



Digital Twins and the Systems Perspective

디지털 트윈과 시스템 관점

A buildingSMART Digital Twins Working Group Paper

서론

우리는 사회적, 경제적, 정치적 요인에 크게 영향을 받는 불안정하고 도전적인 세상에 살고 있으며, 이러한 요인들은 줄어들 조짐이 보이지 않습니다. 우리의 존재는 의료 서비스 제공, 에너지 분배, 교육, 교통, 통화 흐름, 정수, 커뮤니케이션 등을 관장하는 복잡한 시스템의 망에 복잡하게 얽혀 있습니다. 여러 면에서 이러한 시스템은 인간 업적의 정점이며 사회를 지탱하는 모든 것을 뒷받침합니다. 하지만 우리의 시스템이 모두 잘 돌아가는 것은 아닙니다.

이러한 시스템은 오랫동안 의도된 목적을 충족해 왔지만, 특히 '디지털 트윈'[1]이 가속화됨에 따라 환경이 점점 더 복잡해지고 있습니다. 시스템을 관리하는 조직과 기관은 전통적으로 운영해 온 사일로 간의 복잡성이 커지는 데 대처하기 위해 고군분투하고 있습니다.

사회경제적 과제가 커지고 더욱 복잡해지는 반면, 이는 주로 데이터, 표준 및 AI, 디지털 트윈, 양자 및 로봇공학과 같은 기술 분야에서 증가하는 기회 집합에 의해 균형을 이루고 있습니다. 증가하는 계산 능력으로 인해 사이버 물리적 시스템, 즉 데이터와 디지털 기술을 물리적 자산 및 프로세스와 통합하여 통찰력 있는 의사 결정을 내리고 원하는 결과를 달성하기 위해 고급 작업을 수행하는 시스템이 생겨나고 있습니다. 사이버 물리적 시스템에는 스마트 그리드, 산업 시스템 제어, 항공 전자 및 건설 로봇 등이 포함됩니다. 물리적 세계와 디지털 세계 간의 이러한 관계는 또한 디지털 트윈이라는 주제의 핵심입니다[2].

연결을 감안할 때, 교통, 에너지, 의료, 법률 서비스 등과 같은 다양한 부문을 데이터 중심의 미래를 위해 정렬할 수 있는 명확한 기회가 있습니다. 건축 환경은 사회에서 가장 중요한 시스템의 호스트이기 때문에 이 미래에서 필수적인 역할을 합니다. 그리고 파일 기반에서 데이터 기반 교환으로의 명확한 전환을 감안할 때, 더 크고 연결된 미래를 고려할 수 있는 엄청난 기회가 있습니다. 이는 "별도의 부분이 아닌 연결된 전체"로도 설명됩니다. [3]

그러나 잘 문서화된 생산성 및 성과 과제가 건축 환경에 직면하고 기후 변화, 회복력 및 탈탄소화에 대한 시급한 필요성과 결합되어 사고방식의 변화가 필요합니다. 즉, 시스템 측면에서 건축 환경을 생각하고 이것이 어떻게 더 나은 환경적, 사회적, 경제적 결과를 제공할 수 있는지 알아보는 변화입니다.

건축 환경은 미래에서 필수적인 역할을 합니다. 왜냐하면 사실상 사회의 가장 중요한 시스템의 호스트이기 때문입니다.

디지털 트윈 작업 그룹의 목적

디지털 트윈 워킹 그룹(DTWG)은 새로운 사고방식을 옹호하고 있습니다. 즉, 생태계를 향한 "시스템의 시스템"으로서의 건축 환경 개념에 대한 인식을 높이고, 이와 함께 개방형 표준 채택을 가속화하여 작업의 기반이 개방적이고 협력적이며 올바른 원칙에 따라 안내될 수 있도록 하는 것입니다. 이러한 전환을 이루기 위해서는 표준과 정렬이 필요합니다.

DTWG의 2020년 논문 "디지털 트윈의 생태계"에 이어, 이 그룹은 2023년에 디지털 트윈의 시너지 생태계로의 전환을 안내하기 위해 Three Horizons Framework를 통합하여 비전을 확대했습니다. 이는 buildingSMART

International Rome Summit에서 중추적인 논의였습니다. 이후 2023년 9월 buildingSMART International Lillestrom Summit에서 이 그룹은 이 프레임워크를 7가지 관점으로 풍부하게 했습니다. 각각의 후속 논문은 이전 작업을 기반으로 구축되었으며, 이 논문과 함께 건축 환경의 전반적인 그림을 이해하기 위한 점점 더 일관된 개념적 프레임워크를 제공합니다.

이 문서는 프레임워크에 시스템 관점을 추가하는 것을 목표로 합니다. 파트1에서는 발생한 사회경제적 변화를 깊이 있게 살펴봅니다. 파트2는 기술과 데이터의 중요한 발전을 강조하는 데 전념합니다. 파트3에서는 결론 전에 시스템 관점을 포함하도록 관점 모델을 확장합니다.

