

# 스마트 시티 디지털 트윈 구축 사례 분석

## - 싱가포르를 중심으로 -

### A Case Study on Smart Cities Using Digital Twin Technology

#### - Focusing on the Singapore Case -

김 영 중\*      윤 호 중\*      원 종 성\*\*  
Kim, Youngjoong    Yoon, Hojun    Won, Jongsung

#### Abstract

This paper compares and analyzes smart city-related policies and specific applications in Singapore, South Korea, the United States, Germany, Japan and the United Kingdom. Singapore is the only practice of digital twin applied to building a smart city. In this study, policies and practices were compared and analyzed based on the six major service categories of smart cities. The six major service categories are transportation, safety, environment, welfare, administration, and energy. As the result, Singapore satisfied all the key service items of smart cities, but other countries were lacked of policies and practices related to administration. Therefore, we need to improve administration policy development and application cases by benchmarking Singapore's cases with digital twins.

키워드 : 스마트시티, 디지털 트윈, 싱가포르  
Keywords : Smart City, Digital Twin, Singapore

#### 1. 서    론

##### 1.1 연구의 목적

세계에서 도시가 차지하는 면적은 0.44%에 불과하지만, 도시에 사는 사람은 세계 인구의 54%를 차지한다 (United Nations, 2014). 이와 같은 도시화가 진행됨에 따라 자원 및 인프라 부족, 교통 혼잡, 에너지 부족, 환경 파괴 등의 문제가 발생하고 있다. 이를 해결하기 위하여 정보통신 기술을 이용하여 도시의 공공기능을 네트워크화하고, 지속 가능한 서비스를 제공하는 스마트 시티가 주목받고 있다. 스마트 시티란 디지털 기술을 활용해 도시 경영, 거버넌스, 장기적 설계와 계획을 개선하는 도시이다 (Kim et al., 2019). 현재 싱가포르, 독일 등을 중심으로 스마트 시티 프로젝트와 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 스마트 시티 간의 특성을 비교한 연구는 부족했다.

싱가포르는 디지털 트윈이 도시 전체에 적용된 유일한 스마트 시티 사례이다 (National Research Foundation, 2006). 디지털 트윈이란 물리적 세계와 동일한 디지털 쌍둥이를 만드는 것을 의미한다 (Seo & Ji 2019). 실제 세계에서 센서 데이터를 통해 생산된 데이터로 가상공간을 형성하고, 정보가 전달되도록 한다. 생성된 데이터를 기

반으로, 가상공간을 통해 감지, 분석, 예측 등을 실시간으로 가능하게 한다. 즉, 현실에서 직접 실험을 하지 않아도 가상공간에서 적은 비용으로 많은 시뮬레이션을 할 수 있다 (Yoon, 2018). 예를 들어, 도시설계 단계에서 시뮬레이션을 통해 건설 후의 도시나 주택단지의 모습을 미리 보고 보완하거나, 도시 조망 경관, 일조권 등을 검토할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 선진 스마트 시티 사례인 싱가포르 (Juniper Research, 2001)를 중심으로 한국, 미국, 일본, 독일 등 국내외의 스마트 시티 관련 정책과 사례를 비교, 분석하고자 한다.

##### 1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구에서의 스마트 시티 비교 대상 국가로 세계 스마트 시티 상위 6개국으로 선정하였다 (Juniper Research, 2001). 선정된 6개국은 싱가포르, 영국, 미국, 대한민국, 독일, 일본이다. 본 연구에서는 스마트 시티 비교, 분석을 위하여 도시국가인 싱가포르를 제외하고 각국에서 2개 도시를 선정했다. 선정한 도시는 싱가포르, 런던, 글래스고(영국), 뉴욕, 샌프란시스코(미국), 서울, 부산(대한민국), 베를린, 함부르크(독일), 도쿄, 도요타(일본)이다.

사례분석은 기존에 있는 다양한 자료를 통해 하나의 현상을 집중적으로 연구함으로써 의미 있는 정보를 제공한다. 사례분석을 수행함으로써 대표적인 스마트 시티 사례인 싱가포르와 다른 국가의 스마트 시티 사례 및 정책을 비교, 분석함으로써 스마트 시티의 장단점 및 디지털 트윈이 적용된 스마트 시티 사례의 특성을 분석하고자

\* 전 한국교통대 건축학부 건축공학전공 연구원  
\*\* 한국교통대 건축학부 건축공학전공 부교수, 공학박사  
(Corresponding author : School of Architecture, Korea University of Transportation, jwon@ut.ac.kr)

이 연구는 2021년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음

한다. 비교, 분석은 스마트 시티의 6개 주요 서비스 항목을 기반으로 진행된다. 본 연구에서 분류한 스마트 시티 서비스 항목은 교통, 안전, 환경, 생활복지, 도시행정, 에너지로 총 6가지이다.

