KISTEP 브리프 46

기술동향

헬스케어 디지털 트윈

KISTEP 생명기초사업센터 강유진 · 김주원





Contents

제1장 개요 ····· 1

제2장 기술동향 ····· 6

제3장 산업동향 ····· 14

제4장 정책동향 ····· 17

제5장 R&D 투자동향 ····· 21

제6장 결론 ····· 28

제1장 개요

1.1. 작성 배경

제조, 건설, 스마트시티, 의료서비스 등 다양한 분야에 적용 가능한 '디지털 트윈(Digital Twin)'이 디지털 전환의 핵심 기술로 급부상

- 코로나19 팬데믹으로 인해 비대면 문화가 확산됨에 따라 전 세계적으로 全산업 디지털 전환(Digital Transformation)이 가속화되고 있음

- 각국은 디지털 전환을 실현하기 위한 주요 기술로 디지털 트윈*을 주목하여, 주력 산업 및 기반시설에 디지털 트윈 기술을 적극 도입하고 있음

  * 디지털 트윈은 실제 사물의 물리적 특징을 동일하게 반영한 쌍둥이(Twin)를 3차원 모델로 구현하고, 현실과의 동기화 시뮬레이션을 통해 해당 사물에 대한 의사결정에 활용하는 기술

  - 도시·산업 혁신, 안전 등 다양한 분야에 디지털 트윈 활용을 통해 의사결정에 필요한 시간과 비용을 절감하고, 시·공간의 제약을 극복하거나 가상시험 적용을 통한 위험 회피, 예방적 대처가 가능

  - 2020년 기준 글로벌 디지털 트윈 시장은 약 3조 6천억 원 수준이며, 우리나라는 690억 원으로 약 1.9% 수준이나, 향후 연평균 70%의 고성장이 예상[1)]

최근 데이터 분석기술 고도화, 웨어러블기기 등장에 따라 디지털 트윈이 의료데이터와 접목되면서 헬스케어 분야에서 맞춤형 정밀의료, 혁신적인 건강관리 서비스 제공이 가능해짐

- 정밀의료와 예방의학 도입 등의 핵심에는 개인화된 의료데이터와 질병에 대한 예측 등 디지털 트윈 기술과의 접점이 존재

  - 최근 10년간 헬스케어데이터가 약 15배 증가[2)]하고, 딥러닝 기술을 통해 비정형 데이터* 분석이 용이해지면서 헬스케어 디지털 트윈 적용 기반이 마련됨

    * 데이터필드 등 정해진 규격과 형태가 적용되지 않는 의료영상, 이미지 등의 데이터

1) 관계부처 합동(2021), 「디지털 트윈 활성화 전략」, Markets and Markets 재인용
2) 4차산업혁명위원회(2022), 「헬스케어 디지털 트윈 활성화 방안 제언」, Statista 재인용

- 헬스케어 분야에서 디지털 트윈 모델은 개인 건강상태를 통합적으로 관리하거나, 특정 장기의 3D 시뮬레이션을 통해 개인 맞춤형 수술·재활에 적용하는데 주로 활용[3)]
  - Dassault system(프랑스), Siemens Healthineers(독일), Philips(네덜란드) 등 대형 의료기기·IT 기업들이 수술 현장에서 활용 가능한 심장·순환계 3D 모델이나 임상의사결정 지원 플랫폼을 상용화하고 있으며, 보험 수가가 적용되어 실제 의료 현장에 적용되고 있음
  - 국내의 경우 헬스케어 분야에서 디지털 트윈 개념은 가장 낮은 단계인 의료기기 자체의 디지털 트윈에서부터 개인의 장기 및 골격에 대한 모델화, 각 개인의 건강관리, 인구집단의 방역, 병원 시스템 등 다양한 분야에서 적용되고 있음

최근 우리나라도 헬스케어 디지털 트윈에 대한 정책적인 관심이 높아지고 있으나, 관련 기술과 산업은 초기 단계이고 제도적 기반도 부족하므로 기술발전에 대한 전략적·체계적인 접근이 필요

- 정부는 2020년 이후 디지털 트윈 육성을 위한 정책을 본격화하고, 「디지털 트윈 활성화 전략('21.9)」, 「헬스케어 디지털 트윈 활성화 방안 제언('22.4)」 등에서 헬스케어 분야 적용 방안을 제시
- 글로벌 의료기기 및 IT기업들이 이미 헬스케어 디지털 트윈 시장에서 인지도를 높여가고 있는 반면, 국내는 활용모델 개발 및 시제품 제작 수준에 그치고 있음
- 헬스케어 분야에서는 디지털 트윈 관련 개념 및 서비스 범위가 명확히 정의가 되지 않았으며, 국민이 체감할 수 있는 서비스 모델 발굴도 부족한 상황
  - 특히, 메타버스, 디지털 치료제, AR·VR을 활용한 가상 환경 수술 시뮬레이션 등 종래의 기술과 디지털 트윈의 차이점에 대한 명확한 이해가 부족
- 의료데이터 활용에 대한 수요 증가로 헬스케어 디지털 트윈을 적용하고자 하는 움직임이 활발해지고 있으나, 제품·서비스 개발을 위한 적절한 데이터가 부족하고, 현장 적용을 저해하는 요인*이 많아 국내 기업의 투자와 관심 부족

  * 병원 등 의료데이터 생산·소유의 주체의 공유에 대한 소극적 태도, 개인정보보호 이슈, 신의료기술 및 보험수가 반영 등의 제도적 문제 등

본고에서는 헬스케어 디지털 트윈에 대한 개념 정의를 통해 국내외 산업·기술·정책 및 R&D투자 동향을 파악하고 향후 기술 고도화 및 의료·산업현장 적용을 위한 정부R&D 지원방향을 제시

3) 4차산업혁명위원회(2022), 「헬스케어 디지털 트윈 활성화 방안 제언」에서 제안한 디지털 트윈 활용모델 사례인 라이프케어 트윈과 서지컬 트윈 등을 반영

1.2. 기술의 정의 및 범위

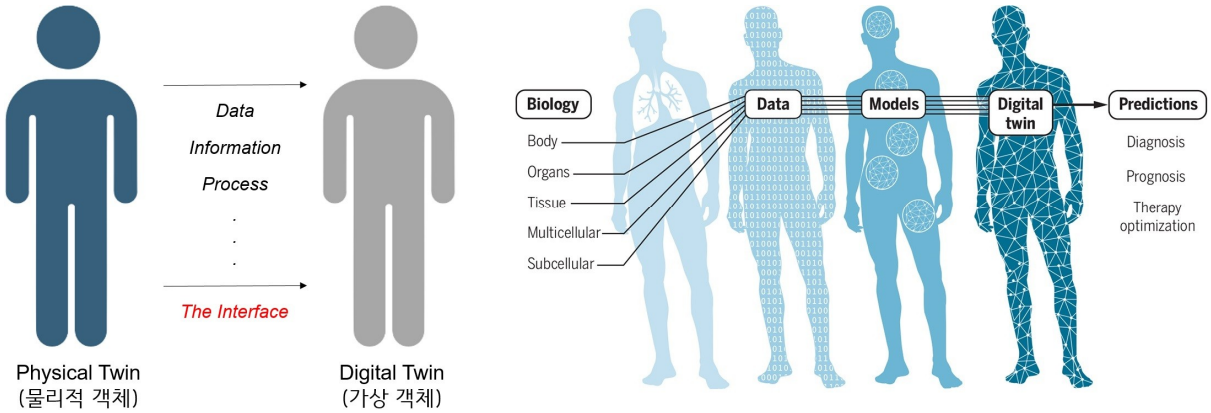
헬스케어 디지털 트윈은 헬스케어 분야에 디지털 트윈을 적용한 것으로, 의료 全단계(예방, 진단, 치료, 관리 등)에 디지털 트윈 적용을 통해 응용 서비스를 제공하는 것을 의미

※ 디지털 트윈 적용 범위에 따라 헬스케어 디지털 트윈(Digital Twin in Healthcare) 외에도 메디컬 트윈(Medical Twin), 임상 디지털 트윈(Digital Twin in Clinical Trials), 바이오 디지털 트윈(Bio-digital Twin) 등의 용어가 혼용되어 사용되기도 함

- 헬스케어 디지털 트윈은 종래의 헬스케어 융합 디지털 기술이 제공하는 단순 의료 행위 보조가 아닌 실시간 가상 시뮬레이션을 통한 모니터링 및 예방, 맞춤형 치료, 전주기 관리 등 다양한 의료서비스 제공 가능

- 헬스케어 분야에 디지털 트윈의 적용은 센서가 부착된 의료기기나 웨어러블기기 등과 디지털 트윈 구현기술*이 상호 작용하여 데이터를 수집·분석·연계하는 것에서 시작됨

* 디지털 트윈 구현기술은 가시화·운영기술, 분석기술, 데이터·보안기술, 다차원 모델링·시뮬레이션 기술, 연결기술, 동기화기술 등의 기술 집합으로 구분하며, 대표적으로 IoT, AI, 3D 모델링, XR, 클라우드 등이 있음[4)]



* 출처 : (좌) 저자 구성(Created with BioRender.com) (우) Laubenbacher, R., Sluka, J. P. & Glazier, J. A. (2021).

[그림 1] 헬스케어 디지털 트윈 개념도

4) 정보통신기획평가원(2021), 「디지털 트윈의 기술적 정의와 세부적 발전 5단계(level) 모델」.

- 일부 구현기술이 동일하고, 현실세계와 동일한 가상세계 구현이라는 점에서 디지털 트윈과 메타버스, 시뮬레이션의 개념이 혼용되나, 목적과 필수 개념요소에서 차이점이 존재

〈표 1〉 디지털 트윈, 메타버스, 시뮬레이션 차이

분류	목적	필수 개념요소
디지털 트윈	현실 문제의 관리, 해결, 대응 등에 활용하기 위한 최적의 의사결정 제공	실시간 동기화(RT - Sync), 지속성(전주기)
메타버스	새롭고 다양한 경험 제공	현실세계와의 연결(Link)
시뮬레이션	실제로 실행하기 어려운 실험을 모의로 수행하여 최적의 의사결정 제공	동기화(Sync), 단일 프로세스 대상

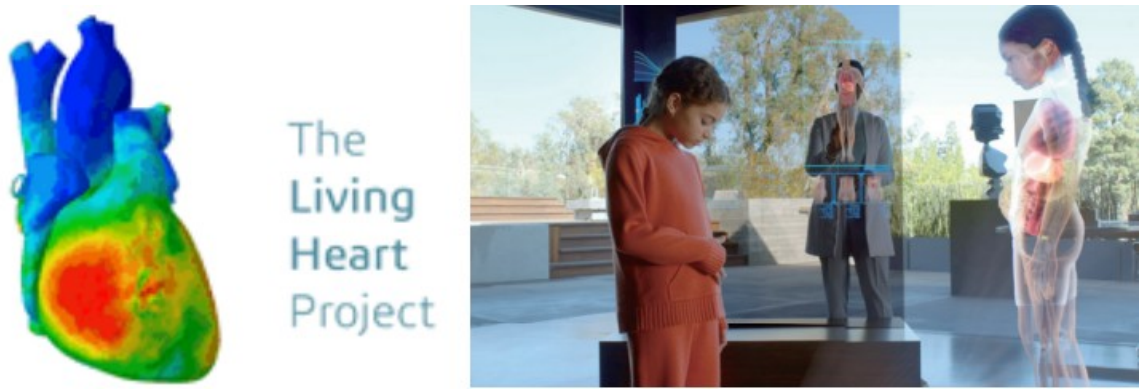
헬스케어 디지털 트윈의 활용모델은 인체모사, 의료 인프라 등 적용 대상에 따라 구분할 수 있음

- 인체모사모델은 디지털 트윈 구현기술을 환자의 인체에 적용하는 활용모델로, 진단·수술·시술·처방 등 의료행위에 대한 의사결정에 활용하는 것을 목적으로 함

※ 심장질환, 뇌혈관질환 등 환자의 질환 장기를 가상 모델링하거나 당뇨병 등 대사질환자의 전신을 대상으로 하는 가상 모델링 등이 해당

- 인체모사모델은 복잡한 상관관계를 가지는 다양한 정형·비정형 데이터를 실시간 수집·결합·연계하여 중요 변수를 식별해야 하므로, 다른 산업분야 보다 높은 수준의 기술적 요구사항이 필요

- 실시간 환자 건강상태를 연계한 시뮬레이션 기반 맞춤형 진단·치료·처방·예측으로 의료비 절감 및 의료 안전성 증대, 지속적인 환자 데이터 반영·갱신·변경으로 예후관리·예방 등 기존 의료계 문제 개선에 직접적으로 기여



* 출처 : (좌) Dassult System 홈페이지, (우) NTT(2021),「NTT技術ジャーナル 2021年5月号 VOL.33」.

