

# KIPA

KOREA INSTITUTE OF  
PUBLIC ADMINISTRATION

# ISSUE PAPER

## 재난안전 분야 디지털트윈 시스템의 새로운 활용 전략 제안

박상진 부연구위원(행정안전연구실)

차남준 부연구위원(행정안전연구실)

최한별 초청연구위원(행정안전연구실)

1. 디지털트윈의 개념과 공공부문 활용의 의의
2. 재난안전 분야 디지털트윈 현황
3. 재난안전 디지털트윈 상시활용 제안
4. 결론

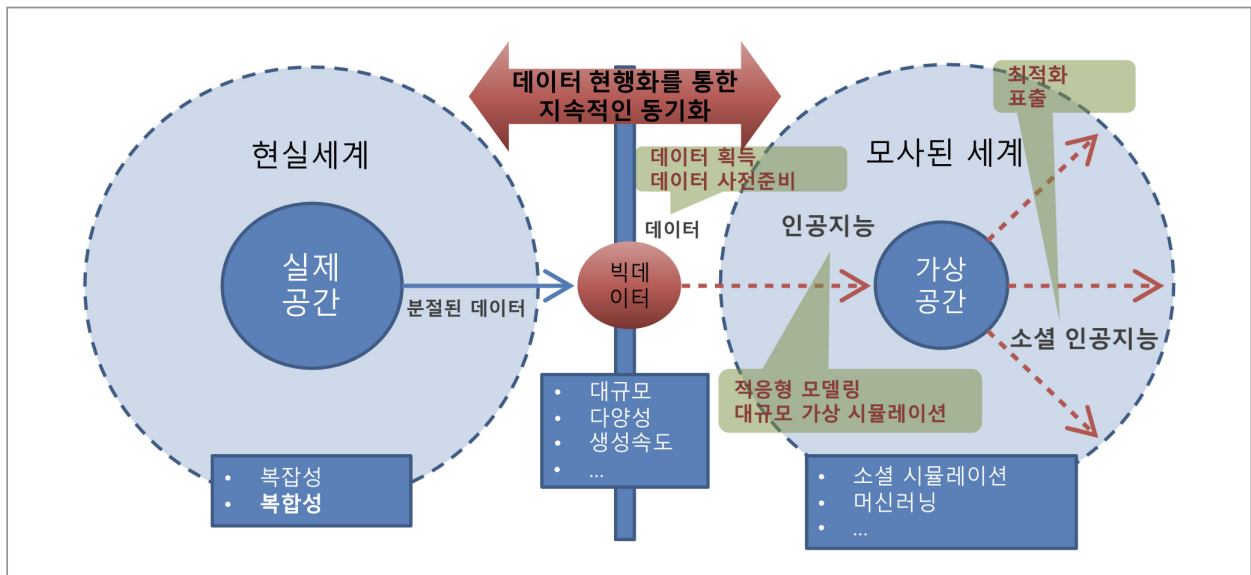
디지털트윈은 현대사회의 다양한 문제를 해결하기 위한 효과적인 기술로 주목을 받고 있다. 디지털트윈 활용에 대한 수요는 재난안전분야에서도 강력하게 제기되고 있는 상황이다. 이에 대한 결과로 재난안전 분야에 다양한 디지털트윈이 구축되어왔다. 그러나, 이렇게 구축된 디지털트윈들의 활용성에 대해서는 부족한 측면이 있는 것이 사실이다. 본 지에서는 재난안전분야에서 구축된 또는 구축할 디지털트윈들의 활용성을 제고하기 위하여 디지털트윈 'Always-Ready' 전략을 제시하고자 한다. 제시된 전략을 기반으로 재난안전분야 디지털트윈의 도입과 활용에 도움을 줄 것으로 기대한다.