Table 2. Smart cities analyzed in this paper

Country	Smart cities
Singapore	Singapore
UK	London, Glasgow
US	New Work, San Francisco
South Korea	Seoul, Busan
Germany	Berlin, Hamburg
Japan	Tokyo, Toyota

## 2. 기존 문헌고찰

스마트 시티와 관련하여 다양한 연구가 진행되었다. Shin et al. (2019)은 지방자치단체를 대상으로 개발된 기술 적용 효과를 분석하고, 공간정보 활용 기반의 지능형 방법기술·서비스의 연계 방안을 도출하였다. Kim and Jung (2019)은 스마트 시티 산업 활성화를 위한 요인을 도출하였다. Han & Lee (2019)는 유럽, 아메리카, 아시아, 오세아니아와 우리나라의 스마트 시티에서 융합된 환경 기술과 정보기술을 비교하였다. Kim & Lee (2019)는 스마트 시티 관련 기술의 도입으로 인하여 야기될 문제의 해결방안과 발전 방향을 도출하였다. 하지만 기존 연구에서는 디지털 트윈의 스마트 시티에의 영향에 관한 연구가 부족했다. 따라서, 본 연구에서는 디지털 트윈이 적용된 싱가포르 사례와 디지털 트윈이 적용되지 않은 11개의 스마트 시티 사례를 비교, 분석하고, 6개국(미국, 일본, 영국, 독일, 싱가포르, 한국)의 스마트 사례 관련 정책을 비교, 분석하고자 한다.

## 3. 스마트 시티 서비스 항목

본 연구는 스마트 시티의 정책과 사례가 어떤 분야의 도시문제를 해결하기 위해 발전했는지를 알기 위하여 스마트 시티의 서비스 항목을 6개로 분류했다. 6개 서비스 항목은 교통, 안전, 환경, 생활복지, 도시행정, 에너지이다 (Cho et al., 2017). (1) 스마트 교통이란 기존의 교통체계에 정보, 통신, 제어, 전자 등의 지능형 기술을 접목시킨 차세대 교통시스템으로 정의된다. (2) 스마트 안전이란 안전 및 관리 보안 서비스와 같은 기술 및 솔루션을 제공한다. (3) 스마트 환경이란 다양한 환경문제를 해결, 비교한다. (4) 스마트 생활복지는 시민들의 건강, 웰니스, 웰빙 장려를 의미한다. (5) 스마트 도시행정이란 친환경 및 지능형 솔루션 채택을 지원하는 정부 정책 및 디지털 서비스를 의미한다. (6) 스마트 에너지란 첨단 미터 인프라(AMI, Advanced Metering Infrastructure), 배전 관리 및 고전압 전송 시스템을 위해 디지털 기술을 사용하는 것을 의미한다. 본 연구에서는 스마트 시티 서비스 항목을

기반으로 스마트 시티 사례와 관련된 정책을 비교했다.

Table 3. Classification of service items of smart cities (Kang, 2017; Frost & Sullivan, 2013; Lee, 2018)

Service item	Content
Transportation	Transportation system optimized for safety/quickness/comfort/convenience/environment that organically links and integrates all information generated on the smart city integrated platform to provide smart transportation services to users and being used for smart connected eco mobility, user demand management, public transportation management, and integrated transportation management
Safety	Including technologies and solutions such as video surveillance, public safety and management security services to protect people, property, and information and available in disaster safety, social safety, and industrial safety fields
Administration	Government policies and digital services that support the adoption of eco-friendly and intelligent solutions through incentives, subsidies, and so on and being used for facility management, e-government implementation, and open governance
Environment	Solving various environmental problems such as water resources, waste, and fine dust and managing air pollution, waste disposal, and water pollution
Energy	Digital technology for advanced meter infrastructure (AMI), distribution management, and high voltage transmission systems and for response to demand for intelligent integrated transmission and power distribution and being used for expanding renewable energy and improving energy efficiency for public facilities, houses, and buildings
Welfare	Health monitoring and diagnosis and encouraging citizens' health, wellness, and well-being using e-Health and m-Health systems and intelligent connected medical devices

## 4. 스마트 시티 관련 정책 비교

각국에서는 스마트 시티를 효율적으로 적용하고자 다양한 정책을 시행하고 있다. 따라서 미국, 일본, 영국, 독일, 싱가포르, 대한민국의 스마트 시티 관련 정책을 6개의 스마트 시티 서비스 항목을 기준으로 비교, 분석했다 (표 3). 분석 결과, 미국, 영국, 싱가포르, 대한민국은 스마트 시티의 6개 서비스 항목에 해당하는 정책을 모두 시행하고 있었다. 일본은 4개의 서비스 항목, 독일은 2개의 서비스 항목과 관련한 정책만을 시행하고 있었다.

