

SMART CITY **스마트시티 글로벌 저널 2024**



Agenda

**Smart City
Global
Journal 2024**

스마트시티 미래 모습과 이를 구현하는 첨단기술

SMART CITY **TOP** Agenda **2024**

SMART CITY **스마트시티 글로벌 저널 2024**

TOP

Agenda

Smart City
Global
Journal 2024



CONTENTS

CHAPTER 01

스마트시티 미래 모습



스마트시티의 미래

이상호 *Sangho Lee*

8



스마트시티의 미래: 그 의미와 필요

브뤼노 랑방 *Bruno Lanvin*

24



재생력을 갖춘 스마트시티: 도시 생활의 새로운 가능성

스티븐 힐튼 *Stephen Hilton*

44

CHAPTER 02

스마트시티와 인공지능



AI 기반 스마트시티: 머신 러닝 혁신을 통한 지능적이고 상호 연결된 도시 인프라 구축

칼 하틀라인 *Carl Härtlein*

66



AI 스마트시티 운영 체제 AI/SCOS: 자기 생성, 집단 지성 및 도시 DNA를 새로운 모델로 활용

크리스토퍼 그랜트 커완 *Christopher Grant Kirwan*

86



생성형 AI를 이용한 도시계획: MapAI 개발 사례를 중심으로

한정훈 *Hoon Han*

112



스마트시티를 위한 인공지능 기반 도시계획 기술

이호영 *Lee Ho-young* 김선후 *Kim Sun-hoo*

130



CHAPTER 03

스마트시티와 첨단교통



스마트시티와 첨단교통

카를로 라티 *Carlo Ratti*

152



스마트 모빌리티 전환 및 전망

이재용 *Lee, Jae Yong*

176



스마트시티 완성을 위한 자율주행 자동차의 역할

최인성 *Inseong Choi* 민경찬 *Kyonungchan Min*

194



스마트시티의 미래 항공 모빌리티

김상현 *Sang Hyun Kim*

210

CHAPTER 04

스마트시티와 시민의 삶



시민에게 권한을, 지역을 실험실로:

미래가 보장된 도시를 위한 성과 기반 접근법으로서의 도시 혁신 패턴 언어

슈테펜 브라운 *Steffen Braun*

228



바르셀로나 슈퍼블록, 소수가 아닌 다수를 위한 도시의 새로운 삶을 제공하는 도시계획 프로젝트

자넷 산즈 *Janet SANZ*

248



이성의 합리주의 도시를 넘어, 기일원론의 스마트시티로

임기택 *Lim, Kitaek*

260



SMART CITY

T O P

A G E N D A

2 0 2 4

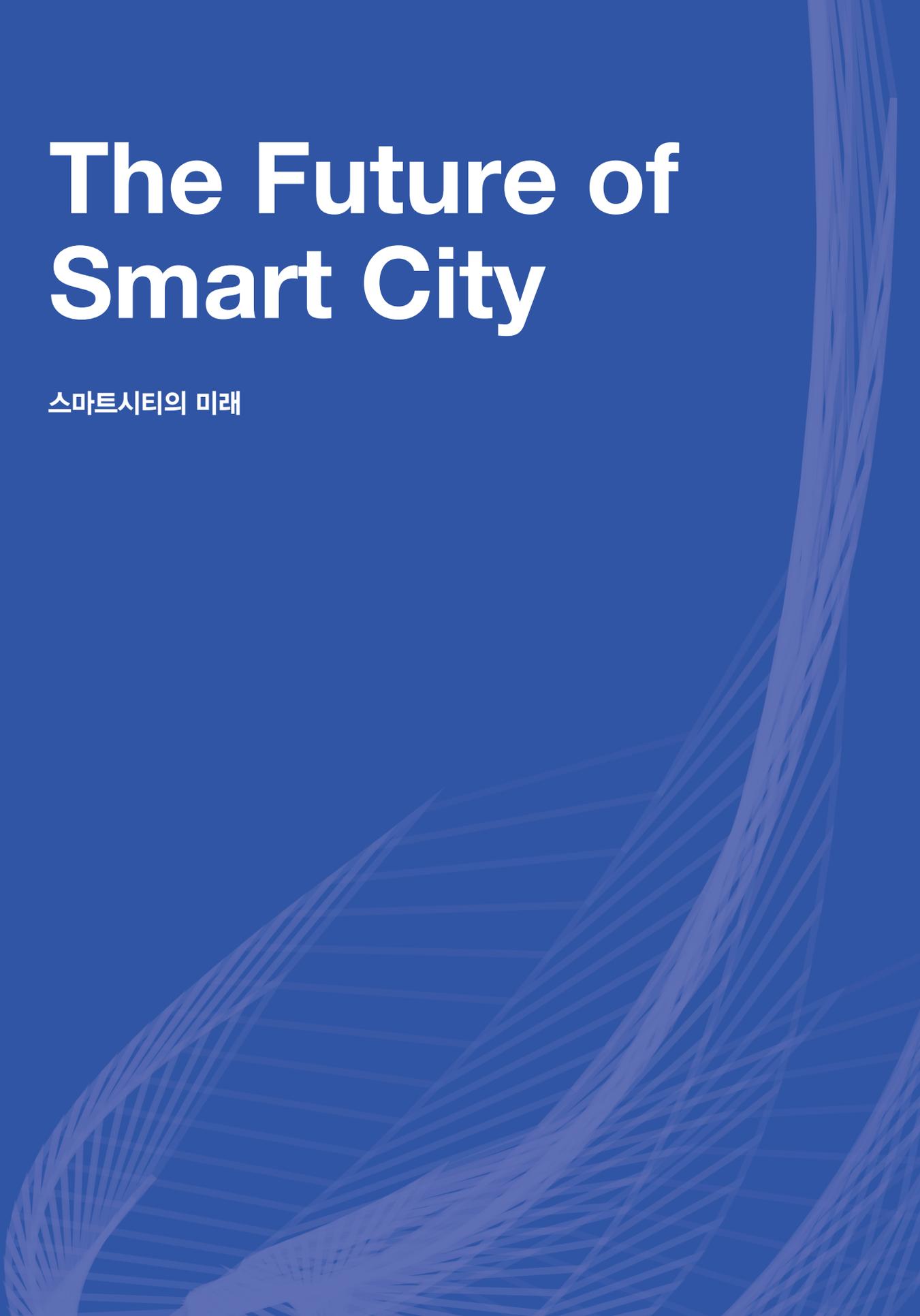
CHAPTER

01

스마트시티
미래 모습

The Future of Smart City

스마트시티의 미래



이상호

Sangho Lee



미래도시 연구자인 이상호 교수는 스마트시티의 프런티어로 인정받으며 세계 스마트시티 연구를 주도하고 있다. 스마트시티의 개념인 MLU-City와 스마트시티 전략로드맵 STIM 모델을 개발하고 이를 토대로 우리나라 K-스마트시티인 유비쿼터스 도시Ubiquitous City의 국가전략을 수립하였고, 삶의 질 향상과 일자리 창출 그리고 저비용 고효율의 스마트 공간 등 지속 가능한 미래도시 모델을 제시한 학문적 공로를 국내외적으로 인정받고 있다.

그는 현재 국립 한밭대학교에 재직 중이며, 국립 한밭대학교 건설환경조형대학 학장과 한국지역학회 회장, 명예회장을 역임하였다. 세계 인명사전 중 하나인 마르퀴즈 후즈 후 인 더 월드Marquis Who's Who in the World에 2014년, 2015년에 이어 2019년까지 연속 등재되었다.

Email: lshsw@hanbat.ac.kr

초록

스마트시티는 아직 미완성의 미래도시 *Future City*이다. 따라서 이 글은 미래도시의 미래에 관한 이야기이다. 천천히 우리의 삶으로 들어오고 있는 스마트시티를 이해하기 위해서는 세 가지를 이야기해야 한다. 먼저, 20~30만 년 전에 등장한 현생 인류, 호모사피엔스 *Homo Sapiens*가 기원전 7,000~8,000년부터 일구기 시작한 도시의 역사적 맥락에서 스마트시티를 살펴보았다. 그리고 4차산업혁명이 시작된 이후, 도시를 바꾸어 나가고 있는 새로운 현상들을 스마트시티의 완성 과정으로 이야기했다. 마지막으로 그 도시를 누리고 누리며 활동하는 주체들에 대하여 논의했다.