# 1 디지털트윈의 개념과 공공부문 활용의 의의

## ■ 디지털트윈과 에이전트 기반 모델링의 이해

- 디지털트윈 기술은 현실 사회를 디지털 가상세계로 변환하고, 디지털 가상세계 상에서 시뮬레이션을 통해 예측 기능을 수행하는 과정으로 이해할 수 있음
  - 모사하려는 현상에 대한 특징을 분석하여 모형화하고, 분석 목적에 따라 현상파악과 시뮬레이션을 통한 예측기능을 수행함
  - 현실세계를 가상세계에 표현하기 위해 현실세계의 데이터를 지속적으로 수집하고 동기화하는 과정이 필요하고, 예측 모델링을 위해 인공지능과 시뮬레이션 기술이 필요함

그림 1 디지털트윈의 개념



출처: 정영준 외(2021: 45)

- 디지털 가상세계로 모사를 위한 여러 기술이 존재하는데, 다양한 사회 경제 현상의 근간이 되는 개인의 행태를 모사하는 행위자 기반 모델링(Agent-based Modelling, ABM) 방법이 대표적으로 활용되고 있음(Steinbacher et al., 2021)
  - 행정학 연구에서도 동태적 정책환경 속에서 상호작용하는 다양한 행위자들의 상호작용에 대한 분석을 위해 행위자 기반 모델링의 활용도가 높아지고 있음

- 행정 데이터를 포함하는 정적 마이크로 데이터와 사람들의 행태와 같은 동적 마이크로 데이터에 대한 수집·정제·정규화를 통해 다양한 사회 경제 현상의 동적 현황 파악, 문제 분석, 정책 실험이 가능한 기반 모형을 설계하고, 데이터의 현행화를 통해 현실 세계와 디지털 가상 세계를 지속적으로 동기화함(정영준 외, 2021)

## ■ 디지털트윈의 공공부문에서의 활용 의의

- 합리모형에 의한 이상적인 정책과정에 대한 보완과 점진적인 개선 측면에서 의의가 있음(황한찬·최한별·신승윤, 2023; 황한찬·최한별, 2023)
  - 디지털트윈의 활용을 통한 의사결정은 사람의 인지로 판단하기 어려운 복잡한 문제들에 대한 판단근거를 보완하는 적응적 의사결정의 관점에서 의미가 있음
  - 즉, 현실 상황의 복잡성과 예측 불가능성을 완전히 설명하지 못하는 합리모형의 이상적 특성을 현실 모델의 실시간 동기화를 통한 타당성 있는 가상 모델 시뮬레이션으로 통해 보완할 수 있음
- 잠재적 결과를 현실 세계에 구현하기 전에 관찰하고, 이를 토대로 한 증거기반 정책의 수립을 가능하게 함
  - 디지털트윈은 실시간 데이터를 지속적으로 통합하여 정책 입안자가 현재 상황을 보다 정확하게 이해하고 미래 시나리오를 보다 정밀하게 예측할 수 있도록 지원
  - 디지털트윈은 정책의 잠재적 위험과 의도하지 않은 결과를 식별하여 비용이 많이 드는 실수를 방지하고 정책 전략을 사전에 조정할 수 있게 해줌
  - 데이터와 같이 실증적 자료나 증거를 기반으로 한 정책 수립의 필요성이 강조되는 가운데, 정책 수립과 의사결정 과정에서 부딪히는 어려움을 완화할 수 있는데 도움이 됨



## 2 재난안전 분야 디지털트윈 현황

### ■ 재난안전 분야에서 디지털트윈 시스템의 중요성과 의의

- 디지털트윈(Digital Twin)은 최근 재난안전 분야에서도 4차 산업혁명과 더불어 떠오르고 있는 핵심 기술 중 하나로 여겨지고 있음.
  - 재난안전 분야에서 디지털트윈 기술이 중요하게 여겨지게 된 배경에는 기후변화와 사회, 경제 발전으로 인한 기존 시스템의 복잡화로 인해 최근 일어나는 재난사고의 예측불가능성, 전개양상의 다양성, 피해규모의 확장성 등에 대한 체계적인 대응이 점차 어려워지고 있는 문제와 연관이 있음 (이석민·윤형미, 2018; 이병재, 2023).
  - 디지털트윈 기술은 실생활에서 일어나는 다양한 재난사고에 대해 가상의 공간에서 다양한 시나리오와 시뮬레이션을 제공함으로써 효율적인 재난안전관리의 솔루션으로 역할을 할 수 있다는 기대를 주고 있음 (장윤섭·장인성, 2021).