Table 3. Comparison of policy related to smart cities of the six countries

	US	Japan	UK	Germany	Singapore	Korea
Transportation	○	○	○	○	○	○
Safety	○	○	○	X	○	○
Environment	○	○	○	○	○	○
Welfare	○	X	○	X	○	○
Administration	○	X	○	X	○	○
Energy	○	○	○	X	○	○

미국은 2015년에 Smart City Initiative를 발표하며, 스마트 시티 구축을 시작했고, 6개의 서비스 분류항목을 전체적으로 가장 활발하게 진행 중이다. 일본은 자연재해가 많은 관계로 생활복지와 도시행정보다는 안전과 환경, 에너지 분야의 정책에 초점을 맞추고 있다. 영국은 Smart London 프로젝트부터 시작하여 6개의 항목에 대한 정책을 실시하고 있다 (Shin & Cho, 2016). 싱가포르의 스마트 시티 프로젝트인 Virtual Singapore 프로젝트를 시행함으로써 국토의 전체를 스마트 시티로 구축하였다. Virtual Singapore는 스마트 시티에 디지털 트윈 기술을 적용한 유일한 사례이며, 5장에서 자세하게 소개하고자 한다. 국내에서도 2018년부터 스마트 시티 서울 전략계획 수립 계획을 발표하고, 서울을 시작으로 스마트 시티의 정책을 계속해서 진행 중이다.

### 5. Virtual Singapore 프로젝트

싱가포르는 가장 체계적이고 적극적으로 스마트 시티를 구축하고 있다. 포브스, 주니퍼 리서치 등에서 싱가포르를 스마트 시티 종합평가 1위로 평가하고 있다. Virtual Singapore 프로젝트는 가상공간에서 다양한 실험들을 먼저 시뮬레이션하고, 이를 기반으로 실제 현장에 적용할 수 있는 디지털 트윈 환경을 체계적으로 구현하며 서비스가 아닌 플랫폼 중심이다. 디지털 트윈 기술이 적용된 유일한 스마트 시티 사례이다. 디지털 트윈은 3차원으로 구축된 도시정보는 기업, 국민, 연구기관이 모두 활용할 수 있다. 도시를 단순히 3차원으로 시각화해서 보여주는 것이 아니라 건물을 짓거나 도로를 시공하는 등 새로운 요소를 적용할 때 도시가 어떻게 변하는지 사전에 시뮬레이션할 수 있다. 시설물을 설치할 때 어디에 어떻게 해야 효과가 극대화될 수 있는지 가상에서 먼저 검증하고 설치하면 예산도 절감할 수 있으며, 효율적이다. 기업이나 정부가 건축물이나 공원 등의 프로젝트를 계획하는 경우, Virtual Singapore 플랫폼 내에서 주변 경관과의 조화, 교통에 미치는 영향, 일조권 침해 여부 등의 분석을 빠르고 정교하게 수행할 수 있다.

만약 해당 프로젝트가 차량 흐름이나 통행에 불편하다면, 이를 최소화하기 위한 보완 통로 구축에 대한 추가 시뮬레이션을 진행하거나, 더 나은 설계로 변경하기 위한 여러 테스트를 큰 비용 소모 없이 수월하게 검토할 수도 있다. 또 외부뿐 만 아니라 건물 내 발생할 수 있는 상황에 대한 테스트도 가능하다. 긴급 상황 발생 시 건물 내 안내원의 유무가 시민들의 대피 시간에 얼마나 영향을 끼치는지에 대한 시뮬레이션 과정을 직관적인 시각화 영상을 통해 보여주고 있다. 가상의 도시를 1인칭 시점으로 직접 체험할 수도 있다. 디지털 트윈을 구축하기 위해 실제 도시 곳곳에 센서가 설치되어있기 때문에 고장 등의 문제가 발생해도 실시간으로 파악할 수 있다. 싱가포르의 스마트 시티는 시민들이 참여하여 발전에 기여하였다. One Service 앱에서 시민들이 도시에서 발생하는 문제를 제보할 수 있고 새로운 대중교통제안을 도와준다. 일반