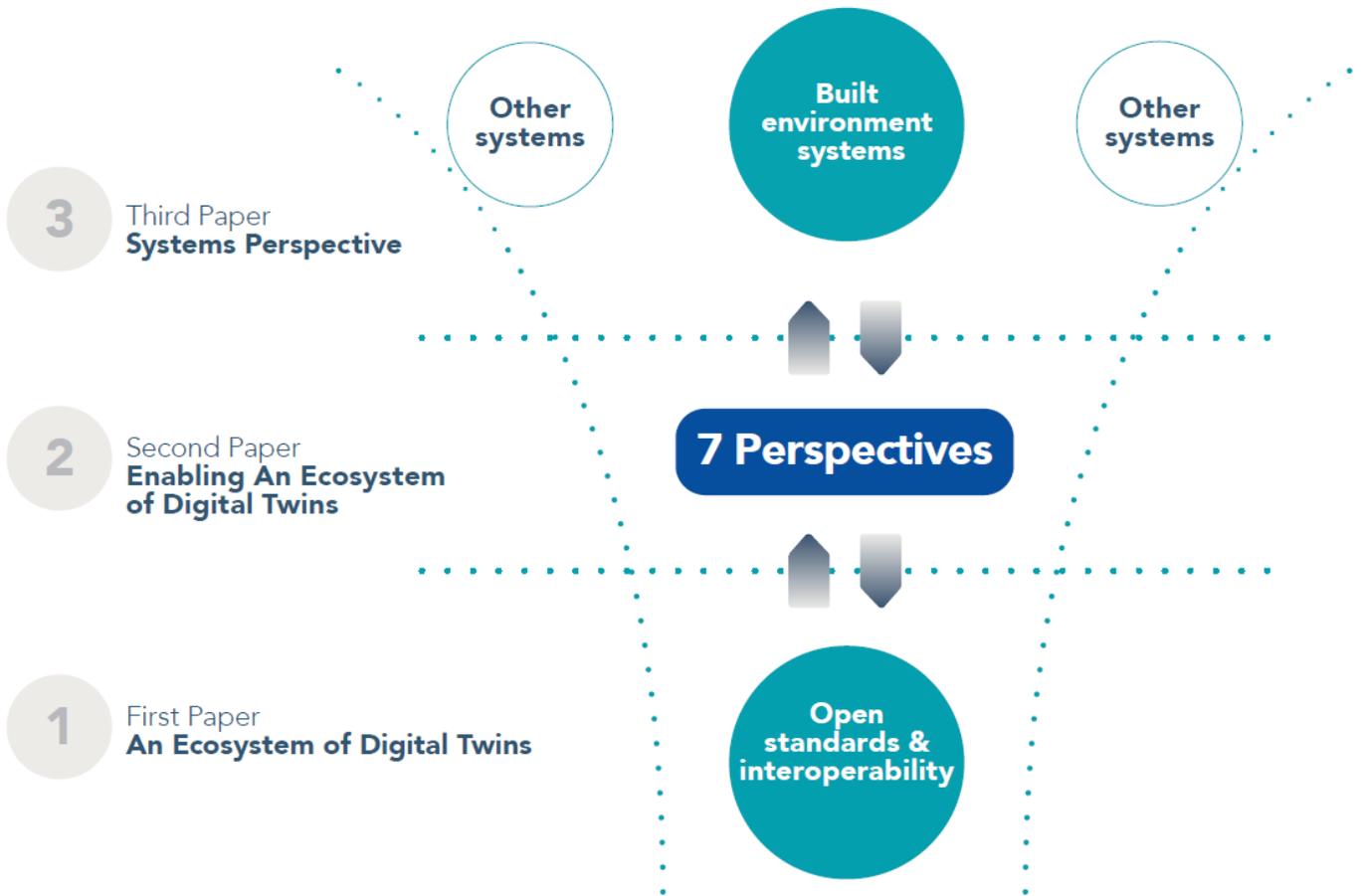


Image: The approach from the Digital Twins Working Group

Part 1:

건축 환경에 대한 도전적인 전망

사회 경제적 발전은 우리의 건축 환경 시스템의 요구 사항에 큰 영향을 미칩니다. 예를 들어, 인구 고령화로 인구의 통계적 변화는 의료 및 주거 시설에 직접적인 압력을 가합니다. 더 광범위하게, 시민의 건강 결과 개선을 우선시하는 방향으로의 전환에는 공기 질 개선, 건강한 교통 수단 제공, 도시 지역의 열 스트레스 감소도 포함됩니다. 결과적으로 건강과 웰빙은 단순히 의료 시스템의 임무가 아니라 더 넓은 건축 환경도 중요한 역할을 합니다.

이 예시에서 건강 개선의 과제가 초점이지만, 사람과 자연을 위한 다른 결과를 개선하기 위해 우리가 구축한 시스템을 사용하는 경우에도 마찬가지입니다. 시스템 관점에서 이러한 과제를 이해하면 인구의 진화하는 요구를 효과적으로 충족하기 위해 상호 연결된 시스템을 이해하고 지속적으로 개선하는 것의 중요성을 강조합니다[4].

