

차세대 스마트도시 시설물의 플랫폼 정의와 디지털 체인

Next Generation Smart-City Facility Platform and Digital Chain

양승원¹⁾, 김진웅²⁾, 김성아³⁾

Yang Seung-Won¹⁾ · Kim, Jin-Wooung²⁾ · Kim, Sung-Ah³⁾

Received September 10, 2020; Received December 16, 2020 / Accepted December 17, 2020

ABSTRACT: With increasing interest and research on smart cities, there is also an increasing number of studies on urban facilities that can be built within smart cities. According to these studies, smart cities' urban facilities are likely to become high value-added industries. However, the concept of smart city is not clear because it involves various fields. Therefore, in this study, the definition of Next-Generation(N.G) Smart City Facilities with Digital Twin and Digital Chain is carried out through a multidisciplinary approach. Based on this, Next-Generation Smart City Facilities will be divided into High Value-Added Products and Big Data Platforms. Subsequently, the definition of the Digital Chain containing the data flow of the entire process built through the construction of the Digital Twin proceeds. The definitions derived are applied to the Next-Generation Noise Barrier Tunnel to ensure that data is exchanged at the Digital Twin stage, and to review the proposed configuration of the Digital Chain and Data Flow in this study. The platform definition and Digital Chain of Next-Generation Smart City Facilities proposed in this study suggest that it can affect not only the aspects of data management that are currently in the spotlight, but also the manufacturing industry as a whole.

KEYWORDS: Digital Transformation, Facility Maintenance, Big Data, Digital Twin, Facility Platform, Noise, Barrier Tunnel

키워드: 디지털 트랜스포메이션, 시설물 유지관리, 빅데이터, 디지털 트윈, 시설물 플랫폼, 방음 터널

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

스마트시티가 도시화 문제에 따른 미래 기후환경에 대응할 수 있는 도시 모델로 주목받으며 스마트시티에 관한 연구 및 비즈니스 모델이 개발되고 있다(Joe, 2016). 특히, 최근에는 도시의 경쟁력과 삶의 질을 회복할 수 있는 새로운 도시 모델로 인식됨에 따라 주요 선진국과 신흥 개발도상국마저 스마트시티와 관련된 중장기적 발전 계획을 발표하고 있다. 국토연구원(2018)에 따르면 스마트시티는 향후 10년간 가장 빠르게 성장할 것으로 예상되는 시장이라고 예측하였으며, Navigant Research는 2016년 약 380억 달러 규모에서 2020년까지 1000억 달러에 이를 것

로 전망하고 있다. Forst and Sullivan은 2016년 1조 달러의 시장이 2025년에는 2조 달러의 시장규모로 성장할 것으로 예측하고 있다. 이처럼 스마트시티 시장의 규모가 증가할 것으로 예상되는 바에 따라 스마트시티를 구성하는 스마트도시 시설물에 관한 관심 또한 증가하고 있다. 이는 스마트시티 개념의 대두뿐만 아니라 4차 산업혁명에 따른 패러다임의 변화, 확장 및 변화되어 적용되는 플랫폼의 개념, 그리고 디지털 체인 개념의 등장을 통한 다양한 배경과 맥을 같이한다.

이를 바탕으로, 가로시설물을 통한 공간 소셜 네트워킹 서비스를 구현하는 방법에 대한 고찰이 진행되었고(Cho, 2010), 버스 정류장, 볼라드, 펜스, 휴지통과 같은 공공 디자인의 모듈화를 통한 고부가가치 산업으로써의 도시시설물을 제안 또한 이루어졌

¹⁾정회원, 성균관대학교 대학원 미래도시융합공학과 석박사통합과정 (dirotab@skku.edu)

²⁾정회원, 성균관대학교 대학원 미래도시융합공학과 석박사통합과정 (east6260@skku.edu)

³⁾정회원, 성균관대학교 건축학과 교수 (sakim@skku.edu) (교신저자)

다(Yoon, 2016). 이는 제조업 기반의 4차 산업혁명과 연계된 스마트도시 시설물이 제품 플랫폼으로써의 발전할 수 있음을 보여주는 것이며, 도시시설물이 전통적 의미에서 진화한 개념으로 바뀔 필요성을 가짐을 보여주는 것이기도 하다. 또한, 스마트시티를 플랫폼으로 활용하여 4차 산업혁명의 제조업 및 비즈니스 모델로 활용하는 전략의 제안은 스마트시티에서 스마트 플레이스로의 개념 확대를 시도하였으며, 이를 위한 물리적 플랫폼과 논리적, 지식적 플랫폼 역시 핵심임을 강조하고 있다(Park, 2019). 그리고, 스마트시티가 실질적으로 정착되기 위한 방안으로 시민, 공간, 민간의 이해관계자가 참여하여 의견을 제시하고 반영할 수 있는 협업 플랫폼으로서의 스마트시티 및 스마트도시 시설물의 디지털 트윈의 제안 또한 이루어졌다(Lim, 2018).

이와 같은 스마트도시 시설물에 관한 연구는 도시시설물이 디지털 체인, 제품 플랫폼, 디지털 플랫폼과 같은 고부가가치 산업으로 발전할 수 있음을 보여주며, 또한 새로운 비즈니스 모델과 산업 생태계에 대한 가능성을 제시하고 있다. 이러한 연구의 증가는 스마트도시 시설물이 내포하는 고부가가치 산업으로써의 가능성을 제시해 주었으나, 스마트도시 시설물에 관한 명확한 정의가 존재하지 않아 문제점이 발생하고 있다. 현재 고부가가치 산업으로서의 스마트도시 시설물에 관한 연구는 관련된 여러 분야의 다(多)학제적 연구가 필수 불가결하나, 여러 관점의 스마트시티와 스마트도시 시설물의 개념들이 혼재되어 있다. 특히, 각 학제 간 협업의 경우 기준과 개념의 차이로 발생하는 문제가 증가함에 따라 스마트시티에 적용되는 스마트도시 시설물에 관한 연구의 통합이 요구되고 있다. 그러므로 스마트도시 시설물에 관한 명확한 정의가 필요하다. 더 나아가서는, 스마트도시 시설물의 플랫폼화에 대한 논의가 필요하며 이를 통해 구성될 수 있는 디지털 체인에 대한 논의 또한 필요하다.

디지털 체인은 일련의 디지털 설계, 시공, 관리에 이르는 각 과정을 유기적으로 연결시켜 중복 투자로 인한 비효율성을 줄임과 동시에 설계 효율과 창의성을 극대화 시키는데 그 목적을 둔 건축의 새로운 패러다임(Shin and Kim, 2007)으로, 최근 화두가 되고 있는 디지털 트윈의 구현을 통해 성립되는 시스템을 의미한다.

따라서, 본 연구의 목적은 스마트시티에 적용되는 도시시설물을 일컫는 용어인 '스마트도시 시설물'의 정의를 명확히 하며, 스마트도시 시설물 중 하나인 방음터널을 대상으로 4차 산업혁명과 스마트시티의 대두에 따른 패러다임의 변화를 반영하는 차세대 플랫폼 정의와 이를 기반으로 구성되는 디지털 체인을 제안하는 것이다. 제안되는 스마트도시 시설물의 차세대 플랫폼 정의는 기존에 논의된 단순 협업 플랫폼에 그치지 않고, 고부가가치 제품으로서의 스마트도시 시설물 및 빅 데이터 플랫폼으로서의 역할을 수행할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 제안되는 디지털 체인은 설계, 제작, 운영, 폐기에 이르기까지의 전 주기에 걸쳐 '물리

적 사물 및 시스템의 동적 S/W모델'을 다루는 디지털 트윈이 적용되는 개념이다. 이는 설계단계에서부터 유지관리 단계에까지 영향을 끼치며 스마트도시에서 요구하는 기능들을 수행하도록 지원할 수 있다.