시민도 계정만 있으면 디지털화된 도시정보를 알 수 있다. 집에서든 현재 교통량과 대기 질 등의 실시간으로 제공받는다. 싱가포르 외의 국가들의 스마트 시티를 살펴보면 스마트가로등, 오픈데이터, 무인시스템 등 대부분 IoT를 사용한 서비스 개념이다. 또한, 날씨 변화에 따른 테스트도 가능하다. 예를 들어 일사량과 풍향, 기온 변화 등의 데이터를 함께 수집하는 버추얼 싱가포르 플랫폼은 사람이 직접 방문하지 않아도 약간의 조건 검색만으로 특정 지역의 일사량과 건물 면적, 옥상 온도 변화 데이터 등을 쉽게 알아낼 수 있어 편리하다. 실제로 싱가포르 당국은 작은 국토의 한계를 극복하기 위해 건물 옥상 등을 활용한 태양광 발전에 적극적으로 투자하고 있으며, 버추얼 싱가포르를 토대로 지역별 태양전지 패널 설치에 가장 적합한 장소를 물색하기도 하였다. 이 밖에 버추얼 싱가포르는 재난 상황에서도 효과적으로 활용될 수 있다. 예를 들어 도심 아파트 단지에서 화재나 유독가스 누출 사고가 발생할 경우, 지역 내 풍향 데이터를 근거로 유독 물질이 퍼지는 방향과 시간을 계산해 가장 효율적인 시민 대피 경로를 계산할 수 있다. 또, 비가 많이 내리는 시기에는 평균 강우량을 근거로 홍수 발생 가능성과 관련 피해를 예측해 미리 시설 보수를 할 수 있다.

### 6. 스마트 시티 사례 비교 분석

6개국의 스마트 시티 사례를 6개의 스마트 시티 서비스 항목 기준으로 비교했다. 싱가포르는 다른 비교 국가와 다르게 한 개의 스마트 시티 사례만을 비교, 분석했음에도 불구하고, 유일하게 6개의 서비스 항목에 해당하는 사례를 보유하고 있었다. 대한민국(5개), 미국(4개), 영국(4개) 순이었다. 상대적으로 일본과 독일은 스마트 시티 서비스 항목 관련 사례가 적었다.

미국은 최근 에너지 분야의 정책을 추가하여 스마트 시티를 조성하고 있다. 일본의 정책은 안전과 환경 분야에 초점을 맞추고 있다. 영국은 정책이 주도되어 시민들에게 제공되는 서비스 사례가 발달되었고, CCTV를 이용한 차량번호판 자동인식처럼 제도적/기술적 사례가 다수 있다. 독일은 항만을 중심으로 교통과 에너지 분야에 사례에 집중했다. 싱가포르는 국가가 주도하는 스마트 국가 정책으로 도시국가임에도 전체적으로 시스템, 기술, 제도, 서비스의 다양한 사례를 갖추고 있다. 국내는 다양하고 소규모 서비스 위주의 사례가 고루 분포 되어있다.

미국 뉴욕은 도시 행정분야에 스마트 시티 신기술을 반영한 대표적인 사례이다. 적용된 첨단 AMR 시스템은 전기, 가스, 수도 사용량 검침에 IT 기술을 이용하여 중앙 검침센터에서 자동으로 수행하는 시스템이다. 영국의 런던은 Smarter London Together 정책의 일부로서 도시의 안전을 책임진다. CCTV와 도로차단기로 구성된 통합 시스템을 도로에 설치하여 범죄 활동을 감지/추적하고, 차량번호판 자동 인식을 통해 도시범죄 예방한다. 서울은 환경 분야 사례로서 운영정보의 실시간 통합감시로 상수도 관리 효율성을 향상시키고, 수돗물 생산, 배/급수를 최

적의 상태로 운영 관리하는 수돗물 수질 관리시스템을 운영한다.

서비스 항목별로는 교통(6개국), 생활복지(5개국), 에너지(5개국), 도시행정(2개국) 순으로, 도시행정 관련 사례가 가장 적었다. 현재 스마트 시티에서는 도시행정 관련 내용이 가장 부족하고, 개선이 필요하다고 판단된다. 스마트 시티에서 도시행정을 효율적으로 수행하기 위해서는 국가나 정부 차원의 다양한 시뮬레이션을 통한 사전 검토뿐만 아니라 시민들의 실시간 참여 및 피드백이 요구된다. 이는 디지털 트윈의 적용을 통해 개선이 가능하다고 판단되며, 싱가포르의 디지털 트윈 기술의 적용을 통하여 이와 같은 한계를 극복하고 있다.