시스템의 적응은 도전적인 전망에 대처하기 위해 필요하지만, 많은 경우 이러한 개입은 때때로 효과가 없거나 심지어 해로울 수 있습니다[5]. 따라서 프로젝트를 올바르게 수행하는 것뿐만 아니라 올바른 프로젝트를 수행하는 것이 필수적입니다. 또한 결과적으로 구축된 시스템이 약속을 이행하는지 확인하기 위해 그 너머를 살펴봐야 함을 의미합니다. 모든 시스템은 운영을 시작하면 어려움이 있지만, 구축되면 그 가치를 무시하는 경향이 있습니다. 예를 들어, 기존 건물 재고의 가치는 무엇이며 노령 인구를 더 잘 지원하기 위해 주택 시스템에 어떻게 적용할 수 있습니까? 또는 건강 결과를 개선하기 위해 기존 자산을 더 잘 관리하려면 어떻게 해야 합니까? 또는 기존 교통 인프라를 탈탄소화하려면 어떻게 해야 합니까? 그리고 기존 인프라를 전기 및 가까운 미래에 자율 주행 차량과 같은 새로운 교통 수단에 환경 친화적인 방식으로 어떻게 적응시킬 수 있습니까? 이러한 질문은 또한 현재 조직 및 제도적 인센티브 구조의 사일로가 때때로 우리를 방해하는 방식을 고려하게 합니다.

기후 변화와 탈탄소화 및 회복력에 대한 필요성은 건축 환경의 최우선 과제입니다. 넷제로 접근법이 주목을 받는 데는 그럴 만한 이유가 있습니다. 건설 및 운영 중인 건물은 CO₂ 배출의 가장 중요한 원인 중 하나입니다. 저탄소 미래를 만들려면 '사용'부터 시작하여 데이터 기반 접근 방식으로 지원하는 자산 수명 주기 전반에 걸쳐 지속 가능성을 재고해야 합니다. AI의 등장으로 이것이 증가하는 복잡성을 처리하는 방식에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 것을 시사하는 연구가 점점 더 많아지고 있습니다[6].

올바른 프로젝트를 수행하는 것뿐만 아니라 프로젝트를 올바르게 수행하는 것도 중요합니다. 또한 결과적으로 구축된 시스템이 약속을 이행하는지 확인하기 위해 그 너머를 살펴봐야 한다는 의미이기도 합니다.

사회로서 우리는 인프라를 혁신하고, 에너지 소비를 줄이고, 재생 가능한 자원을 수용하는 데 집중해야 합니다.

여기에는 새로운 건물과 인프라의 설계 및 건설과 기존 구조물의 개조 및 최적화를 포괄하는 전체적인 접근 방식이 포함됩니다. 지속 가능한 관행을 도시 계획, 교통 및 폐기물 관리에 통합하여 보다 회복력 있고 환경 친화적인 건축 환경을 만들 수 있습니다.

섹터 수준에서 노동력 부족은 지속되고 있으며, 불행히도 상황은 개선될 기미가 보이지 않습니다. 이러한 과제는 단순한 수치적 부족을 넘어 확대됩니다. 점점 더 디지털화되고 상호 연결된 세상에서 기존 노동력을 재교육해야 하는 엄청난 압력이 있습니다. 한편, 이 분야의 생산성은 다른 산업에 비해 뒤떨어졌고, 일부 지역에서는 감소하기도 했습니다. 건설 및 재건축에 대한 수요가 계속 급증함에 따라 가용 역량과 용량에 대한 부담이 더욱 심화되고 있습니다.

노동력 부족 외에도 건설 업계는 잘 입증된 자재 부족 문제와 씨름하고 있는데, 이는 순환성을 옹호하는 정책 전반에 걸쳐 반향을 불러일으키는 문제입니다. 이러한 논의는 종종 지역의 전략적 자율성을 중심으로 이루어집니다. 순환 경제로 전환함에 따라 그 여파는 기존 가치 사슬, 특히 강철 및 콘크리트와 같은 자재에 묶인 가치 사슬에서 깊이 느낄 것입니다. 새로운 자재는 다양한 범위의 자원으로 구성되며, 설계 과정에서 지속 가능성을 위해 그 속성과 기원을 고려해야 합니다. 이러한 맥락에서 사용된 자산의 지속적인 관리가 중요한 측면입니다. 중요한 질문이 제기됩니다. 순환 경제 모델을 용이하게 하는 솔루션을 어떻게 개발할 수 있을까요? 시스템적 사고 관점에서 순환성은 건설 폐기물을 줄이거나 재활용률을 높이는 것만이 아니라 건설된 자산과 시스템의 사용 가치를 극대화하는 것입니다.