[그림 2] 인체모사모델 구현 예시 (좌 - 인체 일부(심장), 우 - 인체 전체)

- 인프라 활용모델은 의료서비스를 제공하기 위한 의료 인프라에 디지털 트윈 구현기술을 적용하여 활용하는 모델로, 의료서비스 질적 개선 및 고도화를 목적으로 함
  - 의료기기나 병원 등 의료 인프라의 경우 제조·건설·도시 등 디지털 트윈 도입이 활발한 산업분야와 기술적용 접근법이 유사하여 디지털 트윈 적용이 용이
  - 의료 행위와 관련된 의료데이터, 의료기관 경영 데이터 등을 활용하여, 의료기기 성능·신뢰성 개선에 활용하거나 환자 대기시간 단축, 진료실의 효율적 운영을 위한 병원구조 설계·개선 등 이미 상용화되거나 실제 임상 현장에 도입되고 있음

- 디지털 트윈 기술 개발 초기에는 활용 가능한 의료데이터의 제한과 기술적 한계로 인해 '제조 효율성' 측면에서 의료기기 대상으로 디지털 트윈 기술 도입을 시작하였으며, 이후 인체모사모델로 그 적용 범위가 확장되고 있음

인체모사모델은 헬스케어 디지털 트윈의 적용 단계별로 제공 가능한 서비스를 구분할 수 있음

- (인체 일부) 환자의 데이터를 융합적으로 활용하여 시뮬레이션 기반 임상의사결정 지원을 통해 수술·시술·처방 등의 정확도와 안정성 확보, 실시간 모니터링을 통해 수술·시술 예후 관리 등에 활용

- (인체 전체) 환자의 데이터를 융합적으로 활용하여 시뮬레이션 기반 임상의사결정 지원, 예후 관리에 활용하거나 활용 데이터 누적에 따른 환자의 식단, 수면, 운동 등 생활습관 관리 가이드 제공 가능

- (인구 집단) 한 가족, 특정 질환그룹, 전체 인구 등 인구집단 모델링을 통해 임상의사결정 지원, 방역체계 구축에 적용하거나 환자의 생체정보와 비교하여 예방 차원의 진단·치료 지원[5]
  - 향후 인구집단 모델링을 은행화하여 임상시험 매칭 등에 활용하는 서비스도 논의되고 있음

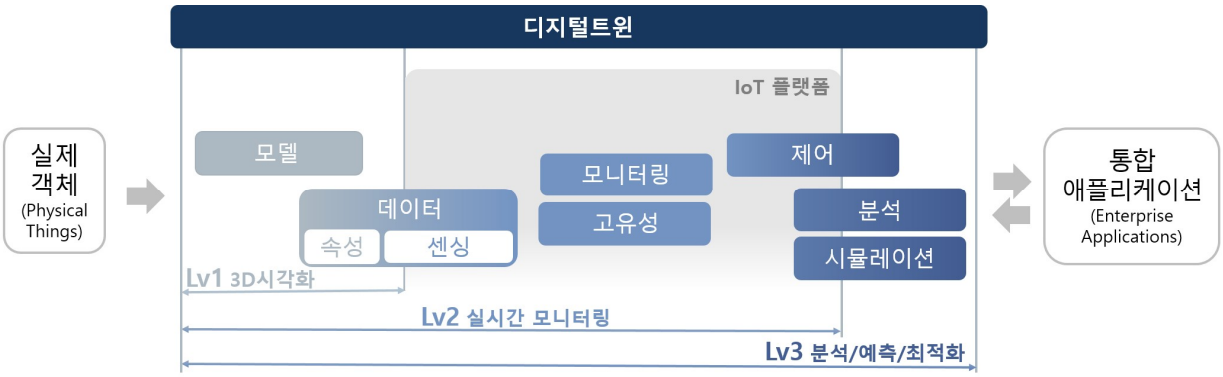
헬스케어 디지털 트윈 기술을 인체에 적용하고자 하는 기술 개발이 본격화되고 있는 시점에서, 본고에서는 인체모사모델 중심으로 기술동향 분석을 수행

5) Kamel Boulos, M. N., & Zhang, P. (2021). Digital Twins: From personalised medicine to Precision Public Health. *J. Pers. Med, 11*(8), 745.

제2장 기술동향

헬스케어 디지털 트윈은 디지털 트윈 구현수준(모사 → 관제 → 모의) 기준으로 현재 1단계(모사)와 2단계(관제) 구현 수준에 도달

- 디지털 트윈은 구현 수준에 따라 모사(복제), 관제, 모의(최적화)의 3단계로 구분[6)]
  - (1단계, 모사) 현실 속 객체(대상)의 속성을 반영한 가상 3차원 모델만 존재하는 단계로, 디지털 트윈 모델에 속성 정보를 입력하여 3D 시각화만하거나 속성정보 변경 등을 통한 시뮬레이션까지 포함하여 구현하는 것을 의미
  - (2단계, 관제) 현실세계와 실시간 연동되어 모니터링 및 제어가능한 단계로, 네트워크·데이터 인터페이스를 통해 실시간 센싱 데이터를 받으면 동시에 현실 속 객체와 1대1 매칭이 되고 모니터링 되는 것을 의미
  - (3단계, 모의) 디지털 트윈 요소기술이 적용된 분석 및 예측의 최적화 단계로, 가상 모델을 통해 예측·분석하여 시뮬레이션하고, 이를 기반으로 현실 속 객체를 제어하는 영역까지 구현하는 것을 의미
  - 3단계를 거치면서 향후 디지털 트윈 간 상호작용이 강조된 연합(Federation) 기술과 실시간 자율협력(Autonomous)이 가능한 플랫폼 서비스로 발전할 전망[7)]

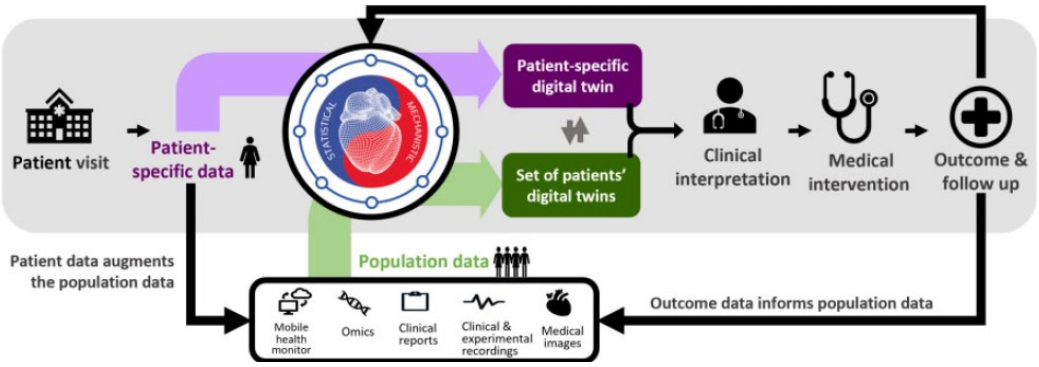


* 출처 : Gartner(2016), LG CNS(2018) 재구성 및 편집

[그림 3] 디지털 트윈 구현수준

6) Gartner(2016), 「Use the IoT Platform Reference Model to Plan Your IoT Business Solution」.
7) 관계부처 합동(2021), 「디지털 트윈 활성화 전략」.

- 헬스케어 디지털 트윈은 현재 1단계(모사)와 2단계(관제) 구현 수준으로 임상현장에서 사용되고 있음
  - 기존 디지털 기술을 활용한 헬스케어 서비스는 학습데이터를 활용한 고위험도 진단·질병 발생 예측이 주 활용범위였다면, 헬스케어 디지털 트윈은 장기적으로 가상 모델을 구현하여 실시간 상태정보를 연계함으로써 환자 맞춤형 치료·처방, 예후·예측관리, 식단, 수면, 운동 등의 생활습관 관리 가이드 제공 가능
  - 또한, 증증환자, 이식환자, 암환자 등 실시간 모니터링이 필요한 환자의 바이털데이터 등의 데이터 기반으로 가상 환자 모델을 구축하여 상시 모니터링, 시뮬레이션 기반 위급상황 대비 경고시스템 등 지원 가능
  - 향후 3단계까지 고도화되었을 경우, 기존 환자 인체모사모델의 축적을 통해 인구집단 모델링 고도화에 활용 가능하며, 새로운 환자 데이터는 기존 인체모사모델 기반 수집·연계·분석을 통한 효율적인 신규 환자의 인체모사모델 생성 가능[8)]



* 출처 : Corral-Acero, J. et al. (2020).

[그림 4] 3단계 수준의 헬스케어 디지털 트윈 도입 예시 모식도

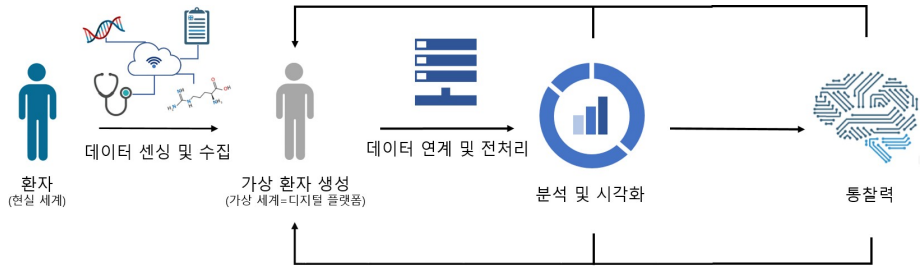
헬스케어 디지털 트윈을 구현하기 위한 요소기술은 분석, 동기화, 시뮬레이션 등 구현 과정에 필요한 기술의 집합으로 구분[9)]하며, 인체 복잡성·다양성으로 인해 요소기술별 고도화 및 기술융합의 고도화 필요

- 헬스케어 디지털 트윈을 구현하는 과정은 센서가 부착된 의료기기나 웨어러블기기 등과 디지털 트윈 구현기술이 상호 작용하여 데이터를 수집하는 것에서 시작되며, 총 6가지 과정을 거쳐 이루어짐[10)]

8) Corral-Acero, J. et al. (2020). The 'digital twin' to enable the vision of Precision Cardiology. *European Heart Journal, 41*(48), 4556-4564.

9) 정보통신기획평가원(2021),「디지털 트윈의 기술적 정의와 세부적 발전 5단계(level) 모델」.

10) Deloitte University Press(2017.5.12.), "Industry 4.0 and the digital twin"



* 출처 : 저자 구성(Created with BioRender.com)

[그림 5] 헬스케어 디지털 트윈 구현 과정 모식도[11)]

- ①수집한 데이터로 가상공간(디지털 플랫폼)에 가상의 환자 모형(해부학적 모델)을 생성하고, ②환자와 가상환자 모형을 양방향으로 연결한 후, ③수집한 데이터를 분석하기 위해 연계하고 전처리함
- 그 후, ④데이터 분석이 시작되고, ⑤분석(통계모델)을 통해 얻은 통찰력(Insight)은 시각화되고 가상환자 모델과 환자 간의 차이를 적시하여 분석이나 변경이 필요한 부분을 알려주며, ⑥이를 피드백하여 적용하는 과정을 통해 가상환자 모델(헬스케어 디지털 트윈)의 구현을 고도화함

〈표 2〉 디지털 트윈 요소기술 분류

분류[12)]	내용	예시
가시화·운영 기술	대상 현실세계를 구성하는 사람, 사물, 공간 등 구성요소의 디지털 정보화·객체화기술	AR(Augmented Reality), VR(Virtual Reality), MR(Mixed Reality), HMI(human-machine interface) 등
동기화 기술	현실 속 객체와 가상객체가 정적요소*와 동적요소**에 대해 실시간 상호 반영하기 위한 기술	검출정보 기반***기술, 위치정보 기반기술, 보안기술, 웹 서비스 기술 등
분석기술	현실 속 객체의 실시간·누적 데이터를 학습하여 판단·예측하는 기술	인공지능(머신러닝, 인공신경망(ANN), 딥러닝)
데이터·보안 기술	실시간 혹은 수집된 데이터를 저장, 전처리, 분석 및 암호화하는 기술	센싱 기술, 클라우드, 블록체인, HDFS[13)], 데이터 최적화 기술 등
다차원 모델링·시뮬레이션 기술	가상화된 유무형의 객체정보를 기반으로 사람, 사물, 공간 등의 정보를 분석, 예측하여 가상화하는 기술	다차원 객체추출 기술, 행동 모델링 기술 (Repast HPC, SWARM, NEtLogo, FLAME 등), System Dynamics 기법 등
연결 기술	현실 속 객체의 실시간 데이터 수집 및 현실 객체와 가상 객체 간 데이터의 원활하고 정확한 양방향 전송기술	네트워크 인프라 기술(Wi-Fi, 3G/4G/LTE/5G, Bluetooth, LPWAN[14)] 등), 서비스 인터페이스 기술 등

* 객체, 공간, 시각 등 한 번 정해놓으면 변하지 않고 계속 유지되는 성질을 가진 요소를 말함

** 행동, 프로세스, 예측 등 상황에 따라서 실시간으로 변하는 성질을 가진 요소를 말함

*** 정보의 센싱, 가공, 추출, 처리, 저장, 판단 기능을 의미

11) Deloitte 보도자료 “Industry 4.0 and the digital twin”에서 제시한 '디지털 트윈 개념적 구조(Digital twin conceptual architecture)'를 참고하여 헬스케어 디지털 트윈에 적용 및 구성

12) 정보통신기획평가원(2021), 「디지털 트윈의 기술적 정의와 세부적 발전 5단계(level) 모델」에서 제안한 기준으로 디지털 트윈 요소기술 분류

13) 정보통신산업진흥원(2018), 「데이터 기술(Data Technology) 시대를 대비한 주요기술 동향 및 시사점」.