하드웨어인 도시의 공간상은 소프트웨어인 시대상을 반영한다. 그리고 시대상에는 그 시대를 살아가는 인간상이 담겨 있다. 이 글은 정치, 경제를 포함한 스마트시티의 미래 모습을 인간상, 시대상, 공간상에 대한 몇 가지 문답을 통해 생각해 본다. 또한, 근미래 *Short Term*와 먼 미래 *Long Term*에 도시 흥망성쇠의 방아쇠가 될 스마트시티의 성공요인을 논의하였다. 새로운 문명을 여는 그러나 아직 완성되지 않은 미래의 도시이기에, 이 글은 과거와 현재의 근거들을 통해 해석하고 미래를 예측하여 그려낸 스마트시티의 미래 모습에 대한 이야기 *Stories*이다.

키워드

스마트시티의 미래, 미래도시, 인간상, 시대상, 공간상

• ABSTRACT •

Smart city is an unfinished future city yet. This paper is about the future of the future city. To understand the smart city that is coming slowly to our daily life, we need to talk about 3 things. First, understanding of the smart city in the historical context of cities that developed since 7,000~8,000 years ago by Homo Sapiens, a modern human, who emerged 200,000 to 300,000 years ago. Then, as the 4th industrial revolution started, the new phenomenon that changed the city, was discussed as a process of completing the smart city. Finally, the people who live in that city were discussed.

The space of city, as hardware, reflects the era, which is the software. The era contains humanity. This paper rethinks the future in point of humanity, times, and space of future smart city with a few questions and answers. Furthermore, it talks about the triggers of the rise and fall of smart city's success in the short and long term. Since it is a city that opens a new civilization, yet not fully developed future city, this paper analyzes and interprets the evidence from the past and current day. This paper is a story about the future of smart cities, drawn by predicted future.

KEYWORDS

Smart City, Future City, Homo Sapiens Humanity, New Era of Smart City, Image of Smart City

아직 오지 않은 미래, 하지만 언젠가 우리가 살게 될 도시, 스마트시티는 천천히 우리 곁으로 다가오고 있다. 때론 우리가 알아채지 못하게 조용히, 때론 커다란 파장을 일으키며. 이 글은 과거와 현재의 모습을 통해 도시의 미래상을 그려본다.

미래 스마트시티의 인간상

Q1. 스마트시티에는 호모사피엔스가 여전히 유효할까?

20~30만 년 전에 등장한 현생 인류, 호모사피엔스는 계속 존재할 것이다. 역사가인 유발 하라리는 호모사피엔스의 시대가 저물고, 호모데우스Homo Deus의 시대가 올 것이라고 예측한다. 다소 도발적이다. 역사가는 렌즈를 넣은 노인 호모사피엔스가 사이보그 인류처럼 진화하듯이 호모데우스라는 새로운 종의 출현을 예측한다. 그러나 도시계획가의 눈에 스마트시티는 여전히 호모사피엔스의 희망을 효율적으로 이루어주는 미래의 희망 시스템으로 작동할 것이다. 늘 그래왔듯이, 역사 속의 도시는 호모사피엔스가 철·총·책 metal·gun·book과 같은 도구에 올라타며, 인간의 상상을 현실화한 희망 시스템이었기 때문이다. 호모사피엔스 없는 스마트시티는 존재할 수 없다. ‘스마트시티는 호모사피엔스의 도시이다.’ 이것이 모호한 미래, 가보지 않은 길에서 명심해야 할 ‘스마트시티 의사결정 대원칙’이다.

Q2. 스마트시티에서 또 다른 호모사피엔스의 분신, 아바타가 출현할까?

호모사피엔스의 상상을 반영한 아바타는 출현할 것이다. 인간은 상상했고, 도구를 만들었다. 인간과 인간이 만나 협력하였다. 농사를 위해 저수지를 만들고 희망 시스템의 도시를 건설했다. 축적된 부를 뺏으려고 칼과 총을 만들어 전쟁과 착취를 통해 욕망 시스템의 도시를 건설했다. 방어를 위해 해자

와 성곽도시를 건설했다. 모두 인간의 상상으로 창조되었다. 이와 같은 상상의 연장선에서 아바타가 태어나고 있다. 영화 ‘아바타’에서 나의 분신이 판도라의 세상에서 전쟁을 하고 사랑한다. 영화 ‘써로게이트Surrogates’에서는 나의 아바타 로봇이 내가 살고 있는 세상에서 나의 에이전트로 생활한다. 더 나아가 ‘빅스비’나 ‘시리’ 같은 인간을 닮은 인공지능 비서 아바타가 이미 등장했다. 곧 에이전트가 등장하고, 머지않아 아바타가 완성될 것이다.

Q3. 스마트시티의 호모사피엔스는 누구와 함께 살까?

인간은 인간과 닮은 인공지능Artificial Intelligence과 함께 살 것이다. 도시의 역사를 보면, 인간과 함께 사는 주체에 따라 도시의 형태와 기능이 변화해왔다. 인간은 배고픔을 이기기 위해 농경을 선택했고 가축들과 함께 살며 농업도시를 일구었다. 징기스칸은 말과 함께 제국의 도시를 건설하였다. 인간은 노동의 굴레에서 벗어나기 위해 기계를 발명하였으며, 기계와 살며 공업도시를 만들었다. 가축, 말, 자동차, 기계와 살아온 인간은 이전 인간의 반려들이 해오던 모든 것들을 해낼 수 있는 인공지능과 로봇을 이웃으로 맞이한다.

스마트시티의 문을 함께 여는 인공지능과 로봇은 정보통신네트워크Internet, 센서 네트워크 인프라 등 기술의 진보를 통해 자동화, 자율화된다. 이전 인간의 반려들이 해방시켜준 인간의 굴레들과 비교할 수 없는 속도와 규모로 인간과 함께 스마트시티를 창조할 것이다. 인공지능과 로봇이 잘 작동하는 도시, 그것이 스마트시티이다.

미래 스마트시티의 시대상

Q4. 스마트시티의 미래 경제는 어떨까?

현재, 고도로 연결되어 있는 플랫폼 경제Platform Economy가 경제를 주도하고

있다. 고대와 중세의 농업경제, 근세의 수공업과 상업경제, 근대의 기계와 공업경제, 현대의 서비스와 지식경제를 이은 플랫폼 경제는 부의 창출 역사를 이어가고 있다. 또한, 각 시대의 경제 체제에 따라 농업을 위한 평야에서, 물건을 수송하는 항구도시로, 기계를 돌리기 위한 석탄의 공업도시로, 사람들을 위한 서비스 대도시로, 도시의 무대가 변화하였다.

스마트시티의 초기인 지금, 정보통신 네트워크가 정보와 지식의 플랫폼 경제를 만들어내고 있으며, 이를 확장하고 견고히 하는 기술들과 인프라가 개발되고 있다. 머지않아 시장을 전자적^{Electronic}으로 대체하는 중앙집중형의 플랫폼에서, 생산자와 소비자를 안전하고 투명하게 직접 연결하는 탈중앙 개방형의 블록체인 경제^{Blockchain Economy} 시대가 열릴 것이다. 이에 따라 인터넷 데이터센터^{IDC, Internet Data Center}나 클라우드 시스템^{Cloud System}이 연결된 대용량 데이터를 보다 빠르게 처리하고, 상호 간 신뢰를 위한 분산컴퓨팅에 기반해 효율적인 원장 관리에 적합한 양자 컴퓨팅^{Quantum Computing} 환경이 스마트시티의 필수 시설이 될 것이다.

이러한 스마트시티로 만들어진 플랫폼과 블록체인 경제는 그 어느 시대의 경제보다 거대할 것이고 맞춤형될 것이며 새로울 것이다. 물리적 경계가 모호해지고, 가상과 현실을 넘나드는 확장 경제가 일반화될 것이다.

Q5. 스마트시티의 미래 정치와 부의 권력은 누구에게 갈까?

시대의 변곡점에 따라 고대의 왕, 중세의 영주와 교회, 근대의 시민 공화정으로 흐르는 정치 권력의 변화는 도시를 궁궐에서 성으로, 교회로, 아파트와 공장으로 변화시켰다. 중세에 길드가 발생한 것처럼, 스마트시티의 부의 권력은 DAO^{Decentralized Autonomous Organization}가 이끌게 될 것이다. DAO는 탈중앙화된 네트워크에서 투명한 규칙하에 이익을 창출하기 위해 자율적으로 이합집산하는 계층 조직이다. DAO는 이익과 생산성을 극대화하기 위해 플랫폼의 경제와 스마트시티의 인프라를 사용한다. DAO는 기존 산업 자본가

나 기득권 세력과 모종의 타협과 경쟁을 통해 새로운 제도와 거버넌스를 구축할 것이다.