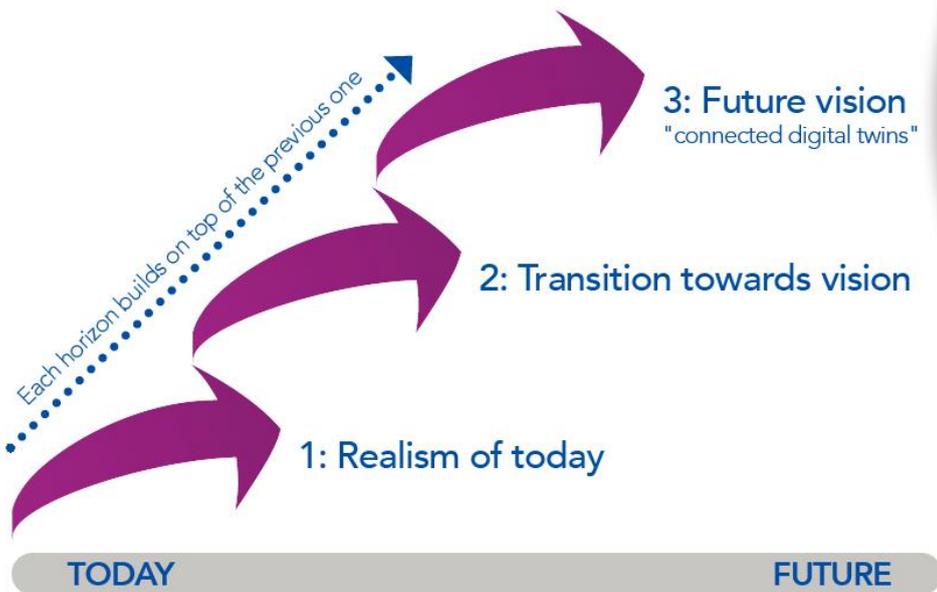
고려해야 할 마지막 각도는 산업 관련 과제를 해결하는 데 있어서 기술의 중심적인 역할을 중심으로 합니다. 기술은 엄청난 잠재력을 가지고 있지만(2부에서 자세히 설명하겠지만) 현재 우리 부문에서는 비교적 낮은 수준의 기술 도입에 어려움을 겪고 있습니다. 우리의 디지털 사고방식은 여전히 미개발 상태이며, 우리의 교육과 경험은 시스템 전체가 아닌 프로젝트 기반 접근 방식과 주로 일치합니다. 또한 가치 사슬은 여전히 매우 분산되어 있어 데이터와 디지털 통합은 계속해서 큰 과제입니다.

**사회로서 우리는
인프라를
혁신하고, 에너지
소비를 줄이고,
재생 가능한
자원을 수용하는
데 집중해야
합니다. 여기에는
새로운 건물과
인프라의 설계 및
건설과 기존
구조물의 개조 및
최적화를 포괄하는
전체론적 접근
방식이 포함됩니다.**

그러나 유망한 발전이 있습니다. 우리는 이러한 전환기에 공공 및 민간 협업의 필수성을 점점 더 인식하고 있습니다. 공공 기관의 디지털 규정 및 허가에 대한 의무는 가치 사슬을 디지털화하는 촉매 역할을 합니다. 또한 전 세계의 주요 프로젝트에서 업계의 국제적 선두 주자들이 개방형 표준과 같은 디지털 트윈 생태계의 전제 조건을 통합하기 위해 적극적으로 협업한다는 점에 주목합니다. buildingSMART international의 Accelerator Program 이니셔티브는 주요 프로젝트를 지원하기 위해 개발되었습니다.

그러나 진전에도 불구하고, 우리의 노력은 앞으로의 엄청난 도전에 대처하기에 여전히 부족합니다. 기존 시스템을 연구하고 상호 연결을 이해함으로써 우리는 더 나은 방향으로 건설 환경을 개입하고 재조정할 가능성을 엿볼 수 있습니다. 이는 프레임워크에서 두 번째 지평을 향한 중요한 단계입니다. 성과를 개선하는 길은 건설 및 자연 시스템을 더 잘 이해하고 더 효과적으로 개입하는 것입니다.

The Three Horizons Model



Source: www.visionforbuiltenvironment.com

Part 2: 기회가 오고 있다

두 가지 중요한 주제가 부상하고 있습니다. 데이터와 디지털 기술의 발전과 산업의 성숙입니다. 이 두 가지의 상호 작용은 핵심적입니다. 데이터는 더 나은 의사 결정을 위한 핵심 통찰력을 제공하지만, 이 데이터를 활용하고 활용하는 것은 기술에 기반한 실용적인 도구입니다. 이러한 도구를 채택하고 사용할 수 있는 산업의 성숙함이 없다면 우리가 직면한 사회 경제적 과제를 해결하는 것은 불가능할 것입니다.

기술적 관점에서 우리는 최근 몇 년 동안 놀라운 가속화를 목격했습니다. 이러한 진전은 디지털 트윈과 로봇공학을 넘어 자산에 대한 동적 데이터를 제공하는 센서의 비용 감소와 인공지능의 접근성 증가를 포함합니다.