### ■ 디지털트윈의 정책적 활용에서의 어려움과 재난안전 분야에 적용 가능성

- 디지털트윈 기술을 정책적으로 활용하기 위해서는 공공부문의 특수성에서 오는 어려움이 있으나, 재난안전 분야에 적용 가능성이 비교적 적합하다고 평가할 수 있음
- 첫째, 디지털트윈을 통해 직면한 문제의 해결이 가능한 대상 분야를 선정해야 한다는 측면에서 정책 목표 선정과 해결방식이 명확한 재난안전 분야에 적용이 적합함
  - 사회문제가 복잡해지고, 다기화(多岐化)되면서 정책과제도 난제(Wicked Problem)가 된 공공부문의 현실 속에서 다양한 정책 개입의 잠재적 영향을 반영하는 시나리오의 구성은 쉽지 않음
    - 디지털트윈 모델링은 명확한 목표 하에 공학적 방식으로 최적화 방안을 표출하는 데 장점이 있는데, 정부가 직면하고 있는 문제는 다면적인 목표와 다양한 이해관계자의 참여를 조화시키기 어려움
  - 이때, 정책목표 선정이 상대적으로 용이하고, 공학적인 방식으로 해결이 명확한 재난안전 관리분야에 활용은 적합하다고 볼 수 있음
- 둘째, 디지털트윈 결과의 해석과 활용이 용이해야 한다는 측면에서 발생가능한 시나리오에 따른 대응 방안이 직접적인 재난안전 분야에 적용이 적합함
  - 시뮬레이션 예측 결과들만을 가지고 관리자의 입장에서 정책대안 간 비교와 평가를 하기 쉽지 않은데, 디지털트윈 기반 시뮬레이션 모델링의 산출 결과는 행위자의 행태 예측이라는 점에서 해당 산출 결과 그 자체만으로는 이해하기 쉽지 않음

- 디지털트윈 시뮬레이션 정책대안 결과 예측을 현장에서 활용하기 위해서는 실제 모델링의 산출과 현장에서 기대하는 산출 간의 괴리를 메우기 위한 노력이 필요
  - 예를 들어서 자료포락분석(data envelopment analysis)을 통해 산출 결과를 관리자가 이해할 수 있는 형태로 전환하고 해석하는 방법을 고안할 수 있음(황한찬, 최한별, 신승윤, 2023)
- 발생가능한 시나리오와 그에 따른 대응방안이 직접적으로 제시된다는 측면에서 재난안전 분야에 적용이 적합함

## ■ 재난안전 분야 디지털트윈 기술의 활용 현황

### ● 디지털트윈 시스템 기반 스마트 도시의 안전 및 방재 체계 구축

- 스마트 도시를 운영하는데 있어 행정적으로 안전관리가 매우 중요하게 여겨짐에 따라, 다양한 도시안전 서비스를 제공하기 위해 디지털트윈과 같은 데이터 기반의 신기술을 지역의 도시계획에 적용함으로써 스마트 재난안전관리 체계 구축에 기여
  - 서울특별시의 경우, 스마트 안전도시 구현을 위해 IoT(사물인터넷), 빅데이터 등 4차 산업혁명 기술 기반의 디지털 트윈을 활용하여 4가지 서비스(시설물 안전관리, 기후변화 및 기상이변 대응, 안전약자보호, 행정의 위기관리 능력 제고)로 구분하여 세부전략들을 제시 (이석민·윤형미, 2018)
  - 경상남도의 경우, 전문가 설문조사를 통해 기술, 제도, 조직, 문화 등 다방면에서의 스마트 안전관리체계 구축 방안을 제시, 특히 디지털트윈을 활용한 스마트 도시 구현을 6개 사업 중 첫 번째 사업을 제시함 (하경준 외 2020).
  - 인천광역시 경우, 실제 디지털트윈 기술을 활용한 스마트 도시의 재난안전 분야 활용성에 대해서 사례분석 실시 (노재인 외, 2022)