1.2 연구의 방법과 절차

본 연구는 현재 다양한 분야에 걸쳐있는 스마트도시 내의 차세대 도시시설물 및 구성가능한 플랫폼 정의를 도출하고, 디지털 체인의 형태를 제안하기 위하여 다음과 같은 방법을 채택하였다. 첫째, 본 연구에서 다루는 내용과 배경, 개념에 대한 사전 정의를 진행하기 위한 관련 선행연구를 고찰한다. 특히, 도시시설물뿐만 아니라 본 연구에서 다루는 다학제적 개념들을 광범위하게 살펴본다. 둘째, 요소기술을 적용한 차세대 스마트도시 시설물의 고려 사항을 분석하고 각 내용이 반영되어 구성된 개념 모델을 제안한다. 셋째, 도출된 차세대 스마트도시 시설물의 개념 모델을 기존 도시시설물 중 하나인 방음터널에 적용하여 자이로센서 바탕의 데이터 플로우를 포함하는 디지털 체인의 부분구축을 수행한다. 이를 통하여 본 연구에서 제안한 차세대 도시시설물의 기능과 디지털 체인을 적용 가능한지 확인한다.

이러한 본 연구의 목적을 달성하기 위한 본 연구의 절차는 Figure 1과 같다. 첫째, 현재 스마트시티뿐만 아니라 다양한 개념들과 배경이 짧은 간격으로 등장하며 소개되고 있기에, 본 연구에서 다루는 내용에 대한 사전 정의가 필요하다. 둘째, 도출한 차세대 스마트도시 시설물의 정의를 바탕으로, 스마트시티에서 플랫폼으로 활용될 수 있는 차세대 스마트도시 시설물의 플랫폼 정의에 대한 정의를 제안한다. 이 과정에서 단순 공작물 제조업에 머물러 있던 기존 도시시설물을 패러다임의 변화에 맞추어 적용되는 다양한 기술이 융합된 첨단 공학의 산물로 고도화하기 위한 기술과 조건을 고려하여 고부가가치 플랫폼 및 빅 데이터 플랫폼으로서 역할을 수행할 수 있는 차세대 스마트도시 시설물의 플

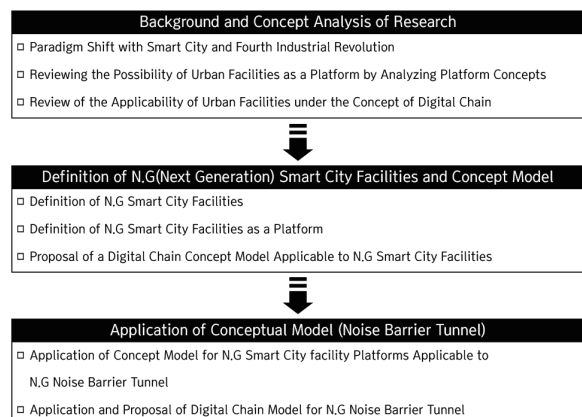


Figure 1. Process of Research

랫폼 정의를 도출한다. 셋째, 이 개념을 포괄하여 적용하여 설계, 시공, 유지관리, 해체에 이르는 생애주기와 특수성을 고려한 데이터 플로우를 포함하는 차세대 스마트도시 시설물의 디지털 체인을 정의한다. 넷째, 정의한 내용을 도시시설물 중 하나인 방음 터널에 적용하여, 본 연구에서 제안한 차세대 도시시설물의 기능과 디지털 체인을 적용하여 설계단계에서부터 유지관리 단계에 까지 영향을 끼치며 스마트도시에서 요구하는 기능들을 수행하도록 지원할 수 있는 모델을 제안한다.

2. 이론적 배경




2.1 스마트시티와 4차 산업혁명에 따른 패러다임 변화

Lee(2016)의 연구는 스마트시티를 '정보통신 기술을 중심으로 언제 어디서나 어떤 기기를 통해서도 정보를 받을 수 있는 미래형 첨단도시'로 정의했다. 또한, Caragliu et al.(2011)은 스마트 도시가 참여 통치를 통해 자연 자원을 현명하게 관리하며 인간과 사회적 자본, 인프라 및 ICT 통신 기반에서 지속 가능한 경제 성장과 삶의 질을 높이는 것으로 정의했다. 그리고, 2018년에 개정된 '스마트도시 조성 및 산업진흥 등에 관한 법률'에서는 '도시의 경쟁력과 삶의 질의 향상을 위하여 건축물 및 구조물을 융, 복합하여 건설된 도시 기반시설을 바탕으로 다양한 도시 서비스를 제공하는 지속 가능한 도시'로 스마트시티를 정의하고 있다. 세부적으로 보자면, Deak(2011)은 스마트시티의 정의에 기여하는 요소로 첫째, 지역 및 스마트시티에 광범위한 전자 및 디지털 기술 적용, 둘째, 정보통신기술을 사용한 지역 내 삶과 작업환경의 변화, 셋째, 그러한 정보통신기술을 정부 시스템에 내장, 넷째, 기술이 제공하는 혁신과 지식을 향상하기 위해 정보통신기술과 사람들을 하나로 모으는 관습의 제공이라는 네 가지 항목을 제시하였다. 이는 스마트시티의 개념이 실질적으로 적용되어 시장의 요구를 충족시키기 위해서는 IoT(사물인터넷), ICT(정보통신기술), 디지털 트윈 등의 기술이 활용되며, 그 과정에서 관리집단 및 스마트시티 거주자의 참여가 필요함을 시사한다 볼 수 있다.

같은 맥락에서, 2016년에 제기된 4차 산업혁명은 정보통신 기술(ICT)의 융합에 기반을 둔 혁명 시대를 말하며, IoT / AI / Big Data뿐만 아니라 실제와 가상의 통합을 바탕으로 사물들을 자동, 지능적으로 제어하는 가상-물리 시스템(Cyber Physical System)이 구축되는 것을 포함한다. 이는 Digital Transformation을 기조로 하는 산업구조 및 분야의 변화를 현재진행형으로 초래하고 있다(Jung and Kim, 2018). 이는 기업이 디지털 역량을 확보해야 하는 환경의 변화이며(ICD, 2015), 비즈니스 모델과 디지털 전략을 통해 부가가치를 창출하게 만드는 기업 수준의 혁신이라 볼 수 있다(Schallmo and Williams, 2018). 4차 산업혁명으로

야기된 Digital Transformation은 여러 분야에서 파란을 일으키고 있으며, 건축 분야에서는 대표적으로 Kasita, Katerra, Kieran Timberlake와 같은 기업들이 이를 수용한 변화를 보여주고 있다. 이들의 사례에서 드러나는 내용을 Table 1.과 같이 정리한다.

Table 1. Digital Transformation Case

Company	Feature
 <p>Kasita</p>	<ul style="list-style-type: none"> Starting full-scale production in 2015, the company recently introduced small prefabricated houses that can be controlled by mobile apps based on user feedback. The shading device, as well as home security such as disaster prevention and crime prevention, can be controlled by home appliances, heating, heating, and lighting. The home automation system, which is controlled by mobile apps, is said to have opened a new chapter in prefabricated housing.
 <p>Katerra</p>	<ul style="list-style-type: none"> From architectural design to actual construction, Katerra is responsible for purchasing or producing materials. We have our own factory in Phoenix, USA, and we have a network to secure materials around the world. Implement 'Constructructure' incorporating IT technology and integrate it using IT-based technology, BIM, and ERP in everything from design to site assembly.
 <p>Kieran Timberlake</p>	<ul style="list-style-type: none"> In order to devise new materials and construction methods, the prototyping method has been developed and operated as a system. 2008 International Organization for Standardization (ISO 9001) certified for research, management, and building service orders. Their design process is largely based on the convergence of Prefabrication and Embedded Technology.

이들이 보여주는 공통점은 Digital Transformation을 기조로 하는 산업구조 및 분야의 변화에 맞추어 기존 설계 과정 및 건설의 업역에 변화를 주고 있다는 것이며, 차세대 비즈니스 모델의 형태를 제시하고 있다는 점이다. 이러한 내용으로 미루어볼 때, 스마트도시 시설물의 설계단계에서부터 모듈화를 통한 고부가가치 가능성을 포함할 수 있어야 하며, '디지털 모델-물리 모델'의 상호보완적 활용을 통한 가치 창출을 염두에 둘 필요가 있다. 또한, 빅 데이터 기반의 환경이 조성되는 스마트도시의 시설물로 기능하기 위한 역할도 요구된다 볼 수 있다.