스마트시티의 정치는 더 강화된 형태의 시민권력 행사를 중심으로 하는 전자적 직접 민주주의 체제일 것이다. 희망컨대, 스마트시티는 고대의 요순 시대처럼 누가 정치를 하는지 모르는 태평성대가 가능해질지도 모른다. 투명한 거버넌스와 시민의 의견을 즉시적으로 반영할 수 있는 스마트시티 정치 시스템의 힘이다. 시민의 의견이 지속적으로 데이터로 모아지고, 이를 통하여 시민 권력과 의지가 모든 의사결정에 상시적으로 반영될 것이다. 시민의 데이터가 스마트시티의 정치 지형을 만들어 가는 중심이다. 시민이 데이터의 주인이며, 데이터가 정치 권력의 기반이며 수단이 된다. 루이 16세를 단두대에 세운 프랑스혁명과 권력은 시민으로부터 나온다는 공화정을 발전, 계승할 것이다.

Q6. 스마트시티의 무대는 어디가 될 것인가?

근미래^{Short Term}의 스마트시티에서는 대도시가 스마트시티의 중심이 될 것이다. 스마트시티를 만들어내는 주요 기술은 정보통신 기술을 기반으로 한다. 그렇기에 정보통신 인프라가 가장 촘촘히 들어서고, 지식 교류와 진보의 엔트로피가 가장 높은 대도시를 중심으로 스마트시티가 변성할 것이다. 그것은 고도의 밀도를 가진 수직도시가 될 것이며, 공중도시와 지하도시가 생겨나 메트로폴리스^{Metropolis}와 국가 간 수위 도시를 잇는 메갈로폴리스^{Megalopolis}로 확대될 것이다.

나아가 먼 미래^{Long Term}의 스마트시티는 물리적, 개념적으로 확장될 것이다. 중세에 콜럼버스의 대항해가 세계의 지평을 넓혔듯이, 미래의 스마트시티는 물리적으로 우주로 확장될 것이다. 이미 달이나 화성탐사가 본격화되는 오래되었고, 최근에는 우주여행 상품이 등장하고 있다. 이는 공상과학 소설이 아닌 예측 가능한 스마트시티의 미래이다. 이와 함께 가상공간으로

도시 공간의 개념이 확장될 것이다. 스마트시티는 물리적, 개념적 무대가 확장되더라도 모두 이어지고 연결된 독립적인 도시이다. 유니버스 지구가 현실과 가상이 만드는 메타버스 세상으로 확대되는 것이다.

미래 스마트시티의 공간상

Q7. 스마트시티의 모습은 어떻게 변할까?

스마트시티는 복잡화되며 물리적인 한계를 뛰어넘고 전문화된다. 공간의 형태는 사람의 행태를 반영하여 이루어진다. 행태는 인간의 상상을 기술로 구현함으로써 구체화된다. 스마트시티의 미래에는 누구나, 언제, 어디서나 원하는 서비스를 얻을 수 있다. 화상회의와 스마트워크 플랫폼으로 재택근무가 가능해지며, 온라인으로 물건을 사고 음식을 배달 주문하듯 물리적인 한계가 사라진다. 더 나아가 온라인으로 부를 창출하는 디지털 노마드는 사무실이라는 물리 공간을 넘어 모든 공간이 사무실이자 삶의 터전이 되도록 한다. 또한, 스마트시티의 사람들은 맞춤형 콘텐츠를 즐기고, 우주로, 가상으로 삶의 공간을 확장한다.

이런 상상의 현실화를 위해 인공지능과 정보통신 기술 등 기술이 개발되고, 이 기술들은 도시의 건조환경Built Environment에 혁신을 만든다. 정보를 나르는 정보통신망이 기반이 되는 스마트시티에서는 데이터를 나르거나 데이터를 센싱Sensing하는 센서 네트워크Sensor Network가 구축된다. 공간의 데이터는 센서를 통해 수집되어 센서 네트워크라는 정보통신망으로 이동한다. 센서 네트워크는 땅속에, 해저에, 건물에, 공중에 거미줄처럼 이어져 초고속 대용량 정보를 다룰 수 있는 5G, 6G, 해저통신망, 우주통신망으로 진화한다. 이 데이터들은 데이터센터로 옮겨져 보관된다. 데이터들은 데이터센터

혹은 단말 자체에서 연산되고 건물과 사물은 자동화되고 지능화된다. 아날로그 공간이 스마트 팩토리, 에코지능 등 디지털 공간들로 고효율화된다.

미래 스마트시티에서는 토지와 공간의 이용도 변화한다. 근미래의 수직 대도시에서 먼 미래의 공중권, 지상권, 지하권, 가상권으로 지평이 확장된 스마트시티로 진화한다. 공간은 복합화, 공유화, 유연화, 지능화된다. 근대 공업도시에서는 토지가 주거, 상업, 공업, 녹지 지역으로 분리되어 이용되었다. 스마트시티는 코엑스나 아자부다이 힐즈처럼 토지의 용도 공간이 수직, 수평으로 복합화된다. 근대에는 공해 때문에 공장과 주거를 물리적으로 분리시켰다면, 스마트시티에서는 용도 복합으로 인한 소음, 냄새, 진동을 센서가 조절한다. 성능 용도지역제 [Performance Zoning](#)가 일반화된다. 다양한 센서와 가상 물리시스템 [CPS, Cyber Physical System](#)으로 물리공간과 가상공간이 연결되며, 복합화가 자연스레 촉진된다.

공유공간으로 땅과 땅의 쓰임인 용도가 일대일 [一對一](#) 이용에서, 일대다 [一對多](#) 이용으로 변한다. 이에 따라 시간 용도지역제 [Time Zoning, Sharing Zoning](#)가 출현하며, 근대도시의 'Less is More'가 스마트시티에서는 'Flexibility is More'로 바뀐다. 이벤트 어바니즘 [Event Urbanism](#)과 공간이 이동하는 모바일 어바니즘 [Mobile Urbanism](#)도 출현한다. 스마트시티의 공간은 기존 도시의 지상권에서 지하권, 공중권으로 확대되고 나아가 물리적으로 우주로 확장될 것이다. 스마트시티에서는 전통적인 물리공간과 다른 메타버스라는 가상 공간이 추가된다. 가상공간은 현실공간과 긴밀히 상호 연결되어 있으며 서로 영향을 미친다.

스마트시티는 물리적으로 'Now Here City'이다. 스마트시티에서는 한 곳에서 모든 것을 할 수 있다. 정보통신으로 원거리 순간 이동을 하고, 근거리는 도보로 이동한다. 물리적으로는 우주로의 확대를 이어가지만, 커뮤니티는 고대도시나 중세도시로 귀환할지 모른다. 고대나 중세도시처럼, 도보권에서

모든 서비스를 얻을 수 있는 자족도시가 될 것이다. 물리적으로 식량 자족, 에너지 자족, 서비스 자족이 지금 이곳에서(Now Here City) 가능해질 것이다.

스마트시티의 미래, 희망성쇠의 방아쇠 *Trigger*

Q8. 스마트시티의 희망성쇠를 좌우하는 첫 번째 트리거: 혁신 *Innovation*

역사가 말하는 희망성쇠의 방아쇠는 혁신이었다. 일하는 방식, 생활하는 방식, 이동하는 방식, 노는 방식 등 모든 것을 다 바꿔야 하는 혁신이다. 섬나라 영국이 세계를 지배하는 제국이 된 것도 기계라는 하드웨어의 혁명과 제도 혁신이라는 소프트웨어의 혁신으로 가능했다. 기술 혁신이 경제 혁신으로 이어지고, 사회문화 혁신과 공간 혁신으로 이어졌다. 혁신의 반동도 있을 것이다. 스마트시티에서 근대의 러다이트 *Luddite* 운동과 같이, 로봇이나 인공지능 파괴 운동이 일어날지도 모른다. 노동자와 플랫폼 그리고 로봇이 일자리를 다투는 등, 기득권과의 갈등이 혁신 내내 수반될 것이다.

혁신의 과정을 보면 총성 없는 전쟁이고, 갈등투성이다. 혁신은 다른 말로 불법이다. 루이 16세의 왕정을 시민공화정이 몰아냈지만, 왕정 상황에서 공화정은 불법인 것과 같다. 메타가 만들려 했던 가상화폐 리브라 *Libra*는 허용되지 않았고, 세계 시민을 모집했던 작은 국가 에스토니아는 제재를 받는다. 길드가 자본가가 되는 과정처럼, 기득권을 지키려는 세력과 혁신을 하려는 스마트시티의 미래 세력은 때로는 합종 연횡하기도 하고, 때로는 싸움과 전쟁을 펼칠 것이다. 세계의 원투 펀치인 미국과 중국의 기술 전쟁도 이러한 맥락에서 일어난다. 낡은 관행과 제도 그리고 거버넌스를 혁신하는 것이 스마트시티의 성공을 이끄는 가장 중요한 열쇠이다. 혁신하지 않으면 쇠락의 길을 걸을 것이다.