### ● 디지털트윈 기술을 활용한 도시기반시설의 체계적 안전관리

- 디지털트윈 기술기반으로 시설물들의 3D시각화와 시뮬레이션을 통한 다양한 환경에서의 재난안전 사고 예방에 활용
  - 건축 분야의 대표적 디지털트윈 기술이라 할 수 있는 BIM(Building Information Modeling) 등의 기술기반으로 3D모델링 등을 통한 건축물의 통합적 재난안전관리 (김지은·홍창희, 2018; 문상호 외, 2020; 염상국·박영준, 2022)
  - 도시기반시설 중 하나인 전력, 통신, 상하수도라인 등의 도시의 핵심기반시설을 디지털트윈 기술로 구현하여 다양한 복합적 재난상황에 대비상황에 활용 (박기두 외, 2020; 정연하 외, 2022)

### ● 재난관리 단계 내 다양한 주제의 디지털트윈 기술 활용

- 3차원 공간정보 맵핑 플랫폼 기술을 개발 및 구축하여 다양한 재난현장조사에 활용 (김성삼 외. 2020)
- 실제 재난상황 시 안전한 대피경로를 안내하기 위한 3D 공간모델링 등에 활용 (윤영욱 외, 2016)

표 1 재난안전 분야 디지털트윈의 활용분야

구분	주제 또는 대상	세부주제
공간계획	스마트 (안전)도시 계획 및 시스템	지역의 스마트 도시 계획의 재난대응 및 안전관리 시스템 구축 관리방안에 디지털트윈 시스템 적용
재난관리	재난현장 맵핑	3차원 공간정보 맵핑 플랫폼 개발 및 구축
	재난발생 시 대피	3D 공간모델링을 통한 재난발생시 대피경로 안내
시설물 안전	건축물	건축물의 3D 시각화를 통해 여러 건축물 재난안전사고에 대비
	공동구 <sup>1</sup>	도시의 핵심기반시설의 3차원 모델링을 통해 다양한 복합적 재난상황시 대비체계 구축에 활용

출처: 저자작성

<sup>1</sup> [국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제2조 9항]에 따라, 전기, 가스, 수도 등의 공급설비, 통신시설, 하수도시설 등 지하매설물을 공동 수용함으로써 미관의 개선, 도로구조의 보전 및 교통의 원활한 소통을 위하여 지하에 설치하는 시설물

# 3 재난안전 디지털트윈 상시활용 제안

## ■ 재난안전분야 디지털트윈 활용이 어려운 이유

- 첫째, 재난안전에서 다루는 문제(예. 자연재해, 사회재난 등)는 정확한 발생시점을 예측하기 어려움
  - 문제 발생의 예측불가능성과 비정규성은 시스템의 상시적 활용보다는 시스템의 실시간성과 빠른 반응성을 요구하게 됨
    - 재난의 카타스트로피적 특성은 기존의 선형적 인과관계성으로 확인하기가 어렵기 때문에 시뮬레이션 기반의 비선형적 분석이 반드시 필요함
    - 그러나, 시뮬레이션 기반의 디지털트윈은 연산을 위한 상당한 시간이 요구되므로 실시간 적용을 통한 빠른 상황판단에 있어서 근본적 한계가 존재함
- 둘째, 재난안전분야에서 발생하는 문제들은 여러 관련 요소가 복합적으로 고려되어야 하는 높은 수준의 복잡성을 가짐
  - 문제의 복잡도가 증가한다는 것은 고려해야 할 맥락과 변수들이 많아진다는 것을 의미하며, 이러한 부분은 앞에서 언급한 실시간성과 빠른 반응성과 상충됨
    - 모형의 단순화를 통해 얻을 수 있는 효율성의 측면은 존재하지만, 재난안전 디지털트윈의 정확성은 국민들의 생명과 재산과 직결되어 있어 타협하기 어려움

