

03
chapter

의료분야 디지털 트윈의 활용방안

고대식 || 목원대학교 교수
윤수근 || (주) 디타스 대표이사

I. 개념

디지털 트윈은 현실세계에 존재하는 대상이나 시스템의 디지털 버전, 물리적 기계 혹은 프로세스의 소프트웨어 모델, 물리적 자산에 대한 살아있는 디지털 시뮬레이션 모델, 물리적 객체의 시뮬레이션 모듈, 프로세스 또는 실제 제품의 최신 디지털 프로파일, 물리적 시스템의 구조, 문맥, 동작을 나타내는 데이터와 정보의 조합 등의 의미로 언급되고 있다.

그러므로 디지털 트윈(digital twin)이란 물리적 객체(자산, 프로세스 및 시스템 등)들에 대한 디지털 복제(쌍둥이)로서, 수명주기 전체에 걸쳐 대상 객체 요소들의 속성과 상태를 유지하며 이들이 어떻게 작동하는지를 묘사하는 가상의 모델이라 정의할 수 있다. [1,2,3]

디지털 트윈은 제조업뿐 아니라 다양한 산업·사회 문제를 해결할 수 있는 기술로 주목받는다. 그리고 기본적으로는 다양한 물리적 시스템의 구조, 맥락, 동작을 나타내는 데이터와 정보의 조합으로, 과거와 현재의 운용 상태를 이해하고 미래를 예측할 수 있는 인터페이스라고 할 수 있다. 물리적 세계를 최적화하기 위해 사용될 수

있는 강력한 디지털 객체로서, 운용 성능과 업무 프로세스를 대폭 개선할 수 있다.

디지털 트윈을 지원하는 기술은 계속 확대되어 지금은 단위시스템이 아닌 빌딩이나 공장, 도시 등 거대한 실체를 컴퓨터에 가상으로 재현하기도 하고 사람이나 프로세스도 디지털 트윈으로 재현하는 시도가 있다.

디지털 트윈을 구현하기 위해서는 크게 서비스 제공기술, 인터페이싱 기술, 모델링기술, 물리 객체의 센싱 및 속성모델링 기술, 데이터 처리기술들이 필요하며 아래 표는 이러한 6가지 디지털 트윈의 구현 기술 분야에 관련된 구체적인 기술들을 정리한 것이다. [4]

디지털 트윈 구현기술분야	분야별 관련기술
Physical	센싱기술, 측정기술, 재료분석기술, 동적분석기술, 프로세스기술, 메카트로닉기술
Model	시뮬레이션 기술, 모델링기술, 시각화기술, 모델검증기술, 모델진화기술
Connections	인터페이스 기술, 인터넷기술, 통신기술, 상호호환성기술, 협업기술, 보안기술
Services	아키텍처기술, 알고리즘기술, 소프트웨어 기술, 플랫폼기술, 지능화 기술
Data	데이터수집기술, 데이터저장기술, 데이터연결기술, 데이터전송기술, 데이터프로세스기술, 데이터시각화기술, 데이터융합기술

표 1. 디지털 트윈의 구현기술들[4]

디지털 트윈은 주로 제조 분야를 중심으로 적용되고 있으나 사물인터넷(IoT: Internet of Things), 확장현실 기술(xR:x Reality), 인공지능(AI: Artificial Intelligence) 기술과 접목하여 다양한 산업으로 활용 범위가 확대되고 있다.

예를 들어, 에너지 분야에서는 발전시설 설계의 최적화, 건설비용의 최적화, 운영 및 관리의 효율화, 에너지 소비관리의 최적화 등에 활용이 가능하고 물류 분야에서는 물류의 전체단계(lifecycle)의 운영현황을 실시간으로 모니터링하고 최적화 제어를 할 수 있다. 또한 버츄얼싱가포르처럼 도시 가상화 모델을 기반으로 도시 각 분야의 현황을 모니터링하고, 예측 시뮬레이션을 통해 도시 계획 및 운영을 효율화하는 스마트시티 분야에서도 유용하게 사용될 수 있다.