Q9. 스마트시티의 흥망성쇠를 좌우하는 두 번째 트리거: 데이터 *Data*

데이터는 스마트시티 미래의 필수불가결한 요소이다. 데이터는 고대와 중세의 기름진 땅과 근대와 현대의 석유에 비견되는 스마트시티의 원유이며, 산업의 쌀이다. 데이터를 실시간으로 수집하고, 모니터링하고 예측하며, 자동화·자율화할 수 있는 시스템이 구축된 스마트시티가 번영할 것이다. 스마트시티의 시작점에 선 지금은 데이터의 중요성을 선언적으로 주장하지만, 스마트시티가 진행될수록 데이터 취득과 저장 그리고 인공지능 분석 기술이 중요해진다. 데이터 주권과 개인 데이터의 프라이버시 그리고 AI 지적 재산권 등 다양한 사회적 합의를 필요로 한다.

하드웨어로서 스마트시티는 광역대 초고속 정보통신망과 인터넷에 연결된 지능화된 IoT 스마트시티 기반시설 구축으로부터 시작할 것이다. 철도와 도로 그리고 항만시설이 구축되면서 번영하기 시작했던 근대 산업도시의 역사가 이를 증명한다. 부의 저장고였던 쌀 창고가 인터넷 데이터센터와 클라우드로 변할 것이며, 로봇이 생산과 물류를 담당하기에 효율적인 도시 구조를 갖출 것이다. 이러한 스마트시티의 기반시설이 갖추어지면, 현실 데이터와 가상 데이터가 연동된 디지털트윈의 도시, 가상공간과 현실공간이 공존하는 '가상 물리시스템'이 자연스럽게 작동하는 스마트시티가 문명의 새로운 장을 열 것이다.

Q10. 스마트시티의 흥망성쇠를 좌우하는 세 번째 트리거: 에너지 *Energy*

스마트시티는 엄청난 양의 에너지를 소모할 것이다. 어떻게 저렴하고 질 좋은 에너지를 공급하느냐가 스마트시티의 운명을 좌우할 것이다. 역사적으로 도시 흥망성쇠의 트리거는 에너지와 무관하지 않다. 중세에서 근대로 넘어오면서, 기계에 에너지를 공급할 수 있었던 탄광의 도시가 번영을 주도하였고, 석탄에서 석유의 시대로 넘어오면서 석유 패권을 쥐 국가와 도시가 번성하였다. 현재 새로운 에너지 혁명이 세계 경제 지형을 바꾸고 있다. 기후위기와

화석연료의 폐기 그리고 신재생에너지와 RE100Renewal Energy 100에 이르는 에너지 패권 스토리가 세계 경제를 뒤흔들고 있다. 효율적으로 에너지를 공급하는 스마트시티가 승리할 것이다.

만약 스마트시티 시스템에 블랙아웃이 발생한다면, 스마트시티는 엄청난 재난을 맞게 될 것이다. 한 순간 스마트시티는 멈출 것이다. 전기와 통신이 중단되면서, 의료 체계가 마비되고, 교통 체계가 멈추며, 산업시설의 가동이 중단될 것이다. 난방이 중단되고, 수도가 끊기며, 생활 플랫폼이 마비되고, 스마트시티의 모든 시스템이 사망한다. 한 도시의 블랙아웃은 또 다른 도시로 연쇄 파급되어, 세계 모든 도시의 기능 상실로 이어질 것이다. 지속가능한 스마트시티의 첫걸음First Mile이 에너지의 공급이라면, 에너지의 리스크 관리는 지속가능한 스마트시티의 라스트 마일Last Mile이 될 것이다. 에너지의 공급과 관리는 스마트시티 변형을 위한 필요충분조건이다.

다가올 미래의 스마트시티

우리나라가 Dynamic IT Korea의 위상을 잃어가고 있다는 우려가 있다. 통신망 속도가 느려졌고, 신에너지가 부족하며, 데이터나 인공지능 클라우드도 미흡하다. 엔지니어나 과학자가 의사결정에서 배제되고, 불투명하고 낡은 관행이 이어지고, 아직도 현장에서는 혁신이 불법이거나 책임만 있는 근대적 시스템이다. 다 바꾸고 다시 도약해야 한다. 유시티에서 스마트시티로 이름이 달라졌듯, 앞으로 스마트시티를 새로운 이름으로 부를지 모르지만, 새로운 문명을 여는 도시는 스마트시티이다. 스마트시티는 단순한 유행의 도시가 아니고, 도시의 문제를 해결하는 단견의 도시도 아니다. 새로운 부국과 빈국을 가르며, 시민과 자본가의 운명을 저울질하는 기준이 될 것이다. 결국 신문

명을 여는 지렛대이다. 욕망 시스템이 스마트시티의 종말을 불러올지도 모르므로, 지속 가능한 희망 시스템으로서의 스마트시티 철학이 필요하다. 함께 신문명을 만들고 함께 누리기 위해서는, 소통Communication과 나눔Share 그리고 균형Balance을 찾아야 한다. ‘스마트시티는 호모사피엔스의 도시이다.’ 스마트시티로 가는 여정에서 길을 잃을 때, 되새겨야 하는 대원칙이다.

| References |

1. 이상호(2015), “빅데이터의 도시”, 도시문제, 557:12–15
2. 이상호(2015), “사물인터넷(IoT)과 도시”, 도시문제, 563:10–11
3. 이상호, 임윤택, 안세윤(2017), “스마트시티”, 커뮤니케이션북스
4. 이상호(2020), 공간을 말하다, 북바이북
5. 박찬호, 이상호, 이재용, 조영태(2022), 스마트시티 에볼루션, 북바이북
6. Harari, Y. N. (2023). Homo deus: eine Geschichte von Morgen, CH Beck.
7. Lee, S. H., Han, J. H., Leem, Y. T., & Yigitcanlar, T. (2008). Towards ubiquitous city: concept, planning, and experiences in the Republic of Korea. In Knowledge-based urban development: Planning and applications in the information era (pp. 148–170). Igi Global.
8. Lee, J. H., Phaal, R., & Lee, S. H. (2013). An integrated service-device-technology roadmap for smart city development, Technological Forecasting and Social Change, 80(2), 286–306.
9. Pomeranz, K. (2000). The Great Divergence: China, Europe, and the Making of the Modern World Economy.
10. Sung Su Jo, Sang Ho Lee (2023) Development and Application of Smart SPIN Model: Measuring the Spectrum, Penetration, Impact and Network

- of Smart City Industries in South Korea, Towards Smart Tech 4.0 in the Built Environment, MDPI, Book Chapter, pp. 277–299.
11. Sung Su Jo, Sang Ho Lee, Yountaik Leem (2023) Temporal Changes in Air Quality According to Land–Use Using Real Time Big Data from Smart, Sensors in Koream Developing “Smartness” in Emerging Environments and Applications with Focus on the Internet of Things(IoT), MDPI, Book Chapter, pp. 327–344.
 12. Watson, P. (2013). Ideas: A history from fire to Freud. Weidenfeld & Nicolson.
 13. Yigitcanlar, T., & Lee, S. H. (2014). Korean ubiquitous–eco–city: A smart–sustainable urban form or a branding hoax? *Technological Forecasting and Social Change*, 89, 100–114.



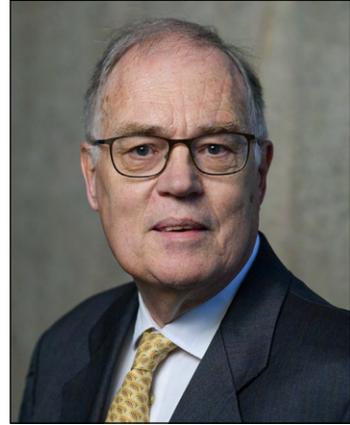
**SMART CITY
T O P
A G E N D A
2 0 2 4**

The future of smart cities: what it means and what it needs

스마트시티의 미래: 그 의미와 필요

브뤼노 랑방

Bruno Lanvin



브뤼노 랑방 박사는 IMD 스마트시티 관찰 연구소 Smart City Observatory의 소장을 맡고 있다. 유엔과 세계은행에서 고위직을 역임했으며, 네 개의 글로벌 지수, 즉 네트워크 준비 지수 Network Readiness Index, 글로벌 혁신 지수 Global Innovation Index, 글로벌 인재 경쟁력 지수 Global Talent Competitiveness Index, 스마트시티 지수 Smart City Index의 공동 창설자이다. 또한 미래 준비 경제 지수 보고서 FREI를 개발한 주역이기도 하다. 현재 워싱턴 D.C.에 본부를 둔 싱크탱크인 포틀란스 연구소 Portulans Institute의 공동 창립자이자 고문으로 활동 중이다. 이 외에도 제네바에 위치한 싱크탱크인 DL 파트너스 DL Partners와 데카르트 연구소 Descartes Institute의 설립자 겸 대표이기도 하다.