14) 센서 등과 같은 소규모 장치의 저속 통신을 위한 IoT 기반 저전력 장거리 통신 기술

- 헬스케어 디지털 트윈은 제조·건축 등 타 산업분야*와 달리 인체 복잡도가 높고 사람마다 매우 다른 특성을 가지며, 활용 결과가 생명과 직결되므로 보다 높은 기술 수준이 요구됨

  * 설계상 거의 동일하게 엔지니어링된 객체를 대상으로 하며, 구축한 디지털 트윈 모델에 영향을 미치는 변수가 한정적임

헬스케어 디지털 트윈 도입 활성화를 위해 기존 요소기술의 고도화 및 데이터 표준화·상호운용성 개선이 이루어지고 있음

- 헬스케어 디지털 트윈의 핵심은 실시간 동기화 및 지속성에 있으므로, 실시간으로 정확하게 모델을 생성·분석·가시화하기 위한 기존 요소기술의 고도화 프레임워크 또는 플랫폼 연구개발 활성화
  - 측정 의료장비나 웨어러블 기기의 간소화, 비침습성 바이오센서, IoT 기반 라이프로그 수집 플랫폼 등 인체모사모델 대상의 지속적인 모니터링 및 데이터 수집이 용이한 기술개발이 활발하게 이루어지고 있음
    ※ 인체모사모델의 구현 속도와 구현 고도화(재현성)를 모두 향상시키는 것을 목표로 함
  - 분산된 의료데이터 실시간 수집·연계·분석을 위한 이기종 센서 기반 인공지능의 연합학습(Federated Learning)[15] 적용이 활발하게 이루어짐

- 헬스케어 디지털 트윈의 통찰력(Insight) 향상을 위해 활용 데이터의 표준화 및 상호운용성[16] 개선 지원이 이루어지고 있음
  - 헬스케어 디지털 트윈 활용 데이터 표준화는 크게 용어, 서식, 기술 3개 분야로 이루어지고 있으며, 주요국에서는 신유형 의료데이터 표준화 및 차세대 전송기술 표준 도입에 선제적 움직임을 보임

현재 개별 요소기술의 기술개발보다 기존 요소기술의 융합을 통한 헬스케어 디지털 트윈 구현 고도화를 목표로 기술개발이 추진되고 있음

- 헬스케어 디지털 트윈은 인체 복잡성으로 인해 표준모델을 구축하고 임상 신뢰성 확보에 상당한 시간과 노력이 필요하므로, 기존 요소기술을 활용하여 기술융합을 통한 구현 고도화를 목표로 기술개발이 추진되고 있음

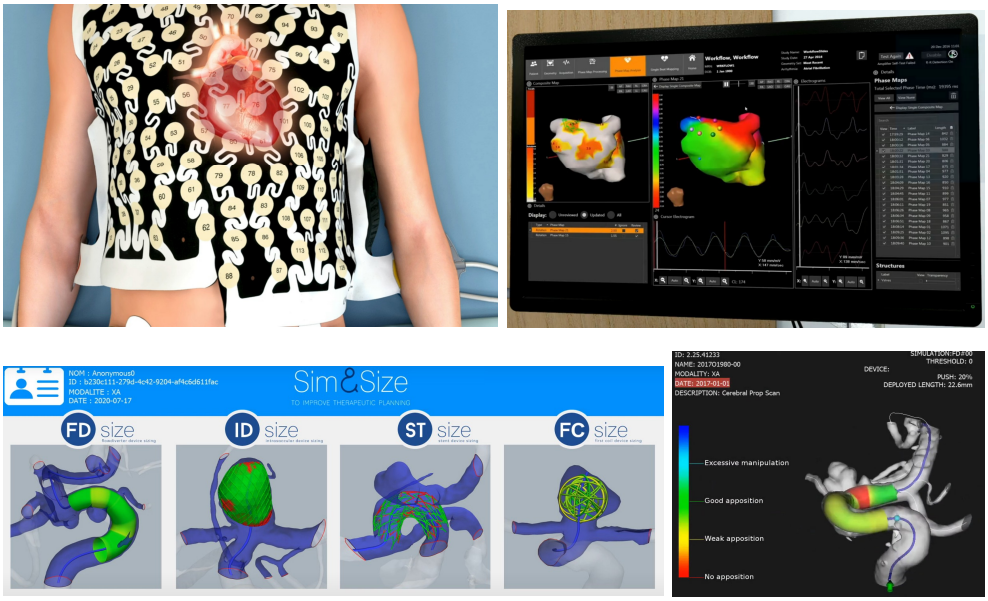
15) 여러 위치에 분산 저장된 데이터를 직접 공유하지 않고 서로 협력하여 인공지능 모델을 학습할 수 있는 분산형 머신러닝 기법

16) 다양한 정보시스템, 장비 및 응용프로그램 등 조직, 지역 및 국가 내 또는 국가 간 조직화된 방식으로 데이터에 접근, 교환·통합 및 사용될 수 있는 능력을 말함(HIMSS, 2019)

- 목적에 맞는 모델을 구현하기 위해 단일 데이터가 아닌 다양한 정형·비정형 데이터의 실시간 수집·연계·분석이 필요하며, 이 과정에서 적절한 기술융합의 적용이 필요함
  ※ 심장(CT, 심전도 등), 뇌(MRI, 혈류 데이터 등), 근골격계(MRI, 초음파, 근전도, 골밀도 등) 등 특정 질환에 대한 임상적 판단에 필요한 데이터를 활용
- 또한, 적절한 데이터의 수집·연계·분석을 위해 유효성 검사 및 데이터 레이블 지정(annotation)시 임상의의 참여가 필요함

● 인체 일부를 대상으로 하는 인체모사모델은 특정 질환을 대상으로 하며, 2단계 구현 수준으로 진단 및 수술·시술 시뮬레이션 기반 임상의사결정에 주로 활용되고 있음

- 현재 임상에서 사용되고 있는 플랫폼은 심장·뇌질환 등 일부 질환에 국한되어 있으나, 적용 대상 확장 및 질환 예방·관리 차원의 기능을 임상 적용하기 위한 연구가 진행되고 있음
- 영상 데이터와 비선형 데이터 등 임상적 판단에 필요한 데이터를 동시에 매핑하여 구축한 모델이 대다수



* 출처 : (상) Medtronic 홈페이지, (하) Sim&Cure 홈페이지

[그림 6] 환자의 인체 일부 시뮬레이션 예시(심장, 뇌혈관)

● 인체 전체를 대상으로 하는 인체모사모델은 1~2단계 구현 수준으로, 가상 인체의 시뮬레이션 기반 변화에 따른 시술·수술 예후 관리나 치료 프로세스 개선 등 지원

- 특정 질환 환자를 대상으로 하는 모델이 대부분이며, 단순 변화에 따른 데이터 제공이나 예후 관리 차원의 모니터링, 치료법 개선 등 제공 가능한 서비스가 제한적
  ※ 의료데이터만으로 임상현장에서 파악하기 어려운 장기 기능, 크기, 불규칙한 수치 등을 종합적으로 파악해 빠른 임상의사결정 지원 가능

- 기보유한 환자 데이터를 활용하거나 단축 및 간소화된 측정법으로 활용 데이터를 수집하여 가상 인체를 구축하고, 웹이나 클라우드 기반 플랫폼을 통해 시뮬레이션하는 프로세스가 대다수
- 최근 의약품 관련 데이터*를 융합하여 가상인체의 체내 의약품 효능 및 상호작용 시뮬레이션을 통해 개인 맞춤형 복약을 지원하는 솔루션도 개발되어 제공

  * 치료 목적으로 투약한 처방약, 주사약 등의 투여기간, 효과, 부작용, 성분 등에 대한 데이터
- 향후 활용 데이터 누적에 따른 환자의 식단, 수면, 운동 등 생활습관 관리 가이드 제공이나 전주기 관리 플랫폼 개발을 위한 기술 고도화 연구에 주력하고 있음



* 출처 : Q Bio 홈페이지

[그림 7] 환자의 전신 시뮬레이션 예시

- 인구 집단을 대상으로 하는 인체모사모델은 연구 초기 단계로 코로나19 팬데믹을 계기로 활용 서비스 제공 범위 확장을 위한 연구 활성화
  - 기존 인구 집단 대상 인체모사모델 연구는 치료 효율성 향상을 목적으로 특정 질환 환자 집단 대상의 데이터 모델링* 구축에 한정

    * 통계모델링 기반으로, 질환 관련 주어진 개념으로부터 통계분석 학습을 통해 모델을 구축함
  - 코로나19 발생 일부 지역의 확산 시뮬레이션을 통한 감염병 확산 예측 등 1단계 구현 수준의 연구가 진행되었으며, 향후 시뮬레이션 기반 방역체계 구축 등에 활용

    ※ 대부분 질병확산모델(SEIR model), 행위자 기반 모델(ABM Model) 등 다양한 분석 모델을 활용하여 시뮬레이션 모델링을 통해 헬스케어 디지털 트윈 모델 구축함[17)]
  - 데이터 축적으로 공중보건학 차원에서 질병 발생을 추적·관리하기 위한 가상 시뮬레이션 시스템 구축이나 특정 질환의 인구집단 표준(norms) 모델링* 등 활용도 증가 예상

    * 질환 연관 분석이 가능하게 하는 기준 모델로, 특정 조건이나 상태에 따른 질환 예후·예측 등 가능

17) Laubenbacher R, Sluka JP, Glazier JA.(2021). Using digital twins in viral infection. *Science. 371*(6534):1105-1106.

헬스케어 디지털 트윈의 활용 서비스 범위 확장을 위해 다학제·다기관이 참여하는 협동연구 형태의 기술개발도 추진되고 있음

- 인체모사모델 구현에는 여러 기계공학 및 임상학적 접근이 필요하므로, 다학제·다기관이 참여하는 협동연구 형태의 기술개발이 추진되고 있음
  - 복잡한 인체 구현을 위해 연구원, 전문의, 의료기기 개발사, 제약회사 등 다양한 의료분야 주체 및 규제기관(FDA)이 참여한 Dassault System의 'Living Heart Project('14~)'가 가장 대표적이며, 현재 뇌, 인체 구현 및 활용 서비스 확장을 위한 임상연구 솔루션 개발 중에 있음[18)]
    ※ '19년 FDA와의 협업 계약 연장을 통해 새로운 심혈관 장치 승인 근거 디지털 자료로 활용도 검토를 진행 중이며, *In silico* 임상 시험 등을 통해 의료기기의 안전성과 효능을 입증하고, 동물실험이나 필요한 환자 수를 줄이는 것을 목표로 함
  - NTT(일본전신전화주식회사)는 의료건강 비전 공개('20.11)를 통해 개인의 인체 및 심리 상태를 반영한 정밀 가상모델 3단계 수준의 구현을 목표로, 국내외 의료기관, 연구기관, 대학 및 파트너 기업 등과의 협업 및 공동 연구개발 프로그램을 추진 중에 있음[19)]
    ※ ▲요소기술 고도화 ▲기술 융합 ▲생체 데이터 수집·분석의 개발 단계별 전략을 기반으로 연구개발 추진 중

헬스케어 디지털 트윈 활성화를 위해서는 디지털 트윈 기술 자체가 발전할 필요가 있으며, 활용 과정에서 발생 가능한 문제에 대한 한계 및 사회적 우려 존재

- 인체모사모델로 제공 가능한 서비스가 현재 의료서비스와 동등하거나 인정할 수 있는 수준의 임상적 효과를 가지는 것인가에 대한 모델의 임상신뢰성 문제가 대두됨
  - 인체모사모델의 표준모델 구축 및 시뮬레이션 결과를 신뢰하기 위한 통계적 유의성 평가가 어려움
  - 암이나 자가면역질환 등 기전 메커니즘이 명확하게 규명되지 않거나 데이터가 상대적으로 적은 희귀질환의 경우 표준근거모델 부재
- 헬스케어 디지털 트윈 활용 시 오류나 오작동으로 인한 인체에 직·간접적인 피해 발생 가능성에 대한 우려
  - 인체모사모델 활용 시 발생 가능한 문제 식별·대처 등 대응 체계 미비 및 문제 발생 시 책임 소재 명확화 필요성 제기

18) DASSAULT SYSTEMS(2022.1.3.), "Dassault Systèmes to Showcase the Virtual Twin Experience of the Human Body at CES 2022"
19) NTT(2021), 「NTT技術ジャーナル 2021年5月号 VOL.33」.