이러한 시대의 변화 속에서 Arup(2013)의 미래 도시에 관한 보고서에서는 거주자들이 미래 도시의 모든 구성 요소와 실시간 조작 및 상호작용이 가능할 것이며, 이 구성 요소가 스마트 시스템과 IoT로 이루어질 것이라고 설명한다. 이러한 배경을 통해 미루어보면, 도시시설물은 스마트 재료, 센서, 데이터 교환 및 자동화된 시스템이 결합하여 구성되며, 이들을 연결하는 동적 피드백 네트워크는 가상 신경계로서 기능할 필요가 있을 것이다. 이는

스마트시티와 4차 산업혁명에 기인하는 패러다임의 변화를 반영하여 형성될 것으로 예측된다.

2.2 플랫폼으로서의 도시시설물

Choi(2011)의 연구에서 플랫폼이라는 개념은 '다양한 종류의 시스템을 만들기 위해 공통으로 사용하는 핵심 모듈'이라 정의되고 있다. 또한, 핵심개념으로 다음 네 가지를 내포하고 있다고 설명한다. 첫째, 플랫폼은 시스템이 모듈화되어 있다는 것을 전제로 한다. 둘째, 플랫폼은 하드웨어 혹은 소프트웨어, 서비스, 기술, 거래일 수도 있으며 이들의 합으로 구현될 수 있다. 셋째, 플랫폼을 통해 다양한 시스템이 만들어져야 한다. 넷째, 플랫폼을 다양한 용도로 활용하기 위해서는 인터페이스의 설계가 중요하다. 즉, 플랫폼이란 다양한 용도에 공통으로 활용할 목적으로 설계된 유/무형의 구조물이라 볼 수 있다. 즉, Figure 2와 같이, 이를 여러 플랫폼에 적용 가능한 공통된 구조로 보고, 해당 연구에서는 이를 '(핵심 모듈 = 플랫폼) + (부가모듈 = 보완재) = 최종 결과물'이라는 도식으로 표현하고 있다.

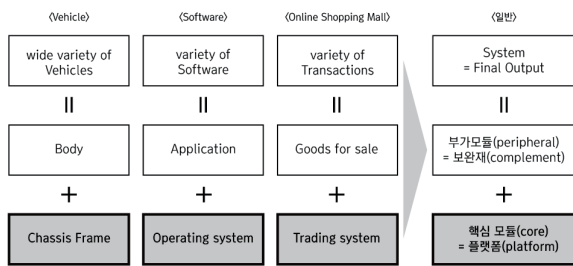


Figure 2. Various Platforms common Structure (Choi, 2011)

이를 바탕으로, 플랫폼을 '다양한 종류의 시스템을 만들기 위해 공통으로 사용하는 핵심 모듈'로 정의하며, 여기서 시스템은 제품, 서비스, 기술, 거래 등 다양한 결과물을 의미한다. 위의 플랫폼 정의를 바탕으로, 플랫폼을 세분화하여 보면, 물리적인 제품 플랫폼과 비-물리적인 정보 플랫폼으로 나눌 수 있다. 제품 플랫폼은 제품화, 산업화, 모듈화된 부품들이 상호 연계되고 호환 가능하며 각 부품의 조합을 통해 새로운 가치를 창출할 수 있는 것을 의미한다(Baldwin et al., 2009). 정보 플랫폼은 제품 플랫폼과는 달리 비-물리적 요소인 데이터를 다루는 것으로, 디지털 기반 경제의 복잡한 생태계에서 주요 인터페이스로 작동할 수 있는 것을 말한다. 이를 통해 데이터는 수집·거래되며 금전적 가치로 전환될 수 있으며 다수의 상호 연결된 시장으로도 구성될 수 있다(OECD, 2016). 이러한 기존 연구를 종합해 보았을 때, 플랫폼의 정의는 '다수의 생산자와 소비자가 연결되어 상호 작용하며 가치를 창출하는 기업과 산업 생태계 기반의 장'으로 정의될

수 있다. 또한, 플랫폼은 네트워크 효과를 통해 다양한 참여자가 서로 다른 면에서 연결되어 다양한 상호작용이 일어나는 양면·다면 시장 구조를 지닌다(Hagiu, 2014).

플랫폼으로서의 도시시설물은 제품화, 산업화, 모듈화된 부품들이 상호 연계되고 호환 가능하며 각 부품의 조합을 통해 도시시설물을 통한 스마트시티 운영 및 시설물 모니터링, 선제적 시설물 유지보수 예측, 시뮬레이션을 위한 가상 테스트 베드, 모니터링 데이터 바탕의 설계 최적화의 활용이 가능한 것을 의미한다. 2014년 한국건설기술연구원에서 수행한 연구는 이를 뒷받침하는 것으로, 국민복지 향상 및 도시시설물 피해 예방 등 국가적 차원의 선결과제를 해결하기 위한 핵심기술 분야인 지능형 도시시설물 관리체계를 통해 풍요롭고, 안전하며, 쾌적한 도시를 구현하고자 했다. 또한, '수동적 관리체계'를 벗어나 도시시설물의 현 상태를 지속적으로 모니터링하고 발생 가능한 상황을 사전에 예측하여 재해 등에 사전 예방·대응할 수 있는 '능동적 관리체계'를 플랫폼으로써 구현하고자 했다(KICT, 2014).

이러한 점에서 스마트시티와 4차 산업혁명이 대두되는 현재, 플랫폼은 단순한 산업체계에서 벗어난 형태의 가치 창출이 가능해지는 것을 의미하며, 이를 구성하기 위한 IT·데이터 관리 등의 다양한 기술의 적용과 모바일 환경의 본격적 도입이 이루어지는 것과 연관성이 있다. 즉, 이러한 플랫폼 정의의 전반을 도시시설물에 적용하여 플랫폼으로서의 도시시설물 개념을 도출할 수 있으며, 이를 바탕으로 디지털 트윈 및 디지털 체인기술과의 상호 연관성을 도출할 수 있다.

2.3 도시시설물과 디지털 체인(Digital Chain)

Grieves는 2002년에 최초 디지털 트윈 개념을 PLM의 이산적 개념 모델로 제안했다. 이때의 개념모델은 '물리적 시스템'과 '물리적 시스템에 대한 모든 정보를 포함하는 가상 시스템'의 두 가지 시스템으로 구성된 모델을 의미했다(Grieves, 2019). 이후 2010년 Vickers는 NASA에서 '물리적 산물(Product)', '디지털 혹은 가상의 산물(Product)', 그리고 '두 산물(Product)의 연결'의 세 가지 구성요소로 구성된 것을 디지털 트윈의 개념으로 정의하였다(Piasek, Vickers et al., 2010). 2017년 이후로 디지털 트윈의 개념은 디지털에 존재하는 통합 데이터의 개념으로 수렴했고, 세분되었다. 이는 Grieves와 Vickers(2017)가 2002년과 2010년에 디지털 트윈을 정의한 이후 2016년에 '실제 물리적 제조 제품을 완벽하게 설명하는 일련의 가상 정보 구성체'로 재정의한 이후였다. 이러한 이유로 본 논문에서의 디지털 트윈은 Grieves와 Vickers의 정의를 사용한다(Kahlen, Flumerfelt et al., 2017).

이 정의에 따라, 디지털 트윈은 감지 데이터를 바탕으로 물리적 대상의 현재 상태를 파악하고, 변화에 대응하며, 운영을 개선하고 가치를 부가하는 기술로 인식된다. 세부적으로는 관제 모

델, 운영 모델, 최적화 모델로 크게 3가지 형태로 활용될 수 있으며, 이는 물리적 대상의 설계, 제작, 운영, 폐기에 이르기까지의 전 주기에 걸쳐 디지털 트윈이 작용할 수 있음을 시사한다. 다만, 각 과정 및 단계에서 생성되는 가상 모델(트윈)의 형상과 속성, 상태는 다를 수 있으나 물리적인 요소와 디지털 요소의 융합이 이루어지기 위해서는 전 주기에 걸친 정보가 빠지지 않고 이어져야 한다(Lee, 2015). 이를 디지털 정보가 이어지는 디지털 체인(Digital Chain)으로 볼 수 있으며, 이는 기획에서 설계, 시공, 유지관리, 해체에 이르기까지의 생애주기 전체에 사용되는 정보가 디지털화되고 일관화되어 사용, 관리되는 체계를 표현하는 것이다(Shin and Kim, 2007). 이를 재구성하여 도식으로 재구성하면, Figure 3과 같다. 따라서, 이를 바탕으로 시설물 모니터링, 선제적 시설물 유지보수 예측, 시뮬레이션을 위한 가상 테스트 베드, 모니터링 데이터 바탕의 설계 최적화의 활용이 가능하다.