## ■ 「Always-Ready」 디지털트윈 활용 전략(안) 제시

- (목표1) 실제 재난 상황 발생시 고려할 수 있는 다양한 시나리오를 빠르게 제공
  - 특정 상황에서 고려할 수 있는 다양한 맥락적 요인들을 고려하여 생성한 시나리오를 빠르게 현장에 전달하여, 현장 대응의 신속성과 정확성을 제고
    - 특정 재난 요인과 맞물린 여러 유관 요인들의 상호의존성을 종합적으로 고려하여 현장에서 예측하기 어려운 연쇄 작용(chain reaction)에 대한 정보를 제공
- (목표2) 다양한 시나리오에 대한 사전 분석을 통해 주요 시나리오별 대처 가이드 생성
  - 상황에 대한 정보를 기반으로 그에 맞는 대응 방안을 최대한 신속하게 제공할 수 있도록, 주요 재난 시나리오에 따른 대응 전략을 사전에 개발 및 관리
    - 상황에 맞는 자원의 최적 분배, 조정 및 의사소통, 대응 주체별 행동 방식 등에 대한 구체적인 가이드를 제공함으로써, 신속하고 정확한 대응과 복구를 가능하게 함

## ■ 「Always-Ready」 디지털트윈 활용 전략의 기본 개념

- 「Always-Ready」 전략은 재난 상황이 발생하지 않는 평시에, 재난안전 디지털트윈을 활용하여 발생가능한 시나리오와 그에 따른 대응방안을 생성해내는 것을 의미함
  - 「Always-Ready」는 여러 재난 상황에 대한 다양한 시나리오와 대응방안을 미리 준비하여 항상 준비된 상태로 재난 상황에 조기에 대응할 수 있는 시스템을 의미함
- 「Always-Ready」 전략은 3가지 특징을 가짐
  - **(신속성)** 재난상황 발생 조기에 고려할 수 있는 다양한 시나리오와 그에 따른 대응방안을 신속하게 제공
  - **(정확성)** 다양한 변수들의 복잡한 상호작용을 고려하여 주어진 조건에 맞는 정확한 시나리오와 대응 방안 제공
  - **(효율성)** 유휴 시스템을 활용함으로써 큰 비용을 들이지 않고 시스템의 활용성을 제고할 수 있음

## ■ 「Always-Ready」 디지털트윈 활용 전략의 구성

- 「Always-Ready」 전략은 아래 표와 같이 3개의 운영모듈(operating module)로 구성됨

표 2 「Always-Ready」 전략의 운용모듈

모듈명	주요임무	세부 수행 기능
시나리오 생성 모듈 (Scenario generating module)	시나리오 생성을 위한 조건 <sup>2</sup> 규정 및 시나리오 생성	주어진 지역의 환경에 대한 다양한 매개변수 설정 (예. 강우량, 바람, 기온, 인구, 교통량 등)
		발생가능한 이벤트 설정 (예. 제방붕괴, 댐방류, 화재발생, 교통사고발생, 인구밀집 등)
		선행요건에 대한 설정 (예. 건축물 위치, 도로의 위치, 제방높이 등)
		설정된 조건에 따른 시나리오 생성
		시나리오별 발생 확률 계산
대응 개발 모듈 (Response developmnet module)	재난상황 시나리오에 대한 대응방안 개발	생성된 시나리오 기초 분석 (예. 피해범위, 피해강도 등)
		시나리오별 재난 상황 식별·정의
		식별·정의된 재난상황에 대한 대응 자원 발굴
		대응 자원의 운용 및 배치 전략 개발
조율 모듈 (Moderating module)	도출된 시나리오 및 대응 방안에 대한 교차검증	유사 시나리오 통합 및 시나리오 유형화
		유사 시나리오 분석을 통한 특이점(singularity point) 확인
		시나리오 및 대응방안 정합성·실현가능성 검토
		시나리오 및 대응방안의 문서화, 관리, 배포 등