Table 5. The number of policies that matched service items of smart cities in the six countries

	US	Japan	UK	Germany	Singapore	Korea
Transportation	1	1	2	4	5	4
Safety	2	-	1	-	2	3
Environment	-	-	2	-	2	3
Welfare	1	4	-	1	1	2
Administration	1	-	-	-	2	-
Energy	-	1	1	2	2	1

### 7. 결론

전 세계적으로 도시에 인구 집중 현상이 일어남과 동시에 다양한 도시문제가 불거지고 있다. 이를 해결하기 위한 방안이 스마트 시티이다. 본 연구에서는 싱가포르의 5개국의 정책과 사례를 교통, 안전, 환경, 생활복지, 도시행정, 에너지 6가지 항목으로 분류하여 비교하고, 연관성을 분석했다.

6개국 국가별 도에서 스마트 시티의 정책은 계속해서 새롭게 추진되고 있다. 가장 활발하게 추진되는 분야는 교통 분야로 도시화 문제에 따라 교통량 조절과 주차 문제 해결에 대한 정책이 다수 시행되었다. 다음으로 생활복지와 안전 분야에서 국민의 건강과 안전을 생각하는 정책들이 시행되었다. 환경과 에너지 분야에서는 환경오염 문제와 쓰레기처리 문제, 부족해지는 자원의 에너지를 사용하는 것에 대한 정책이 많이 시행되었다. 하지만, 도시행정 분야에서는 아직까지 관련 정책이 부족했다. 싱가포르에서는 전자 정부를 통해 정책이나 도에서 발생하는 일들을 확인할 수 있고, 다양한 의견을 취합할 수 있는 양방향 소통을 장려했지만, 그 밖의 기능은 상대적으로 부족했다.

분석결과, 스마트 시티가 가장 발전한 국가는 싱가포르였다. 싱가포르는 스마트 시티의 모든 서비스 분야에 대한 정책과 사례가 다수 있었고, 다른 국가와 달리 도시행정 분야에서도 정책과 사례가 상대적으로 발전되어 있었다. 이는 디지털 트윈 프로젝트를 통한 국가의 주도과 디지털 트윈 오픈 데이터 사례에의 시민 참여가 활발했기 때문이라고 사료된다. 따라서, 디지털 트윈이 적용된 싱가포르 사례를 벤치마킹함으로써 도시 행정 관련 정책

수립 및 적용사례 개발이 가능하게 개선할 필요가 있다. 본 논문에서 정책, 사례에 대한 자료 수집은 공개된 자료만을 기반으로 이루어졌고, 검증 프로세스가 없었다. 따라서, 향후 연구로 전문가를 대상으로 한 설문 등을 통하여 디지털 트윈의 효과를 검증하고자 한다.

### REFERENCES

1. Kang, Y. (2017). Smart Cities and Response Strategies for Transportation. *Monthly Transportation*, 228, 21-26
2. Kim, M. & Jung, S. (2019). Current Trend of Smart City Service Application in Korea, *Journal of the Korea Contents Association*. 19(2), 194-203.
3. Kim, Y., Song, Y., & Cho, S. (2019). A Study on Improvement of Smart City Policy through Survey on Ubiquitous City Residents, *Urban Design*. 20(3), 83-93
4. Kim, E. & Lee, T. (2019). A Study on the Establishment of Smart City Platform according to the Fourth Industrial Revolution; Focusing on the case of Pohang Smart City. *International Commerce and Information Review*, 21(2), 205-229.
5. Seo, B. & Ji, H. (2019). Spatial Information in the 4th Industrial Revolution (Digital Twin), *Magazine of the IEIE*. 46(3), 20-24
6. Shin, Y., Han, S., & Lee, J.. (2019). A Study on Methods for the Domestic Diffusion of Intelligent Security Project : With a Focus on the Case of Smart City Integrated Platform, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 20(7), 474-484
7. Shin, W. & Cho, Y. (2016). The UK Government's Efforts to Build Smart Cities and its Implications., *Human Settlements*, 415 86-92.
8. Yoon, J. (2018). The Future of Urban Planning that Virtual Reality Will Bring, *DNews* <http://www.cnews.co.kr/uhtml/read.jsp?idxno=201801012102100420832>
9. Lee, Y. (2018). A Casebook of Services in the Field of Smart Cities Based on IoT Open Platforms, *National IT Industry Promotion Agency*.
10. Han, J. & Lee, S. (2019). Morphological Evolution of World Smart City in View of Environment Technology and Information Technology, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 20(6), 201-209
11. Frost & Sullivan. (2013).
12. Juniper Research. (2001).