즉, 차세대 스마트도시 시설물 플랫폼은 설계에서부터 디지털 트윈에 의한 유지관리에 이르는 모든 과정에서 일관되고 효율적인 데이터 관리가 가능한 것이 될 수 있다. 이를 통하여 생애주기 전체의 품질 향상을 꾀함과 동시에, 품질 보증 비용 절감 및 서비스 향상을 가능케 할 수 있으며, 개발 비용 전반의 비용 절감과 기간 단축의 효과를 가져올 수 있다. 또한, 운영 단계에서의 지속적인 최적화를 통한 운영비용을 절감할 수 있다. 디지털 체인을 통한 정보의 보존과 연속성을 확보할 수 있으므로 이를 통한 분석 모델과 예측 모델을 구성할 수 있게 된다.

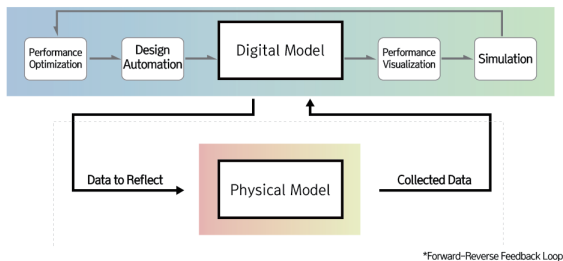


Figure 3. Digital Chain Diagram (Shin and Kim, 2007)

3. 차세대 도시시설물 플랫폼 정의

3.1 차세대 스마트도시 시설물

1) 도시시설물

도시시설물은 그 종류가 다양하고 복잡하기 때문에 명확한 범위가 설정되어있지 않다. 그렇기에 Yoo의 선행 연구에서는 시설물의 안전관리에 관한 특별법과 도시·군 계획시설의 결정구조 및 설치기준에 관한 규칙을 검토하여 도시시설물을 재분류하여

그 범위를 설정했다(Yoo, 2015). 시설물의 안전관리에 관한 특별법은 시설물의 안전점검과 적절한 유지관리를 통한 재해, 재난을 예방하여 시설물의 효용을 증진하는 목적의 법이다. 또한, 해당 법에서 시설물은 '건설공사를 통하여 만들어진 구조물과 그 부대 시설로서 동 법에서 지정하는 1종 시설물 및 2종 시설물'로 정의하고 있다. 도시·군 계획의 결정구조 및 설치기준에 관한 규칙에서는 시설물을 유사한 의미로 다루고 있으나, 지자체의 관리가 필요한 것으로 서술하고 있다. 두 법에서의 시설물의 의미를 토대로 도시시설물을 정의하면 '지자체에서 설치 또는 정비의 대상으로, 재해와 재난으로부터 공중의 안전을 확보하기 위해 지속적인 유지 및 관리가 필요한 시설물'이라고 할 수 있으며, 이를 기존에 존재하는 전통적 도시시설물이라 볼 수 있다.

서울시에서는 도시시설물을 공공 공간과 공공시설물로 인식하고, 스마트시티 시대에 맞는 변화를 위한 '서울 도시디자인 가이드라인'을 2017년에 제시했다. 이는 기존에 설치되어 운용되던 도시시설물의 배치에서부터, 기능과 정체성까지의 폭넓은 분석을 통하여 오랜 시간 동안 자리 잡던 문제점을 해결하고자 했던 시도이다. 이 과정에서 서울시는 도시시설물을 Table 2와 같이 7가지 관점으로 분석했다.

Table 2. Analysis of Public Facilities in Seoul (2017)

항목	내용
Functionality	Too much form and size to reduce functionality
Integrity	Interfunctional infringement by disorderly installation
Safety	Lack of consideration for user safety
Universality	Lack of consideration for various users
Environmental	Incongruity with the surrounding environment due to provocative colors
Continuity	Lack of consistency in design leads to poor continuity of urban landscape
Identity	Lack of identity due to insufficient application of Seoul-type public facilities

이처럼, 도시시설물에 대한 정의와 논의는 정책적 부문부터 기술, 디자인 분야까지 포괄하여 필요한 것으로 볼 수 있다. 다만, 이는 스마트시티의 적용에 초점을 맞춘 것이 아닌, 종래의 도시시설물에 관한 내용으로 보아야 한다. 그러므로, 스마트시티에는 기존의 도시시설물의 기능 범주를 넘어서, 매우 다양한 기능들과 기술이 요구됨을 알 수 있다(Sakong, 2018). 따라서, 스마트시티에 적용되는 스마트도시 시설물 정의에 대한 논의가 이루어질 필요가 있다.

2) 스마트도시 시설물

본 연구에서는 스마트도시 시설물의 정의를 다음과 같이 사용한다. 먼저, 스마트도시 시설물은 '스마트도시'와 '도시시설물'로

대변되는 용어의 합성어로, 표면적 개념 또한 기존에 사용되던 '가로시설물'의 정의와 '스마트도시'의 정의를 통합한 개념을 적용할 수 있다. 더불어서, 스마트도시 시설물의 개념에는 기능적인 면모가 기존의 도시시설물보다 더욱 부각될 필요가 있다. 이는 스마트도시 시설물이 기반시설의 역할을 수행함과 동시에 스마트로서의 가능성을 보여줄 수 있는 외적인 요소로 기능해야 하기 때문이다. 따라서, 서울시에서 추진 중인 우수 공공 디자인과 같은 미관상 요소 이외에도 스마트시티가 가지는 다양한 기능성 등을 고찰하여 스마트도시 시설물을 인식할 필요가 있다.

따라서, 스마트시티에 적용되는 스마트도시 시설물은, 이전에 진행된 U-City 정책에서 집중적으로 적용된 신도시 사업지구보다는 기성 시가지에 적용된다는 관점에서 기존시설물에 첨단화를 야기하며, 기성 시가지의 물리적인 환경을 개선하는 역할을 맡게 될 것으로 예상된다. 또한, 스마트도시 시설물은 스마트시티에 적용되는 세부 구성 요소이자, 스마트시티를 구성하기 위한 필수적인 시설이다. 정리하자면, 위의 정의를 바탕으로 스마트도시 시설물은 기성 시가지와 신도시에 구분되어 적용되며 분야별 서비스를 제공하기 위한 ICT, IoT와 같은 정보통신 융합기술이 적용된 첨단화된 결과물로, 도시공간 단위에 단계적으로 구현되는 요소가 되어야 한다(Lim, 2018). 이에 따라, 스마트도시 시설물은 도시시설물에 건설기술 또는 정보통신 융합기술을 적용하여 교통 및 안전 분야 등 지능형 시설 및 서비스를 제공하며, 본래의 목적에 따른 기능이 반영된 시설물로 정의할 수 있다.

3) 차세대 스마트도시 시설물

이에 더불어 차세대 스마트도시 시설물은 도시시설물 본연의 기능에 스마트도시에서 요구하는 기능이 추가되고, 설계단계에서부터 고부가가치 가능성을 내포하는 것으로 정의된다. 이는 디지털 트윈 기반으로 형성되는 디지털 모델-물리 모델의 상호보완적 가치 창출을 염두에 두며, 빅 데이터 기반의 환경이 조성되는 스마트도시 시설물로 기능하기 위한 정보 플랫폼으로써의 역할 또한 부가되는 것이다. 즉, 차세대 스마트도시 시설물은 스마트도시 시설물에 디지털 트윈 등의 적용을 통해 시설물 모니터링, 선제적 시설물 유지보수 예측, 시뮬레이션을 위한 가상 테스트 베드, 모니터링 데이터 바탕의 설계 최적화의 활용이 가능한 것을 의미한다.