출처: 저자작성

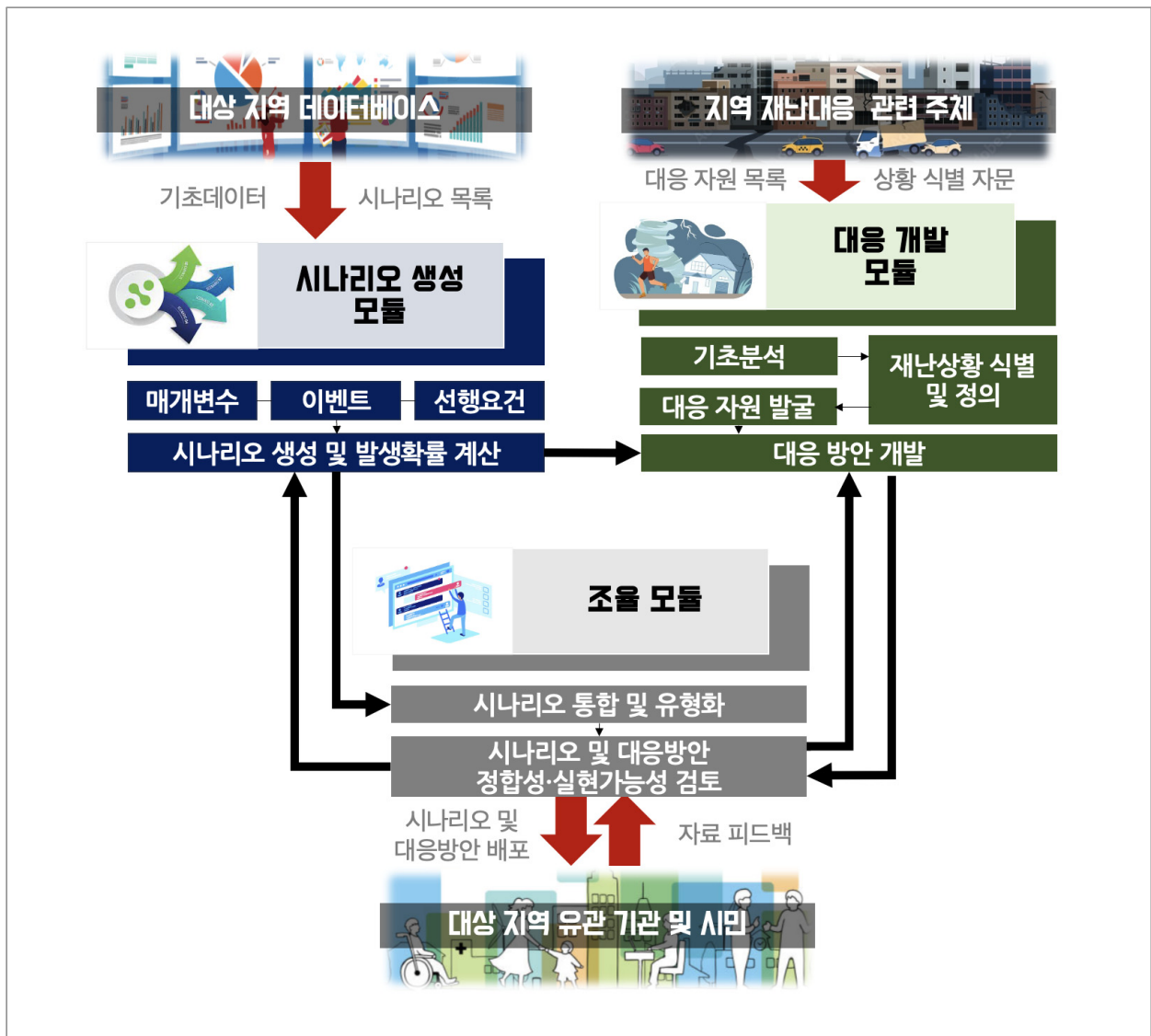
<sup>2</sup> 환경매개변수(environment parameter), 이벤트, 선행요건 등