그림1은 디지털트윈을 이용한 전력발전소의 설계부터 유지관리 서비스단계별 서비스 모델을 도식화 한 것이다.

본 고에서는 디지털 트윈을 의료분야에 적용하는 방안에 대하여 조사 분석하였다. 디지털 트윈은 데이터 기반 실세계의 시각화가 가능하기 때문에 중증환자에 대한 간병인 이상의 24시간 실시간 모니터링이 가능하며, 과거 수술 및 치료데이터 기반의 환자 예측 시뮬레이션이 가능하기 때문에 의사의 처방과 최적치료를 지원할 수 있다. 이외에도 대형병원의 접수에서부터 진료, 수납, 치료 그리고 약국시설까지 환자의 규모와 동선 등을 반영하는 병원시설들과 동선의 최적배치에도 응용이 가능하다.

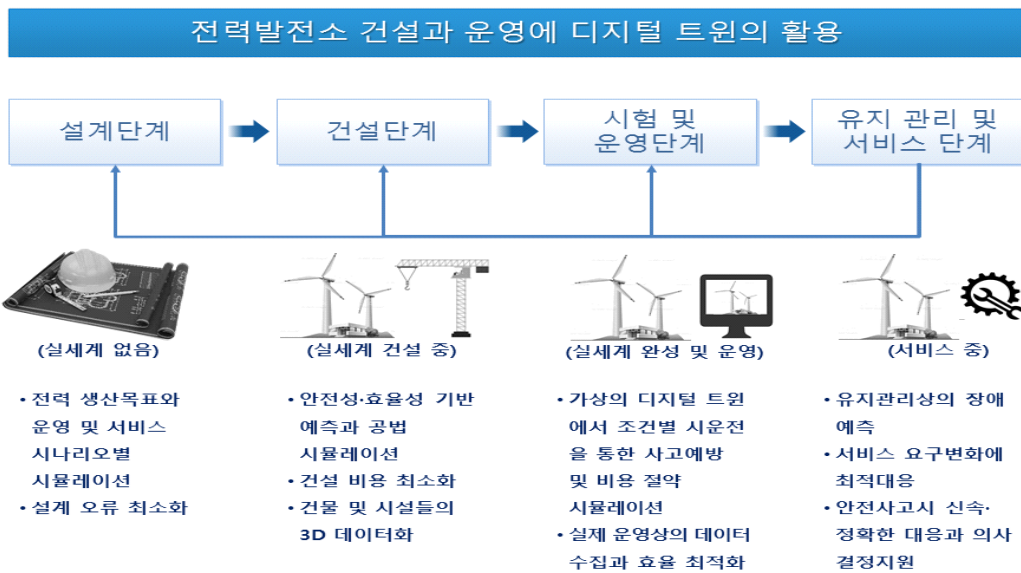


그림 1. 디지털트윈의 산업전단계 활용

II. 의료분야 디지털 트윈의 활용방안

디지털 트윈은 기본적으로 실세계 환자의 모든 데이터와 신체의 모습과 내부 장기의 모습까지 시각화하여 구현할 수 있고 환자와 내부 장기의 동작상태 또한 모델링할 수 있기 때문에 의료분야에 다양하게 이용할 수 있다. [5]

디지털 트윈은 환자의 바이털사인과 질병상태에 대한 실시간 모니터링, 진단과 치료 시뮬레이션, 비숙련의료인 교육훈련, 병원시설 배치와 업무 최적화, 개인 주치의

서비스등에 이용하는 것이 가능하며 그림 2는 디지털트윈의 의료분야 적용모델이다.