이는 적용되는 기술들을 기반으로 도시 각종 시설물 등에 대한 정보의 생산·연계·유통을 통해 모니터링 및 제어를 할 수 있는 통합 운영플랫폼의 역할을 맡을 수 있다. 동시에 시설물 계획단계에서부터 분석, 시뮬레이션한 결과를 피드백하여 문제 조기 해결 및 최적화된 설계를 가능케 한다. 또한, 빅 데이터, 인공지능 등의 기술을 기반으로 축적된 스마트시티의 정보로부터 새로운 가치를 창출할 수 있도록 분석/시뮬레이션 기능을 하는 예측 플

랫폼의 역할을 맡을 수 있다.

따라서, Figure 4와 같이 차세대 스마트도시 시설물은 차세대 스마트도시 시설물 플랫폼과 시설물 본연의 제공 서비스의 결합으로 구성된다고 볼 수 있다. 여기서 플랫폼은 정보저장, 분석, 예측을 위한 장치로 인식될 수 있고, 시설물에 적용되는 다양한 정보수집 장치 및 정보전달 및 조치를 위한 장치를 활용하기 위한 일종의 연산장치의 역할을 담당한다. 이는 미래 도시가 필요로 하는 예측을 통해 추구해야 할 개발의 모습이며, 예측과정을 통해 현재 거주하는 도시민과 미래 거주하게 될 도시민에게 서비스와 기반시설을 공급해주는 역할을 담당한다.

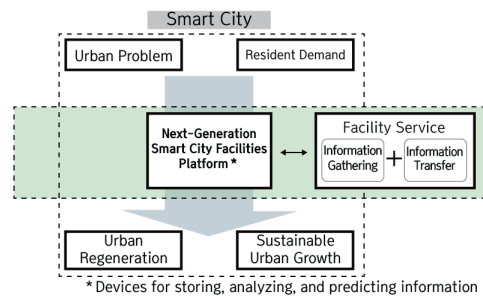


Figure 4. Conceptual Diagram of N.G Smart City Facilities

3.2 플랫폼으로서의 차세대 스마트도시 시설물

본 연구에서 제안한 차세대 스마트도시 시설물 정의를 바탕으로, 이를 물리적 측면, 비-물리적 측면으로 나누어 볼 수 있다. 이 관점을 통해, 기존의 도시시설물에서 도출할 수 있는 물리적 측면의 요소와 스마트시티의 구성 요소로서 요구되는 비-물리적 측면의 요소로 세부 요소를 도출할 수 있다. 물리적 측면으로는 도시시설물에 요구되는 본연의 기능과 안전성, 쾌적성 등의 특성을 고려할 수 있으며, 이를 구성하는 물리적 구성 요소로 볼 수 있다. 비-물리적 측면으로는 스마트도시 시설물에 부착 혹은 탑재되는 센서 및 다양한 장치를 통해 수집되는 데이터가 주요소가 된다. 이를 플랫폼과 연계지어 보면 Figure 5와 같이 물리적인 고부가가치 제품 플랫폼과 비-물리적인 빅 데이터 플랫폼으로 나눌 수 있다.

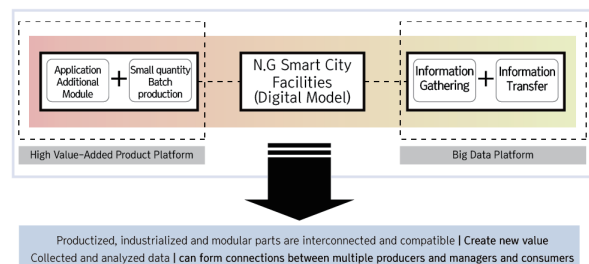


Figure 5. Platform Overview of N.G Smart City Facilities

1) 고부가가치 제품 플랫폼

도시시설물은 여러 부재로 구성되어 있으며, 차세대 스마트도시 시설물로 기능하기 위한 여러 부가기능이 포함된 모듈의 적용을 통하여 고부가가치화가 가능하다. 구성 요소를 제품화(모듈화)하여 각 모듈의 상호 대체가 가능하며 호환이 가능할 경우 제조업과의 연계를 통한 산업 생태계 활성화와 도시미관 개선에 기여할 수 있다. 또한, 유지보수 비용 측면에서 전체 시설물을 교체하는 것보다 부품화된 모듈을 교체하는 것이 유리하며, 일부의 모듈을 변경하는 것으로 형태적인 요소의 변경이 가능하므로 도시미관 개선의 측면에서 유리하다. 이를 실현하기 위해서는 모듈화를 통해 다품종 대량생산이 가능한 체계를 갖추어야 하며, 제품의 표준화가 선행되어야 한다.

즉, 고부가가치 제품으로써의 차세대 스마트도시 시설물 개념의 도입은 기존 공작물으로써의 도시시설물에 여러 부가기능을 포함하는 유닛의 탑재를 의미하는 것으로, 이와 연관성을 가지는 패널, 센서, 모듈과 관련된 제조업의 혁신과 연결될 수 있다.

2) 빅 데이터 플랫폼

차세대 스마트도시 시설물은 도시 곳곳에 배치되어 데이터 노드로써 활용할 수 있으므로, 빅 데이터 플랫폼으로 활용될 수 있다. 이를 바탕으로 도시 자체의 디지털 트윈을 구현할 수 있다. 또한, 시설물이 건설된 후 시설물에서 발생하는 정보를 기반으로 시설물이 도시에 미치는 영향력 분석이 가능하며 시설물의 개선을 통해 차후 유지·보수 단계에서 활용 가능한 데이터를 도출할 수 있다. 비-물리적인 플랫폼인 정보 플랫폼은 도로시설물과 도시 모니터링 역할이 가능한 빅 데이터 플랫폼으로도 발전될 수 있다. 이는 수집된 데이터 기반의 모니터링을 통한 차세대 스마트도시 시설물의 스마트 유지관리를 가능하게 한다. 또한, 빅 데이터 분석은 차세대 스마트도시 시설물의 설계 최적화 기술로 활용될 수 있다. 이러한 빅 데이터 플랫폼으로 기능하기 위해서는 지식정보 혹은 데이터가 도시 또는 기존 플랫폼과 상호 운용성이 보장되는 프로토콜을 기반으로 생성되고 가공되어야 할 필요성이 있다.

이러한 빅 데이터 플랫폼으로써의 차세대 스마트도시 시설물은 행정, 교통, 방범, 방재, 에너지, 시설 등의 다양한 도시서비스에 5D, 가상화 등 융·복합 기술의 적용을 통한 도시 데이터 허브기반의 거래·분석·표출 서비스를 제공할 수 있는 밑바탕이 될 수 있다.

3.3 차세대 스마트도시 시설물의 디지털 체인

차세대 스마트도시 시설물의 설계, 제작, 운영, 폐기에 이르기까지의 전 주기에 걸쳐 디지털 트윈이 적용되어야 한다. 이때, 단계별로 생성되는 트윈의 형상과 속성, 상태는 다를 수 있으나 디

지탈 트윈이 궁극적으로 지향하는 물리적인 요소와 디지털 요소의 융합이 이루어지기 위해서는, 전 주기에 걸친 정보가 빠지지 않고 이어져야 한다. 이를 Figure 6과 같이 표현할 수 있으며, 이렇게 이어지는 정보를 바탕으로, 디지털 트윈은 차세대 스마트도시 시설물에서 수집한 정보를 바탕으로 시설물 모니터링·선제적 시설물 유지보수 예측·가상 테스트 베드·설계 최적화·스마트도시 통합센서 노드 역할을 수행한다. 즉, 디지털 트윈이 작용하는 전 주기에 걸쳐 여러 흐름이 얽힌 연결고리가 형성되며, 이를 차세대 스마트도시 시설물의 디지털 체인이라 할 수 있다.