- 향후 개인의 실시간 상태정보를 연계함으로써 헬스케어 디지털 트윈으로 개인 특성에 따른 맞춤형 헬스케어 서비스 제공을 서비스 최종 단계로 논의되고 있으나, 개인별 인체 전체를 모델링하는 것에는 한계

  - 개인별 인체모사모델의 고도화를 위한 지속적 모니터링 및 데이터 수집에 대한 제도적 한계*, 방대한 양의 활용 데이터 저장 및 유지비용 부담 증가

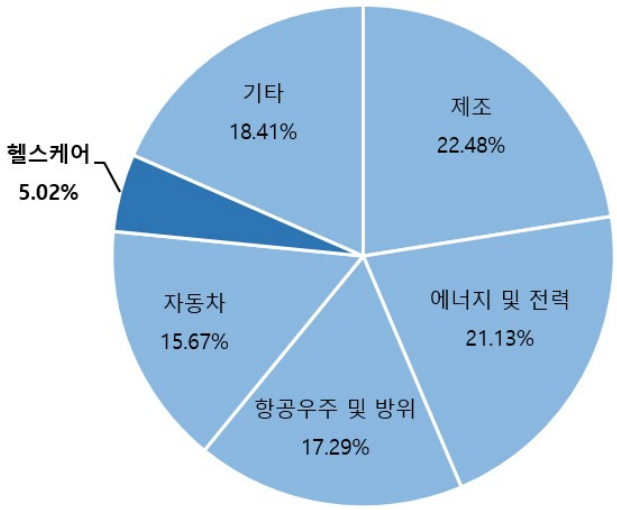
    * 「의료법」상 진료기록 등 개인정보의 보존기간 제한이 명시되어 있으며, 「개인정보보호법」, 「생명윤리법」의 현행법상 '구체적 목적'에 따른 '개별 동의' 제도로 인한 실시간·다기관 개인정보의 생산·수집 한계 등

제3장 산업동향

3.1. 헬스케어 디지털 트윈 시장 규모 및 전망

글로벌 헬스케어 디지털 트윈 시장은 2019년 6억 달러에서 2025년 24억 달러로 연평균 약 26.0%의 성장률 전망[20]

- 글로벌 헬스케어 디지털 트윈 시장 중 미국이 3억 4천만 달러로 가장 큰 시장 규모를 차지('19년 기준)하며, 2025년 13억 5천만 달러로 연평균 약 25.8%의 성장률 전망
- 타 시장보고서에 따르면, 헬스케어 디지털 트윈 시장은 전체 디지털 트윈 시장에서 5.02%로 가장 적은 점유율 차지('18년 기준)[21]하였으나, 코로나19 팬데믹으로 인해 대폭 상승할 것으로 전망[22]



* 출처 : Technavio(2019), 「Digital Twin Market by End-user」.

[그림 8] 분야별 디지털 트윈 시장규모

20) Frost & Sullivan(2019), 「Digital Twins Outlook in Healthcare, 2019-2025」.
21) Technavio(2019), 「Digital Twin Market by End-user」.
22) Markets and markets(2021), 「Digital Twin Market」.

3.2. 주요 기업 및 제품

해외 주요국에서는 헬스케어 디지털 트윈 요소기술 전문기업 주도로 개발한 헬스케어 디지털 트윈 플랫폼을 실제 임상현장에서 사용하는 사례 증가

- 주요 장기 임상 시뮬레이션을 통한 의사결정 지원 서비스 위주로 개발되었으며, 인체 전체, 인체 약물반응성 시험 등을 대상으로 적용 범위 확장

※ 초기 인체모사모델은 디지털 트윈 적용으로 임상적 효과가 가장 높은 인체조직 위주로 선정하였고, 향후 적용 대상 확장하여 개발

〈표 3〉 해외 주요 헬스케어 디지털 트윈 솔루션

기업	제품/플랫폼	적용 대상	설명
Dassault System	SIMULIA Living Heart	인체 일부 (심장)	심장 기능성 시뮬레이션을 통해 환자의 시술 효과 검증 및 신뢰성 예측도 등을 고려한 의사결정 지원 서비스 제공
Exactcure	ExaTwin	인체 전체 (상호작용)	개인 특성에 따른 환자 체내 의약품 효능과 상호작용을 시뮬레이션하여 환자 개인 맞춤형 복약 지원
HeartFlow	HeartFlow FFR_{CT} Analysis	인체 일부 (심장)	심장 기능성 시뮬레이션을 통해 관상동맥 혈액 흐름 계산 등을 고려하여 혈관 조영술 검사 필요 여부 등 의사결정 지원 서비스 제공 ('20년 보험수가 적용)
Medtronic	The CardioInsight™	인체 일부 (심장)	심장 기능성 시뮬레이션을 통해 개인별 부정맥 원인을 해석하는 기술('17년 FDA승인)기반의 적절한 치료 가이드 제공하거나 환자 관리 지원
PHILIPS	Digital Patient	인체 전체	환자의 인체모사모델 구현 및 병원 운영 데이터를 결합하여 적절한 치료 가이드 등의 의사결정 지원 서비스 제공
Q Bio	Q Bio Gemini	인체 전체	바디 스캐너를 통해 헬스케어 디지털 트윈 플랫폼 구축하여 개인 건강관리 지원 서비스 제공
Siemens Healthineers	VirtualHeart (Digital Twin of Heart)	인체 일부 (심장)	특정 환자의 치료 시뮬레이션을 통해 심장 크기, 심박 수축 등을 고려한 적정 치료 가이드 제공
Sim&Cure	Sim&Size™	인체 일부 (뇌혈관)	환자의 뇌동맥류 및 주위 혈관 시뮬레이션을 통해 수술 관련 의사결정 지원 서비스 제공
Twin Health	Whole Body Digital Twin™	인체 전체 (신진대사)	당뇨병 환자의 헬스케어 디지털 트윈을 구축하여 시뮬레이션 기반의 치료 보조 및 영양학적 가이드 제공

국내에서 헬스케어 디지털 트윈 개념으로 식약처 인허가를 받은 플랫폼이나 서비스 형태는 없으나, 일부 기업에서 정부R&D 과제를 통해 병원·연구기관과 협업하여 헬스케어 디지털 트윈 관련 연구개발 진행 중

- 이에이트의 엔플로우(NFLOW)는 환자 CT나 MRI 등 영상데이터를 활용하여 가상 혈관 내 유체 시뮬레이션을 통해 혈관 질환 진단, 스텐트 시술 필요 여부 판단 등 정확한 임상결정을 위한 임상의사결정지원 플랫폼 개발 추진[23)]
  - 자체 개발한 3D CFD* 소프트웨어 엔플로우를 헬스케어 분야에 적용하여, 인체 주요 혈관 흐름을 가상 시뮬레이션하여 혈관 질환 진단 및 시술 필요여부를 판단하는 기술 개발
    * CFD(Computational Fluid Dynamics)는 유체 흐름을 컴퓨터를 이용한 계산으로 예측하는 기술로, 엔플로우는 기존 2D 격자(mesh) 방식이 아닌 3D 입자 기반 기술을 독자 개발하여 전처리 과정을 줄이고 해석 고도화함
  - 세브란스병원, 중앙보훈병원, 서울대병원 등과 협업하여 가상 혈관 내 유체 시뮬레이션 기반 진단 보조 소프트웨어 시제품 출시를 위한 임상시험 중에 있음

- 리메드는 뇌손상으로 인한 신경근골격계질환 환자의 가상 근골격계를 구현하여, 인체 특성을 고려한 시뮬레이션 기반 운동 가이드 제공, 질환 진단 및 치료 보조하는 헬스케어 디지털 트윈 기술개발 중에 있음[24)]
  - 자체 개발한 의료장비·실시간 영상화 기술을 활용하여 헬스케어 디지털 트윈 기술개발 중
    ※ 한국전자통신연구원(ETRI) 주관, 분당서울대병원 등과 협력하는 정부과제 '의료수준 전신 헬스케어 디지털 트윈 핵심 기술개발' 프로젝트에 해당

- 라이프시맨틱스는 고령자들의 감각저하에 따른 당뇨병성 만성피부질환 치료제 개발 목적으로 피부조직, 혈관 등을 가상으로 구현하여 진단하고 분석하는 헬스케어 디지털 트윈 플랫폼 구축 개발 중에 있음[25)]
  - 자체 개발한 디지털헬스 플랫폼 'LifeRecord'에 환자의 모든 데이터를 접목시킨 데이터를 활용하여 기술개발 중이며, 해당 데이터 수집 및 검증을 선행
    ※ ERTI, 분당서울대병원, 연세대, 광일섬유 한국광기술원 등과 함께 공동 연구 개발하는 국책과제에 해당

- 메디컬 아이피의 3D 모델링 소프트웨어 메딥프로(MEDIP PRO)*를 활용하여 측정 및 검사한 데이터를 3D 프린팅 제품 아낫델(ANATDEL)로 제작하여, 수술 계획 수립, 시뮬레이션, 의학 연구 등에 활용[26)]
  * 의료영상처리 및 세그멘테이션(segmentation) 기술로 3D 가상 모델로 재구성하는 소프트웨어

23) 이에이트 홈페이지, https://e8ight.co.kr/product/nflow/#section10
24) 리메드 홈페이지, http://remed.kr/board/board.php?bo_table=news&idx=8
25) 라이프시맨틱스 홈페이지, https://lifesemantics.kr/media/press/497
26) 메디컬 아이피 홈페이지, https://medicalip.com/

제4장 정책동향

해외 주요국에서는 제조·도시 분야에 디지털 트윈을 적용하는 정책을 적극 추진 중이며, 헬스케어 디지털 트윈의 경우 일부 연구개발 프로그램을 통해 지원

- 해외 주요국에서는 헬스케어 디지털 트윈 도입의 기반이 되는 의료데이터 상호운용성 개선을 위한 데이터 표준화 프레임워크 추진, 규제 완화 등을 적극 지원
  - 의료기기 및 의료데이터 활용 관련 지속적인 규제 완화를 통한 연구개발 촉진과 의료서비스 질 향상을 추구
    ※ (美) 21st Century Cures Act('16), Digital Health Technology Plan('17), CPRSA Act('20) (EU) GDPR('18), DGA('20), (日) 개인정보보호법 개정('17), 차세대의료기반법('18), (中) 인터넷+의료건강('18)
  - 사용자 중심의 의료데이터 플랫폼 구축과 HL7[27]에서 개발한 차세대 의료정보 표준 프레임워크인 FHIR를 도입하여 의료데이터 접근성 확대와 공유 및 안정성 지원
    ※ (美) 블루버튼 이니셔티브('14~), (EU) EU4Health('21~'27)[28] 내 '유럽 의료데이터 공간(EHDS)[29] 프레임워크, (日) PeOPLe[30]

- 미국은 디지털 트윈 요소기술을 헬스케어 분야에 적용하기 위한 정부 차원의 연구개발이 진행되고 있으며, 의료데이터 활용을 활성화하고 산·학·관 선순환 생태계 구축을 위한 협력 중시
  - 국가과학기술위원회(NSTC) 주관의 네트워킹 및 정보기술 연구개발(NITRD)프로그램을 통해 헬스케어 분야에 인공지능, 빅데이터 분석, 클라우드 등 요소기술의 적용을 위한 연구개발 집중지원[31]
    ※ 환자중심 임상연구 인프라 강화를 위한 머신러닝 연구, 정밀의학에 사용가능한 멀티모달 데이터 통합 모델링 및 예측 분석 플랫폼 연구개발, 의료데이터 상호운용성을 위한 AI 기술 검증 등 NIH, NSF, ONC 등이 참여하여 연구개발 진행

---

27) Health Level 7로, 이기종 의료정보시스템 간 정보 호환이 가능하도록 표준을 제정하기 위해 조직된 국제 표준화 기구
28) 4차 EU 보건프로젝트(Health Programme) 중장기 계획으로, EU회원국 건강 증진, 질병 예방, 보건 역량 강화, 의료디지털화 등을 목표로, 7년간 총 51억 유로 투자 예정
29) European Commission(2022), 「A European Health Data Space: harnessing the power of health data for people, patients and innovation」.
30) PeOPLe共創·活用コンソーシアム 홈페이지, https://www.people-tonomachi.com/consortium/
31) NITRD.GOV(2021), 「SUPPLEMENT TO THE PRESIDENT'S FY2022 BUDGET」.