그는 프랑스와 미국에서 학업을 마쳤으며, 수학 및 물리학 학사, MBA(HEC), 경제학 박사(라 소르본) 학위를 보유하고 있다. 또한 인시아드(INSEAD, IDP-C)와 MIT(스마트시티 과정)를 수료했다.

초록

본 연구는 현재의 스마트시티가 역사적 가속이 시작될 중대한 지점에 도달했음을 강조하고 있다. 이에 따라 스마트시티를 이끌고, 설계하고, 관리하는 이들이 올바른 방향을 설정하고 적절한 도구를 갖추는 것이 매우 중요하다는 점을 논의하고자 한다.

이를 달성하기 위해서는 다음 세 가지 핵심 요소가 필요하다:

- 스마트시티에 대한 새로운 정의
- 스마트시티의 성과와 영향을 측정하는 최신의 방법
- 새롭고 야심 찬 글로벌 도시 의제 수립

키워드

스마트시티, 미래 대비, 벤치마킹, 지속 가능성, 포용성

• ABSTRACT •

This article argues that smart cities have now reached a critical point after which history will accelerate. It is hence vital to ensure that the promoters, the designers, the managers and the leaders of smart cities are on the right course, and equipped with the right tools.

Three key ingredients will be required to achieve this, namely:

- A fresh definition of smart cities
- Updated ways to measure the performance and impact of smart cities, and
- An ambitious new global urban agenda

KEYWORDS

Smart cities, future readiness, benchmarking, sustainability, inclusion.

스마트시티는 인간 사회의 근본적인 변화를 상징하는 대표적인 사례라 할 수 있다. 한편으로는 기술과 혁신을 활용해 사람들이 함께 살아가는 방식을 어떻게 개선할 수 있는지를 보여주고, 동시에 기술만으로는 스마트시티가 성공할 수 없음을 증명하기도 한다. 현재 스마트시티는 이 두 측면에서 변화가 가속화되면서 중요한 전환점에 도달했다.

그렇다면 우리는 어떻게 이 역사적인 가속화 시점에 이르게 되었을까? 이는 두 가지 주요한 흐름이 결합된 결과다. 첫째, 도시화가 빠르게 진행되면서 특히 신흥 경제국에서 지속적인 인구 변화가 일어나고 있다. 둘째, 기후 변화와 불평등 심화와 같은 긴급한 글로벌 문제를 해결하기 위해 인공지능^{AI}과 같은 새로운 도구들이 등장하고 있으며, 이러한 도구들이 문제 해결의 일환으로 제시되고 있다.

곧 다가올 미래 도시의 주요 과제를 한마디로 요약하면 다음과 같다: 미래가 빠르게 재정의되고 있는 이 시점에서 어떻게 미래를 대비할 것인가?

이 중요한 시점에서 시급히 필요한 세 가지 요소는 다음과 같다:

- 스마트시티에 대한 새로운 정의
- 스마트시티의 성과와 영향을 측정할 최신 방식
- 새롭고 야심 찬 글로벌 도시 의제 설정

스마트시티에 대한 새로운 정의: **POSITIVE 모델**

1990년대 IBM이 ‘스마트 솔루션¹⁾’을 홍보하면서 시작된 스마트시티 접근 방식은 주로 기술이 도시 문제를 해결하고 미래 사회의 모델이 될 수 있다는 기대에 기반했다. 그러나 기술 중심 접근은 양날의 검이었다. 예를 들어, 센서

1) Palmisano S (2008) 참조

와 최적화 기술이 교통 혼잡을 줄이고 쓰레기 관리를 개선하며 에너지 소비를 줄이는 데 기여는 했지만, 동시에 개인정보 보호와 거버넌스에 대한 우려도 키웠다. 일부 지역에서는 ‘스마트시티에 대한 반발’이 시작되기도 했다.²⁾

이러한 부정적 시각은 도시에 대해 더 나은 미래를 기대하는 시민들의 깊은 우려에서 비롯되었다. 이제는 기술 중심적 접근에서 벗어나 시민이 기대할 수 있는 바람직한 미래를 중심으로 스마트시티를 재정의할 필요가 있다.

스마트시티의 새로운 정의는 POSITIVE라는 약어로 표현된다:

- **People-centric** 사람 중심
- **Open-attractive** 개방 매력성
- **Sustainable** 지속 가능성
- **Inclusive** 포용성
- **Tech-savvy** 기술 친화성
- **Innovative** 혁신성
- **Versatile** 유연성
- **Excellent-brand** 우수성(브랜드 구축)

이 정의는 현시대의 요구를 반영하며, 각 요소는 다음과 같이 설명할 수 있다.

• **사람 중심:** IBM의 ‘스마트 에브리씽smart everything’ 캠페인 이후, 스마트시티는 흔히 ‘첨단 기술 도시’로 여겨져 왔다. 이로 인해, 스마트시티를 이야기할 때 시민들의 가장 시급한 문제와 우려를 간과하는 경우가 생겼다. 앞서 언급했듯이, 스마트시티를 단순히 기술적 솔루션을 제공하는 도시로만 인식할

2) Green, B. (2019) 참조. 구글이 도시혁신을 가속화시키기 위해 사이드워크 랩(Sidewalk Labs)이라는 회사를 만들고 토론토에 스마트시티 건설 프로젝트를 시작했으나, 코로나와 주민들의 반대로 2023년 포기를 선언한 사례 참조

때 그 본질이 흐려지고, 스마트시티에 대한 반발이 나타났다. 이제는 사람 중심적 접근이 스마트시티의 최우선 과제가 되어야 한다.

• **개방 매력성:** 오늘날 글로벌 경제에서 스마트시티는 단독으로 설계되거나 관리될 수 없다. 도시는 인재, 투자, 관광객을 유치하고 가시성을 높이기 위해 경쟁하는 새로운 혁신 허브가 되어야 한다. 역사적으로 대부분의 도시는 교류와 상호 협력을 통해 발전해 왔다. 스마트시티는 미래의 글로벌 연결 거점이자, 설계된 우연을 실현하는 실험의 장이 되어야 한다.

• **지속 가능성:** 기후 변화 대응은 인류의 가장 시급한 과제이다. 앞으로 25년 동안 약 30억 명이 도시로 이주할 예정이며, 이들 대부분은 신흥 국가에서 발생할 것이다. 만약 도시가 충분히 스마트하지 않다면, 이러한 도시화 추세는 지구를 더 살기 좋은 곳으로 만들려는 우리의 노력을 저해할 것이다. 스마트시티는 기술, 혁신, 그리고 인간 중심의 조화를 통해 경제적, 사회적, 정치적, 환경적 지속 가능성을 창출하는 모범이 되어야 한다.

• **포용성:** 역사적으로 앞서가는 도시는 시장과 교류의 중심지로 시작하여, 문화, 아이디어, 기술이 융합되는 장소였다. 세계화가 빠르게 진행되면서 사람, 국가, 도시 간의 거리는 가까워졌지만, 동시에 사회적 약자에 대한 관용과 지원이 약화되기도 했다. 스마트시티는 사회적 약자와 보호받지 못한 집단을 완전히 통합하는 역할을 해야 한다. 여전히 많은 곳에서 다양성, 성평등, 장애인 및 노인 친화적 도시를 만들기 위한 창의적이고 효과적인 정책이 필요하다. 스마트시티는 이를 위한 조직적 및 기술적 솔루션을 테스트하고 개선하며, 이를 구현할 수 있는 기반을 마련해야 한다.

• **기술 친화성:** 사람 중심적이라고 해서 기술을 배제하는 것은 아니다. 스마트시티는 가장 진보된 기술 혁신을 테스트하고 사회적으로 적용할 수 있는

이상적인 장소이다. 인공지능AI이나 디지털 트윈digital twins 같은 기술 도구의 활용이 일상화됨에 따라, 스마트시티는 관련 기술에 대한 깊은 이해와 숙련도를 더욱 높여야 한다. 그러나 기술을 도입할 때는 시민들이 중심에 있어야 하며, 그들의 목소리가 의사 결정 과정에 반영되어야 한다.