따라서 다기능, 가변기능을 가지는 차세대 스마트도시 시설물이 설계되기 위해서는 표준화, 모듈화, 시스템화가 뒷받침되어야 한다. 이는 단순히 기존 스마트도시 시설물에 부가 모듈 및 사물인터넷 등의 기술이 추가되는 것이 아니라 설계단계에서부터 유지관리 단계까지 아우를 수 있는 여건이 마련되어야 함을 의미한다. 따라서, 단순 공작물 제조업에 머물러 있던 기존 도시시설물을 패러다임의 변화에 맞추어 적용되는 다양한 기술이 융합된 첨단 공학의 산물로 고도화하기 위해서는 다음 내용을 고려해야 할 필요가 있다.

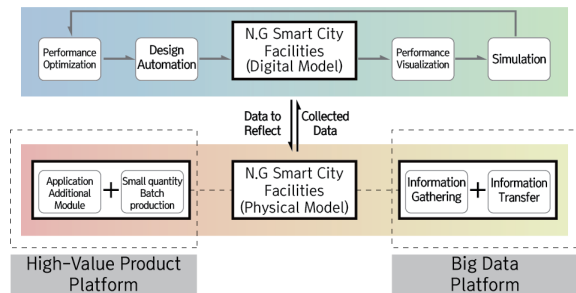


Figure 6. Digital Chain of N.G Smart City Facilities

- ① 파라메트릭 디자인: 도시시설물을 구성하는 기준이 되는 설계 제한 요소는 파라미터 간의 관계식으로 정리될 수 있으며, 이러한 알고리즘을 통해 변화하는 설계 요구 조건에 유연하게 대응할 수 있다.
- ② 성능 시뮬레이션과 최적화: 성능 시뮬레이션과 최적화는 기존의 설계 방식으로 해결할 수 없었던 상충하는 성능 조건을 해결할 수 있는 방법론을 제공하는 것이다.
- ③ 디지털 패브리케이션: 도시시설물의 형태가 포함할 수 있는 비정형성은 정밀한 설계와 시공에 있어 변수로 작용하지만, 디지털 패브리케이션을 통한 다품종 소량 생산은 이러한 문제를 해결할 수 있다.
- ④ 가상현실: 성능 시뮬레이션의 결과를 가상현실을 통해 현실감 있게 체험함으로써 설계자 및 이해 당사자는 의사결정의 효율을 높일 수 있다.

⑤ 디지털 트윈: 차세대 스마트도시 시설물의 디지털 모델이 물리적 세계에 존재하는 시설물과 네트워크로 통합되어 서로 피드백을 주고받을 수 있음을 의미한다. 센서로 수집된 교통 및 환경 상황에 대한 데이터는 디지털 모델에 동기화되고 최적화 설계에 반영될 수 있으며, 정보전달 및 조치를 위한 장치로 활용될 수도 있다.

즉, 차세대 스마트도시 시설물을 계획하는 데에는 다음과 같은 과정을 거칠 필요가 있다. 먼저, 파라메트릭 디자인 및 성능 시뮬레이션과 최적화를 통한 디지털 모델을 작성한다. 다음, 이를 실제로 구현하기 위한 디지털 패브리케이션 기술이 적용되어야 한다. 이 과정에서 설계자 및 이해관계자는 가상현실 및 증강현실을 동반한 성능 시뮬레이션과 최적화를 수행하여 실제 구현된 결과물이 적절한 성능을 발휘할 수 있을지에 대한 검토를 거치게 된다. 디지털 패브리케이션 이후 구현된 결과물과 디지털 모델은 디지털 트윈으로 상호 연관성을 가질 수 있게 된다 볼 수 있다. 즉, 차세대 스마트도시 시설물의 디지털 체인은 위 기술들이 활용되는 각각의 연결고리에서 일련의 데이터가 빠지지 않고 유통될 수 있을 때 비로소 구성되는 것이다.

4. 차세대 방음터널 플랫폼과 디지털 체인

4.1 차세대 방음터널

도시시설물로서의 방음터널은 도로에서 발생하는 소음을 차단하기 위한 방음 시설물 중 터널형 방음벽을 지칭한다. 이는 주거지 인근에 있는 주요 도로, 고속도로, 중심 도로, 철도에 설치되어 소음원로부터 발생하는 소음을 차단하며, 매연 및 미세먼지와 같은 공기 오염 물질을 물리적으로 차단할 수 있어서 선호도가 높다. 방음터널의 도입은 일반적으로 도시화 및 아파트를 비롯한 고층주거화가 진행 중인 국가 및 도시에서 급격히 증가하고 있다. 또한, 최근 도심을 관통하는 고속도로 건설 확대에 기인한 소음 민원이 지속적으로 증가하고 있는 추세에 따라 경제성, 경관성, 안정성, 심미성을 갖추는 방음터널의 적용사례가 점차 증가할 것으로 기대되고 있다. 따라서 지속적인 도시화를 통한 고층빌딩 주변에는 방음터널이 요구될 수 있을 것이며, 이는 스마트시티 곳곳에 배치될 수 있음을 고려할 수 있다. 이 점에서, 디지털 체인을 포함하는 방음터널은 스마트시티 곳곳에 배치되어 데이터를 관리하는 노드(Node)로써 기능할 수 있을 것으로 보여진다.

방음터널에는 크게 교통, 안전, 관리 기능이 포함되어야 하며, 교통량이 많으며 주거공간을 면한 도로를 입지 조건으로 갖고 있으므로 환경적인 기능 또한 필요하다. 이에 차세대 스마트도시 시

설물로서 요구되는 차세대 방음터널의 기능을 다음과 같이 고려할 수 있다. 패러다임의 변화에 따라 등장한 사례들을 미루어볼 때, 설계단계에서부터 모듈화를 통한 고부가가치 가능성을 포함할 수 있어야 하며, 디지털 모델-물리 모델의 상호보완적 활용을 통한 가치 창출을 염두에 두어야 한다.

4.2 차세대 방음터널 플랫폼

차세대 방음터널의 플랫폼은 3.2의 플랫폼으로서의 차세대 스마트도시 시설물 정의를 적용하여 의미를 도출할 수 있다. 금속 공작물 제조업에 머물러 있던 방음터널을 첨단 공학의 산물로 고도화하며 다기능, 가변기능을 가지는 차세대 방음터널 플랫폼이 설계되기 위해서는 표준화, 모듈화, 시스템화가 뒷받침되어야 한다. 이는 단순히 기존 방음터널에 태양광발전, 사물인터넷 등의 기술이 추가되는 것이 아니라 설계단계에서부터 유지관리 단계의 디지털 체인 구성 및 운영을 고려할 수 있는 여건이 마련되어야 한다.

1) 고부가가치 제품 플랫폼

기존의 방음판이 설치되는 방음터널의 프레임은 Figure 7과 같이 태양광 패널, 미세먼지 필터, 식생 모듈 등을 설치할 수 있는 기반을 제공할 수 있다. 차세대 방음터널이 고부가가치 제품 플랫폼으로 기능하기 위해서는 도시시설물의 모듈화를 통해 다품종 대량생산이 가능한 체계를 갖추어야 하며, 제품의 표준화가 선행된 조건이어야 할 필요가 있다. 이를 통하여 시설물의 구축에 요구되는 여러 부재들이 사전에 분리되어 설계 및 시공되는 'Infill-Skeleton'으로의 적용을 꾀할 수 있게 된다. 그 결과, 다양한 기능을 수행하는 부가기능 유닛을 수용할 수 있으며 필요에 따라 외장, 내장, 설비, 부가유닛 등을 자유롭게 바꿀 수 있게 되므로, 이와 연계된 제조산업의 활성화와 혁신을 야기할 수 있다.

