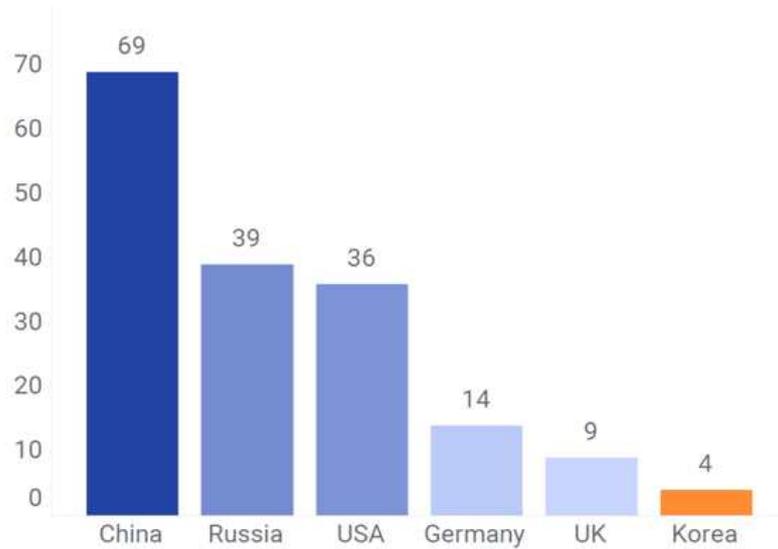


[그림 14] 시뮬레이션 시나리오에 따른 소프트웨어 사용 비율

[그림 14]에서 해결책 도출을 위해 What-If 시뮬레이션을 수행한 문헌과 특정한 최적값을 찾기 위해 시뮬레이션을 수행한 비율을 소프트웨어별로 확인하였다. DES 소프트웨어를 사용한 연구는 다양한 시나리오를 가정하고 최적의 상황을 선택하기 위해 What-If 시뮬레이션을 수행하였다. Arena와 Plant Simulation은 What-If 시뮬레이션과 최적값을 도출하는 방식에서 다방면으로 활용됨을 확인하였다.

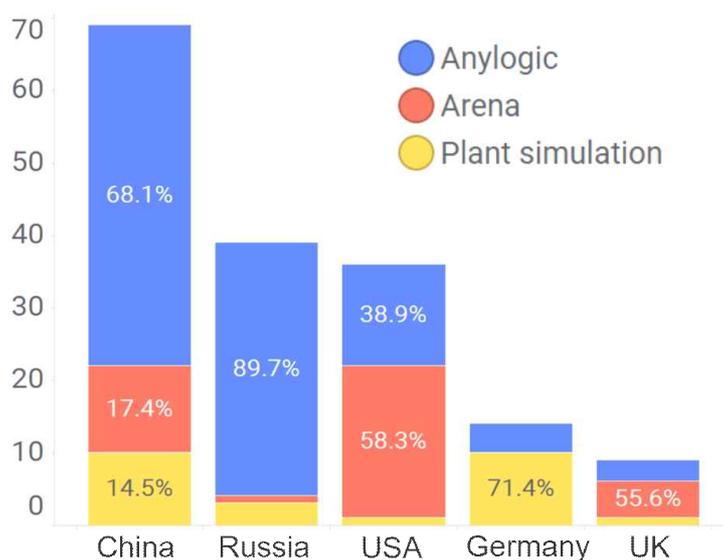
## 2) 1저자 국가별 비교

1저자 국가별로 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 연구를 진행한 문헌의 수를 [그림 15]에서 나타내었다. 중국이 가장 많은 연구를 수행했으며 러시아, 미국, 독일, 영국 순으로 IEEE Xplore에 문헌이 게재되어 있는 상황이다. DES Software를 사용해 많은 연구를 진행한 중국은 급진적인 산업의 발전과 높은 인구 밀집도로 인하여 도시계획을 개선하고 시민 안전을 보장하기 위해 시뮬레이션 기법을 사용하고 있다[32]. 중국과 비교했을 때 현재 한국에서 DES 소프트웨어를 사용하여 수행된 연구는 매우 적은 수임을 확인할 수 있다.



[그림 15] 제1저자 국가별 시뮬레이션 소프트웨어 사용 빈도

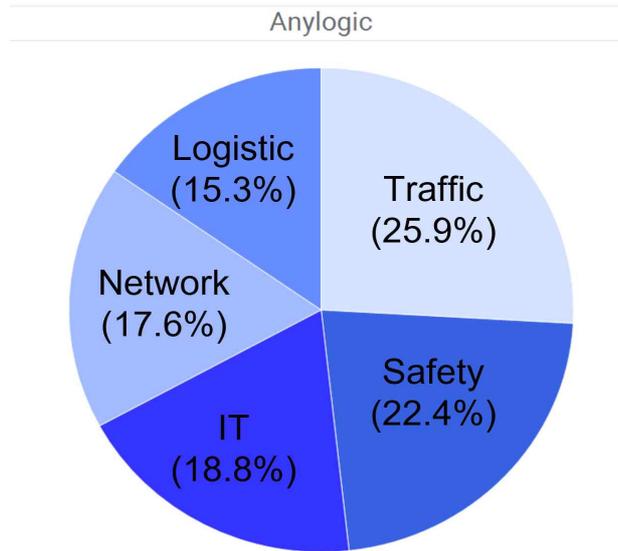
[그림 16]은 상위 5개국에서 DES 소프트웨어 사용 비중을 보여준다. 각 소프트웨어를 개발한 국가들은 해당 소프트웨어를 가장 높은 비율로 사용하고 있다. Anylogic을 개발한 러시아는 Anylogic을 가장 높은 비율로 사용하며 Arena는 미국이, Plant Simulation은 독일에서 많이 사용하고 있다. 중국은 대부분이 Anylogic 소프트웨어를 사용하였다.



[그림 16] 제1저자 국가별 시뮬레이션 사용 비율-상위 5개국

### 3) Simulation 적용 업종

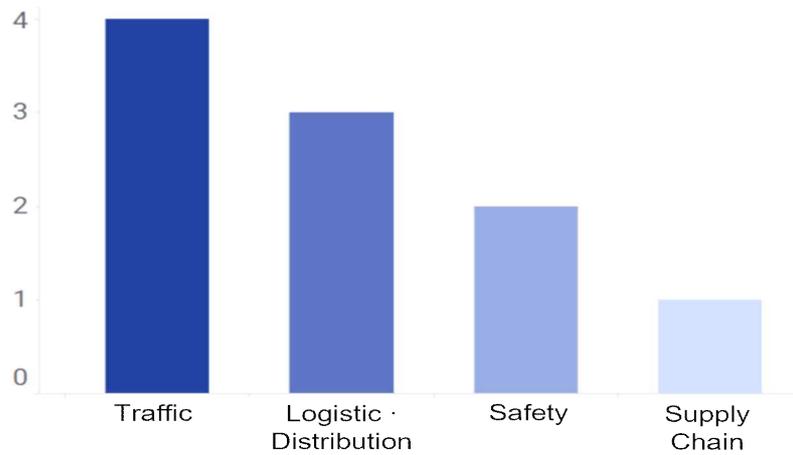
Anylogic을 실제로 사용한 업종은 [그림 17]과 같이 교통(25.9%), 안전(22.4%), IT(18.8%)의 비율을 보였다. 다수의 에이전트로 구성된 교통 흐름이나 위기 상황의 대피 방식 개선을 위해 사용되었다.



[그림 17] Anylogic을 사용하는 업종 비율

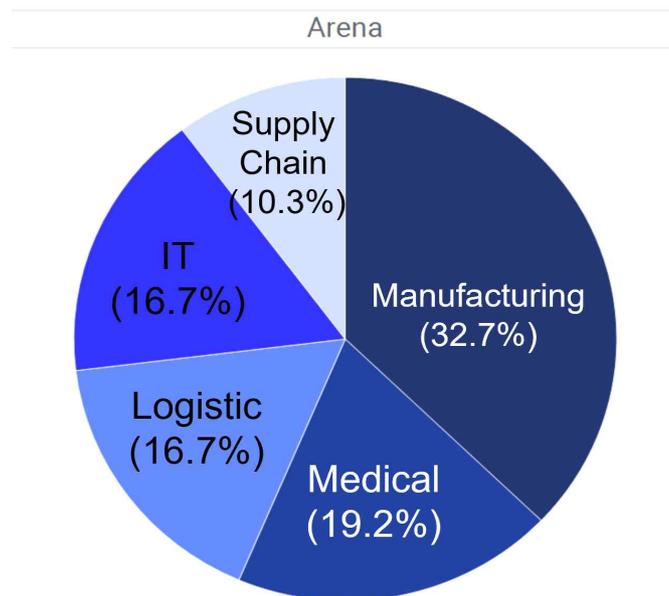
Anylogic은 자체적으로 GIS를 사용할 수 있는 기능을 제공하고 있다 [33]. [그림 18]은 GIS를 사용한 업종을 나타내었다. 물류·유통에서 배송 경로 및 물류센터 위치 개선에 Anylogic을 높은 빈도로 사용하였다.

Arena 적용 업종은 [그림 19]와 같이 제조업(37.2%), 의료(19.2%), 물류·유통업(16.7%)으로 높은 비중을 차지하였다. 제조업에서는 자동차 제조, 전자부품 조립, 부품 제작 등 다양하게 적용된다. 주로 공정 개선 및 인력 분배, 설비 배치 최적화를 위해 Arena를 사용하였다. 의료 분야에서는 병원 서비스 개선을 위해 고객의 대기열과 진료 프로세스를 최적화하며 의료진의 근무 일정 스케줄링을 위해 사용되었다[34,35].