- EU의 헬스케어 디지털 트윈 관련 연구개발은 회원국의 공동 협력으로 지원되는 대규모 연구혁신 지원 프로그램인 Framework Programme(FP)을 통해 수행함
  - Horizon 2020(8차 FP) 내 프로젝트를 통해 정밀의료 실현을 위한 빅데이터 활용 및 표준화 연구 프로젝트, 헬스케어 분야에 디지털 트윈을 적용하는 기술개발 프로젝트 진행
    ※ MeDiTATe, 동맥류 환자별 예방 및 치료를 위해 최첨단 이미지(state-of-the-art image) 기반 의료 디지털 트윈 기술개발('20~'23, 51억 원)[32]
    DIGIPREDICT, 코로나19 진단 방법 개선하는 디지털 트윈 기술개발('21~'24, 81억 원)[33]
  - Horizon Europe(9차 FP) 내 프로젝트를 통해, 맞춤의료, 원격의료 실현을 위한 기술개발 프로젝트, 헬스케어 분야에 디지털 트윈 적용하는 기술개발 프로젝트 진행 예정[34]
    ※ 디지털 트윈 등 데이터 기반 의사결정지원 도구 개발 프로젝트, 디지털 트윈 및 계산 모델링의 RWD·결과데이터 표준근거 마련 프로젝트 진행 예정

- 영국은 국민보건서비스(NHS)라는 단일화된 의료제도를 통해 지속적인 전략 수립을 해왔으며, 차세대 헬스케어 서비스 실현을 위한 민관협약 기반의 프로젝트 진행
  - Genome UK('21~'30)[35]를 통해, 일상적 치료의 일환으로 전세계 최초로 전장 유전체 분석(Whole - Genome Sequencing) 기반 국가의료시스템 구축 예정이며, 50만 개의 전체 게놈 서열화를 목표로 다양한 프로젝트 진행
  - 차세대 의료서비스 제공을 위해 NHS 장기계획(NHS LTP)[36] 등을 통해 의료·헬스케어 분야에 AI, IoT 등 디지털 기술을 적용하는 연구개발에 집중 투자
    ※ 개인 맞춤형 헬스케어 서비스 제공, AI, IoT 등 디지털 기술을 적용한 비대면 진료 서비스 제공 등을 목표로 함

- 일본은 일본의료연구개발기구(AMED) 내 다양한 프로젝트를 통해 정밀의료 실용화를 위한 연구개발 집중 지원[37]
  - AMED의 '게놈 및 건강 관련 데이터' 프로젝트 등 다양한 프로젝트를 통해 개인 맞춤형 의학 실현을 위한 유전체 데이터 인프라의 개발 및 활용을 촉진하고, 의료데이터 기반 질병의 예방, 진단, 치료에 기여하는 연구개발 진행
    ※ AMED 설립('15) 이후, 게놈 의료 실현 추진 협의회 구성을 통해 다양한 질환을 대상으로 지속적인 연구 진행

32) European Commission CORDIS 홈페이지, https://cordis.europa.eu/project/id/859836
33) DIGIPREDICT Project 공식 홈페이지, https://www.digipredict.eu/
34) European Commission(2022), 「Horizon Europe Work Programme 2021-2022 4.Health」.
35) GOV.UK(2020), 「Genome UK: the future of healthcare」.
36) NHS(2019), 「NHS Long Term Plan」.
37) AMED 공식 홈페이지, https://www.amed.go.jp/en/program/index.html

- AMED는 차세대 의료시스템 구축을 위해 의료·헬스케어 분야에 AI, IoT, 5G 등 디지털 기술을 융합하는 연구개발 프로젝트에 지속적 투자

  ※ 임상 및 의료연구를 위한 AI·ICT 인프라 구축 및 구현 프로젝트, 의료데이터 활용 인프라 고도화 프로젝트(치매 AI 및 IoT 시스템 연구) 등

- 중국은 지속적 정책을 통해 헬스케어 분야와 디지털 기술 융합을 광범위하게 추진하여 산업에 적극적으로 활용함

  - 첨단 기술 융합을 기반으로 제조 강국이 되기 위한 '중국제조 2025('15~'25)[38]' 정책을 통해 개별 맞춤형 치료 연구 등 신기술의 혁신응용을 추진

  - 정밀의료 발전계획[39]을 통해 100만명 코호트 구축, 병원·기업 등과 연계해 맞춤형 의료 서비스 등 프로젝트 추진 중에 있으며, 총 600억 위안 투자 계획

  - 건강 중국 2030[40]을 통해 건강정보 빅데이터 플랫폼 구축, 정밀의학, 지능형 의료 등 기술 혁신강화와 공동 네트워크 건설을 함께 추진

  - 14차 5개년 국가정보화계획('21.12)[41], 디지털 경제 발전 규획('22.1)[42]을 통해 디지털 트윈을 포함한 분야별 산학연 공동 혁신 플랫폼 구축 및 기술혁신 추진, 기반기술 집중 육성 계획 발표

    ※ 집중 지원 분야로는 디지털 트윈, 스마트 제조, 엣지 컴퓨팅, 뇌-기계 인터페이스(BMI) 등이 있음

우리나라는 포스트코로나 시대 대응과 위기 극복 차원에서 디지털 트윈 활용 분야별 R&D 투자 확대를 통한 연구개발 프로그램 지원

- '한국판 뉴딜' 내 과제, '디지털 트윈 활성화 전략('21.9)[43]'을 통해 정부 차원의 디지털 트윈 발전 계획 수립하여 기술 경쟁력 강화를 위한 연구개발 지원 확대

  - 의료분야의 경우, 디지털 트윈 기반의 맞춤형 정밀의료 지원을 위한 트윈 기반 재활훈련, 실감 상호작용 치료제, 임상 시뮬레이션 기술개발 지원

    ※ 고정밀 트윈 생성 및 시뮬레이션 개발('21~), 3대 XR 트윈 핵심기술 개발('22~), 가상 임상시험 시뮬레이션 체계 개발('22~)

38) 国务院_中国政府网(2015),「国务院关于印发《中国制造2025》的通知」.
39) 生物谷(2015.10.14.), "中国将启动精准医疗计划2030年前投入600亿"
40) 中国政府网(2016.10.25.), "中共中央 国务院印发《"健康中国2030"规划纲要》"
41) 中央网络安全和信息化委员会(2021),「"十四五"国家信息化规划」.
42) 国务院(2022),「"十四五"数字经济发展规划」.
43) 관계부처 합동(2021),「디지털 트윈 활성화 전략」.

- 제29차 4차산업혁명위원회에서 헬스케어 분야 디지털 트윈 도입 활성화를 위해 제시한 '헬스케어 디지털 트윈 활성화 방안 제언('22.4)'[44]을 바탕으로 관계부처 R&D 사업에 반영하여 핵심기술개발 추진

  - 4차위 논의 내용으로, 헬스케어 디지털 트윈 도입 활성화를 위한 활용모델 사례 및 헬스케어 디지털 트윈 구현을 위한 데이터 연계·활용 방안 등 제시

    ※ (활용모델) 환자의 실시간 상태·건강 정보를 연계하는 라이프케어 트윈(Lifecare Twin), 인체 장기 수준의 트윈을 구현하는 서지컬 트윈(Surgical Twin)을 활용 모델로 검토
    (데이터 연계·활용) '마이 헬스웨이' 구축 시 활용 데이터 항목 및 표준화 등을 연계하여 헬스케어 디지털 트윈에 활용하는 방안 추진

  - 보건복지부의 '실사용데이터(RWD) 기반의 메디컬트윈 기술개발' 과제를 통해, 다기관·다학제가 참여하는 한국인 다빈도 질환 특화 디지털 트윈 기반의 의료 예측기술을 개발하고 실제 임상현장에서 검증 추진

  - 과기정통부는 만성질환 관리 중심 헬스케어 디지털 트윈 핵심기술개발 추진

    ※ (당뇨) 1형 당뇨병 환자 대상으로 연속 혈당 및 라이프로그 기반의 환자 트윈 모델 및 생활 개선 유도 기술개발('22~'25, 총 50억 원)
    (심혈관 질환) 심혈관계 생체신호 기반 트윈 모델 및 시스템 구축, 이를 활용한 비대면 심혈관계 질환 예측 및 치료 시스템 개발('22~'25, 총 50억 원)

44) 4차산업혁명위원회(2022), 「헬스케어 디지털 트윈 활성화 방안 제언」.

제5장 R&D 투자동향

① 디지털 트윈 전반에 대한 지난 5년간 정부 R&D 투자동향을 파악하기 위해 NTIS 과제 중 “디지털 트윈”이라는 용어를 과제명 또는 과제요약 등에 포함한 과제를 추출하여 분석
② 세부적으로 헬스케어 관련 디지털 트윈을 연구하는 과제를 심층 분석하기 위해 과제명, NTIS 키워드 검색* 후 과제명, 과기표준분류 등을 검토하여 관련 과제를 추출하고 분석함
* 과제검색키워드: 디지털 트윈|가상현실|디지털 헬스|AR, VR + 심장, 혈관, 골격, 인체, 수술|실시간|가상환자|아바타

5.1. 「디지털 트윈」분야 정부R&D 투자동향

최근 5년간(2017~2021년, 이하 동일) 디지털 트윈 관련 정부R&D 투자*는 6,836억 원으로, 연평균 171% 성장

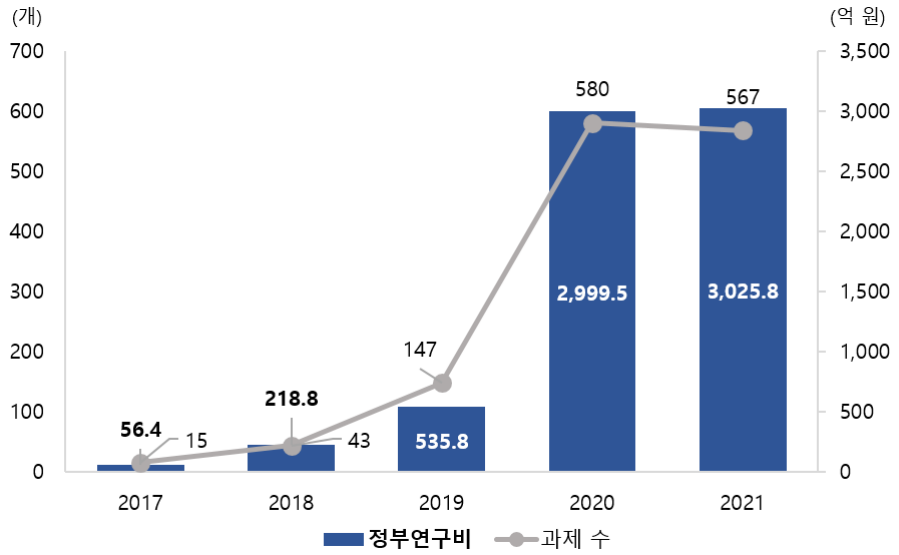
* 과제명 및 과제요약문(연구목표, 연구내용, 기대효과)에 “디지털 트윈” 또는 “digital twin”을 포함한 과제 대상으로 분석

- 최근 5년간 정부연구비는 53.6배, 과제 수는 37.8배로 모두 급증하고, 2020년에 정점에 도달하여 유사한 양상

  – 해당 분야에 대한 정부 투자 증가 외에도 관련 연구에 대해 “디지털 트윈”이라는 용어를 본격적으로 활용하게 된 것도 정부연구비 및 과제 수 급증의 주요한 원인으로 예상

  ※ “디지털 트윈” 이라는 용어는 2010년(美 NASA) 최초 도입되었으나, 본격적으로 사용된 것은 2016년(General Electronics社)부터이며, 일반화된 것은 2019년 시점에 해당[45)]

45) 한국과학기술정보연구원(2020), 「공학 시뮬레이션 기반 디지털 트윈」.



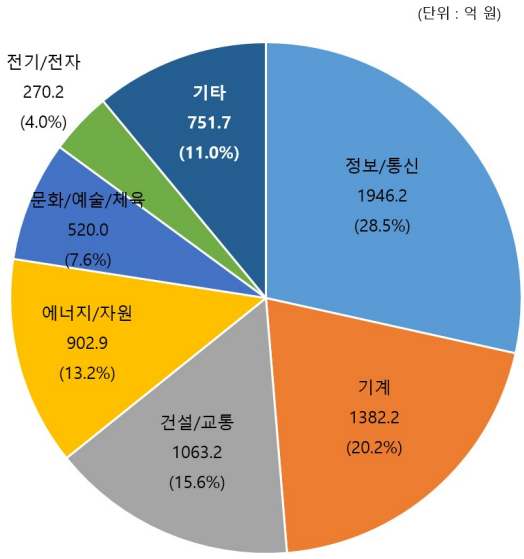
[그림 9] 디지털 트윈 관련 정부 연구비 및 과제 수

최근 5년간 디지털 트윈 관련 과제의 기술 분야별* 정부연구비는 정보/통신(28.5%), 기계(20.2%), 건설/교통(15.6%) 순이며, 헬스케어 디지털 트윈 관련 과제는 기타(11.0%)에 포함

* 해당 과제의 과학기술표준분류 대분류(1순위) 기준

- 헬스케어 디지털 트윈과 연관된 분야인 보건의료와 생명과학에 대한 5년 간 정부 연구비는 각각 44.9억 원(0.7%)과 4.5억 원(0.07%)로 미미한 수준임