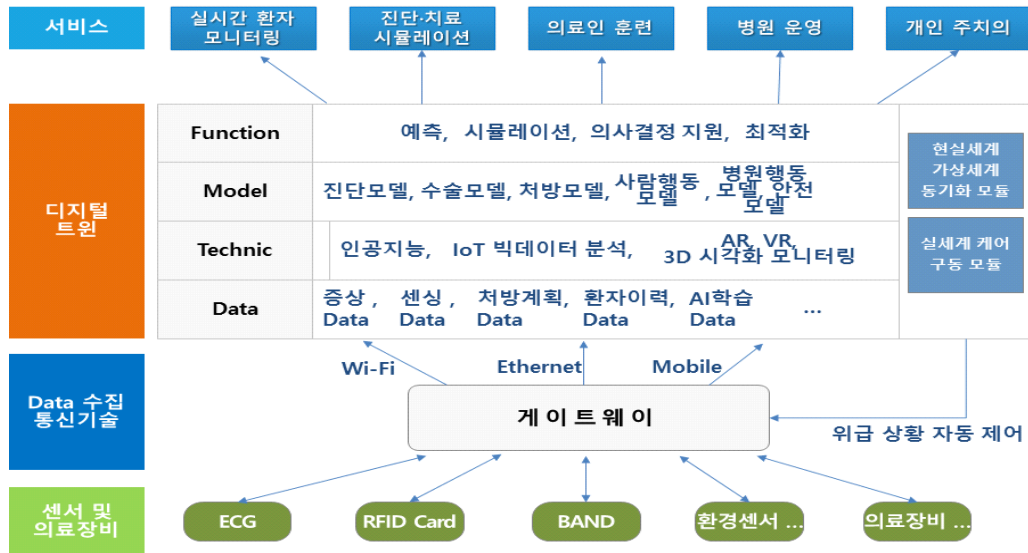


그림 2. 의료분야 활용을 위한 디지털트윈 아키텍처

가. 중증환자 실시간 모니터링

1) 바이털사인

중증환자의 바이털데이터(혈압, 체온, 호흡수, 심박수등), 수면, 식사, 배뇨, 환자의 동적데이터(언어, 호흡, 손발의 움직임 등) 약물투약 등을 상시 측정하고 관찰하는 것은 매우 중요하다. 디지털트윈은 환자의 바이털사인 데이터를 비롯하여 배뇨, 뇌파, 움직임 등의 환자의 질병상태와 회복상태 등을 가늠하는 중요한 데이터들을 수집 및 자동분석하는 것을 지원한다. 그러므로 디지털트윈은 바이털 센서와 의료 인력의 수동 및 자동으로 입력되는 데이터들을 디지털 트윈 가상세계에 모니터링이 용이한 형태로 시각화하고 각종 경고시스템과 연계할 수 있기 때문에 휴먼에러 없는 24시간 상시 모니터링을 지원한다. [6]

2) 질병상태

최근 의학이 발달하여 CT를 비롯한 초음파영상장치 등 인체내부까지 실시간으로 관찰하는 것이 가능하며 심장의 운동 상태는 물론 혈류의 흐름까지도 영상으로 관찰

하는 것이 가능하다. 예를 들어, 간이나 신장과 같은 장기를 이식한 환자의 경우 초기 동작 상태를 관찰하는 것이 매우 중요한데 의료영상장치를 이용하면 디지털 트윈의 모니터에서도 이식된 장기의 동작 상태나 부작용과 같은 상태를 관찰하는 것이 가능해진다.

또한 암질병은 전이여부가 매우 중요하고 호전되었다 하더라도 장기적인 관찰이 중요한데 암진단과 증세를 관찰하기 위하여 사용되고 있는 의료장비들과의 데이터 연계를 통하여 디지털트윈은 환자의 질병상태에 대한 모니터링과 위급상황에 신속 정확하게 대응하는 기회를 제공하기도 하고 치료와 처방을 지원할 수도 있을 것이다.