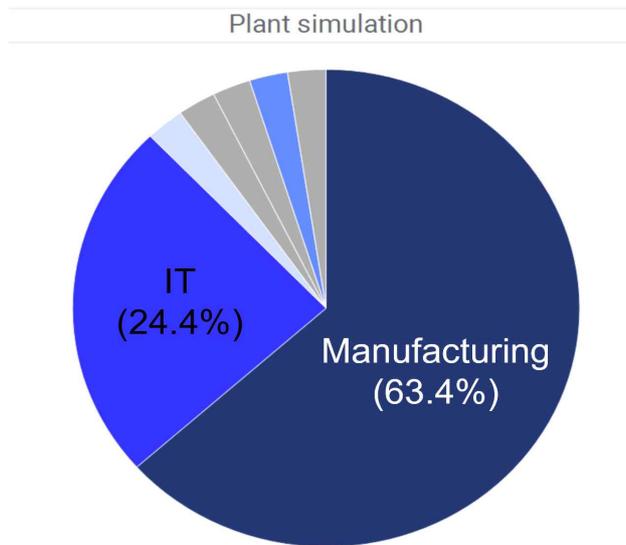


[그림 18] Anylogic에서 GIS를 사용하는 산업의 비율

Plant Simulation을 적용한 업종 비율을 [그림 20]에 나타내었다. Plant Simulation은 제조업(63.4%), 컴퓨터·IT업(24.4%)에서 높은 비율로 사용하였다. Plant Simulation은 특히 독일의 자동차 제조 공정과 물류를 분석하여 개선하기 위해 사용되고 있다[36].

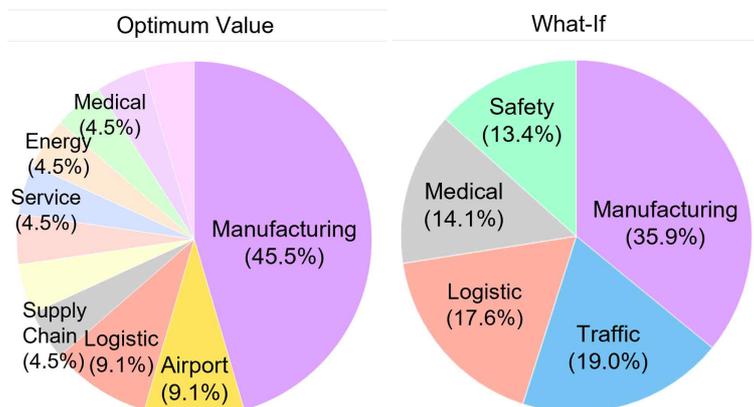


[그림 19] Arena를 사용하는 업종 비율



[그림 20] Plant Simulation 사용 업종 비율

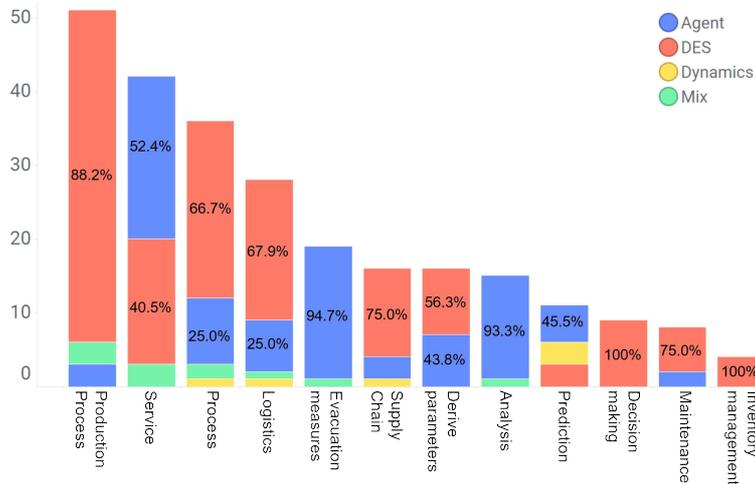
[그림 21]에서 시뮬레이션 시나리오에 따른 업종 비율을 확인하였다. 제조업(45.5%), 공항(9.1%), 물류·유통(9.1%)은 최적값을 도출하였고 서비스업, 의료 등 다른 8가지 업종에서는 4.5% 비율로 낮은 비율을 보였다. What-If 시뮬레이션은 18가지 업종에서 다루었으며, [그림 21]에는 상위 5개 업종을 나타내었다. 제조업과 교통, 물류업에 가장 많이 사용되고 있으며 최적값을 도출한 업종보다 다양한 산업에서 사용하고 있음을 파악하였다.



[그림 21] 시뮬레이션 시나리오에 따른 업종 비율

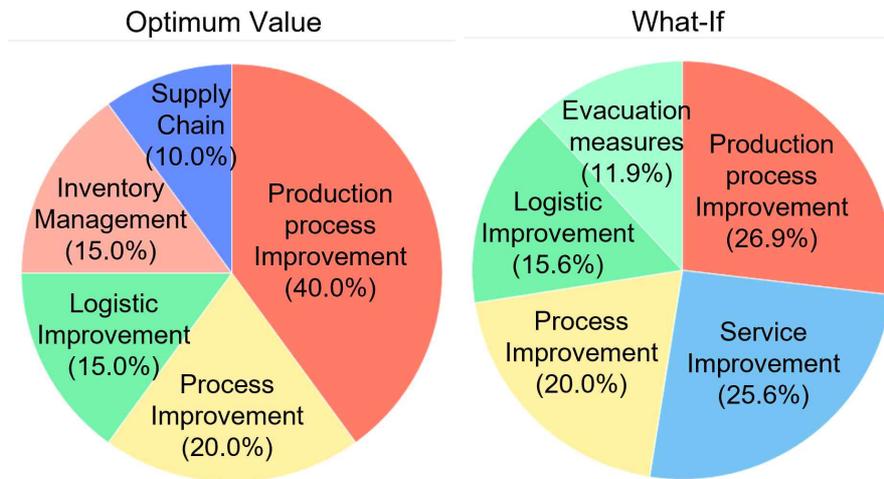
#### 4) Simulation 대상 객체

[그림 22]는 시뮬레이션을 적용한 객체에 따라 어떤 기법의 사용 비중이 높은지 나타내었다. 다양한 객체에서 높은 비율로 사용된 기법은 DES이며 생산 공정이나 공급망을 개선하는데 적용되었다. 또한, 재고관리 및 의사결정과정 개선에서 선호됨을 확인하였다. ABS 기법은 위급상황의 피난 대책을 개선하기 위해 사용되며 시스템이나 상황의 분석과 서비스 개선에 적용되었다. 시스템 다이내믹스 기법을 사용한 연구는 낮은 비율을 보였다.



[그림 22] 대상 객체에 따른 시뮬레이션 방법론 적용 비율

[그림 23]은 시뮬레이션 시나리오별 적용 대상을 나타내었다. 공정 및 물류 개선을 위해 두 가지 시나리오를 모두 사용하였다. 재고관리와 공급망 개선에서는 시뮬레이션을 통해 최적값을 도출하였고 서비스 개선에서는 What-If 시뮬레이션으로 결과를 얻는 비율이 높았다. 또한, 다양한 대피 시나리오를 실험해 피난 대책을 개선하는 데는 What-If 시뮬레이션이 적합하였다.



[그림 23] 시뮬레이션 시나리오에 따른 대상 객체 비율

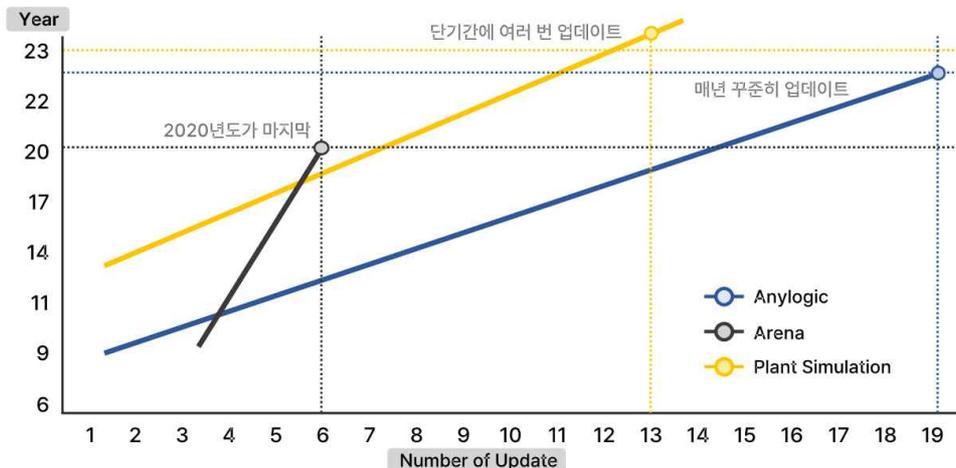
5) 선행연구 분류 분석 결과 요약

Software, 1저자 국가, 업종, 시뮬레이션 대상 객체로 나누어 분석한 내용을 [표 13]에서 소프트웨어를 중심으로 나타내었다.