※ 과제명과 과제요약에 “디지털 트윈”이라는 용어가 사용된 과제 중 과기표준분류 대분류 상 1순위가 보건의료 또는 생명과학인 과제만 집계한 결과



[그림 10] 디지털 트윈 관련 과제 정부 연구비 분야별 분포

5.2. 「헬스케어 디지털 트윈」분야 정부 R&D 투자동향

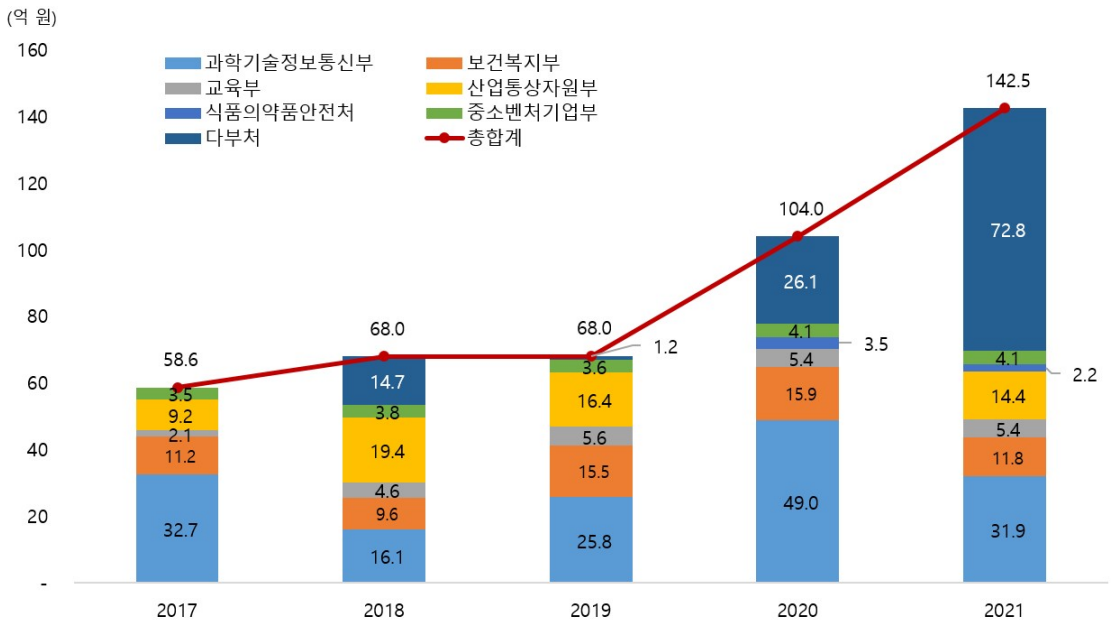
헬스케어 디지털 트윈 분야와 관련된 정부R&D 과제*를 심층 분석한 결과, 5년간 총 441억 원 투자

* 환자 개인 맞춤형 수술 지원을 위한 3D 시각화 등 디지털 트윈과 관련되어 있으나 "디지털 트윈" 용어를 사용하지 않은 과제를 포함하기 위해 VR, AR, 아바타 등 검색 키워드를 폭넓게 설정한 후 과제 정보에 따라 관련 여부를 판단

※ 본고에서는 의료기기, 병원 등을 대상으로 한 인프라 활용모델을 제외하고, 환자의 인체 일부 또는 전체를 모사는 인체모사 모델이나 이와 연관된 요소기술로 한정

- 헬스케어 디지털 트윈 관련 정부연구비는 '17년 58.6억 원에서 '21년 142.5억 원으로 연평균 24.9% 증가

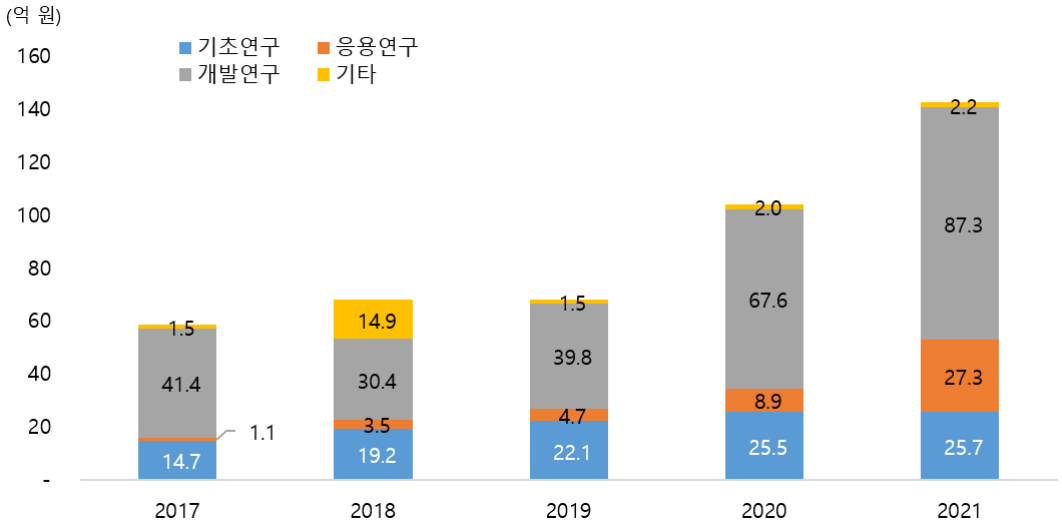
- 최근 5년간 부처별 연구비는 과기정통부, 다부처, 보건복지부, 산업통상자원부 순이며, 다부처는 2020년 이후 급증



[그림 11] 「헬스케어 디지털 트윈」분야 정부 연구비 부처별 분포

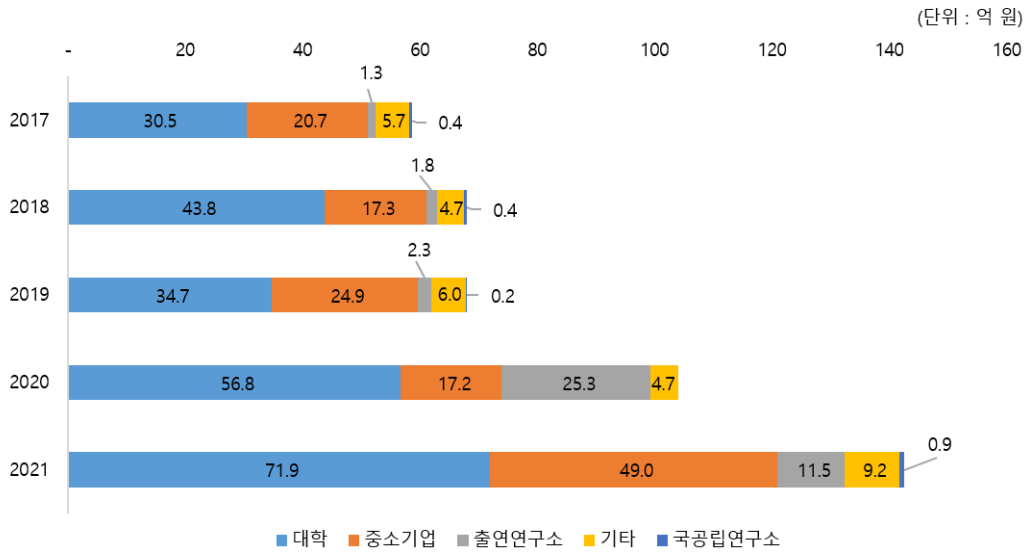
최근 5년간 헬스케어 디지털 트윈 관련 연구개발 중 연구수행단계별로는 개발단계, 연구수행주체별로는 대학에 가장 많이 투자

- 최근 5년간 연구수행단계별 정부R&D 투자는 개발연구(266.4억 원, 60.4%)에 가장 많이 투자하였고, 해당기간 응용연구에 대한 정부 연구비가 24.8배로 타 단계 대비 가장 큰 폭으로 증가



[그림 12] 「헬스케어 디지털 트윈」분야 연구수행단계별 정부 R&D 투자 추이

- 연구수행주체별 정부연구비는 대학에 가장 많이 투자(237.7억 원, 53.9%)하였고, 중소기업(129.0억 원, 29.2%), 출연연(42.3억 원, 9.6%) 순



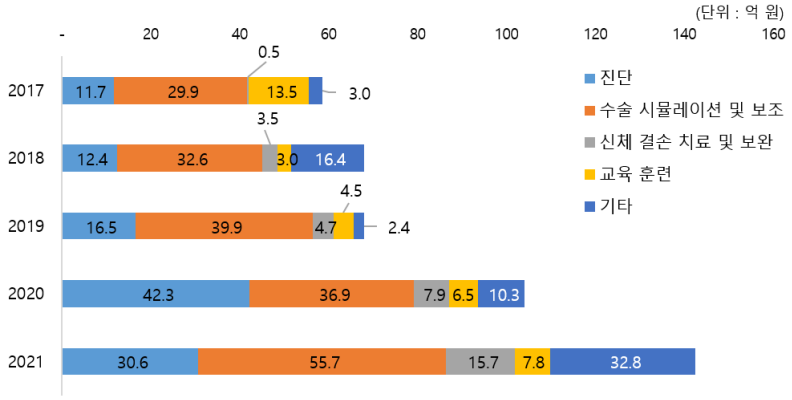
[그림 13] 「헬스케어 디지털 트윈」분야 연구수행주체별 정부 R&D 투자 추이

최근 5년간 헬스케어 디지털 트윈 관련 연구의 활용 목적은 수술 시뮬레이션 및 보조가 가장 많았고, 모사 범위는 인체 일부 모사에 집중

- 연구 활용 목적 중에서는 수술 시뮬레이션 및 보조(195억 원, 44.2%)가 가장 큰 비중 차지하였고, 진단(113.6억 원, 25.7%), 기타*(65.0억 원, 14.7%), 교육 훈련(35.3억 원, 8.0%), 인체 결손 치료 및 보완(32.3억 원, 7.3%) 순

  * 중환자 케어 및 응급처치, 정신건강, 인체균형, 감각 보완 및 건강관리 등을 포함

  - 증가 추이로 보면, 신체 결손 치료 및 보완(31.1배), 기타(10.8배), 진단(2.6배), 수술 시뮬레이션 및 수술보조(1.9배), 교육훈련(0.6배) 순

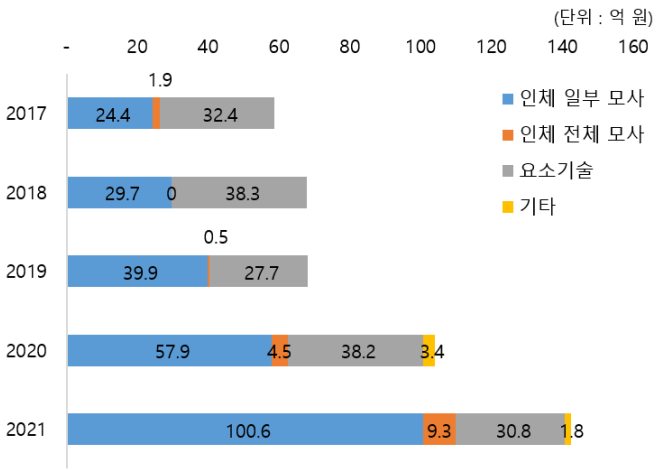


[그림 14] 「헬스케어 디지털 트윈」분야 연구활용 목적별 정부 R&D 투자 추이

- 모사 대상의 범위별로는 인체 일부* 모사(252.5억 원, 57.2%), 여러 대상에 적용 가능한 요소기술(167.4억, 37.9%), 인체 전체에 대한 모사(16.1억 원, 3.7%), 인체 모사 이외의 목적을 가진 기술**(5.2억 원, 1.2%) 순

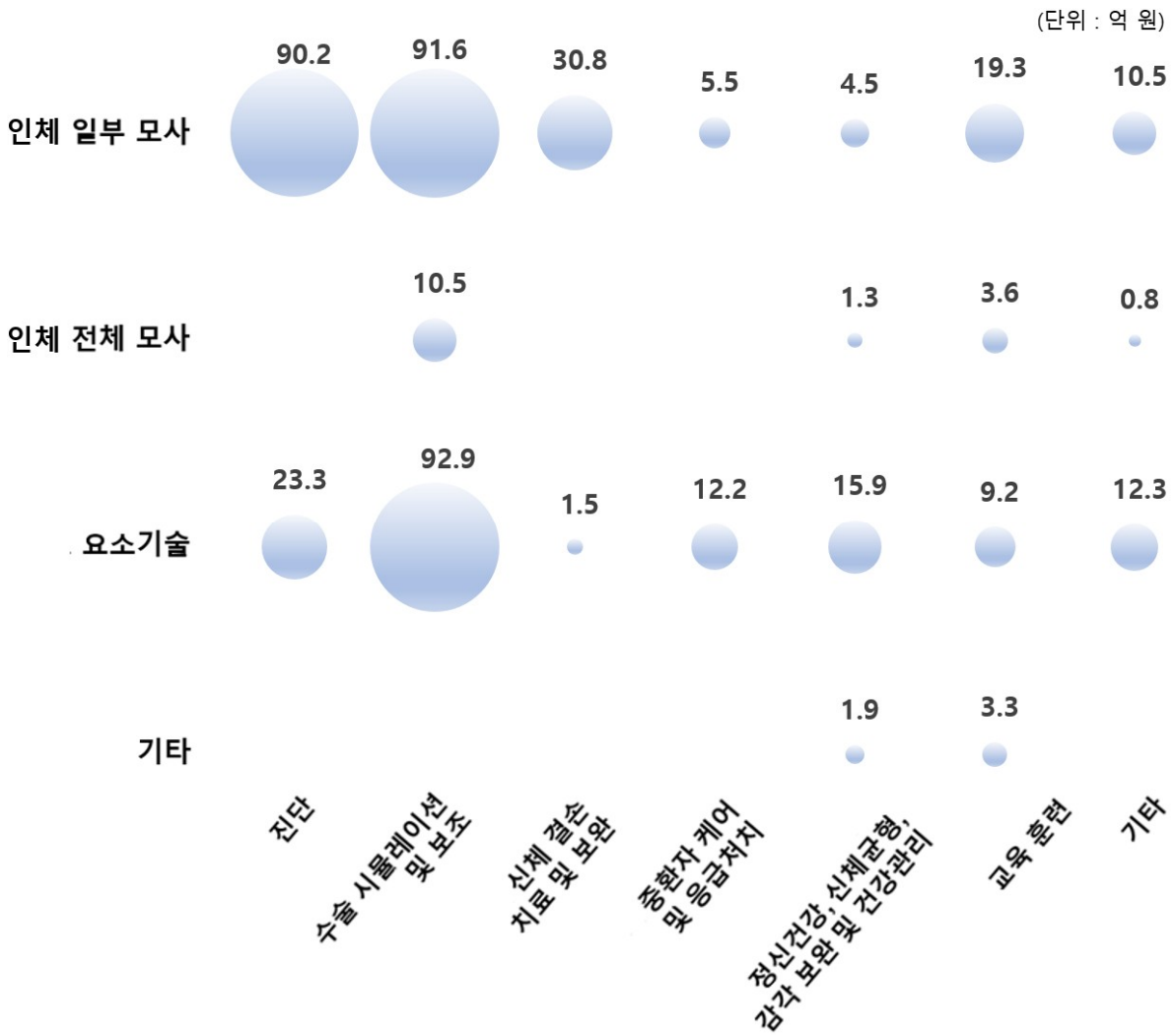
  * 골격, 두개골, 장기, 심혈관, 뇌동맥, 구강 등

  ** 감정 및 정신 건강 모니터링을 위한 디지털 트윈 등



[그림 15] 헬스케어 디지털 트윈 모사범위별 투자 추이

- 연구 목적과 모사 대상을 교차 분석한 결과, 요소기술 대상-수술계획 및 보조 목적이 92.9억 원(21.0%)으로 가장 많았고, 인체 일부 대상-수술 계획 및 보조 목적 91.6억 원(20.8%), 인체 일부 대상-진단 목적이 90.2억 원(20.5%) 순으로 투자