• **혁신성**: 앞으로 몇 년 안에 스마트시티는 더 적은 비용으로 더 많은 가치를 창출할 수 있는 창의적 전략을 구현할 것이다. 스마트시티는 사람들이 이전에는 시도하지 않았던 새로운 방식을 실험하는 장이 될 것이다. 이때 기술 혁신에만 국한하지 말고, 사회적, 정치적, 조직적 측면에서도 혁신을 추구해야 한다. 이를 위해 자체 혁신 허브(클러스터)를 구축하고, 새로운 아이디어를 실현할 수 있는 혁신 지구를 개발하는 것이 성공의 중요한 요소가 될 것이다.

• **다목적성**: 글로벌 경제는 여전히 변동성volatility, 불확실성uncertainty, 복잡성complexity, 모호성ambiguity을 특징으로 한다. 이러한 환경에서는 국가와 같은 대규모 조직보다 스마트시티와 같은 작은 단위가 더 유연하게 대응할 수 있다. 스마트시티는 외부 충격에 대응하고 새로운 기회를 포착할 수 있는 유연성과 회복력을 갖춰야 한다. 역사적으로 지나치게 특정 산업에 의존한 도시는 외부 충격에 취약했다. 스마트시티는 이러한 교훈을 바탕으로 다양한 인재를 유치하고 유지하는 데 주력해야 한다. 특히 원격 근무가 확대되는 오늘날, 살기 좋고 안전하며 네트워킹과 풍부한 경력 기회를 제공하는 도시는 경쟁에서 앞서 나갈 것이다.

• **우수성(브랜드 구축)**: 앞으로의 스마트시티는 글로벌 경쟁 속에서 인재와 투자, 기술을 유치하기 위해 강력한 브랜딩 전략이 필요하다. 우수한 브랜딩을 통해 도시를 '살고 싶은 곳', '일하고 싶은 곳'으로 자리매김할 수 있어야 한다. 주요 대학과 연구 기관, 글로벌 기업을 유치하고, 스포츠, 문화, 엔터테인먼트 이벤트를 기획하여 국제적 인지도를 높이는 것도 스마트시티의 중요

한 전략이 될 수 있다.

스마트시티에 대한 이러한 긍정적 재정의는 미래 전략을 위한 청사진 역할을 할 수 있다. 여기서 제시한 8가지 요소는 서로 긴밀하게 연결되어 있으며, 그중 어느 하나도 독립적으로 작동할 수 없다. 이 8가지 요소가 함께 어우러져 일관되면서도 야심 찬 접근 방식을 형성하기 때문이다. 물론, 이러한 요소들은 각 스마트시티의 고유한 경제적 강점(현재 가지고 있거나 새로 구축할 수 있는 강점)에 맞게 조정되어야 하며, 해당 도시의 역사, 문화, 지리적 특성, 인구 구성에 따라 유연하게 적용될 필요가 있다.

스마트시티의 성과와 영향을 측정하기 위한 최신 도구

스마트시티를 효과적으로 관리하는 일은 매우 복잡한 과정을 요구한다. 자원을 보다 효율적으로 활용하고, 투명성과 책임감을 높여 시민을 참여시키는 방식으로 접근할수록 그 과정은 더 어려워진다. 현재 진행 중인 다양한 프로젝트와 계획을 추적하고, 향후 개선을 위한 모니터링을 위해서는 신뢰할 수 있는 데이터를 수집하고 활용해야 한다. 이를 위해 도시 관리자들은 상당한 노력을 기울여야 하며, 이러한 노력이 효율성 향상과 영향 평가를 위해 중요한 자산이 될 수 있다. 또한, 지역적으로 수집된 데이터가 국제적으로 비교와 벤치마킹에 활용되기 위해서는 공인된 국제 표준을 충족해야 한다.

측정이 필요한 이유

스마트시티가 전 세계적으로 확산됨에 따라, 국제 표준에 맞는 데이터의 중요성은 더욱 커지고 있다. 이는 다음과 같은 전략 및 관리 도구를 개발하는데 필수적이다:

1. **로드맵 구축 및 벤치마킹:** 스마트시티 발전 과정을 추적하고 측정하는 것은 현재의 노력을 강화하는 데 매우 중요하다. 이를 통해 각 지역의 혁신적 접근 방식을 촉진하고, 시민 및 의사 결정권자들에게 다른 도시의 성공 또는 실패 사례에서 얻은 교훈을 제공할 수 있다.
2. **글로벌 지수 활용:** 각 도시가 자신의 진행 상황을 전 세계의 다른 도시와 비교하고 평가할 수 있도록 돕는 지수를 개발해야 한다. 이 지수는 단순히 성과를 평가하는 '순위 경쟁'이 아닌, 실질적인 행동 지침으로 활용될 수 있어야 한다.
3. **맥락적 정보 제공을 위한 사례 연구:** 앞서 설명한 데이터와 지수는 스마트시티의 실생활 운영과 관리를 보다 잘 이해하기 위한 맥락을 제공하는 데 활용될 수 있다. 이를 기반으로 구체적인 사례를 통해 실질적인 시사점을 도출할 수 있다.

현재 사용되고 있는 지수, Smart City Index(SCI)

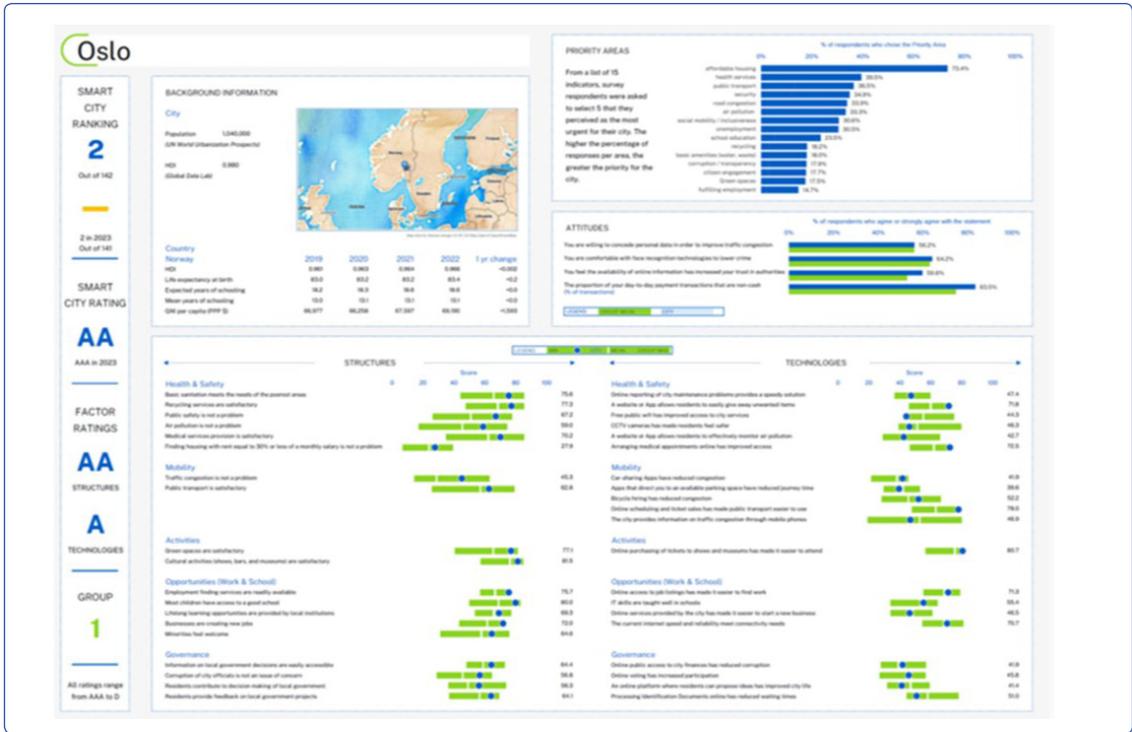
2019년부터 IMD 스마트시티 관측 연구소Smart City Observatory는 매년 스마트시티 지수Smart City Index, SCI³⁾를 발표하며 이를 다양한 사례 연구⁴⁾로 보완하여, 스마트시티의 성과를 평가하는 복잡한 체계를 구축하는 데 많은 기여를 했다. SCI는 스마트시티의 경제적·기술적 측면뿐만 아니라 삶의 질, 환경, 포용성 등 '인간적 차원'에도 균형 있게 초점을 맞추고 있다. IMD는 지난 2년간 서울에 본부를 둔 세계스마트시티기구WeGO, World Smart Sustainable Cities Organization⁵⁾와의 협력을 통해 큰 도움을 받아왔다.

SCI는 시민, 지도자, 의사 결정권자의 인식을 기반으로 하는 설문 데이터를 활용한다. 매년 독립적이고 신뢰성 있는 기관에 의뢰해 각 도시를 대표하

3) 2024년 판에서는 142개 도시를 다루었다.