주목할 만한 사례 중 하나는 싱가포르가 Virtual Singapore로 알려진 도시 전체의 디지털 트윈을 개발한 것입니다. 이 플랫폼은 다양한 소스의 데이터를 통합하여 도시 계획, 재해 관리 및 인프라 유지 관리에 사용되는 도시의 동적 3D 모델을 만듭니다. Virtual Singapore는 새로운 건설 프로젝트가 교통, 환기 및 소음 수준에 미치는 영향을 시뮬레이션하여 더 나은 의사 결정과 계획을 가능하게 합니다. 이 시스템은 또한 인프라의 예측 유지 관리를 가능하게 하여 다운타임을 줄이고 자산의 수명을 연장할 수 있습니다.

이러한 기술적 발전으로 인해 이러한 기술을 국가적 규모로 적용할 수 있게 되었습니다. 예를 들어 시는 생산성을 크게 높일 수 있는 잠재력을 보여주었습니다. 점점 더 많은 학계에서는 시가 고급 데이터 분석, 예측 유지 관리 및 의사 결정을 가능하게 함으로써 디지털 트윈을 더욱 향상시킬 것이라고 제안합니다. 이를 통해 시간이 지남에 따라 학습하고 개선할 수 있는 지능형 시스템으로 전환됩니다. AI 기반 모델링은 많은 디지털 트윈의 핵심에 있는 모델을 혁신하여 시뮬레이션을 생성하고 이를 훈련하는 데 사용되는 물리 기반 모델보다 더 빠르고 저렴하게 통찰력을 제공할 수 있습니다. 이를 통해 디지털 트윈을 시스템에 더 쉽게 접근하고 귀중한 기여자로 만들 수 있습니다.

이 응용 프로그램의 또 다른 예는 향상된 지능이 시스템 수준 의사 결정을 향상시키는 에너지 그리드 관리입니다. 에너지 그리드에는 발전소, 송전망, 배전 시스템 및 소비자 사용 데이터가 포함됩니다. 전통적인 발전소와 함께 태양열과 같은 재생 에너지원이 그리드에 통합되어 안정적인 에너지 공급을 보장합니다. 센서와 스마트 미터의 실시간 데이터를 사용하여 그리드는 에너지 공급과 수요를 동적으로 균형 잡을 수 있습니다. 예를 들어, 태양열 발전이 높을 때 시스템은 석탄 발전소의 전력 출력을 줄이거나 배터리에 과도한 에너지를 저장하여 탄소 배출을 줄이고 그리드 회복력을 개선할 수 있습니다. 그러나 특히 사이버 보안과 중요한 시기에 원활한 데이터 흐름을 보장하는 데 있어 과제가 남아 있으며, 이로 인해 일부 중요한 사건이 발생했습니다.

**두 가지 중요한 주제가 부상하고 있습니다:
데이터와 디지털 기술의 발전과, 산업의 성숙입니다.
이 두 가지의 상호 작용은 핵심적입니다.**

openBIM의 역할

몇 년 동안, openBIM이 디지털 트윈과 더 광범위한 시스템 사고의 생태계에서 중요한 역할을 할 것이라는 인식이 커져 구조화되고 상호 운용 가능하며 액세스 가능한 데이터를 구축 환경 전반에 제공하는 기반을 마련했습니다. buildingSMART International은 업계를 위한 효과적인 표준과 서비스를 개발해 왔습니다. 특히, IFC 4.3이 확립된 ISO 표준으로 발표되면서 그 중요성이 더욱 확고해졌습니다. Information Delivery Specifications(IDS), BIM Collaboration Format(BCF), buildingSMART Data Dictionary(bSDD) 서비스와 같은 최근의 개발은 구축 환경 전반의 이해 관계자에게 상당한 이점을 제공하고 있습니다. 또한 정부와 고객이 IFC와 openBIM의 가치를 인식하는 추세가 커져 IFC 의무가 증가하고 있습니다.

건물 정보 모델링(BIM) 주제를 고려한다면, 이것이 보다 생산적인 결과에 기여하는 방식으로 적용된다는 데 대한 합의가 항상 있었던 것은 아닙니다.

최근 연구에 따르면 "BIM 프로젝트를 제공하는 데 사용되는 조직 및 계약 프레임워크는 협업을 부분적으로만 지원합니다"[6]. 이는 더 큰 상호 운용성, 향상된 협업 및 향상된 생산성을 통해 더 많은 가치를 추가할 수 있는 openBIM의 중요성에 무게를 더합니다. 이를 지원하기 위해 bSI는 개방형 표준을 훨씬 더 많이 사용하여 구축 환경 생태계 전반에 걸쳐 이러한 긍정적인 결과를 얻을 수 있도록 옹호하고 있습니다.

이러한 지속적인 개발은 디지털 트윈의 생태계를 가능하게 합니다. 이러한 지속적인 개발을 지원하기 위해 buildingSMART International은 증가하는 수요를 해결하기 위해 새로운 개방형 서비스와 표준을 혼합하여 확장하고 있습니다. 산업으로서 우리는 고립된 개체가 아닌 전체 시스템에 집중해야 합니다.

openBIM은 디지털 트윈과 보다 광범위한 시스템 사고의 생태계에서 중요한 역할을 하며 구축 환경 전반에 걸쳐 구조화되고 상호 운용 가능하며 접근 가능한 데이터에 대한 기반을 제공합니다.