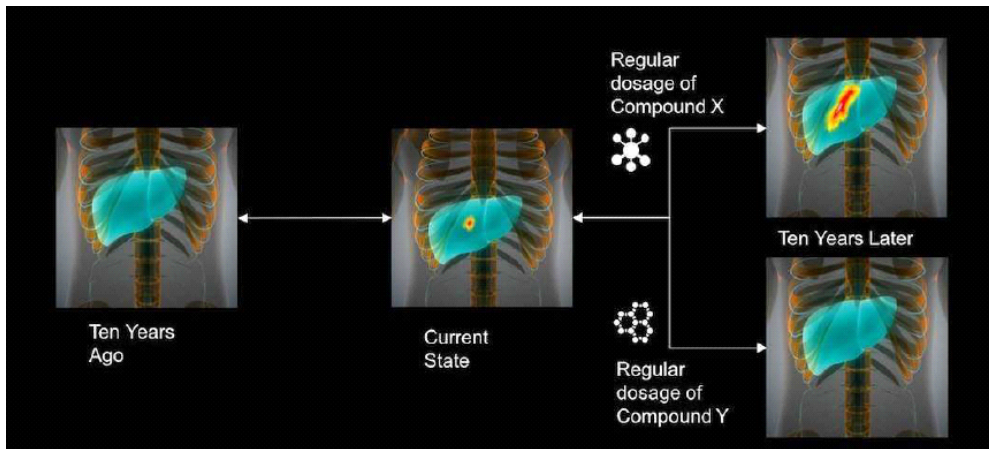


그림 3. 가상세계 환자에 대한 다양한 치료에 따른 예측 시뮬레이션 예시[8]

이와 같은 증증환자의 실시간 모니터링용 디지털 트윈을 실현하기 위해서는 환자 주변의 온습도 환경센서, 체온측정기, 혈압측정기, 심박수측정기 등의 디지털화와 데이터수집체계를 구축해야 하고 의료인력들이 확보하는 모든 데이터들이 디지털트윈 시스템으로 수집되고 분석될 수 있는 체계의 구축이 필요할 것이다.

나. 진료방법의 시뮬레이션

1) 진단과 맞춤형 처방

디지털 트윈은 개인 자 각각에 대한 정적인 신체모델과 동적모델 그리고 내부 장기에 대한 시각적 모델과 동적모델이 생성되는 것이기 때문에 의사의 진단과 처방 지원시스템으로 활용될 수 있다. 기존 의료인들이 사용하고 있는 룰기반 진단기법과

경험에 의한 예측되는 진단명들을 디지털트윈상의 환자의 신체모델 및 증상데이터로 만들어진 가상세계의 환자(아바타환자)에게 대입하여 여러 가지 처방에 따른 환자별 치료효과들을 미리 예측해보는 것이 가능하다.

물론 처방약이나 주사약의 성분과 효과 그리고 부작용에 대한 데이터도 있기 때문에 의사의 전문적인 약 처방으로 몇 가지 후보군을 가지고 디지털 트윈상의 환자 개인별로 치료효과를 미리 시뮬레이션 해보고 효과가 가장 높은 약을 최종적으로 처방하는 맞춤형 처방이 가능하다. [6,7]

아울러, 최근 활발하게 추진되고 있는 인공지능기술이 디지털트윈과 연계되면 의료분야 AI학습데이터와 AI 학습모델들 기반으로 진단과 처방 지원시스템으로 활용될 수 있을 것이다.

2) 수술

수술이 필요한 환자가 있을 경우에, 최적의 수술을 진행하기 위한 협진과 컨퍼런스가 필수적이다. 디지털 트윈은 현재도 운영하고 있는 CT와 MRI 같은 의료용 영상시스템을 이용하여 환자 수술부위와 장기상태 등을 3D로 형상과 수술기법에 대한 시뮬레이션 모델을 가지고 있고 환자에 대한 모든 데이터를 가지고 있기 때문에 다양한 조건을 대입하고 다양한 기법으로 가상세계에서 수술과정을 시뮬레이션 해볼 수 있고 수술과정에서 발생하는 리스크들에 대비책을 미리 준비할 수 있다. 이때, 환자의 생명과 직결되는 장기에 대한 동작모델은 수술 시뮬레이션 조건과 수술기법 모델과 연동되어 질병 및 수술부위별로 실제 상황과 유사한 상황들을 제시해줄 수 있다.

최근 HMD, 구글글래스, 홀로렌즈와 같은 VR,AR,MR 기술은 디지털트윈과 연계하여 더욱 실감 있는 시뮬레이션을 가능하게 해줄 것이다.