[표 13] 시뮬레이션 소프트웨어 분석 결과 요약

	Arena	Anylogic	Plant Simulation
Distributor	Rockwell Automation	Anylogic Company	Siemens PLM
Development year	2000	2000	2007
Final update	November 2020	November 2022	January 2023
Developing country	USA	Russia	Germany
Using trend	Gradually decrease	Increase	Gradually increase
Method	DES	ABS, DES, SD	DES
Scenario	- What-If - Optimum value	- What-If	- What-If - Optimum value
Purpose	Evaluating changes	New system design	Evaluating changes
Industry	- Manufacturing - Medical - Logistic	- Traffic - Safety - IT	- Manufacturing - IT

세 가지 소프트웨어에 대한 특성을 추가로 분석해 본 결과, Arena는 과거에 많은 수의 논문이 작성되었으나 점차 적어지는 추이를 보이고 있지만 DES 방법론에 강점을 보이며 초기에 많은 연구에 사용되어 확산 수준이 제일 높은 수준으로 분석된다. 주요 적용 산업으로는 제조업과 물류 분야를 중심으로 변경 사항을 평가하기 위해 What-If 시뮬레이션 및 최적화를 수행하는 데 사용되었다. 그러나 [그림 24]와 같이 2020년도 11월을 마지막으로 업데이트가 이루어지지 않아 다른 패키지에 비해 최신 기술을 제공하지 않고 있음을 파악할 수 있다. 이에 따라 사용빈도 역시 감소하고 있음을 예상할 수 있다.



[그림 24] 시뮬레이션 소프트웨어 업데이트 추세

Anylogic의 경우에는 ABS와 시각화 기능에서 다른 패키지보다 강점을 가지고 있으며 아키텍처 설계 및 검증에도 높은 활용성을 보이는 것으로 분석되었다. 또한 ABS, DES, SD 방법론을 모두 지원하면서 사용빈도가 증가하는 추세이다. 주로 교통 및 안전 분야에서 새로운 시스템을 디자인하고 다양한 시나리오를 평가하기 위해 사용되고 있다.

마지막으로 Plant simulation은 Siemens 사의 다른 패키지와 연계가 용이하다는 장점과 생산 시뮬레이션 및 DES 방법론에 특화되어 개발되

어 있다는 것이 강점인 것으로 분석되었다. 2D와 3D 환경을 모두 지원하면서 디지털 트윈 및 시각화에서 활용되고 있으며, What-If 시뮬레이션과 최적화를 통해 제조업과 물류 산업에서 많은 연구를 진행하고 있다. 또한 매년 여러 차례의 패키지 업데이트를 통해 사용자의 needs에 적합한 새로운 기능을 제공하고 있음을 파악할 수 있다. 각 패키지의 자세한 업데이트 주기와 현황은 [표 14]에서 나타내었다.

[표 14] 시뮬레이션 소프트웨어별 업데이트 현황

Anylogic		Arena		Plant Simulation	
Version	Release Date	Version	Release Date	Version	Release Date
4.0	Feb-00	13.0	Oct-09	13	May-16
4.5	Nov-02	13.5	-	14	Feb-18
5.2	Dec-03	13.9	-	14.1	Feb-18
5.5	Jun-05	14.0	Aug-11	14.2	Aug-18
6.0	Apr-07	14.5	Sep-13	15	May-19
6.4	Apr-09	14.7	Jun-14	15.2	Mar-20
6.5	Apr-10	15.0	Oct-16	16.0	Sep-20
6.6	May-11	15.1	Jan-18	16.1	Jul-21
6.9	Jan-13	16.0	Nov-20	2201	Jan-22
7.0	Jan-14			2201.0002	May-22
7.1	Oct-14			2201.0003	Aug-22
7.2	Jul-15			2201.0005	Nov-22
7.3	Feb-16			2201.0006	Jan-23
8.0	Mar-17				
8.1	Jun-17				
8.2	Oct-17				
8.3	Jun-18				
8.4	Feb-19				
8.5	Aug-19				
8.6	Aug-20				
8.7	Nov-20				
8.7.7	Sep-21				
8.7.12	Apr-22				
8.8.1	Nov-22				

## 3.2 스마트팩토리와 메타팩토리 비교 분석

### 3.2.1 스마트팩토리에서 발전된 메타팩토리

메타팩토리는 기존의 스마트팩토리에 메타버스 기술이 융합되며 발전된 스마트 공장 개념이다. 스마트팩토리는 5대 요건을 기반으로 공장 자동화 및 정확한 수요예측을 수행하며 자동화 기술을 중점으로 생산성과 효율성을 향상해 왔다. 그러나 점차 소품종 대량생산에서 다품종 소량생산 체계로 변화하면서 빠르게 바뀌는 고객의 needs에 적합한 제품을 맞춤형으로 생산할 수 있는 유연한 생산 환경이 필요해지고 있다. 이와 같은 생산 제품의 다변화에 따라 공정의 복잡도가 증대되어 수리적인 방법으로 생산 계획을 수립하고 문제를 해결하는데 한계가 발생하는 상황이다. 따라서 실제 공장을 가동하기 전 디지털 환경에서 공정의 전체 과정을 시뮬레이션하고 다양한 시나리오를 기반으로 선제적 예측 및 해결 방안을 찾기 위해 디지털 트윈과 시뮬레이션 기술의 중요도가 높아졌다. 즉, 가상의 공간에 실제 공장과 동일한 쌍둥이 공장을 구축해 디지털 트윈 환경에서 방대한 제조데이터의 시각화와 자동화 설비의 통합 제어 및 시뮬레이션을 통한 공정 개선에 중점을 맞춰 발전한 것이 메타팩토리이다.

NVIDIA의 CEO인 젠슨 황은 2020년 자사 개발자 행사에서 ‘메타버스에 투자하는 기업은 엄청난 자금을 아끼고 효율을 높일 수 있으며, 산업형 메타버스가 메타버스 세계를 이끌어 갈 것이다.’라고 말하며 산업과 메타버스의 융합을 강조하였다[37]. 메타버스는 단순한 디지털 공간의 구축뿐만 아니라 현실 세계와 함께 진화해 나가는 확장된 공간의 개념으로 다양한 산업과 기술이 접목되며 진화하고 있다[38]. 실제 공장에 전문 인력을 배치할 필요 없이 가상공간에서 생산 공정을 최적화하고 변동성에 대비하기 위한 공정 유연성 및 확장성을 향상하기 위한 방안으로 메타버스가 도입되고 있음을 파악할 수 있다[39].

메타팩토리는 현대자동차가 2022년 CES에 참가하며 HMGICS를 통해 소개하며 만든 신조어로 기존에는 Industrial Metaverse, Metaverse for Manufacturing 등으로 불렸다[20]. 메타팩토리 개념이 등장한 초기 단계로 메타버스 스마트공장과 메타팩토리 명칭을 모두 사용하고 있는 상황이며, 메타팩토리 도입에 있어서 Industry 4.0과 Society 5.0을 연계해서 설명하는 추세이다.

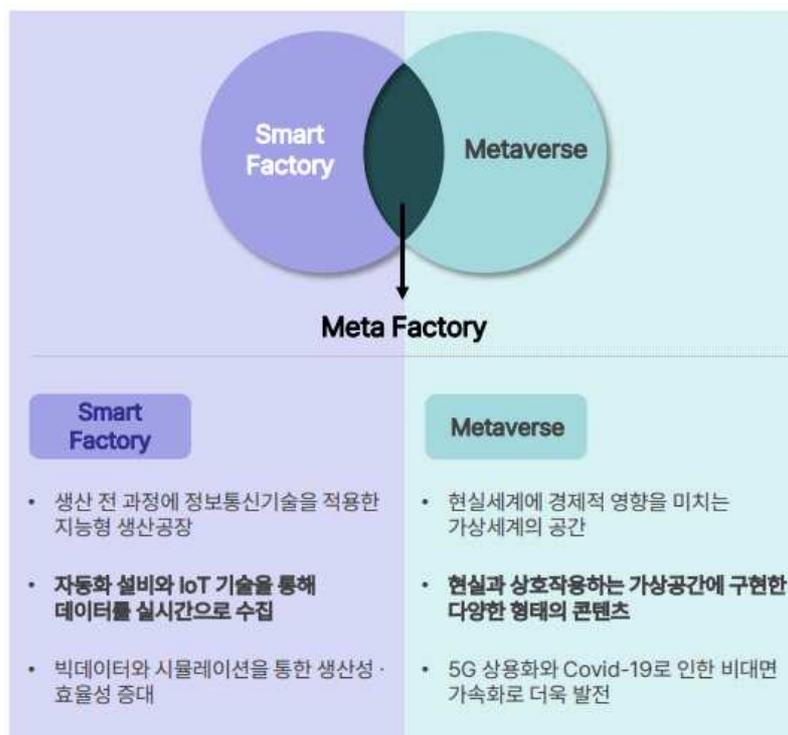
Society 5.0은 2016년 일본 정부에서 공표한 제5기 과학기술 기본계획에서 최초로 제창된 슬로건으로 4차 산업혁명의 핵심 기술로 불리는 ABCD(AI, Block Chain, Cloud, Big Data)의 디지털 기반 기술을 현대 사회의 문제와 관련지어 실질적으로 적용하기 위한 방안을 마련하기 위한 개념이다[40]. Society 5.0은 가상공간인 사이버 공간과 현실 공간인 물리적 공간을 고도로 융합시킨 사회시스템으로, Industry 4.0 개념인 인공지능과 자동화, 자율화를 통해 경제 발전과 사회적 과제를 동시해 해결할 수 있는 인간 중심의 스마트 사회를 구축하는 것을 목표로 한다 [41].