Part 3: 시스템 관점

우리 사회를 지탱하는 건설 시스템은 여러 형태로 나타납니다. 이러한 시스템은 복잡하고 상호 의존적이며 필수적입니다. 따라서 건설 프로젝트 시리즈가 아니라 사람과 자연이 여러 세대에 걸쳐 함께 번영할 수 있도록 하는 명시적 목적을 가진 시스템의 시스템으로 건설 환경을 다르게 인식할 때입니다. [8]

이 시스템 관점의 핵심 가치 제안은 더 낮은 전체 비용으로 사람과 자연에 더 나은 결과를 제공할 수 있다는 것입니다. 기후 변화 해결, 회복력 제공, 순환 경제 개발과 같이 우리가 직면한 시스템 수준의 과제를 해결하려면 필수적입니다. 이러한 접근 방식은 성과 중심, 시스템 기반 및 커뮤니티 활성화가 될 것입니다. 이에 대한 명확한 예는 싱가포르에서 국가적 규모로 수행되었습니다. CORONET X 플랫폼은 제조자가 건축 공사에 대한 IFC 형식을 준수해야 하는 명확한 개방형 표준을 따르므로 규제 거버넌스를 간소화하는 것을 목표로 합니다. 이 시스템 수준의 접근 방식은 협업을 개선하고 제출을 간소화하며 이를 사용하는 모든 사람에게 명확한 지침을 제공합니다.

DTWG는 2023년 9월에 발행된 논문 "디지털 트윈 생태계 활성화 - 업데이트"에서 7가지 관점을 소개했습니다.[8] 이러한 관점은 산업의 전환에 필수적인 역할을 하며 시스템 관점은 이 모든 관점을 연결합니다.