[그림 16] 연구 목적과 모사 대상에 대한 교차 분석

- 최근 5년간 헬스케어 디지털 트윈 관련 정부 연구비를 투입한 주요 사업은 개인기초연구, 범부처전주기의료기기연구개발사업, 혁신성장동력프로젝트 순

〈표 4〉「헬스케어 디지털 트윈」관련 주요 정부R&D 사업(상위 12개 사업)

사업명	부처명	정부 연구비(단위: 백만 원)(%)
개인기초연구	과기정통부	10,312(23.4%)
	교육부	
범부처전주기의료기기연구개발사업	다부처	8,505(19.3%)
혁신성장동력프로젝트*	다부처	4,919(11.2%)
심혈관계질환첨단의료기술 가상훈련시스템 기술개발	복지부	2,277(5.2%)
의료기기기술개발	복지부	2,148(4.9%)
창업성장기술개발	중기부	1,776(4.0%)
첨단융복합콘텐츠기술개발	과기정통부	1,643(3.7%)
시스템산업거점기관지원	산업부	1,344(3.0%)
지역혁신클러스터육성	산업부	991(2.2%)
인공지능바이오로봇의료융합기술개발	다부처	920(2.1%)
창의산업미래성장동력	산업부	920(2.1%)
기타	-	8,358(18.9%)
총합계	-	44,113(100.0%)

* 선행사업인 국가전략기술개발사업 포함

- 최근 5년간 정부 연구개발사업 수행 연구기관은 서울대, 연세대 등 대학교와 한국과학기술연구원, 한국전자통신연구원 등 출연연이 상위를 차지

〈표 5〉「헬스케어 디지털 트윈」정부R&D 사업 주요 수행기관(상위 12개 기관)

기관명	분류	정부 연구비(단위: 백만 원)(%)
서울대학교	대학	5,874(13.3%)
연세대학교	대학	4,572(10.4%)
한국과학기술연구원	출연연	1,741(3.9%)
한국전자통신연구원	출연연	1,643(3.7%)
부산대학교	대학	1,505(3.4%)
대전대학교	대학	1,344(3.0%)
㈜엘비전테크	중소기업	1,342(3.0%)
㈜실리콘사피엔스	중소기업	1,213(2.7%)
대구경북첨단의료산업진흥재단	기타	1,177(2.7%)
㈜토탈소프트뱅크	중소기업	1,100(2.5%)
이화여자대학교	대학	1,068(2.4%)
성균관대학교	대학	1,033(2.3%)
기타	-	20,500(46.5%)
총합계	-	44,113(100.0%)

제6장 결론

6.1. 요약 및 정리

4차 산업혁명과 디지털 전환의 핵심 기술 중 하나로 디지털트윈 기술이 급부상하면서 그 일환으로 헬스케어 디지털 트윈에 대한 관심 증가

- 4차 산업혁명 및 코로나19 팬데믹으로 디지털 전환이 가속화됨에 따라 산업 全분야에 적용 가능한 디지털 트윈이 핵심 기술로 급부상
- 주요국은 산업별 디지털 전환을 위해 디지털 트윈을 적용하는 정책을 추진하고, 그 일환으로 헬스케어 디지털 트윈을 지원하는 연구개발 프로그램을 운용 중

  ※ 활용 데이터 상호운용성 개선을 위한 프레임워크, 규제 완화 등의 지속적인 지원을 통한 헬스케어 디지털 트윈의 현장 적용 기반 마련

- 디지털 트윈 기술을 의료데이터와 접목한 헬스케어 디지털 트윈은 맞춤형 정밀의료, 혁신적인 건강관리 서비스 제공 등 최근의 헬스케어 분야 변화 추세와 흐름을 같이 하고 있음
- 우리나라도 「디지털 트윈 활성화 전략('21.9)」, 「헬스케어 디지털 트윈 활성화 방안 제언('22.4)」을 통해 헬스케어 분야에 디지털 트윈 적용 방안을 제시

현재 헬스케어 디지털 트윈은 인체 일부 혹은 특정 질환자를 대상으로 하는 인체모사모델 위주로 적용 중이며, 의료행위 관련 의사결정에도 기여하는 등 산업화 움직임이 점차 활발해 지고 있음

- 헬스케어 디지털 트윈은 높은 기술 난이도와 법적·윤리적 이슈 등으로 인해 초기 단계 수준
  - 헬스케어 디지털 트윈은 인체 특유의 복잡성과 다양성으로 인해 타 산업분야 대비 높은 기술적 수준을 요구하며, 궁극적인 목적에 부합한 인체모사모델인 개인별 인체 전체를 모델링하는 것은 여전히 한계 존재

- 헬스케어 디지털 트윈은 실시간 동기화 및 지속성 기반의 모니터링·데이터 수집을 통한 예측과 전주기 관리가 가능하므로, 단순 의료행위 보조 성격인 기존 헬스케어 융합 디지털 기술 보다 높은 경제적 부가가치와 파급효과 예상

- Siemens Healthineers(獨), Medtronics(美) 등 글로벌 의료기기·IT 기업들이 이미 헬스케어 디지털 트윈 시장에서 인지도를 높여가고 있으며, 보험수가 적용 등으로 실제 의료현장 활용도 증가

- 국내에서도 일부 기업 및 병원에서도 헬스케어 디지털 트윈 모델을 개발 중이나, 기술적·제도적 장벽으로 시제품 제작 등 초기단계 연구 위주로 진행 중임

최근 5년간('17~'21) 국내 헬스케어 디지털 트윈 정부R&D 투자는 총 441억 원으로, 2020년 기점으로 급증하였으나 절대적인 투자 규모가 크지 않고 특정 활용목적에 집중되어 향후 지속적인 노력 필요

- 최근 5년 간 헬스케어 디지털 트윈 R&D는 개발연구단계에 60.4% 투자되었고 연구수행 주체는 대학이 53.9%로 가장 많은 비중 차지

- 최근 5년 간 헬스케어 디지털 트윈 관련 연구의 활용목적은 수술 시뮬레이션 및 보조가 44.2%로 가장 많았고, 모델의 모사범위는 57.2%로 인체 일부에 집중

- '20년 신규과제를 지원한 범부처전주기의료기기개발사업(85억, 19.3%)은 2020년 기점으로 헬스케어 디지털 트윈 정부 R&D 투자 규모 급증에 가장 주요한 요인으로 분석되며, 5년간 수행된 개인기초연구사업(103억 원, 23.4%) 다음으로 큰 비중 차지

6.2. 시사점

향후 헬스케어 디지털 트윈의 활용가치와 발전가능성을 고려하여 디지털 트윈 기술을 인체에 적용하기 위해 임상을 고려한 기술 고도화 및 장기적 관점의 기술개발 전략이 요구됨

- 헬스케어 디지털 트윈 구현의 궁극적인 목적은 실시간 3D 가상 시뮬레이션을 통한 모니터링 및 예방, 맞춤형 치료, 전주기 관리 등 다양한 의료서비스 제공이므로, 정확하게 인체모사 모델을 생산·분석·가시화하기 위한 기존 기술 고도화 필요

- 우리나라는 ICT 강국으로 디지털 트윈 적용을 위한 기본적인 기술역량을 보유하고 있으나, 해외대비 의료기기 관련 기술역량 부족* 등 헬스케어 디지털 트윈 기술개발 및 의료현장 적용을 위한 역량이 절대적으로 부족

  * 국산 의료기기 비중은 종합병원 18.9%, 상급종합병원 11.3%에 그쳐 의료기기 국산화가 미진하여 디지털 트윈으로의 접목이 어려운 환경

- 헬스케어 디지털 트윈의 실시간 및 양방향성 공유·연계 기반 특성상 인체 임상을 고려한 장기적 관점의 기술개발 전략 필요

※ 헬스케어 디지털 트윈은 의료 빅데이터의 실시간 및 양방향성 공유·연계 기반의 인체모사모델을 구현하여 상호·제어하는 프로세스이므로, 타 분야 대비 현장 적용에 상당한 시간과 노력 필요

- 적용 대상 및 임상의사결정지원, 전주기 관리 등 목적에 따라 지속적인 데이터 수집 빈도, 양 등 측정 지표에 대한 근거, 필요한 임상 지표 등 상이

  ※ (임상의사결정지원 모델) 영상데이터, EMR 등 의료데이터 뿐만 아니라 해부학적 구조 및 외부 개입으로 인한 대응 차원의 인체 변화에 대한 실시간 반영 필요

  ※ (전주기 관리 모델) 개인 의료데이터뿐만 실시간 연동 가능한 플랫폼(어플리케이션 등)에서 혈당, 운동량, 심전도, 심박수 등 개인건강데이터를 수집하여 반영 필요, 특정 질환 발생여부에 따라 수집 기간, 빈도 등 고려해야 할 경우의 수가 다양함

- 해외 사례와 같이 국내에서도 헬스케어 디지털 트윈 솔루션이 건강보험 적용 대상이 되기 위해 기술개발과 의료현장 적용 단계까지 단계별 체계적인 접근 필요

- 현재 해외에서 이미 상용화가 진행 중인 제한적 인체모사모델에 대해서도 의료기기로 허가 승인 되기 위해 필요한 가이드라인* 등 체계 부족

  * 근거 데이터 관련 용어 정의, 신유형 데이터에 대한 표준화, 3D 형상의 표준타입 선정, 제조사·기기별 측정차를 고려한 측정값 보정 마련 등

국내 헬스케어 분야에서의 디지털 트윈 활용에 대한 국가 R&D 투자규모(441억 원)는 타 분야대비 작고, 연구개발 범위와 내용의 다양성이 부족하므로 체계적인 R&D 투자 필요

- 헬스케어 디지털 트윈 R&D는 주로 개인기초연구사업을 통해 수행되었으며, 최근 범부처 전주기의료기기연구개발사업(다부처)을 통해 일부 지원되는 수준

- 헬스케어 디지털 트윈 R&D는 개발연구단계의 투자 비중이 60%일 정도로, 요소기술보다는 활용성을 고려한 개발연구에 치중됨

헬스케어 디지털 트윈 특성상 치료 및 전주기관리 솔루션 개발에서 질환 특화된 병원 중심의 산학연 협력 기반 기술개발 추진이 효과적

- 우리나라의 경우 헬스케어 디지털 트윈 기술개발과 임상현장 적용을 동시에 고려하여 병원 주체를 포함한 민관협력 R&D를 수행하고 있음

- 헬스케어 디지털 트윈의 핵심요소기술을 확보하고 의료현장에서 해당 솔루션의 임상시험-인허가까지 연계 가능한 병원·기업·대학 등이 동시 참여하는 산학연 협력 연구가 효과적

※ R&D 사업을 통한 연구개발 및 표준화부터 임상시험·사용허가 취득, 인허가까지 선순환 전주기 연구개발 추진

참고문헌

문헌자료

- 4차산업혁명위원회(2022),「헬스케어 디지털 트윈 활성화 방안 제언」.
- 관계부처 합동(2021),「디지털 트윈 활성화 전략」.
- 정보통신기획평가원(2021), 주간기술동향 1983호「디지털 트윈의 기술적 정의와 세부적 발전 5단계(level) 모델」.
- 정보통신산업진흥원(2018), 이슈리포트 2018-제47호「데이터 기술(Data Technology) 시대를 대비한 주요 기술 동향 및 시사점」.
- 한국과학기술정보연구원(2020),「공학 시뮬레이션 기반 디지털 트윈」.
- Corral-Acero, J. et al. (2020). The 'digital twin' to enable the vision of Precision Cardiology. *European Heart Journal, 41*(48), 4556-4564
- European Commission(2022),「A European Health Data Space: harnessing the power of health data for people, patients and innovation」.
- European Commission(2022),「Horizon Europe Work Programme 2021-2022 4.Health」.
- Frost & Sullivan(2019),「Digital Twins Outlook in Healthcare, 2019-2025」.
- Gartner(2016),「Use the IoT Platform Reference Model to Plan Your IoT Business Solution」.
- GOV.UK(2020),「Genome UK: the future of healthcare」.
- HIMSS(2019), 「Definition of Interoperability」.
- Kamel Boulos, M. N. & Zhang, P. (2021). Digital Twins: From personalised medicine to Precision Public Health. *J. Pers. Med, 11*(8), 745.
- Laubenbacher, R., Sluka, J. P. & Glazier, J. A. (2021). Using digital twins in viral infection. *Science, 371*(6534), 1105-1106.
- Markets and markets(2021),「Digital Twin Market」.
- NHS(2019),「NHS Long Term Plan」.
- NITRD.GOV(2021),「SUPPLEMENT TO THE PRESIDENT'S FY2022 BUDGET」.
- NTT(2021),「NTT技術ジャーナル 2021年5月号 VOL.33」.
- Statista(2015),「Global digital health market」.