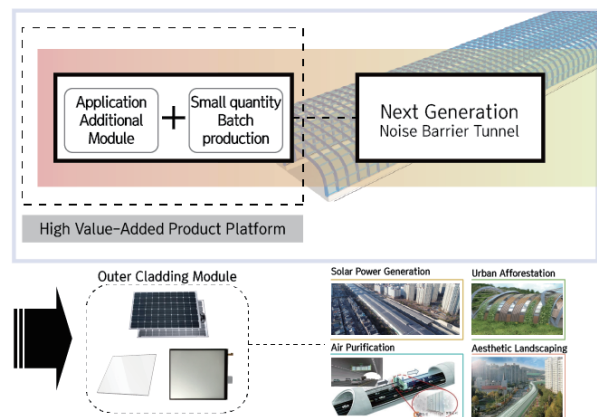


Figure 7. N.G Noise Barrier Tunnel : High Value Added Product Platform

2) 빅 데이터 플랫폼

디지털 트윈 기술이 적용되는 방음터널은 Figure 8과 같이 여러 센서들 및 데이터 분석을 기반으로 도로시설물과 도시 모니터링 역할이 가능한 빅 데이터 플랫폼으로 발전될 수 있다. 이때 방음터널에 내장되는 센서는 모니터링을 통한 방음터널의 스마트 유지관리를 지원한다. 또한, 빅 데이터 분석은 방음터널의 설계 최적화 기술로 활용될 수 있다. 더불어서, 차세대 방음터널이 빅 데이터 플랫폼으로 기능하기 위해서는 지식정보 혹은 데이터가 도시 또는 기존 플랫폼과 상호 운용성이 보장되는 프로토콜을 기반으로 생성되고 가공되어야 한다.

즉, 차세대 방음터널 플랫폼은 방음터널 본연의 목적인 방음 성능과 배기가스를 정화할 수 있는 다목적 패널, 자체 에너지 수급을 위한 태양광 패널 그리고 도시녹화 기능을 수행할 수 있는 녹화 패널의 적용을 통해 고부가가치 제품 플랫폼으로 기능한다. 또한, 방음터널의 안전을 탐지하는 안전 관련 센서, 내부 분진을 감지하는 분진 감지 센서, 적설 현황을 탐지하는 적설 감지 센서를 방음터널에 적용하여 빅 데이터 플랫폼으로써의 기능을 수행할 수 있다. 이와 더불어 방음터널에 부착된 센서들을 통해 실시간 데이터가 도시 데이터 플랫폼, 이를테면 U-city 통합 관제 센터로 전송되어 실시간 도시 정보수집 및 분석에 활용되고 부가가치를 높일 수 있다. 이를 바탕으로, 차세대 방음터널은 고부가가치 제품 및 빅 데이터 플랫폼으로서 기능할 수 있다.

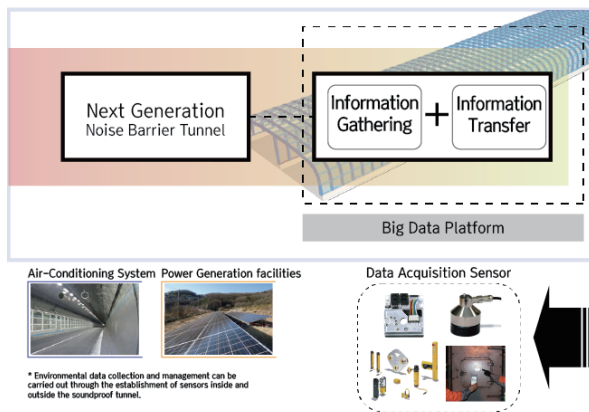


Figure 8. N.G Noise Barrier Tunnel : Big Data Platform

4.3 차세대 방음터널 디지털 체인 구성

차세대 방음터널 플랫폼의 디지털 체인은 방음터널의 기획에서 설계, 시공, 유지관리, 해체에 이르기까지의 생애주기 전체에 사용되는 정보가 일관화되어 사용, 관리되는 일련의 순환과정을 의미한다.

본 연구에서는 디지털 체인의 구성을 위하여 차세대 방음터널의 형상을 Rhino 및 Grasshopper를 통해 파라메트릭 디자인

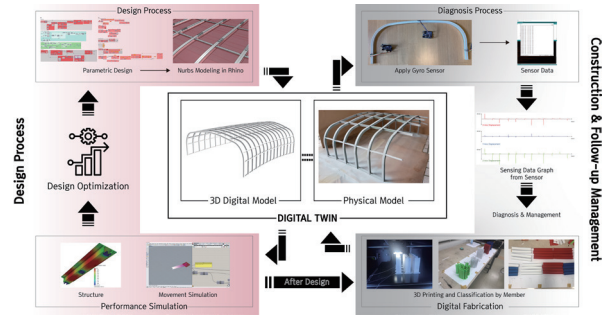


Figure 9. Conceptual Model of Digital Chain for N.G Noise Barrier Tunnel Platform

을 활용한 디지털 모델을 구성했다. 이를 물리 모델(축소 모형)으로 생성하는 과정에서 3D 프린팅을 활용하였다. 이후, 실제 방음터널에 부착 가능한 센서 중 하나인 자이로센서를 부착하여 디지털 트윈 단계에서의 데이터의 교환이 이루어지는지 확인했다. 물리모델에 부착된 자이로센서의 데이터는 Arduino IDE를 거쳐 Rhino 및 Grasshopper로 이어져 실제 물리 모델에서의 거동 변화를 디지털 모델에서도 확인할 수 있었다. 이러한 과정을 통하여 본 연구에서 제안한 디지털 체인의 구성 및 데이터 플로우의 구성이 이루어지는지 검토하였으며, 위 과정을 바탕으로 구성되는 차세대 방음터널의 디지털 체인은 Figure 9와 같이 정리할 수 있다.

이러한 디지털 체인의 구성을 통하여 정보의 보존과 연속성을 확보할 수 있으므로 이를 통한 분석 모델과 예측 모델을 구성할 수 있게 된다. 취합된 정보(데이터)를 바탕으로, 차세대 방음터널 체인에서는 설계에서부터 디지털 트윈에 의한 유지관리에 이르는 모든 과정에서 일관되고 효율적인 데이터 관리가 가능하다. 이를 구성하는데 활용되는 제너러티브 / 파라메트릭 디자인, 시뮬레이션, 최적화, 디지털 패브리케이션과 같은 기술들은 본 디지털 체인의 핵심기술이다. 또한, 도로시설물인 방음터널의 특수성을 고려한 데이터 플로우(Data Flow)의 설정 또한 요구된다.

더불어서, 방음터널의 계획 및 설계단계에서 설계 자동화를 통해 생성된 디지털 모델은 앞에서 서술한 성능 시뮬레이션 및 VR 기기 활용 가시화 등을 통하여 성능 최적화 단계를 거치며 그 결과가 설계 자동화로 반영되어 디지털 모델이 수정될 수 있어야 한다. 디지털 모델을 기반으로 도면 및 설계 문서가 작성되어야 하며, 사전제작 기법을 적용하여 시공 과정에서 발생하는 비용을 절감할 수 있어야 한다. 이후, 결정된 디지털 모델을 기반으로 구축되는 물리 모델 간 센서 부착을 통해 상호 간의 데이터 연결이 되도록 하며, 이를 통해 물리 방음터널에서 수집된 데이터는 클라우드 시스템(Cloud System)을 비롯한 저장소에 저장토록 한다. 이때, 수집되는 데이터의 종류는 적설량, 분진 양, 교통량, 태양광발전량, 방음터널 부재의 수명 등으로 제한하며, 해당 데이

터를 기반으로 관제, 운영, 최적화 프로그램을 구동할 수 있도록 데이터 플로우를 계획해야 한다. 수집된 데이터를 바탕으로 관제, 운영, 최적화 프로그램을 통한 현황 파악 및 기타 수요는 디지털 모델에 반영될 수 있도록 함으로써 디지털 체인을 구성하여야 한다.

5. 결론

본 연구에서는 스마트도시 시설물, 그리고 차세대 스마트도시 시설물의 정의를 명확히 하며, 산업혁명과 스마트시티의 대두에 따른 패러다임의 변화를 반영하는 차세대 플랫폼 정의와 이를 기반으로 구성되는 디지털 체인을 제안했다. 특히, 이를 스마트시티 곳곳에 배치될 필요성을 가지는 방음터널에 반영하여, 차세대 방음터널 디지털 체인의 개념모델을 제안 및 자이로센서 기반의 데이터 플로우 바탕의 구축을 통해 실현가능성을 확인했다. 이를 통하여 차세대 스마트도시 시설물의 디지털 체인의 구현에는 모듈화를 통한 고부가가치 가능성을 포함하며, 디지털 모델-물리 모델의 상호보완적 활용을 통한 가치 창출을 염두에 두며 구성되는 디지털 체인 개념 모델의 역할에 대해 제시했다. 또한, 차세대 방음터널을 대상으로 구조성능을 파악하기 위한 자이로센서 기반의 데이터 플로우를 구축하여, 본 연구에서 제안한 차세대 스마트도시 시설물의 디지털 체인의 구성이 가능함을 확인하였다. 단, 디지털 체인 내부 트윈의 구현 대상은 현실 세계에 존재하는 모든 물리적인 요소와 정보라고 할 수 있으나, 그 구현 과정은 막대한 비용, 시간, 인력이 수반되기 때문에 항상 모든 것을 구현할 수는 없다. 그러므로, 실제로 구현되는 대상의 범위는 디지털 트윈의 활용 목적, 시나리오, 보유 데이터에 따라 결정되어야 할 필요가 있다.