다. 의료인 훈련

1) 진단훈련

의료분야는 배워야 할 분야가 방대하고 수많은 질병에 대한 신속 정확한 진단을 하는 교육 훈련과정이 반드시 필요하다. 물론 의사가 된 이후에도 인턴과정과 레지던트 과정에 있는 비숙련 의료인들은 수많은 질병사례와 수술사례 들에 대한 훈련이 필요하다. 디지털 트윈은 실세계의 환자와 동일한 조건의 가상세계 환자를 생성할 수 있으므로 가상세계의 환자를 대상으로 다양한 진단 실습이 가능한 환경이 지원된

다. 기존의 더미 환자는 표준적인 환자의 조건으로 만들어지지만 디지털 트윈의 환자는 실세계와 동일한 조건의 환자이기 때문에 진단훈련의 결과와 실제 환자의 진단결과와 대조하면서 훈련할 수 있다는 장점이 있다.

2) 치료훈련

비숙련 의료인은 경험이 부족하기 때문에 표준에서 벗어나는 환자사례에 대한 치료와 처방 시 어려움이 있게 마련이다. 디지털 트윈은 실제 환자의 질병상태에 대한 실제 데이터를 가지고 있고 환자의 몸 또한 3차원으로 시각화할 수 있기 때문에 다양한 치료기법을 가상세계에서 적용해보고 치료효과를 미리 검증하는 것을 통하여 훈련하는 것이 가능하다.

라. 병원운영 최적화

1) 병원설계 및 시설배치

디지털 트윈은 병원의 업무효율성과 환자서비스의 최적화와 활용 될 수 있다. 디지털 트윈은 라이다 포인트 클라우드 데이터를 이용하여 건물이나 실내공간 그리고 가구 등의 고정적인 내부 시설들 모두에 대한 3차원 시각화 모델을 생성할 수 있고 사람이나 업무 그리고 공기흐름과 같은 움직임을 모델링할 수 있기 때문에 병원건축물 설계와 시설배치에 대한 시뮬레이션이 가능하다. [8]

2) 환자 및 업무최적화를 위한 동선 배치

디지털트윈은 병원의 시설배치와 업무효율성을 반영하는 동선 배치에 활용될 수 있다. 만약, 5년 이상 운영하고 있는 대형병원이라면 과거 5년 동안의 환자입장에서 병원 주차장에서부터 진료를 받고 다시 주차장으로 퇴원하기까지의 동선, 처리한 일, 검사한 일등의 각각의 소요시간의 빅데이터를 분석하여 어떤 업무에서 업무처리 지연이 생겼는지, 어느 동선에 낭비요소가 있었는지 등을 분석할 수 있다. 디지털트윈은 공간 및 시설에 대한 시각화모델과 업무데이터 그리고 사람들의 이동모델을 가지고 있기 때문에 업무처리 지연을 해결하는 업무배치와 시설배치를 시뮬레이션 통하여 최적화할 수 있다. 물론 의료진 입장에서도 동일한 업무 처리관련 빅데이터를 분석하면 개인 맞춤형으로 최적의 진료효율과 근무만족도를 설계하는 것이 가능해질 것이다.