[표 15] Industry 4.0과 Society 5.0 비교

Industry 4.0 전략분야	Society 5.0 전략분야
스마트팩토리	Smart Health
초연결성(ICT, IoT의 발전)	Smart Mobility
초지능화(AI, 빅데이터)	Smart Manufacturing
초융합(현실과 가상세계의 연결)	Smart City and Infrastructure
스마트시티	Fintech

Industry 4.0이 제조업과 생산성 향상을 위한 기술의 발전에만 집중했다면, Society 5.0은 지속 가능한 발전과 인간 중심의 스마트 사회를 구축하기 위해 4차 산업혁명의 기술을 활용하는 데 집중한다. 메타팩토

리를 통해 물리적 공간에서 전문가들이 직접 검증하던 일을 가상의 공간에서 실제 현실의 공장과 연결해 의사결정이 가능한 환경으로 구축하게 되면서 모든 사물이 인터넷에 연결되어 데이터가 공유되고 새로운 서비스를 제공하며 Society 5.0의 목적과 부합한 방향으로 발전하고 있다. 결과적으로 [그림 25]에서 나타난 것과 같이 스마트팩토리와 메타버스 기술이 교집합 되는 특성을 메타팩토리로 설명할 수 있다.



[그림 25] 스마트팩토리와 메타버스 개념

스마트팩토리는 생산 전 과정에 정보통신 기술을 적용한 지능형 생산 공장으로 자동화 설비와 IoT 기술을 통해 데이터를 실시간으로 수집한다. 또한 빅데이터와 시뮬레이션을 통해 생산성과 효율성을 증대시킨 공장이다. 메타버스는 현실 세계에 경제적 영향을 미치는 가상 세계의 공간으로 현실과 상호작용하는 가상공간에 구현한 다양한 형태의 콘텐츠를 포괄적으로 의미한다. 5G의 상용화와 COVID-19로 인한 비대면 가

속화로 더욱 발전된 개념이다. 메타팩토리는 현실에 있는 스마트팩토리와 동일한 공장을 가상 세계에 구축하여 실제 공장과 상호작용하며 시뮬레이션을 통해 의사결정과 피드백이 가능한 새로운 제조 공간을 만드는 것이다.

### 3.2.2 메타팩토리 구축 지원 사업 및 사례 조사

메타팩토리 개념 등장 이전에도 스마트팩토리에 디지털 트윈이나 시뮬레이션, 빅데이터를 활용해 변화하는 생산 환경에 대비하고 유연성을 갖추기 위해 스마트팩토리를 고도화하였다. 그 후 메타팩토리 개념이 소개되면서 정부에서도 메타버스를 활용한 미래형 제조 공장을 구축해 제조 현장의 디지털 전환을 장려하기 위해 메타팩토리 구축 지원 사업을 펼치고 있는 상황이다. 이에 따라 먼저 주요 기업에서 추진하고 있는 제조 혁신에 대한 사례조사를 진행하고 중소벤처기업부와 스마트제조혁신 추진단 주관으로 시작된 2023년 메타버스팩토리 구축 지원 사업에 대해 정리하였다.

#### 1) 기업별 스마트팩토리 제조혁신 사례

메타팩토리 개념이 대두되며 주요 기업에서도 기존의 스마트팩토리에 디지털 트윈을 기술을 도입하며 제조 혁신을 통한 스마트팩토리의 미래로 발전하고 있다. 삼성전자는 2023년 시스템 반도체 비전을 선언하며 디지털 트윈 TF팀을 신설해 반도체 공정 효율을 향상하기 위해 디지털 트윈 기술을 개발한다[42]. 특히 반도체 생산 과정에서 발생하는 리스크를 디지털 트윈 기술을 활용해 해결하여 수율을 높이고 선제적으로 대응하며 공정 수율을 안정적으로 확보하기 위해 적용을 추진하고 있다. 대만의 반도체 위탁생산 기업인 TSMC는 독일의 테크 기업과 함께 3nm 공정의 설계 자동화 부분에 디지털 트윈으로 가상 공장을 구축해

안정적인 수율을 관리할 수 있는 환경을 구축하였다[43]. TSMC의 모든 물리적 생산 시스템을 디지털 트윈 기술을 통해 실시간으로 분석하고 가상 공장의 데이터와 실제 데이터값을 비교해 안정적인 수율을 구현하며 경쟁력을 향상하고 있다.

현대자동차는 HMGICS를 통해 메타팩토리를 소개하며 디지털 트윈 개념을 기반으로 실제 공장과 동일한 쌍둥이 공장을 가상공간에 구현하는 것을 목표로 하고 있다. BMW는 미래 차 시장에서 생산 효율성과 품질을 향상하기 위해 NVIDIA의 Omniverse 플랫폼을 활용해 자동차 제조 공정을 디지털화하고 시뮬레이션을 통해 맞춤형 디지털 트윈 공장을 구축하였다. 또한 2025년 가동을 목표로 전기차 생산 모형을 디지털 트윈으로 제작하여 “노이에 클라쎄”(Neue Klassen, 완전 가상 공장)라고 불리는 가상 공장으로 미래 전략을 수립하였다[44].

[표 16] 기업 별 제조혁신 사례

기업	명칭	개발시기	주요기술
삼성전자	디지털 트윈TF	2022	Digital Twin
현대자동차	메타팩토리	2022	DT, AI, 빅데이터
BMW	노이에클라쎄	2021	DT, AI, 빅데이터
LG전자	Virtual Factory	2023	DT, 시뮬레이션, 빅데이터

2) 2023년 메타버스팩토리 구축 지원 사업(중소벤처기업부, 스마트제조혁신추진단)

제조 현장의 가상화를 통해 공장의 유기적인 생산 체계와 상호연동이 가능한 메타버스 기술을 기반으로 하는 플랫폼 및 콘텐츠를 이용해 미래형 제조 공장을 구축하여 제조 혁신을 지원하기 위해 중소벤처기업부와 중소기업기술정보진흥원 부설 스마트제조혁신추진단에서 지원 사업을 추진하고 있다. 해당 사업에서는 제조 현장의 디지털 전환과 메타버스

기술 도입 및 활용에 초점을 맞춰 제조 현장 내의 생산라인의 공정 및 설비를 가상화하고 현장과 실시간 연동으로 연계 운영이 가능한 메타버스 팩토리 플랫폼을 구축하는 데 집중한다.

메타버스 플랫폼은 현실과 가상의 실시간 연동 중 최적화 및 의사결정을 지원할 수 있는 조건을 의미한다. 이에 따라 3가지 대표 모델 유형을 아래와 같이 제시하였다[45].

① 공정·장비 중심(제조 공정 최적화, 장비 예지보전 및 고속연자 노하우 전수)

- 다수가 사용하는 공정을 대상으로 제조 장비를 가상공간에 구축하고, 해당 장비에서 데이터를 수집하고 최적화한다.
- 설비 유지에 필요한 데이터를 수집하여 AI를 통해 이상 감지 및 고장 예측을 수행한다.
- 제조 현장에서 고속연자가 가진 작업 노하우를 가상공간에 시각화하여 저숙련 근로자 및 외국인 근로자의 숙련도를 향상한다.

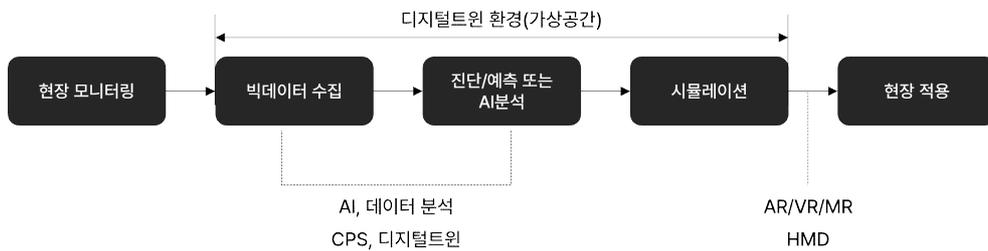
② 근로자 중심(위험 공정의 시설 사고 예방 및 안전 작업 환경 구축)

- 위험 작업장의 가상 제조 환경을 구축하고 작업자 데이터(AI 및 스마트 카메라 센서)를 연동해 위험 상황 경고 및 장비 제어를 수행한다.
- 실제 산재가 발생한 사례 등 가상 콘텐츠를 통해 산재 예방 교육 솔루션을 구축한다.

③ 특수 환경 중심(특수 공정의 원격제어)

- 정밀 가전, 분진 및 바이러스 차단을 위한 클린룸 공정을 가상공간에 구축하고 이상 발견 시 실시간 원격제어를 수행한다.
- 특수 공정 데이터를 수집하고 AI로 분석하여 공정 최적화를 진행한다.

구축지원 사업에서 제시한 메타팩토리 대표 유형을 통해 메타팩토리 구현 시 적용해야 할 필수 기술에 대해 정리하였다. 현실의 주요 생산 공정을 가상의 공간에 쌍둥이 모델로 구현하기 위해 CPS와 디지털 트윈 기술이 필요하다. 다음으로 현실의 공장에서 수집한 제조데이터를 인공지능으로 분석하여 디지털 트윈 모델에 적용해 현실과의 정합성을 향상한다. 가상의 공장에서 다양한 시나리오를 기반으로 시뮬레이션을 수행하고 결과 데이터를 분석하여 공정 및 제조 최적화를 진행해 상호연동을 통해 실제 생산 환경과 상호작용을 한다. 또한 AR/VR 등 가상 솔루션과 융합하여 현실감 있는 콘텐츠를 제공해 안전 교육 및 숙련도 향상에 사용한다. 주요 기술과 체계를 정리하면 [그림 26]과 같다.