4) Bris and al. (2019 and 2021)과 Lanvin (2024) 참조

5) <https://we-gov.org> 참조



Source: 스마트시티 인덱스 리포트 2024 (IMD, Smart City Observatory)

Figure 1
노르웨이 오슬로의
스마트시티 지수 리포트

는 시민과 지도자들을 대상으로 설문 조사를 실시하고, 이를 통해 수집된 데이터를 분석하여 표준화한다. 이렇게 확보된 데이터는 다양한 그래프와 표, 인포그래픽 형태로 시각화되어 다양한 맥락에서 활용될 수 있다. 예를 들어, 그림 1은 SCI 2024년 조사에서 2위를 차지한 노르웨이 오슬로의 데이터를 어떻게 보고서에 표시했는지 보여주는 사례이다.⁶⁾

또한, 이 데이터를 활용해 일련의 인포그래픽을 제작함으로써 언론과 대중이 쉽게 이해할 수 있도록 정리하였다.

그림 2에서 샌프란시스코(SCI 2024년 조사에서 75위)의 데이터 역시 같은 방

6) SCI 연례보고서, 방법론, 데이터 분석 전문은 <https://www.imd.org/smart-city-observatory> 참조

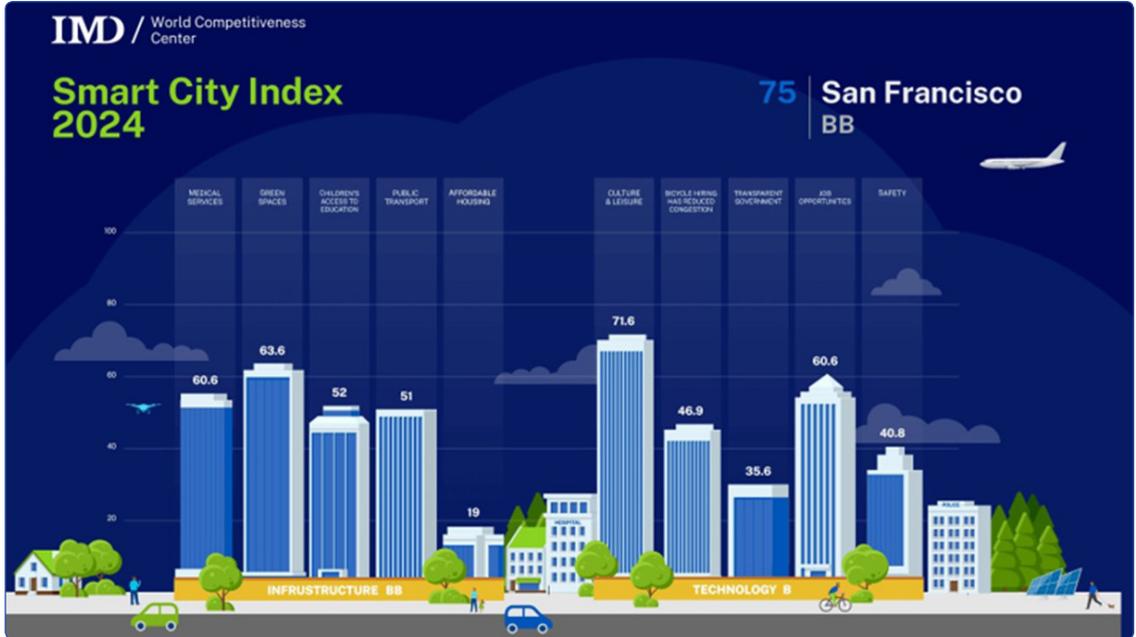


Figure 2

Source: 스마트시티 인덱스 웹사이트 2024 (IMD, Smart City Observatory)

미국 샌프란시스코의
스마트시티 지수 인포그래픽

식으로 시각화하여 제공되었음을 확인할 수 있다.

SCI 전용 웹사이트에서는 온라인으로 다양한 도표와 분석 자료를 공개함으로써 보다 깊이 있는 분석을 제공하고 있다. 하지만 언론과 미디어의 입장에서 가장 큰 관심을 끄는 것은 스마트시티의 ‘최종’ 종합 순위다. SCI는 2024년을 기준으로 5년간의 순위 변동 데이터를 제공하고 있어, 이를 바탕으로 전 세계 도시 전문가들이 추가적인 연구를 수행할 수 있을 것이다.

5년 동안의 SCI 데이터 비교를 통해 다음과 같은 의미 있는 교훈들을 도출할 수 있다:

- **도시의 글로벌 역학 변화:** 도시화율이 전 세계적으로 여전히 높아지고 있지만, SCI는 각 지역별로 다른 양상을 보여주고 있다. 예를 들어, 올해 보고

도시	2024 순위	2023 순위	2021 순위	2020 순위	2019 순위
취리히 Zurich	1	1	1	1	1
오슬로 Oslo	2	2	2	2	2
캔버라 Canberra	3	3	-	-	-
제네바 Geneva	4	9	6	8	7
싱가포르 Singapore	5	7	7	7	10
코펜하겐 Copenhagen	6	4	5	3	4
로잔 Lausanne	7	4	-	-	-
런던 London	8	8	9	5	6
헬싱키 Helsinki	9	8	9	5	6
아부다비 Abu Dhabi	10	13	12	14	16
스톡홀름 Stockholm	11	10	11	9	9
두바이 Dubai	12	17	14	19	13
베이징 Beijing	13	12	17	22	30
함부르크 Hamburg	14	11	8	6	-
프라하 Prague	15	14	10	4	8

Source: 스마트시티 인덱스 리포트 2024 (IMD, Smart City Observatory) 데이터를 저자가 정리

Table 1
SCI 글로벌 순위
2019-2024

서에서는 북미 도시들이 연간 순위에서 큰 변동을 보였다. 대부분 미국 도시들은 2023년에 순위가 상승했으나 2024년에는 하락했다. 이는 2023년에 긍정적 영향을 미쳤던 바이든 대통령의 ‘더 나은 재건Build Back Better’ 정책이 약화된 데 기인한 것일 수 있다. 특히 2024년은 미국 대선이 있는 해이다. 선거가 있는 해에는 설문조사 응답자들이 개선이 필요한 분야에 대해 더 비판적으로 응답하는 경향이 있다. 2019년 SCI가 도입된 이후 처음으로, 상위 20위 내에 북미 도시가 전혀 포함되지 않았으며, 상위 20개 도시 중 3개를 제외하고는 모두 아시아와 유럽 도시들이 차지했다.⁷⁾

• **인구 통계학적 변화의 중요성:** 신흥국 도시들이 세계 경제의 미래에 중요한 역할을 하고 있다. 선진국 대도시들이 오히려 축소되는 경향을 보인 반면,

신흥국의 대도시는 지리적·인구학적으로 계속 확장되고 있다. ‘규모의 경제’가 실현되지 않아 대도시(특히 세계의 저소득 지역)에서는 스마트 전략을 시행하려는 노력이 난관에 부딪히고 있다. 안전, 대기 오염, 교통 체증 문제에 관한 SCI 데이터에서 이러한 경향이 두드러지게 나타난다.

• **선진국 거점 도시들의 강력한 성과:** 선진국에서는 자국 내 2위에서 5위권에 속하는 중간 규모 도시들이 SCI 순위에서 가장 높은 성과를 보이며 꾸준한 진전을 이루고 있다. 이들 도시는 대도시보다 더 역동적이고 민첩하며 혁신적이다. 스위스의 제네바와 로잔, 스페인의 빌바오 등이 대표적 사례다.

• **글로벌 주요 과제:** 전 세계적으로 가장 시급한 문제는 여전히 저렴한 주택 공급이며, 그다음으로는 안전과 교통 체증이 뒤를 잇고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해, 스마트시티는 불평등을 줄이고 포용성을 촉진하기 위한 혁신적인 솔루션을 개발하고 구현하는 데 중요한 역할을 할 수 있다.

다음 단계: 도시 지표의 필요성

도시를 국제적으로 비교할 수 있는 데이터의 부족이 지속적인 문제로 지적되고 있다. 지난 몇 년간, 국제적으로 비교 가능한 데이터를 수집하고 공유하려는 도시들을 위한 표준 방법론을 개발하려는 노력이 이어져 왔으며, 이를 위한 국제 규범도 제정되었다. 이러한 노력이 양적으로나 질적으로 성과를 내

-
- 7) 워싱턴 D.C.와 덴버는 각각 12단계, 로스앤젤레스는 11단계 하락했다. 샌프란시스코는 9단계, 뉴욕시는 7단계, 시카고는 4단계 떨어졌다. 오타와는 3단계, 몬트리올은 9단계 하락하는 등 캐나다 도시들도 타격을 입었다. 북미 전역에서 특히 인프라와 안전 부문에서 순위가 크게 하락했다. 반면, 유럽에서는 전반적으로 삶의 질이 개선되면서 긍정적인 평가를 받은 도시들이 많아졌다. 취리히, 오슬로, 싱가포르, 아부다비, 베이징, 서울은 2019년 지수 측정이 시작된 이후 꾸준히 상위 20위 안에 들었고, 시드니, 홍콩, 상하이, 탈린, 리아드, 멜버른 등도 최근 몇 년간의 성과를 바탕으로 곧 상위 20위 내에 진입할 가능성이 높다.