## ■ 「Always-Ready」 전략 모듈의 유기적 작동

- 시나리오 생성 모듈은 대상 지역의 데이터와 시나리오 목록을 통해 시나리오 생성 및 발생확률을 계산하여 이 결과를 대응 개발 모듈과 조율 모듈에 전달
- 대응 개발 모듈은 지역의 재난 대응 관련 주체로부터 대응 자원을 확보하고 재난 상황 식별에 대한 도움을 받아, 적절한 대응방안을 개발하여 조율 모듈에 전달
- 조율 모듈은 생성된 시나리오를 통합, 유형화 하고 시나리오별 대응 방안과의 정합성 및 실현가능성을 검토하여 대상 지역 유관 기관 및 시민에게 시나리오와 대응 방안 자료를 배포하고 피드백을 수렴함

그림 2 「Always-Ready」 재난안전 디지털트윈 전략체계 운용 도식화





# 4 결론

## ■ 디지털트윈은 증거기반의 의사결정을 가능하게 하는 주요한 도구

- 국가사회문제에 대한 정책적 대응의 중요성이 강조되는 가운데, 정책수립과 의사결정 과정의 어려움을 실증적 증거를 기반으로 정책 수립을 지원할 수 있도록 해준다는 의의가 있음
- 복잡한 문제에 대한 합리적 판단근거를 제시할 수 있다는 측면에서 그 잠재성이 높다고 할 수 있음

## ■ 재난안전분야 디지털트윈 활용의 현실적인 한계점

- 재난안전분야에서 디지털트윈 기술 활용의 중요성이 높아지고 있으나, 그 적용에는 어려움이 있음
- 공공부문 일반에서는 명확한 문제인식을 통해 디지털트윈의 활용 방향성을 사전에 계획하고 구축하는 것이 어렵고, 사용자 중심의 기능들을 중요하게 고려함에 있어 한계가 있음
- 재난안전 분야에서는 재난안전상황의 발생시점 예측이 어려워 시스템의 유희기간이 길고, 다양한 요소가 복합적으로 고려되어야 하여 단편적 분석으로 정확한 판단이 어려움

## ■ 「Always-Ready」를 통한 재난안전분야 디지털트윈 활용성 제고 방안 제안

- 활용의 장점에도 불구하고, 아직 여러 구조적 및 환경적 제약으로 인해 모든 산업에서 적극적으로 활용되고 있지 못하는 현실에서 신속성, 정확성, 효율성 측면에서 장점을 가질 수 있는 방안 강구
  - 디지털트윈 기술의 상시 활용성을 증대하기 위해 시나리오 생성 모듈, 대응 개발 모듈, 조율 모듈 등 3가지 모듈의 유기적 동작을 통한 유희 활용 전략을 제안
- 디지털트윈 기술의 공공부문에서 적용에서의 고려사항은 기술의 정확성 및 안전성 확보, 개인정보 보호의 문제 발생 가능성, 원활한 활용을 위한 법제도적 근거 마련, 개발부터 활용단계까지 이해관계자 간 갈등 문제 등 여전히 산적해 있음
  - 신기술과의 융합을 통한 시스템 확장, 시스템 및 기술의 성능 검증, 법제도적 근거 마련을 통한 개인정보 보호문제 해결 등을 통한 활용 확대방안 고민 필요