[그림 26] 메타팩토리 구축 체계

메타팩토리 구축 지원 사업에서는 메타팩토리 구축 수준을 5단계로 세분화하여 단계적으로 구축할 수 있도록 구분하고 있다. 스마트팩토리 수준 5단계와 비교하면 디지털 트윈 환경을 구축하는 것이 가장 기본 단계이며 시뮬레이션과 상호연계를 통해 문제해결을 자율화하는 최종 단계로 차별화를 두고 있다. 단계별 구축 수준은 [표 17]과 같다. 지원 사업에서는 3단계 이상 구축을 필수로 수행하며, 4단계 이상의 구축을 권장하는 상황이다. 3단계 시뮬레이션 수준에서 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하거나 연계가 가능하다.

[표 17] 메타팩토리 구축 수준  
(자료 : 중소벤처기업부, 스마트제조혁신추진단)

1단계	2단계	3단계	4단계	5단계
미러링	모니터링	시뮬레이션	상호연계	자율화
DT로 복제	DT로 복제	DT로 복제	DT로 복제	DT로 복제
	모니터링 및 제어	모니터링 및 제어	모니터링 및 제어	모니터링 및 제어
		대상 최적화	대상 최적화	대상 최적화
			상호 연계운영	상호 연계운영
				문제해결 자율화

### 3.2.3 스마트팩토리와 메타팩토리 개념 분석 및 비교

RQ2 : 스마트팩토리와 메타팩토리의 특성 및 차이점이 무엇인가?

스마트팩토리와 메타팩토리의 차이점과 개념을 분석하기 위해 수준 단계와 주요 기술, 개발 시기 및 개발 대상으로 분류하여 비교를 진행하였다. 또한 메타팩토리의 기반이 되는 기술이자 목표인 디지털 트윈 개념을 함께 분석하였다.

#### 1) 스마트팩토리

스마트팩토리는 제품 기획 및 설계부터 생산, 유통, 판매까지 제품의 전 생애주기에 걸쳐 모든 과정을 ICT 기술로 통합해 현장 자동화와 제어 자동화 영역까지 공장 운영의 모든 부분에서 최소 비용과 시간으로 맞춤형 제품을 생산하는 지능형 공장을 의미한다. 스마트팩토리는 ICT 기술 활용 정도 및 구축 수준, 역량에 따라 기업의 종합적인 스마트 역량을 측정해 수준 단계를 총 5단계로 구분하고 있다. 크게 기초-중간-고도 단계로 나타내며 세부적인 5 Level은 [표 18]과 같다.

[표 18] 스마트팩토리 구축 수준 단계  
(자료 : KOSOMO 스마트공장 사업관리시스템)

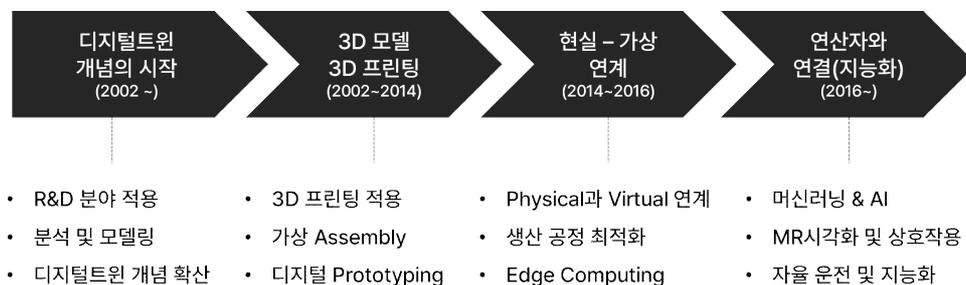
정의	Level	수준	특성	주요기술
지능화	Level 5	고도화	자율화 : 모니터링 및 제어, 최적화까지 자율운영	인공지능 AR/VR
	Level 4	중간2	예측, 최적화 : 시뮬레이션을 통한 사전 대응 및 의사결정 최적화	빅데이터 시뮬레이션
연결화	Level 3	중간1	인지, 분석 : 수집된 정보를 분석해 제어 가능	센서·제어 분석도구
	Level 2	기초2	연결, 모니터링 : 생산정보 실시간 모니터링 가능	센서 정보시스템
디지털화	Level 1	기초1	디지털화 : 부분적 표준화 및 실적정보 관리	바코드 RFID
미적용	Level 0	ICT 미적용	미인식·적용 : ICT 미적용	-

스마트팩토리를 통해 디지털화, 연결화 및 지능화를 달성하기 위해 필요한 주요 기술로는 지능화 시스템을 위한 CPS(Cyber Physical System, 가상물리시스템), AI(Artificial Intelligence, 인공지능), 빅데이터가 있으며, 유연 생산을 위한 3D 프린팅 및 모듈 공정이 있다. 표현과 인지를 통한 시각화 개선을 위해 홀로그램 및 AR(Augmented Reality)·VR(Virtual Reality)·MR(Mixed Reality), 그리고 IoT(Internet of Things, 사물인터넷) 기술이 활용된다. 또한 스마트팩토리의 주요 KPI인 (P, Q, C, D, S, E) 중 하나인 E(Environment, 환경)를 위해서 에너지 절감 기술 및 스마트 센서 기술이 사용된다.

## 2) 디지털 트윈

IT 기술의 발전과 함께 제조업에서 디지털 트윈을 통해 가상의 세계와 물리적 세계의 범위, 정도, 기능에서의 통합이 강화되고 있다[46]. 디지털

디지털 트윈은 물리적 세계와 가상 세계 사이의 가교 역할을 하며 제조 기업에 스마트 생산 및 운영·관리를 수행할 수 있는 새로운 방법을 제공한다[47]. 일반적으로 가상의 모델은 실제 환경과 동일하게 구축하여 다양한 환경에 대한 시뮬레이션을 수행하기 위해 사용된다[48]. 즉, 디지털 트윈은 물리적 객체와 가상으로 생성된 객체의 상호작용을 가능하게 함으로써 물리적 객체의 가상화를 통해 판단, 분석, 예측 및 최적화를 수행하게 된다.



[그림 27] 디지털 트윈 발전 역사  
(자료 : LG CNS, 한국디지털트윈 연구소)

디지털 트윈 개념은 NASA에서 우주선의 물리 모델 시뮬레이션을 위해 최초로 시작되었으며, 이후 GE(제너럴일렉트릭)에서 산업에 적용하며 확산되었다. 디지털 트윈의 발전 과정은 [그림 27]에서 나타난 것과 같이 연구 및 R&D 분야에서 시작해 점차 생산 및 제조업에 적용되며 현실과 가상 세계의 연결이 강화되고, 머신러닝과 AI 기술을 융합하여 지능화 단계까지 진행되고 있다.

디지털 트윈 기술 발전 단계는 [표 19]와 같이 5단계로 나누어 구분하고 있으며, 물리적 대상을 가상의 세계에 복제하는 미러링 단계(1단계)부터 관제, 시뮬레이션, 상호 운영, 자율화 단계로 구성된다. 물리적 환경의 데이터가 센서를 통해 디지털 트윈 모델로 전송되어 시뮬레이션, 검증 및 최적화를 진행하고 시뮬레이션 데이터는 다시 물리적 세계로

피드백되어 변화에 대응하고 운영을 개선하며 상호작용 과정에서 빅데이터 및 클라우드를 통한 데이터 융합 기술이 디지털 트윈의 주요 기술로 적용되고 있다[49].

[표 19] 디지털 트윈 기술 발전 단계  
(자료 : 한국디지털트윈 연구소)

Level	수준	특성
5단계	자율 DT	Autonomous : 자율적으로 문제 인지, 해결 및 물리적 대상 최적화 진행
4단계	연합 DT	Federation : 최적화된 개별적인 물리 대상을 상호연계 및 운영하여 최적화
3단계	모의 DT	Modeling & Simulation : 디지털 트윈에서 시뮬레이션 결과를 적용해 물리대상 최적화
2단계	관제 DT	Monitoring : 디지털 트윈을 기반으로 물리대상 모니터링 및 분석을 통한 제어
1단계	모사 DT	Mirroring : 현실에 있는 물리적 대상을 디지털 트윈으로 복제(가상화)

### 3) 메타팩토리

메타팩토리는 CPS, XR 가상기술, 디지털 트윈과 같은 첨단 IT 기술을 활용해 물리적인 제조 현장과 데이터를 기반으로 연동되어 상호작용을 하는 공장을 의미한다. 또한 VUCA(뷰카) 시장 상황이라고 불리는 변동(Volatility)적이고 불확실(Uncertainty)하며 복잡(Complexity)하고 모호(Ambiguity)한 생산 환경에 대응해 유연하게 공장을 운영하기 위한 제조 혁신으로 메타팩토리가 주목받고 있다[50]. 그러나 산업에 적용된 메타버스 개념에 대한 인식이 상이하기 때문에 메타팩토리 구축을 통해 목적을 달성하기 위해서는 메타팩토리의 개념과 특성을 명확하게 구분하고 정의하는 것이 중요하다. 메타버스는 가상과 현실이 융합된 공간에서 사람과 사물이 상호작용하며 경제, 사회 및 문화적 가치를 창출하는

세계를 의미한다. 메타버스 기술은 크게 4가지 카테고리로 나누어 정의하며, VR(Virtual Reality, 가상 세계), AR(Augmented Reality, 증강현실), 미러월드(Mirror World) 개념이 메타팩토리의 주요 기술로 적용되고 있다.