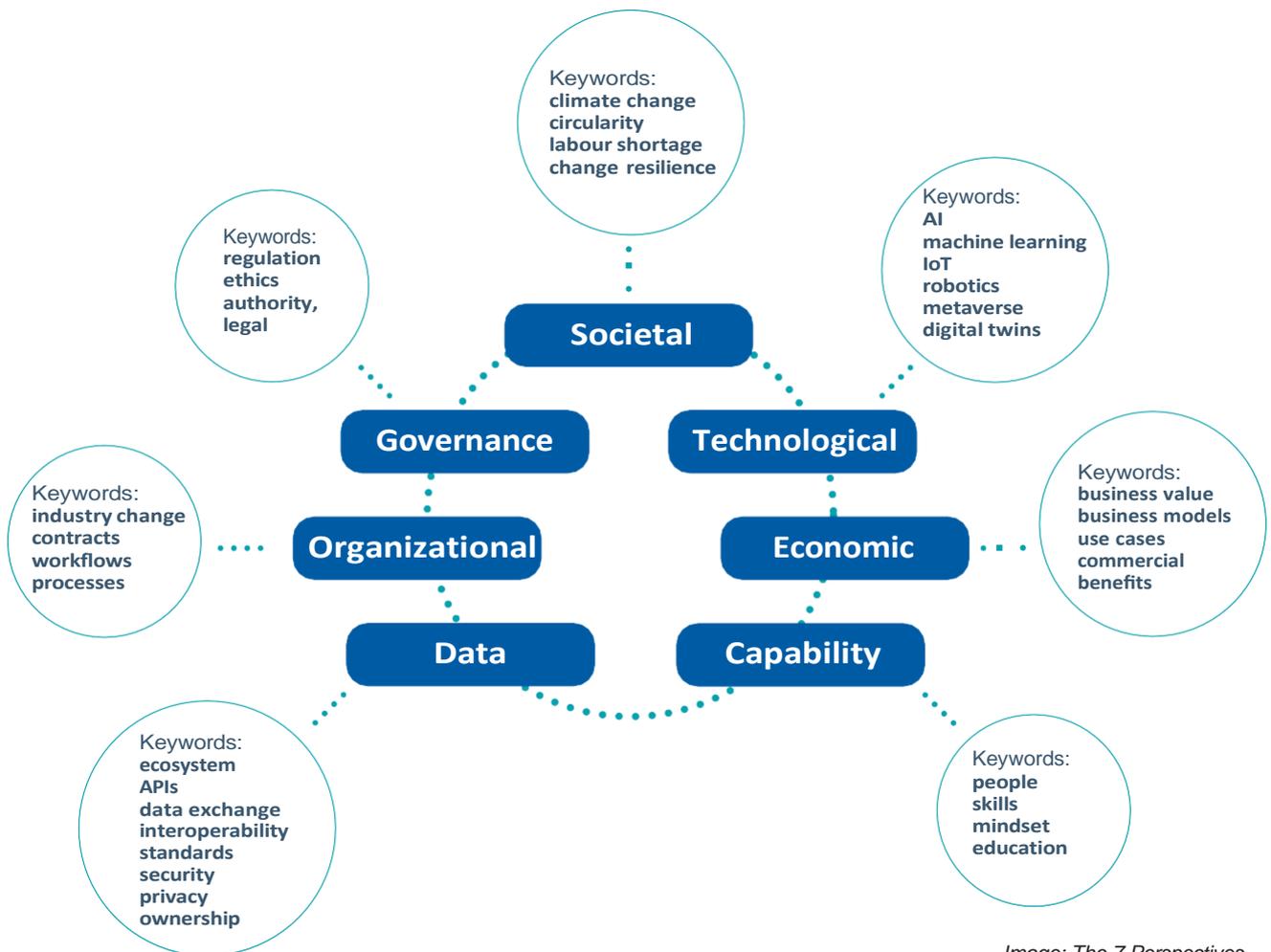


Image: The 7 Perspectives

이러한 관점을 함께 사용하면 상호 의존성을 강조하여 건축 환경을 고려하기 위한 일관된 프레임워크를 제공합니다. 예를 들어, "거버넌스"는 시스템에서 더 많은 일관성, 투명성 및 책임을 촉진하기 위한 규정을 제공할 수 있습니다. "역량" 관점에서 우리는 엔지니어링 결정이 미치는 영향을 포함하여 시스템 사고와 관련된 인식과 기술에 큰 격차가 있음을 확인합니다.

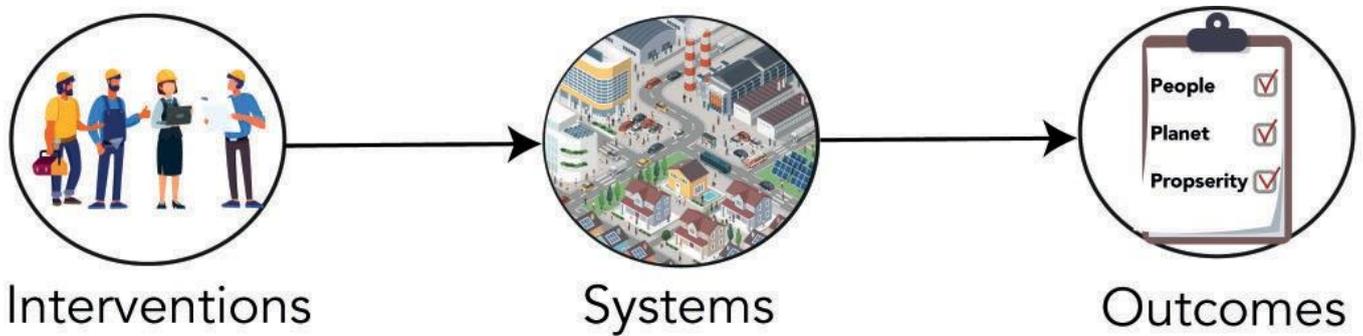


Image: Interventions into a system can lead to better outcomes

위의 다이어그램에서 알 수 있듯이, 성과를 개선하는 경로는 시스템 성능을 향상시키는 것입니다. 이 맥락에서 프로젝트는 '개입'으로, 새로운 자산을 추가하거나 기존 자산을 수정하여 전체 시스템에 긍정적인 영향을 미칩니다. 따라서 우리는 우리가 구축한 자연 시스템을 더 잘 이해하고 더 효과적으로 개입하기 위해 우리가 사용할 수 있는 모든 수단을 사용해야 합니다. 여기에는 연결된 디지털 트윈과 사이버 물리적 인프라의 생태계를 개발하는 것과 같은 데이터와 디지털 접근 방식을 훨씬 더 잘 활용하는 것이 포함됩니다.

핵심 목표는 이러한 시스템을 진정한 사이버-물리적 개체로 변환하는 것입니다. 디지털 트윈, GIS, 센서, 빅 데이터 및 기타 신흥 기술을 활용하면 이러한 시스템의 이해, 운영 및 성능을 향상시킬 수 있습니다. 또한 개방형 표준을 채택하면 혁신을 주도하고 소프트웨어 산업의 지원을 얻을 수 있습니다.

그러나 이러한 변화는 단순한 기술적 진보 이상을 요구합니다. 사고방식, 산업 규범, 거버넌스의 변화를 필요로 합니다. 궁극적인 목표는 사람들의 삶의 질을 개선하는 것입니다. 시스템 관점을 채택해야만 이를 실현할 수 있습니다.

디지털 트윈, GIS, 센서, 빅데이터 및 기타 신흥 기술을 활용하면 이러한 시스템의 이해, 운영 및 성능을 향상시킬 수 있습니다.