- Technavio(2019),「Digital Twin Market by End-user」.
- 国务院_中国政府网(2015),「国务院关于印发《中国制造2025》的通知」.
- 国务院(2022),「“十四五”数字经济发展规划」.
- 中央网络安全和信息化委员会(2021),「“十四五”国家信息化规划」.

보도자료

- DASSAULT SYSTEMS(2022.1.3.), “Dassault Systèmes to Showcase the Virtual Twin Experience of the Human Body at CES 2022”
- Deloitte University Press(2017.5.12.), “Industry 4.0 and the digital twin”
- Philips(2018.12.11.), “The digital patient: will we one day have our own health avatars?”
- 中国政府网(2016.10.25.), “中共中央 国务院印发《“健康中国2030”规划纲要》”
- 生物谷(2015.10.14.), “中国将启动精准医疗计划2030年前投入600亿”

사이트

- 3DEXPERIENCE Lab EXACTCURE 홈페이지, https://3dexperiencelab.3ds.com/en/projects/life/exactcure/
- 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) https://www.ntis.go.kr/rndsts/statsDivIdctVO.do (최종 접속일 : 2022.09.25.)
- 라이프시맨틱스 홈페이지, https://lifesemantics.kr/media/press/497
- 리메드 홈페이지, http://remed.kr/board/board.php?bo_table=news&idx=8
- 메디컬 아이피 홈페이지, https://medicalip.com/
- 이에이트 홈페이지, https://e8ight.co.kr/product/nflow/#section10
- AMED 홈페이지, https://www.amed.go.jp/en/program/index.html
- DASSAULT SYSTEMS 홈페이지, https://www.3ds.com/products-services/simulia/solutions/life-sciences-healthcare/the-living-heart-project/
- DIGIPREDICT Project 홈페이지, https://www.digipredict.eu/
- European Commission CORDIS 홈페이지, https://cordis.europa.eu/project/id/859836
- HeartFlow 홈페이지, https://www.heartflow.com/heartflow-ffrct-analysis/
- IBM 홈페이지, https://www.ibm.com/uk-en/watson-health
- LG CNS 홈페이지, https://www.lgcns.com/blog/cns-tech/digital/5653/
- Medtronics 홈페이지, https://www.medtronic.com/us-en/healthcare-professionals/therapies-procedures/cardiac-rhythm/cardioinsight-cardiac-mapping.html

- PeOPLe共創·活用コンソーシアム 홈페이지, https://www.people-tonomachi.com/consortium/
- Q bio 홈페이지, https://q.bio/
- Siemens 홈페이지, https://www.siemens.com/global/en/company/about/history/specials/175-years/digital-twin-of-the-heart.html
- Sim&Cure 홈페이지, https://sim-and-cure.com/simsize/
- Twin Health 홈페이지, https://usa.twinhealth.com/
- デジタル庁 홈페이지, https://www.digital.go.jp/policies/

|저자소개|

강 유 진

한국과학기술기획평가원 생명기초사업센터 연구원

Tel: 043-750-2558 E-mail: kyj10513@kistep.re.kr

김 주 원

한국과학기술기획평가원 생명기초사업센터 센터장

Tel: 043-750-2434 E-mail: juwon@kistep.re.kr

|편집위원소개|

전 승 수 연구위원

김 종 란 연구위원

장 정 화 부연구위원

이 강 수 부연구위원

한국과학기술기획평가원 사업조정본부

Tel: 043-750-2503 E-mail: lks@kistep.re.kr

※ 본 KISTEP 기술동향브리프의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 기관의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.

[KISTEP 브리프 발간 현황]

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
01 (22.02.09.)	시스템반도체	채명식 (KISTEP)	기술동향
02 (22.02.10.)	미 하원 「2022년 미국 경쟁법」 주요 내용과 시사점	최창택 (KISTEP)	혁신정책
03 (22.02.23.)	메디컬 섬유소재	정두엽 (KISTEP)	기술동향
04 (22.03.02.)	2020년 한국의 과학기술논문 발표 및 피인용 현황	한웅용 (KISTEP)	통계분석
05 (22.03.14.)	2020년 신약개발 정부 R&D 투자 포트폴리오 분석	강유진·김주원 (KISTEP)	통계분석
06 (22.03.16.)	바이오헬스 정책·투자동향	김종란·강유진·홍미영 (KISTEP)	기술동향
07 (22.03.18.)	러시아-우크라이나 사태에 따른 과학기술 동향과 시사점	김진하·이정태 (KISTEP)	혁신정책
08 (22.03.21.)	미래 스마트 팩토리 유망 서비스	KISTEP·ETRI	미래예측
- (22.03.23.)	2030 국가온실가스감축목표에 기여할 10대 미래유망기술	이동기 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제323호)
09 (22.03.30.)	바이오연료	박지현·강유진 (KISTEP)	기술동향
10 (22.04.04.)	2020년 국내 바이오산업 실태조사 주요 결과	한웅용 (KISTEP)	통계분석
11 (22.04.08.)	일본 과학기술·경제안전보장전략 주요내용과 시사점	김규판(KIEP) 김다은·홍정석(KISTEP)	혁신정책
12 (22.04.13.)	6G 통신 기술	이승필·형준혁 (KISTEP)	기술동향
13 (22.04.18.)	우리나라 산업기술인력 수급 현황 - 2020년도 기준 -	한웅용 (KISTEP)	통계분석
14 (22.04.27.)	소재 신(新)연구방법론	정두엽·조유진 (KISTEP)	기술동향
- (22.04.29.)	대전환 시대의 과학기술혁신 정책 이슈	변순천 외 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제324호)
15 (22.05.02.)	OECD MSTI 2022-March의 주요 결과	정유진 (KISTEP)	통계분석

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
16 (22.05.16.)	2020년도 국가연구개발사업 성과분석 현황	한웅용 (KISTEP)	통계분석
- (22.05.18.)	디지털 전환의 미래사회 위험이슈 및 대응 전략: 인공지능 역기능을 중심으로	구본진 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제325호)
- (22.05.26)	「국가R&D 혁신방안」 추진과제 분석 및 향후 추진방향 제언	최창택 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제326호)
17 (22.06.02.)	2020년 미국의 박사학위 취득자 현황 분석 - NSF,Doctorate Recipients from U.S. Universities -	한웅용 (KISTEP)	통계분석
- (22.06.08.)	일반국민은 2022년 정부R&D예산에 대해 어떻게 생각하고 있을까?	이승규·박지윤 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제327호)
18 (22.06.09.)	새정부 과학기술 관련 국정과제 주요 내용 및 시사점	고윤미·배용국·양은진· 심정민(KISTEP)	혁신정책
19 (22.06.15.)	2021년 국가 과학기술혁신역량 분석	김선경 (KISTEP)	통계분석
- (22.06.17.)	감염병 위기대응 4대 영역별 핵심기술 및 정부R&D 지원방안	김주원·홍미영 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제328호)
20 (22.07.04.)	2022년 IMD 세계경쟁력 분석	김선경 (KISTEP)	통계분석
21 (22.07.06.)	양자정보기술	유형정 (KISTEP)	기술동향
- (22.07.11.)	신산업 정책의 민관협력(PPP) 주요 이슈 분석	신동평·허정·권용완 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제329호)
22 (22.07.11.)	메타버스 산업생태계 활성화를 위한 방향과 과제	이나래 (KISTEP)	혁신정책
23 (22.07.18.)	전국대학 연구활동 현황 - 2021년 전국대학 연구활동 실태조사 기준 -	한웅용 (KISTEP)	통계분석
24 (22.08.01)	미국 대학의 연구활동 현황	한웅용 (KISTEP)	통계분석
25 (22.08.08)	기술패권 경쟁 대응을 위한 주요국 세액공제제도 신설 동향 및 시사점	조길수·유혜인 (KISTEP)	혁신정책
26 (22.08.17)	CCU(이산화탄소 활용)	여준석·김태영 (KISTEP)	기술동향
27 (22.08.18.)	우리나라 대학의 지식재산 창출과 활용 현황	한웅용 (KISTEP)	통계분석

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
- (22.08.24.)	국가연구개발사업 학생인건비 지급의 주요 쟁점과 제언	박일주·이지은 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제330호)
28 (22.08.25.)	바이오플라스틱	박지현·홍미영 (KISTEP)	기술동향
29 (22.08.31.)	美,「반도체 및 과학법 (CHIPS and Science Act)」 주요 내용 및 시사점	송원아·이양경·김다은 (KISTEP)	혁신정책
30 (22.09.05.)	우리나라 여성과학기술인력 현황	한웅용 (KISTEP)	통계분석
31 (22.09.16.)	K-방산 수출 성과와 민군 R&D 협력의 주요 시사점	임승혁·유나리 최충현·한민규 (KISTEP)	혁신정책
32 (22.09.19.)	2021년도 국가연구개발사업 집행현황	한웅용·한혁 (KISTEP)	통계분석
33 (22.09.21.)	美,「국가 생명공학 및 바이오제조 이니셔티브」 행정명령 주요 내용 및 시사점	김종란·김주원 (KISTEP)	혁신정책
34 (22.09.28.)	오픈사이언스 시대, 블록체인 기술을 통한 연구데이터 플랫폼 활성화 방안	이민정 (KISTEP)	혁신정책
35 (22.10.04.)	2020년도 세계 R&D 투자 상위 2500 기업 현황	한웅용 (KISTEP)	통계분석
36 (22.10.05.)	지능형 센서 플랫폼	권정은·조유리 (KISTEP)	기술동향
- (22.10.06.)	화이트바이오 산업 활성화를 위한 유망 분야 도출 및 정부지원 방안	박지현·홍미영 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제331호)
- (22.10.20.)	신산업 분야 소재·부품·장비 미래선도품목 현황 진단 및 기술적 한계 극복전략	김진용·김어진 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제332호)
37 (22.10.31.)	디지털 역기능 전망과 대응 방향	KISTEP·ETRI	미래예측
38 (22.11.02.)	메타물질	김용준·이학주·임승혁 (수원대학교·파동에너지 극한제어연구단· KISTEP)	기술동향
39 (22.11.03.)	'22년도 국가연구개발 행정제도 개선의 주요 내용 및 제언	서지현·김희정 (KISTEP)	혁신정책
40 (22.11.07.)	2022년 유럽혁신지수 분석 - European Innovation Scoreboard 2022 -	김선경 (KISTEP)	통계분석

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
41 (22.11.15.)	2020년도 우리나라 민간기업의 연구개발활동 현황 분석	한웅용·김한울 (KISTEP)	통계분석
– (22.11.17.)	대·중소기업의 상생·협력 R&D 활동을 어떻게 촉진할 수 있을까?	김주일·이승필·정두엽 조유진·진영현 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제333호)
42 (22.11.18.)	일본 경제안전보장추진법 기본방침 및 기본지침 주요 내용과 시사점	송원아·김규판 (KISTEP·KIEP)	혁신정책
43 (22.11.22.)	2022년 OECD NESTI 작업반 최신 동향 및 시사점	정유진 (KISTEP)	혁신정책
44 (22.11.23.)	소형모듈원자로 (SMR)	강경탁 (KISTEP)	기술동향
– (22.11.24.)	출연연의 전략성과 도전성 강화를 위한 기관평가 제도 개선 방안	김이경·우기쁨·정수현 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제334호)
45 (22.11.28.)	미국 중간선거(Midterm elections)에 따른 첨단기술 정책 변화 전망과 시사점	김진하·서정건 (KISTEP·경희대학교)	혁신정책
46 (22.11.30.)	헬스케어 디지털 트윈	강유진·김주원 (KISTEP)	기술동향