[그림 28] 메타팩토리에서 원격 협업의 단계

CPS(Cyber Physical System)를 통해 현실의 제조 시스템을 가상의 공간에 구축해 자율적·지능적 제어 시스템을 구현하고, XR과 같은 초실감형 기술을 사용해 현장에서 수행하기 어려운 작업에 대해 시뮬레이션을 수행하여 공장 운영 문제를 해결하고 최적화를 진행한다. 또한 메타버스의 활용 목적 중 하나인 원격 협업을 통해 공장에 직접 방문하지 않고 실시간으로 운영 및 제어를 수행하여 문제를 해결할 수 있으며 생산 설비를 해외에 수출하지 않고도 원격 생산을 운영해 핵심 기술을 보호할 수 있는 환경을 구축할 수 있다[51]. 이에 따라 중소벤처기업부에서 추진하는 메타팩토리 구축 지원 사업에서는 기업의 단계적인 메타팩토리 도입 및 발전을 위해 [표 17]에서 나타낸 것과 같이 5단계의 구축 수준으로 나누어 지원 사업을 펼치고 있다.

4) RA2 : 스마트팩토리와 메타팩토리의 개념과 주요 기술을 비교하여 정리하고 디지털 트윈 개념을 포함해 분석한다.

스마트팩토리와 디지털 트윈, 메타팩토리 수준 단계와 주요 기술 및 목표를 정리하여 [표 20]에 나타내었다. 정보통신기술의 적용 및 활용 단계인 자율화(1단계)부터 ICT, IoT 기술의 도입 수준을 향상하며 초연결, 지능화로 나아가는 제조 혁신을 이루고 있다. 메타팩토리는 실시간 현실과 가상공간의 실시간 연결과 상호작용에 중점을 두며 디지털 트윈과 시뮬레이션 기술에 대한 중요성을 강조하고 있음을 파악할 수 있다. 또한 개념별로 빅데이터, 클라우드 플랫폼, 디지털 트윈이 주요 기술로 사용되고 있으며 데이터를 기반으로 현실과 가상을 통합하고 인공지능과 XR(eXtended Reality)와 같은 융합현실 및 초 실감형 기술을 통해 지능화를 달성하는 방향으로 발전하고 있다.

[표 20] 스마트팩토리와 디지털 트윈, 메타팩토리 개념 비교

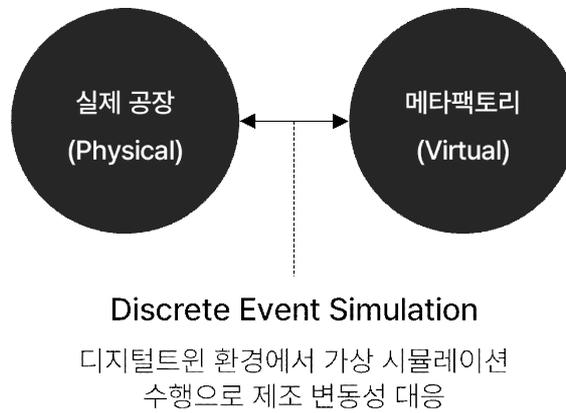
분류기준	Smart Factory		Digital Twin	Meta Factory	
수준단계 (5단계)	디지털화		모사 DT	미러링	
	연결		관제 DT	모니터링	
	인지/분석		모의 DT	시뮬레이션	
	최적화		연합 DT	상호연계	
	자율화		자율 DT	자율화	
주요기술	CPS	에너지	빅데이터	XR	빅데이터
	클라우드	홀로그램	클라우드	디지털 트윈	네트워크
	3D프린팅	스마트센서	Edge Computing	블록체인	클라우드
	빅데이터	IoT	머신러닝, AI	인공지능	CPS
개발시기	2018년도 ~		2017년도 ~	2021년도 ~	
개발목표	4M+SE		Physical + Virtual	공정, 사람, 환경 (경제적 가치 창출)	

### 3.3 상용 이산사건 시뮬레이션과 메타팩토리 연계성

#### 3.3.1 메타팩토리에서 시뮬레이션의 중요성

RQ3 : 메타팩토리에서 시뮬레이션의 중요성과 특성에 적합한 시뮬레이션 소프트웨어는 무엇인가?

메타팩토리의 특성을 기반으로 이산사건 시뮬레이션과의 연계성을 분석하기 이전에 실제와 동일한 가상의 공장에서 시뮬레이션이 가지는 중요성에 대해 정리하였다.



[그림 29] 메타팩토리와 시뮬레이션

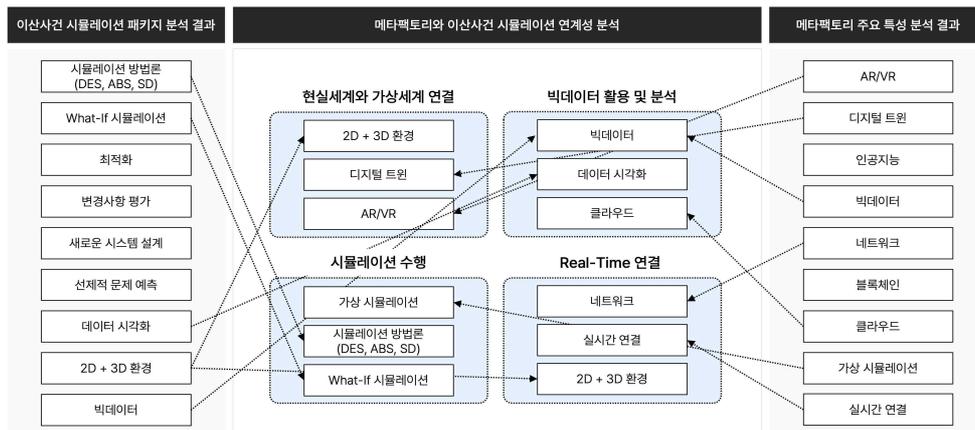
스마트팩토리 환경에서 높은 변동성과 복잡성에 대응하기 위해 재구성 가능한 제조 시스템(Reconfigurable Manufacturing System, RMS)으로 진화하며 이기종 시스템의 데이터 통합과 실시간 상호작용 및 호환성이 중요해졌다[52]. 이에 따라 불확실성을 고려한 의사 결정을 수행하기 위해 메타팩토리를 통해 실제 제조 현장과 상호연결·작용하는 가상의 공장을 구축하고 다양한 운영 및 생산 시나리오를 시뮬레이션하고 평가하게 된다. 이러한 가상 시뮬레이션으로 현장에 전문가 인력을 두지 않고도 공장은 운영하고 실시간으로 제어하는 것이 가능해지고 있다. 이에 따라 물리적 공간에서 검증하던 문제를 고객 및 주문 중심으로 데이터

기반의 의사결정을 수행하기 위한 가상공간에서 시뮬레이션의 중요성이 더욱 커질 것으로 예상된다.

### 3.3.2 DES software 패키지와 메타팩토리 연계성

RA3 : 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어별로 메타팩토리 특성과의 연계성을 분석한다.

시뮬레이션 소프트웨어와 메타팩토리의 연계성을 파악하기 위해 RA1의 소프트웨어 비교 결과와 RA2의 메타팩토리의 주요 기술 및 특성을 기반으로 시뮬레이션 소프트웨어가 메타팩토리 환경에서 가지는 공통 특성을 도출하였다. [그림 30]에서 공통적인 특성을 정리해서 나타내었다. 메타팩토리의 주요 기술과 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어의 기능 및 시나리오의 공통적인 특성을 종합해서 분석했을 때, 현실세계와 가상세계의 연결, 빅데이터 활용 및 분석 기능, 시뮬레이션 수행과 Real-Time 연결이 중요한 특성으로 도출되었다.



[그림 30] 이산사건 시뮬레이션과 메타팩토리 공통 특성

다음으로 주요 특성을 구현하기 위한 기술에 대해 각 패키지가 보이는 구현 수준을 평가하였다. 다양한 상용 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어

중 가장 많이 사용되는 주요 3가지 패키지에 NVIDIA의 Omniverse 플랫폼을 추가해 메타팩토리 특성과 관련성을 분석하였다. [표 21]에서는 주요 시뮬레이션 패키지의 배급처와 개발 시기, 최종 업데이트 시기 및 제공하는 방법론에 대해 요약하였다. Omniverse가 가장 최근에 개발되었으며 Anylogic과 함께 시뮬레이션 3가지 방법론을 모두 사용해 모델을 구현할 수 있다. Arena는 마지막 패키지 업데이트가 2020년으로 다른 시뮬레이션 소프트웨어에 비해 느린 주기를 보인다.