## 참고문헌

- 1 정영준, 조일연, 이정우, 김범호, 이성호, 임창규, 이천희, 백의현, 진기성, 김영철, 이상민, 최민석, 김태호, 장민주, 김산옥, 김혜경, 정승준, 이선영, 안주혁. (2021). 디지털트윈 기술의 도시 정책 활용 사례 (세종시 도시행정 디지털트윈 프로젝트를 중심으로). **전자통신동향분석**, 32(2), 43-55.
- 2 황한찬·최한별. (2023). 디지털트윈 기술을 통한 지능적인 공공 정책 의사결정의 가능성: 증거 기반 시나리오에 기반한 디지털트윈 시뮬레이션 모델링. **한국행정정보**, 57(1), 39-71.
- 3 황한찬·최한별·신승윤. (2023). 디지털트윈 기술을 통한 정책 미세조정의 가능성: 세종시 공공자전거 어울링 사례를 중심으로. **한국정책학회보**, 32(2), 57-83.
- 4 Steinbacher, M., Raddant, M., Karimi, F., Camacho Cuena, E., Alfarano, S., Iori, G., & Lux, T. (2021). Advances in the agent-based modeling of economic and social behavior. *SN Business & Economics*, 1(7), 99.
- 5 김지은·홍창희. (2018). 효과적인 재난 대응을 위한 3차원 BIM 기반 재난 통합정보 시스템 활용 서비스 제시. **한국산학기술학회지**, 19(10), 143-150.
- 6 문상호·김병목·이계은. (2020). 모델링 기반 빌딩관리시스템의 설계 및 구현. **한국멀티미디어학회**, 23(5), 673-682.
- 7 장윤섭·장인성. (2021). 스마트 도시 실현을 위한 디지털트윈 기술 동향. *Electronics and Telecommunications Trends*, 99-107.
- 8 박기두·정영훈·유영욱. (2020). 디지털트윈 기반 재난 자원 통합플랫폼 기술 개발 사업에 착수함에 앞서서. **한국수자원학회**, 53(6), 48-55.
- 9 노재인·박형수·명승환. (2022). 디지털트윈을 활용한 스마트시티 재난관리 방안 연구 : 인천광역시 사례를 중심으로. **한국지역정보학회지**, 25(1), 1-33.
- 10 하경준·윤성혜·이대웅. (2020). 경남 스마트안전관리체계 구축방안. **경남연구원**, 1-78.
- 11 김성삼·노현주·신동윤·이준우·김현주. (2020). 재난현장조사 공간정보 웹 가시화를 위한 3차원 맵핑시스템 개발. **대한원격탐사학회지**, 36(5-4), 1195-1207.
- 12 정연하·김소담·서현정·이호준·송태정. (2022). 디지털트윈 시스템 적용을 위한 공동구 복합재난 시나리오 구축. **한국재난정보학회**, 18(4), 861-872.
- 13 염상국·박영준. (2022). 디지털트윈을 활용한 건축물 시설안전대응 통합관리체계 구축 필요성에 관한 연구. *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, 42(5), 711-721.
- 14 이병재. (2023). 미래형 재난에 대비한 국토방재 지능화 정책대안 고찰 연구. **한국방재안전학회**, 16(1), 37-48.
- 15 이석민·윤형미. (2018). **서울시 스마트 안전도시 구축방안**. 서울연구원, 1-139.



---

A (우)03367 서울특별시 은평구 진흥로 235 한국행정연구원  
T 02.564.2000 F 02.564.2013 H [www.kipa.re.kr](http://www.kipa.re.kr)

- 출처를 밝히지 않고 이 이슈페이퍼를 무단전제 또는 복제하는 것을 금합니다.
- 본 이슈페이퍼의 내용은 연구책임자의 개인적 의견이며, 연구원의 공식적인 의견이 아님을 밝힙니다.
- 본 보고서를 '[저작권법] 제24조2(공공저작물의 자유이용)'에 따라 사용하실 경우 한국행정연구원의 동의를 반드시 받아 사용하여 주시기 바랍니다.
- 이 이슈페이퍼를 인용하실 때는 다음과 같은 사항을 기재하여 주십시오.  
박상진, 차남준, 최한별(2023). <재난안전 분야 디지털트윈 시스템의 새로운 활용 전략 제언>. 한국행정연구원 이슈페이퍼 136호