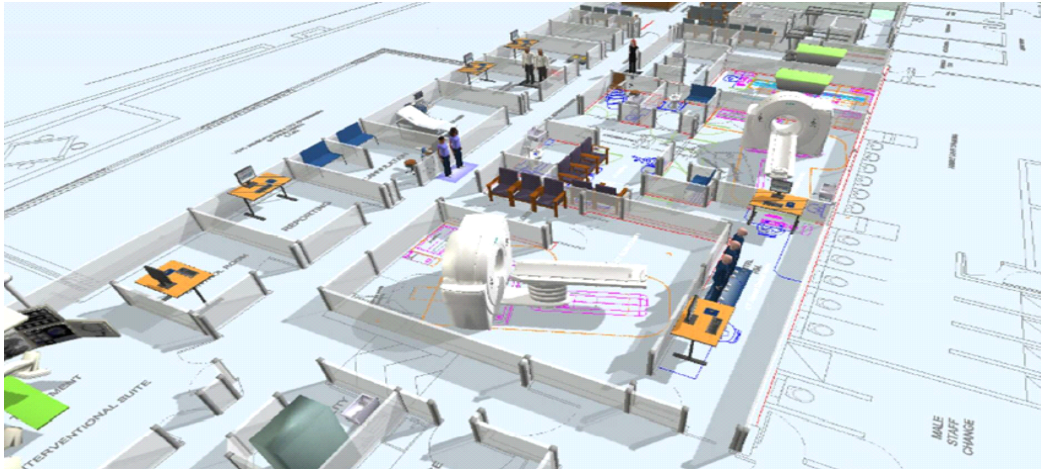


그림 4. 병원시설에 대한 3D 시각화 모델링 [8]

3) 안전대피

병원은 감염병에 노출되거나 화재와 같은 위험이 발생하였을 경우, 매우 위험한 시설이다. 병원에는 인지력이 부족하거나 거동이 불편한 환자들도 많기 때문에 더욱이 안전대피에 대한 철저한 설계와 대피훈련이 필요하다. 디지털 트윈은 건물과 시설물에 대한 모델과 가연성이 높은 시설데이터 그리고 사람, 공기 및 연기의 흐름, 불의 확산 등과 같은 동작에 대한 모델링이 가능하다. 디지털트윈에서는 이와 같은 모델들을 이용하여 화재발생, 감염병 발생 그리고 위험 가스 유출과 같은 사고에 대하여 공간별 시간별 조건에 따른 사람들의 대피행동 또한 시뮬레이션이 가능하기 때문에 안전대피 시스템을 추가 설치한다거나 실제 상황에 맞는 대피훈련과정에 활용될 수 있다.

마. 장기 질환환자의 주치의 보조

디지털 트윈은 병원에 입원하지 못하는 장기 환자 등 예를 들면 혈압, 당뇨 환자나 희귀병환자 그리고 나이가 많고 기저질환이 있는 독거노인들에 대한 원격 환자모니터링 시스템으로 활용될 수 있다.

이를 실현하기 위해서는 병원이 아닌 자택이나 요양시설에 머물고 있는 장기 환자들의 바이탈 및 혈당측정기와 같은 센서의 개발이 필요하다. 예를 들면, 장기 환자나

독거노인이 착용할 수 있는 밴드(혈압, 맥박, 체온, 심박수 등 생체신호 센싱이 가능한 밴드)와 환자가 화장실을 다녀오면 자동으로 당수치 등을 측정하여 원격의 디지털 트윈으로 데이터를 전송하는 장치의 개발이 필요하다. 환자 자체적으로 채혈이나 바이트사인을 측정하는 것이 어려운 자택의 환자는 센서개발이 전제되어야 하는 문제가 있지만 간호사가 상주하는 요양시설에는 기술적으로는 바로 도입할 수 있을 것이다.

디지털 트윈을 이용하여 원격의 장기 환자를 모니터링하면 3차병원을 찾아야 하는 위급상황인지 반대로 1차병원이나 혹은 처방된 약으로 대응이 가능할지를 판단하는 것이 가능하므로 환자를 돌보는 입장이나 의료비용 측면에서도 유용한 서비스가 될 것이다.

그림 5는 비입원 환자에 대한 디지털 트윈 기반 케어 시스템 개념도이다.