[표 21] 주요 시뮬레이션 패키지 사양 요약

	Plant Simulation	AnyLogic	Arena	Omniverse
배급처	Siemens PLM	Anylogic Company	Rockwell Automation	NVIDIA
개발시기	2007년	2000년	2000년	2021년
최종 업데이트	2023년	2022년	2020년	2023년
방법론	DES	DES, ABS, SD	DES	DES, ABS, SD

주요 시뮬레이션 소프트웨어 4가지를 대상으로 메타팩토리를 구축할 때 필요한 주요 특성과 기술을 고려해 특성별 연계성을 분석하였다. 메타팩토리의 주요 특성은 디지털 트윈을 통한 가상환경과 빅데이터, 실시간 연결, 시각화 및 3D 환경, AR/VR, AI로 분류하였다. 소프트웨어에서 구현할 수 있는 수준은 미흡(×), 보통(△), 좋음(○), 매우 좋음(◎)의 네 가지 수준으로 평가를 진행하였다. [표 22]에서 특성별 평가 결과를 나타내었다. 7가지의 특성에 맞게 수준 평가를 진행한 후 높은 수준의 서비스를 제공할수록 메타팩토리에서 해당 소프트웨어가 가진 사용성과 연계성이 높다고 판단하였다.

[표 22] DES 소프트웨어와 메타팩토리 연계성

주요특성	DES Software			
	Plant Simulation	AnyLogic	Arena	Omniverse
가상환경	○	○	△	◎
빅데이터	○	○	○	◎
실시간연결	○	△	△	○
시각화	○	○	△	◎
3D	○	×	×	◎
AR/VR	△	×	×	◎
인공지능	△	△	×	○
<b>메타팩토리 연계성</b>	◎	○	×	◎

Plant Simulation과 Omniverse가 시각화 및 3D 환경 구축에서 장점을 가지며 메타팩토리와 높은 연계성을 보였으며, 시각화와 가상환경 구축에 미흡한 Arena는 AR/VR과 인공지능의 사용성도 낮게 도출되었다.

## 제4장 결론

### 4.1 연구 결과 요약

본 연구는 스마트팩토리에 디지털 트윈과 메타버스 개념이 결합한 메타팩토리 개념이 등장하기 시작한 단계에서 명확하게 정의되지 않은 개념과 주요 기술을 스마트팩토리, 디지털 트윈, 메타팩토리로 나누어 정리하였다. 또한 제조 혁신의 각 개념에서 중요한 기술 중 하나인 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어를 실제 연구에 적용한 문헌을 분석함으로써 DES 소프트웨어의 사용 현황과 주요 산업에 대해 분석하였다. 그 후 메타팩토리의 주요 특성 및 기술에 따라 시뮬레이션 소프트웨어에서 제공하는 서비스 수준을 평가하여 메타팩토리와의 연계 방안과 사용성을 분석하였다.

▶ RA1 : 2012년도부터 2021년도까지 10년간 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어를 실제 문제에 적용한 문헌을 대상으로 사용 빈도가 높은 3가지 시뮬레이션 소프트웨어 패키지에 대한 특성을 비교 분석하여 제시하였다. 다양한 DES Software 중에서 사용 빈도가 높은 순으로 Arena, Anylogic, Plant Simulation 소프트웨어를 선택하였다. 분석 결과 Arena는 제조업, 의료 및 물류·유통 업종에서 생산 공정이나 프로세스를 개선하기 위해 DES 기법의 시뮬레이션을 수행하여 변경 사항을 평가하였다. Anylogic은 시뮬레이션 기법을 모두 구현할 수 있는 환경을 지원하여 계속해서 사용이 증가하는 추세를 보였으며 주로 물류 공급망과 피난 대책을 구축하는 새로운 시스템을 설계하기 위해 What-If 시뮬레이션을 사용하였다. 마지막으로 Plant Simulation은 미약하지만 점차 사용이 증가하는 모습을 보이며 제조업에서 변경 사항을 평가하고 개선하기 위해 DES 기법의 What-If 시뮬레이션을 수행하거나 최적값을

도출하는 부분에서 강점을 나타내었다.

▶ RA2 : 스마트팩토리와 디지털 트윈, 메타팩토리 모두 5단계의 수준으로 나누어 단계적인 도입을 추진하고 있으며 정보통신 기술을 기반으로 한 자율화 단계부터 전 공정과 데이터가 연결되어 지능화되는 단계로 구성되어 있다. 개념별로 현실과 가상공간의 의사소통 및 융합을 중점으로 발전하였으며 확장성과 범위(Scope)에서 구현 목표의 차이점이 발생하였다.

▶ RA3 : 사용 빈도가 높은 주요 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어를 대상으로 메타팩토리의 특성 구현 수준을 평가하였다. 디지털 트윈과 가상환경, 시각화, 3D 구현에 강점을 가진 Plant Simulation과 Omniverse 패키지가 메타팩토리와 가장 큰 연계성을 가짐을 도출하였다. 시뮬레이션 방법론 3가지 구현이 가능하며 상호 연결성이 좋은 시각화 기술을 제공하는 시뮬레이션 소프트웨어가 추후 메타팩토리 환경에서 높은 사용성을 보일 것으로 예상된다.

## 4.2 한계점 및 추후 연구방향

본 연구는 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어 패키지의 특성과 현재 사용 현황에 초점을 맞추어 분석을 진행하였으며 해당 연구 결과를 통해 추후 이산사건 시뮬레이션 소프트웨어의 선택에서 어려움을 겪는 기업과 사용자에게 선택의 기반을 제공하며 기초자료로 사용될 것으로 기대된다. 그러나 IEEE Xplore의 키워드 검색을 통해 관련 문헌을 탐색하여 IEEE에 게재된 문헌만 검토하였으며 분석 결과에 저자의 주관이 들어갈 수 있다는 한계점이 있다. 향후 연구로는 시뮬레이션 소프트웨어 평가를 수행하기 위하여 관련 연구 분류를 MCDM(Multiple Criteria Decision Making) 문제로 정의하고 AHP 기법을 적용하여 평가 기준에 따라 DES 소프트웨어를 평가할 수 있는 프레임워크를 도출한다면 사용자의

환경과 산업의 특성에 적합한 시뮬레이션 소프트웨어를 선택할 수 있을 것으로 예상된다.

상용 시뮬레이션 소프트웨어에서 제공하는 주요 기능을 가지고 메타팩토리와의 연계성을 평가하면서 각 소프트웨어로 모두 동일한 환경을 구축해 보지 못했으며, 실제 산업에서 동일한 소프트웨어를 사용하더라도 라이선스나 인증의 문제로 모든 기능을 사용하기 어려운 상황으로 평가 결과에 주관적인 견해가 포함되었다는 한계가 존재한다. 향후 본 연구를 바탕으로 주요 시뮬레이션 소프트웨어를 사용해 디지털 트윈 환경을 구현하고 전문가 설문조사 및 Text Mining 등 트렌드 분석과 병행하여 평가를 진행하면 더욱 공정하게 소프트웨어를 평가해서 의사결정을 지원하는 방향으로 이어질 수 있다고 예상된다.

## 참고 문헌

- [1] 장필성. (2016). EU 2016 다보스포럼: 다가오는 4차 산업혁명에 대한 우리의 전략은?. *과학기술정책*, 26(2), 12-15.
- [2] 변재웅. (2017). 4차 산업혁명이 문화산업에 미치는 영향에 관한 연구. *문화산업연구*, 17(3), 109-118.
- [3] 박찬권, 서영복. (2020). 4차 산업혁명 대응과 스마트 팩토리 구현을 위한 기술적용 우선순위 결정에 대한 연구 전자 및 통신, 자동차 관련 산업체를 중심으로. *기업경영연구*, 27(5), 25-51.
- [4] KOSMO 스마트공장 사업관리시스템. *스마트공장소개*. 스마트공장 사업관리시스템. <https://www.smart-factory.kr/usr/pr/sf/ma/smrtFctryIntrcn>
- [5] 강효은, 김호원. (2018). 제조 산업 기반 디지털 트윈 요소 기술 및 동향. *한국통신학회지(정보와통신)*, 35(8), 24-28.
- [6] Kotra해외시장뉴스. (2019, March 11). 중국, 미래 유망기술 디지털 트윈 뜬다. Kotra해외시장뉴스. <https://dream.kotra.or.kr/kotranews/index.do>
- [7] 방준성, 이영호. (2020). 스마트시티 실현을 위한 디지털 트윈 기술 동향. *한국통신학회지(정보와통신)*, 37(5), 11-19.
- [8] 윤상혁, 양지훈, 한진영, 김형진. (2022). 메타버스 성공 요인 분석을 위한 탐색적 연구 : 텍스트 마이닝과 인터뷰 혼합방법론. *인터넷전자상거래연구*, 22(1), 41-61.
- [9] 황지현, 한유진, 임해원. (2023). 키워드 네트워크 분석 및 토픽모델링을 활용한 메타버스 관련 국내연구 경향 분석. *대한건축학회논문집*, 39(1), 55-65.
- [10] 황경호. (2021). 미디어 산업의 새로운 변화 가능성, 메타버스. *미디어 이슈 &트렌드*, (45), 6-15.
- [11] Maidstone, R. (2012). Discrete event simulation, system dynamics and agent based simulation: Discussion and comparison. *System*, 1(6), 1-6.
- [12] Siebers, P. O., Macal, C. M., Garnett, J., Buxton, D., & Pidd, M. (2010). Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation!. *Journal of Simulation*, 4(3), 204-210.
- [13] Khan, A. A., & Abonyi, J. (2022). Simulation of Sustainable Manufacturing Solutions: Tools for Enabling Circular Economy. *Sustainability*, 14(15), 9796.