결론

현대 세계의 복잡성을 헤쳐나가면서 시스템 관점에 대한 필요성은 그 어느 때보다 절실합니다. 우리 사회를 지탱하는 시스템의 상호 연결성은 모든 개입이 영향을 미치는 더 광범위한 시스템 네트워크의 맥락에서 고려되는 전체론적 접근 방식을 요구합니다. 기후 변화와 인구 통계적 변화에서 기술 발전에 이르기까지 우리가 직면한 과제는 고립적으로 해결할 수 없습니다. 대신 사회적, 경제적, 환경적 고려 사항을 통합하는 조정된 시스템 기반 접근 방식이 필요합니다.

사이버-물리적 시스템으로의 전환은 건축 환경의 효율성, 회복성 및 지속 가능성을 향상시킬 수 있는 중요한 기회를 나타냅니다. 디지털 트윈, GIS, 센서, 빅데이터 및 기타 신흥 기술의 힘을 활용함으로써 우리는 더 효과적일 뿐만 아니라 사회의 변화하는 요구에 더 잘 적응할 수 있는 시스템을 만들 수 있습니다. 개방형 표준은 이러한 변화에 매우 중요하며, 혁신을 촉진하고 다양한 부문에서 원활한 협업을 가능하게 합니다.

그러나 이러한 변화는 기술에 대한 것만은 아닙니다.

사고방식의 변화, 산업 규범의 재평가, 거버넌스 구조의 재구성이 필요합니다. 의미 있는 진전을 이루려면 기후 변화, 환경 파괴, 사회적 불평등과 같은 시급한 과제를 해결하여 모든 사람의 삶의 질을 개선하는 데 집중해야 합니다.

결론적으로, 효과적인 시스템 시스템을 향한 여정은 도전이자 기회입니다. 시스템 관점을 채택하고 우리가 사용할 수 있는 도구와 기술을 활용함으로써 우리는 더 지속 가능하고 공평하며 회복력이 있는 미래를 만들 수 있습니다.

간단히 말해서, 우리는 더 밝은 미래를 향해 전환기를 맞이하고 있는 산업입니다. 일관된 개념적 프레임워크를 확립한 DTWG는 다음 몇 달 동안 이 문서와 이전 문서의 개념적 프레임워크를 실무에 적용하기 위해 특정 사용 사례와 함께 작업할 것입니다.

간단히 말해서, 우리는 더 밝은 미래를 향해 전환기를 맞이하고 있는 산업입니다.

저자

Bart Brink, TwiniT

Mark Enzer, Mott MacDonald

Aidan Mercer, buildingSMART International

Frank Weiss, Oracle Construction & Engineering

실무리뷰팀

Clive Billiald, buildingSMART International

Christian Frey, Siemens

Jugal Makwana, Royal HaskoningDHV

Matti Pesu, Finnish Transportation Agency

출처

- [1] World Economic Forum, What is the 'twin transition' – and why is it key to sustainable growth?, <https://www.weforum.org/agenda/2022/10/twin-transition-playbook-3-phases-to-accelerate-sustainable-digitization>
- [2] An Ecosystem of Digital Twins, 2020, <https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/Enabling-Digital-Twins-Positioning-Paper-Final.pdf>
- [3] Prieto, Robert. “Systems Thinking in the Construction Industry”, Researchgate, November, 2023 (https://www.researchgate.net/publication/375693110_Systems_Thinking_in_the_Construction_Industry)
- [4] Kwami, Corina Shika. “The Role of Systems Thinking in Integrating Innovation in Construction with a Journey Towards Sustainable Development”, 2024, (<https://www.hilarispublisher.com/open-access/the-role-of-systems-thinking-in-integrating-innovation-in-construction-with-a-journey-towards-sustainable-development-99831.html>)
- [5] Mosyjowski, Shanna R. Daly, Lisa R. Lattuca . “Systems Thinking Assessments in Engineering: A Systematic Literature Review; Kelley E. Dugan, Erika A. Mosyjowski, Shanna R. Daly, Lisa R. Lattuca”, 16 July 2021; <https://doi.org/10.1002/sres.2808>
- [6] Nourani, Vahid, Gökçekuş , Hüseyin, Bolouri , Farhad, Mabrouki, Jamal. “Combining Artificial Intelligence and Systems Thinking Tools to Predict Climate Change” https://www.researchgate.net/publication/378319052_Combining_Artificial_Intelligence_and_Systems_Thinking_Tools_to_Predict_Climate_Change
- [7] Love, E.D, Peter, and Luo, Hanbin. “Systems thinking in construction: Improving the productivity and performance of infrastructure projects”, 2018, <https://journal.hep.com.cn/fem/EN/10.15302/J-FEM-2018205>
- [8] ‘Our Vision’ – A vision for the built environment shared by 40 cross-industry bodies; 2021. (<https://www.visionforbuiltenvironment.com/>).
- [9] Enabling an Ecosystem of Digital Twins – An Update, 2023, https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2023/09/Enabling-an-Ecosystem-of-Digital-Twins_An-Update_Whitepaper_bSI_2023_v2.pdf

Published by buildingSMART International Ltd

Registered office:

9 Quy Court

Colliers Lane

Stow-cum-Quy

Cambridge CB25 9AU, UK

September 2024