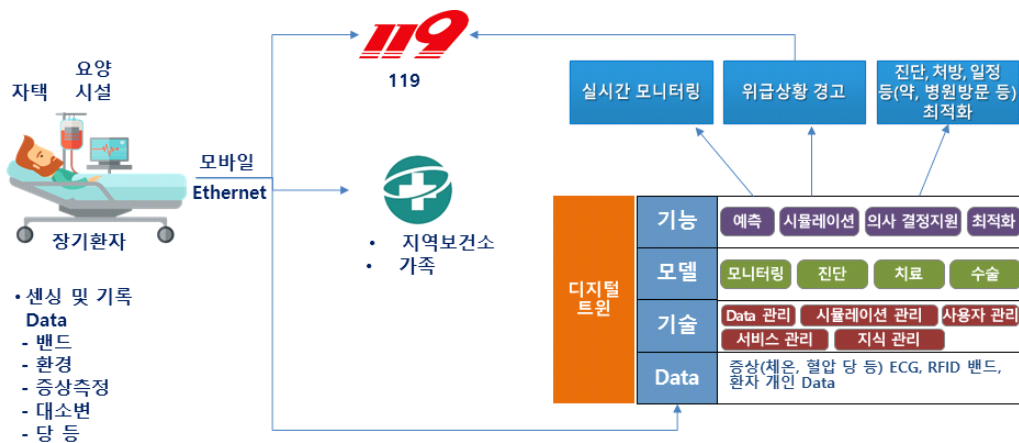


그림 5. 디지털트윈을 이용한 장기질환자 케어시스템 ([7] 참고하여 저자수정)

Ⅲ. 의료분야 디지털 트윈 활용을 위한 전제조건

의료분야의 디지털트윈을 실현하고 서비스하기 위해서는 기술적 측면과 법제도 측면 그리고 사회적합의가 필요할 것으로 판단된다.

가. 기술적 측면

기술적 측면에서 가장 시급한 전제조건은 의료분야의 디지털 전환이다. 의료분야의 디지털 전환은 우선 모든 아날로그적인 의료데이터와 체계의 디지털화와 데이터 수집체계를 확보하는 것이다. 의료계의 디지털 전환은 특정업무의 전산화 정도가 아니라 모든 업무의 전산화인 동시에 인공지능, 빅데이터, IoT, 블록체인과 같은 지능정보기술을 적용하는 단계를 포함한다.

의료분야 디지털트윈을 추진하기 위해서는 반드시 의료데이터에 대한 보안기술과 개인정보에 대한 보안기술이 2중 3중으로 필요하다. 최근 비트코인과 같은 가상화폐 분야에 적용되고 있는 블록체인 기술은 현재로서는 가장 높은 수준의 보안기술로 보여진다. 하지만 의료데이터의 연계와 연동 그리고 융합데이터의 생성과 활용을 위해서는 센서에서부터 단말기 네트워크 장비 컴퓨팅시스템 각종 소프트웨어들에 대한 스마트 보안기술들이 필요하고 특히 데이터에 접근권한이 있는 사람들에 대한 철저한 보안프로세스가 전제되어야만 할 것이다.

나. 법제도 보완 및 사회적 합의

현행 의료법에서 규제하고 있는 원격의료시스템이나 의료데이터의 공유 관련한 법제도가 개정되지 않으면 의료분야 디지털트윈은 추진될 수 없을 것이다. 또한, 디지털트윈을 이용하는 진료의 최적화를 통한 치료효과와 환자서비스 개선에 대한 진료비 책정 등에 대한 사회적 합의도 필요할 것이다.

[참고문헌]

- [1] 위키백과, 디지털트윈
- [2] 정득명외, “디지털 트윈의 기술적 정의와 세부적 발전 5단계(level) 모델”, ICT신기술, 정보통신기획평가원, 2020
- [3] 김용운외, “디지털트윈의 꿈”, 에트리보고서, 2021.1
- [4] Qinglin Qi, “Enabling technologies and tools for digital twin”, Journal of Manufacturing Systems, Oct. 2019
- [5] A. R. Al-Ali 외, “Digital Twin Conceptual Model within the Context of Internet of Things”, future internet, 26 September 2020
- [6] COMBergthor 외, “Digital twins to personalize medicine”, Genome medicine, 2020.12
- [7] Liu Ying 외, “ A Novel Cloud-based Framework for the Elderly Healthcare Services Using Digital Twin”, IEEE access, 2019.1
- [8] Tolga Erol 외, “ The Digital Twin Revolution in Healthcare”, IEEE, 2020, oct