- [14] Anylogic. *왜 시뮬레이션인가?*. Anylogic. <https://www.anylogic.kr/use-of-simulation/>
- [15] Khan AA, Abonyi J. (2022). Simulation of Sustainable Manufacturing Solutions: Tools for Enabling Circular Economy. *Sustainability*, 14(15), 9796.
- [16] Borshchev, A., & Filippov, A. (2004.). From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling: reasons, techniques, tools. *In Proceedings of the 22nd international conference of the system dynamics society*, (22), 25-29.
- [17] Macal, C. M. (2010). To agent-based simulation from system dynamics. *In Proceedings of the 2010 winter simulation conference*, 371-382. IEEE.
- [18] Jovanoski, B., Polenakovik, R., Gecevska, V., & Minovski, R. (2014). Applying a suitable simulation approach for processes on different management levels. *CIP-Katalogizacija u publikaciji*, 14, 327.
- [19] 김준래, (2021, March 22). *인더스트리 '4.0'시대에서 '5.0'시대로: 제조와 IT의 융합을 넘어 사람 및 로봇의 공존 시대로 변화*. 사이언스타임즈. <https://www.sciencetimes.co.kr/news/>
- [20] 한석희, (2022, February 24). *메타버스, 스마트공장..메타팩토리는 또 뭘까*. 중기이코노미. <https://www.junggi.co.kr/article/articleView.html?no=28276>
- [21] Jadhav, A. S., & Sonar, R. M. (2009). Evaluating and selecting software packages: A review. *Information and software technology*, 51(3), 555-563.
- [22] Sumari, S., Ibrahim, R., Zakaria, N. H., & Ab Hamid, A. H. (2013). Comparing three simulation model using taxonomy: System dynamic simulation, discrete event simulation and agent based simulation. *International Journal of Management Excellence*, 1(3), 54-59.
- [23] dos Santos, V. H., Kotiadis, K., & Scaparra, M. P. (2020). A review of hybrid simulation in healthcare. *In 2020 Winter Simulation Conference (WSC)*, 1004-1015. IEEE.
- [24] Qi, Q., & Tao, F. (2018). Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison. *Ieee Access*, 6, 3585-3593.
- [25] Gurcan, F., Boztas, G. D., Dalveren, G. G. M., & Derawi, M. (2023). Digital Transformation Strategies, Practices, and Trends: A

Large-Scale Retrospective Study Based on Machine Learning. *Sustainability*, 15(9), 7496.

- [26] 고경석, 허재준, & 오재인. (2021). 스마트팩토리 도입에 영향을 미치는 요인에 관한 연구-고객사와 공급사 간 비교를 중심으로. *Korea Business Review*, 25(3), 129-151.
- [27] 박찬권, & 김채복. (2019). AHP 를 활용한 4 차 산업혁명 대응을 위한 우리나라 기업의 기술 적용 우선순위 및 가중치에 대한 연구. *경영교육연구*, 34(6), 539-559.
- [28] 오승철, & 안영효. (2019). 4 차 산업혁명 시대의 스마트팩토리 수준 진단 방안에 대한 연구. *한국물류학회지*, 29(6), 149-162.
- [29] Shilina, A., Lupin, S., Barhotkin, V., Anuchin, A., Davydova, A., & Vagapov, Y. (2015). Modelling of Smart Control System for plug-in electric vehicle charging stations. *In 2015 Internet Technologies and Applications (ITA)*, 370-373. IEEE.
- [30] Bao, F., & Hu, Y. (2016). The high pressure water mist fire extinguishing system based on Anylogic modeling. *In 2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, 6311-6315. IEEE.
- [31] Yuyang, J., & Hongyan, M. (2018). Study on evacuation simulation of medical pension building based on anylogic. *In 2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 2307-2312. IEEE.
- [32] Li, Y., & Liu, X. (2019). Guidance and Evacuation Research on Passenger Flow of Rail Transit Outbound Bottleneck based on AnyLogic. *In 2019 IEEE 7th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)*, 9-12. IEEE.
- [33] Yang, Y. (2021). Research on Distributed Material Vehicle Path Planning Based on AnyLogic. *In 2021 IEEE International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI)*, 377-381. IEEE.
- [34] Yang, H., Sawhney, R., & Abrha, W. (2014). Application of discrete-event simulation in acute care's capacity analysis. *In International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS 2014)*, 528-535. IEEE.
- [35] Alhaag, M. H., Aziz, T., & Alharkan, I. M. (2015). A queuing model for health care pharmacy using software Arena. *In 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations*

*Management (IEOM)*, 1-11. IEEE.

- [36] Lang, S., Reggelin, T., Müller, M., & Nahhas, A. (2021). Open-source discrete-event simulation software for applications in production and logistics: An alternative to commercial tools?. *Procedia Computer Science*, 180, 978-987.
- [37] 최원석, (2020, November 17). *엔비디아 젠슨 황이 보여준 AI 트렌드 5가지*. 조선일보. [https://www.chosun.com/economy/int\\_economy/](https://www.chosun.com/economy/int_economy/)
- [38] 이병권. (2021). 메타버스(Metaverse)세계와 우리의 미래. *한국콘텐츠학회지*, 19(1), 13-17.
- [39] 최종윤, (2023, June 15). *자율제어형 스마트공장 위한 '메타버스팩토리' 시범사업 시작*. 인더스트리 뉴스. <https://www.industrynews.co.kr/news/articleView>
- [40] 김도훈. (2023). 디지털 전환과 뉴노멀 시대의 유통·물류 생태계 적응과 진화. *정보통신정책연구*, 30(1), 1-29.
- [41] 송정현. (2020). 소사이어티 5.0을 통한 4차 산업혁명 실현방안. *일어일문학*, 87, 327-345.
- [42] 장소희, (2023, May 18). *삼성, 반도체 공정 효율 향상 '디지털트윈' 가속페달..TF장 영입*, 뉴데일리경제. <https://biz.newdaily.co.kr/site/data/html/>
- [43] 이재철, (2022, December 18). *반도체 불량 잡고, 원전 개발까지...팔방미인 '디지털 트윈'*, 매일경제. <https://www.mk.co.kr/news/it/10572583>
- [44] 설동협, (2023, January 06). BMW, 전동화 핵심 '노이에 클라세' 의미, 딜사이트. <https://dealsite.co.kr/articles/97046>
- [45] KOSMO 스마트공장사업관리시스템. (2023, February 3). *2023년도 메타버스 팩토리 구축 지원사업 참여 컨소시엄 모집 공고*. 스마트공장사업관리시스템. <https://www.smart-factory.kr/usr/bg/ba/ma/bsnsPblanc>
- [46] 함수미, (2021, May 20). *디지털 트윈을 향한 디딤돌, 인공지능 영상 기술, 첨단헬로티*. <https://www.hellot.net/mobile/article.html?no=58170>
- [47] Thor Olavsrud, (2021, August 20). *디지털 트윈 성공하려면...기업 4곳의 조언*, CIO Korea. <https://www.ciokorea.com/news/205384>
- [48] 한국IDG, ITWorld, (2023, March 03). *디지털 트윈이 메타버스보다 2배는 중요한 이유*. zum 뉴스. <https://news.zum.com/articles/81629385>
- [49] 이종현, (2023, November 09). *네이버클라우드, 클라우드·AI·디지털트윈으로 공공혁신*. 디지털데일리. <https://m.ddaily.co.kr/page/view/>
- [50] 양영진, (2023, February 11). *중기부가 시행하는 메타버스팩토리사업 성공할 수 있을까*. 지디넷코리아. <https://zdnet.co.kr/view/?no=20230211213513>
- [51] 윤정현, 김가은. (2021). 메타버스 가상세계 생태계의 진화전망과 혁신전략.

*STEPI Insight*, 1-53.

- [52] 도수화, (2021, December 13). *시장 다변화, 제조업계 'RMS'로 대응해야*. 산업일보. <https://kidd.co.kr/news/225187>
- [53] 박지현, 황규선. (2023). 상용 이산사건 시뮬레이터 패키지들에 대한 선행연구 분석. 한국시뮬레이션학회 논문지, 32(1), 1-11.

# Abstract

## Analysis of Commercial Discrete Event Simulation Packages in a MetaFactory Environment

Graduate School, University Of Ulsan  
Department of Industrial Management  
Ji-hyeon Park

Due to rapidly changing customer needs and changes in production methods for multi-product, low-volume production systems, process complexity is increasing, and production simulation techniques are gaining prominence in digital twin environments to predict and optimize advanced production processes in advance. The convergence of hyper-connected and ultra-intelligent ICT technology in Industry 4.0 and human-centered virtual reality in Society 5.0 is moving toward an era where the real world, a physical space, and the metaverse world, a virtual space, interact to create value. As a result, metaverse and digital twin technologies are rapidly being introduced to the manufacturing industry. However, the metafactory concept is still in its infancy and is not clearly distinguished from existing smart factory concepts and technologies. In addition, with the development of digital twins, new simulation packages are rapidly being developed and the functions of existing packages are being updated, making it difficult for users to make decisions about which simulation software package to utilize for development.

In this study, we organized our findings into three research questions

and answers. Among the various commercial discrete event simulation software, we identify the main software based on the literature used in the actual study and analyze the characteristics of each package to provide a basis for selection for companies and users who have difficulties in selecting software. Next, the concepts and main technologies of smart factories, digital twins, and metafactories are compared and summarized to clearly define their characteristics and differences. The importance of simulation is also growing as it is possible to build a realistic factory in the virtual space of a metafactory and improve efficiency and productivity through simulation. Therefore, this study evaluates the implementation level of discrete event simulation software based on the main technical characteristics of metafactories and analyzes its connection with metafactories, which will be used as a basis for companies and users who want to build metafactories and perform virtual simulations in the future.