본 연구에서 제안한 차세대 스마트도시 시설물의 디지털 체인 개념 모델은, 이전에 수행된 Cho(2010)의 가로시설물을 통한 공간 소셜 네트워킹 서비스 구현, Yoon(2016)의 공공 디자인의 모듈화를 통한 고부가가치 산업으로써의 도시시설물의 개념, Lim(2018)의 협업 플랫폼으로서의 스마트시티 및 스마트도시 시설물의 디지털 트윈의 개념에 이어서 스마트도시 시설물에 적용될 수 있는 효용성 및 부가가치 창출을 구현할 수 있는 바탕이 될 수 있다. 이러한 점에서 디지털 체인의 적용과 대상에 적합한 데이터 플로우의 도입은 각 단계에서 수집된 데이터를 바탕으로 관제, 운영, 최적화 프로그램을 통한 현황 파악 및 기타 수요 관측을 통하여 시설물 생애주기 전체의 품질 향상, 품질 보증 비용 절감 및 서비스 향상, 개발 비용 전반의 비용 절감과 기간 단축의 효과, 운영 단계에서의 지속적인 최적화를 통한 운영비용을 절감하는 효과를 가져올 수 있다. 이러한 차세대 스마트도시 시설물

의 디지털 트윈 및 체인의 구현은 기존 스마트시티를 대상으로 하는 빅데이터 플랫폼의 기능뿐만 아니라, 고부가가치 제품 플랫폼의 가능성이 더해지는 환경의 구축을 포함한다. 이는 디지털 체인의 의의가 단순히 데이터 관리로서의 측면을 넘어서서, 제조업 전반에까지 영향을 끼칠 수 있음을 시사한다 볼 수 있다.

현재 스마트시티의 단계적 도입과 4차 산업혁명에 따른 패러다임의 변화는 기존과는 확연히 다른 접근과 적용을 도시 각 부문에 요구하고 있다. 그러나, 고부가가치 산업으로서의 스마트도시 시설물에 관한 연구는 관련된 여러 분야의 다(多)학제적 연구가 필수 불가결함에도 여러 관점의 스마트시티와 스마트도시 시설물의 개념들이 혼재되어 있어 비롯되는 혼란이 존재하고 있다. 특히, 각 학제 간 협업의 경우 기준과 개념의 차이로 발생하는 문제가 증가함에 따라 스마트시티에 적용되는 스마트도시 시설물에 관한 연구의 통합이 요구되고 있으므로 시설, 지역, 종류별로 스마트도시 시설물 기준에 대한 연구가 진행될 필요가 있다.

추후 연구에서는 본 연구에서 제시한 차세대 스마트도시 시설물의 디지털 체인의 부분 적용을 통해 설정되는 여러 종류의 도시시설물의 특성에 맞는 데이터 플로우의 가이드라인 작성이 필요하다. 이를 통해 본 연구에서 제안한 차세대 스마트도시 시설물의 디지털 체인의 실현 및 실효성에 대한 검증은 진행할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업(20C-TAP-C151928-02)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

이 논문은 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성 사업으로 지원되었습니다.

References

- Baldwin, C. Y., Woodard, C. J. (2009). The architecture of platforms: a unified view, Gawer Annabelle (ed), *Platforms, Markets and Innovation*, Edward Elgar, pp. 19–44.
- Caragliu et al. (2011). Smart Cities in Europe, *Journal of Urban Technology*, Volume 18, pp. 65–82.
- Cho, Y. (2016). Criteria for smart cities; smart city indexes. *Science & Technology Policy*, 26(8), pp. 38–43.
- Cho, Y., S.-A. Kim (2010). The Implementation for the Spatially-mediated Social networking service Scenarios in Intelligent Street, *Journal of the Architecture Institute of Korea*, 30(1), pp. 99–100.
- Choi, B. (2011). A Study of the Effect of the General Definition of Platforms on the Firm's Economic and Strategy Decision-Making, *The Journal of Business Education*, 25(3), pp. 165–167.
- Grieves, M. W. (2019). Virtually Intelligent Product Systems: Digital and Physical Twins, *Complex Systems Engineering: Theory and Practice* 7, pp. 177.
- Grieves, M., Vickers, J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems, in Kahlen, F., Flumerfelt, S., Alves, A. (2017). *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*, Springer, pp. 85–113.
- Hagiu, A. (2014). Strategic decisions for multisided platforms. *MIT Sloan Management Review*.
<https://documents.hants.gov.uk/hampshire2050/evidence/theme-4-environment-and-quality-of-place/supporting-evidence-and-research-reports/Theme-4-Its-Alive-Arup-Foresight.pdf>, pp. 4 (July. 15. 2020).
- IDC (2015). Digital transformation (DX): An opportunity and an imperative. IDC Executive Brief.
- Jung, J., S.-A. Kim (2018). Digital Fabrication Integrated Architectural Design Process based on Lean startup, *KIBIM Magazine* 8: pp. 23–33.
- KICT. (2014). Development of Urban Spatial Information Platform for Urban Public Facility Management based on Sensing Data
- Kim, J., S.-A. Kim (2019). Prototyping-based Design Process Integrated with Digital-Twin: A Fundamental Study, *KIBIM Magazine* 9(4): pp. 58–60.
- Lee, B. (2018). The Concept of Smart Urban Facilities and the Direction of Linkage with Urban Regeneration. KRIHS, 664, pp. 3–6.
- Lee, J., Bagheri, B., Kao, H.-A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing letters* 3, pp. 18–23.
- Lee, S. (2016). Analyzing Characteristics of the Smart City Governance, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 19(2), pp. 86–87.
- Lim, S. (2018). Application of Digital Twin for the Success of Smart City. KRIHS, 687, pp. 1–6.
- Mark, D. (2011). From intelligent to smart cities, *Intelligent Buildings International*, 3(3), pp. 140–152
- OECD(2016). Big data: Bringing competition policy to the digital era, Directorate for Financial & Enterprise Affairs Competition Committee, [https://one.oecd.org/document/DAF/COMP\(2016\)14/en/pdf](https://one.oecd.org/document/DAF/COMP(2016)14/en/pdf), pp. 12. (July. 7. 2020).
- Park, Y. (2018). Strategy for Building Smart City as a Platform of the 4th Industrial Revolution, *Journal of Digital Convergence*, 17(1), pp. 173–175.
- Piasecik, R., Vickers, J., Lowry, D., Scotti, S., Stewart, J., Calomino, A. (2010). Technology area 12: Materials, structures, mechanical systems, and manufacturing roadmap. NASA Office of Chief Technologist, pp. 15–88.
- Sakong, H. (2018). Strategies to Build 'Digital Twin Space' (DTS) Towards the Fourth Industrial Revolution, KRIHS, 661, pp. 4–6.
- Schallmo, D. R., Williams, C. A. (2018). Digital Transformation Now! Guiding the Successful.
- Shin, D., S.-A. Kim (2007). A Methodology to Introduce the Digital Chain into the Education of Computer Aided Architectural Design, *Journal of the Architecture Institute of Korea*, 30(1), pp. 181.
- Yoo, J. (2015). A Study on the Utilization of Sensor Information for Urban Facility Masters Thesis, ANYANG UNIVERSITY of Urban Information Engineering.
- Yoon, J. (2016). A Study on the Design Development of Public Facility Considering Urban Design, *Journal of the Korean Society of Design Culture*, 22(1), pp. 275–276.