고 있어, 머지않아 신뢰할 수 있고 비교 가능한 데이터가 제공될 것으로 기대된다.

하지만, 새로운 고품질 데이터를 통합하는 것만으로는 충분하지 않다. 스마트시티 지표를 한 단계 발전시키려면 특히 도시 정책의 사회적, 경제적, 환경적 영향을 평가할 수 있는 도구들이 추가되어야 한다.

미래에 도입될 새로운 지표는 도시가 미래에 얼마나 준비되어 있는지를 반영해야 한다. 스마트시티가 급변하는 도전과 불확실성에 어떻게 적응하고, 새로운 기회를 활용할 수 있는지를 평가하는 데 중점을 두어야 한다는 것이다.

새롭고 야심 찬 글로벌 도시 의제

스마트시티는 세계 경제가 다음 단계의 글로벌화로 전환하는 데 중요한 역할을 할 수 있다. 더 안전하고 지속 가능하며 회복력이 강한 도시를 건설하는 것은 앞으로 수십 년 동안 인류가 해결해야 할 중요한 과제가 될 것이다. 이는 전 세계가 더 안정적이고, 더 불평등을 줄이고, 더 포용적인 사회로 나아가야 한다는 의미를 담고 있다.

이제 앞에서 다룬 스마트시티의 새로운 정의와 지표 외에도, 보다 혁신적이고 야심 찬 의제가 필요하다. 이는 특정 도시만의 문제가 아니라, 전 세계적인 도시화 추세를 반영한 지구 전체의 과제이기 때문이다.

이러한 의제는 여러 방식으로 설명할 수 있다. 그중 하나는 지속 가능성 문제를 강조하는 것이다. 이 문제는 도시의 강력한 참여 없이는 해결될 수 없다. 또한 불평등 해소 측면에서 볼 때, 소득과 기본 서비스(교육 및 건강 등)에 대한 접근 격차는 도시화의 중요한 과제 중 하나이다. 특히 이 의제가 시급한 이유는 국가 차원에서의 문제 해결이 한계를 보이고 있으며, 동시에 인공지

능AI의 확산 속도가 빨라지고 있기 때문이다.

스마트시티가 국가 실패를 보완할 수 있는 이유

코로나 팬데믹은 중앙 정부가 외부 충격에 신속하게 대응하지 못하거나 의지가 부족할 때, 도시가 주도적인 역할을 할 수 있음을 보여주었다. 실제로 세계 여러 국가에서 예방 접종 캠페인이나 보호 장비(마스크, 소독제) 배포에서 도시 및 지방 정부가 연방 정부보다 더 빠르고 효율적으로 대응한 사례가 많았다.

국제 무역에서도 마찬가지다. 많은 국가들이 보호주의로 인해 다자간 규율을 약화시키면서 국제 신뢰가 흔들리고 있다. 반면, 무역과 금융의 중심지인 도시는 국경을 넘어 새로운 연결을 구축하며 경제 활동을 지속하고 있다.

대학 도시와 혁신 클러스터들 역시 중요한 역할을 한다. 이러한 도시들은 문화적·민족적 다양성을 기반으로 미래지향적인 태도와 협력, 발견을 촉진하고 있다. 이러한 도시들이야말로 국제적 신뢰와 협력을 재건할 수 있는 최적의 장소가 될 수 있다.

도시는 인류가 더 나은 미래를 건설할 수 있도록 다양한 방식으로 기여하고 있다. 현재 우리에게 필요한 글로벌 도시 의제에서 우선순위를 차지해야 할 사항은 다음과 같다:

- 1. 다자간 협력과 국제 신뢰 재건:** 도시는 국가보다 더 많은 책임을 요구받으며, 다자간 협력을 활성화하고 국제 관계에 대한 신뢰를 회복하는 데 앞장서야 한다.
- 2. 지속 가능성과 성장을 조화시키는 중심지:** 도시는 지속 가능성과 경제 성장을 조화롭게 발전시키는 경험의 중심지가 되어야 한다. 도시화가 가속화됨에 따라, 기후 변화 문제를 해결하기 위해서는 도시 차원의 적극적인 노력이 필요하다. 기후 문제가 글로벌 도시 의제로 다뤄지지 않으면 해결이 어려울 것이다.

3. **포용적 번영을 위한 시험대:** 도시는 번영과 포용성을 동시에 추구해야 하며, 성장 없는 불평등 해소 전략이 단순한 빈곤 재분배로 끝나지 않도록 해야 한다.
4. **인간 중심의 글로벌화 모델:** 도시는 인간 중심의 전략을 통해 다음 단계의 글로벌화 모델을 제시해야 한다. 이를 위해 지역 거버넌스 모델을 개발하고 테스트하여, 전 세계 사람들이 직면한 구체적인 요구와 기대를 반영한 새로운 접근 방식을 마련할 수 있어야 한다.
5. **혁신적 접근 방식의 실험장:** 도시는 기술 기반 솔루션(예: 인공지능)을 비롯한 혁신적 접근 방식을 실험할 수 있는 최적의 장소가 되어야 한다. 여기에는 새로운 거버넌스 모델, 에너지 효율화, 이동성 개선, 도시 공간 활용 및 지속 가능성 증진을 위한 창의적 접근이 포함된다.

도시는 어떻게 시를 활용해 글로벌 차원에서

다양한 선택을 이끌어낼 수 있을까?

유발 노아 하라리 Yuval Noah Harari는 그의 최신 저서 《넥서스 Nexus》⁸⁾에서 ‘인공지능은 단순한 도구가 아니라 우리의 대리인’이라고 강조했다. 이는 AI를 활용한 거버넌스와 규제가 단순한 규칙에 의존하기보다는, 유연한 원칙을 기반으로 해야 한다는 의미다. 이러한 원칙은 점진적 개선을 허용할 수 있을 만큼 유연성을 가져야 한다. 따라서 글로벌 차원에서 필요한 규제와 법적 체계는 실험과 시행착오를 통해 발전해 나갈 것이다. 이 과정에서 AI를 적극적으로 활용하는 도시들이 그 교훈을 제공하는 중요한 역할을 할 수 있다.

AI는 도시 정책의 여러 핵심 분야에 큰 기여를 할 수 있는데, 예를 들면 다음과 같다:

8) 하라리, NY (2024) 참조. 환경과 상호 작용하며 데이터를 수집하고 사용하여, 사전에 정해진 목표를 달성하기 위해 스스로 결정한 작업을 수행할 수 있는 소프트웨어 프로그램을 말한다.

- 도시 설계와 건축 방식 개선
- 공공 서비스 제공: 건강, 교육, 대중교통, 안전 등
- 인프라 관리 및 최적화: 에너지 전력망, 교통 및 이동성
- 성장과 혁신 촉진: 인적 자원(인재) 개발 및 시민 참여 확대
- 데이터 기반 의사 결정: 지속 가능성 정책, 포용성 증진, 불평등 감소를 위한 프로젝트 등

또한, AI는 도시가 회복력과 위기 대응 능력을 강화하는 데도 큰 역할을 할 수 있다. 예를 들어, 경보 시스템 및 구조 작업을 개선하거나, 타겟 마케팅을 통해 대외 홍보를 강화하는 데 도움을 줄 수 있다. 이처럼 AI를 활용하면 도시가 더 나은 선택을 하고, 글로벌 차원에서 지속 가능한 발전을 이끌어낼 수 있는 중요한 도구가 될 것이다.

결론

스마트시티에 대한 새로운 긍정적 정의(앞서 제시한 8가지 POSITIVE 요소)를 더 나은 데이터와 지표와 결합함으로써 학계, 기업, 그리고 일반 시민들 모두가 도시를 변화의 진정한 주체로 인식할 수 있게 될 것이다. 인간 중심적이며 혁신을 지향하는 스마트시티는 우리가 당면한 여러 중요한 문제를 해결하는 데 크게 기여할 수 있다. 다가오는 새로운 글로벌화의 물결 또한 그에 맞는 긍정적 정의가 필요하며, 이를 주제로 한 다양한 연구가 앞으로 더 많이 등장할 것이다.

I References I

1. Bris, A., Cabolis, C., Lanvin, B. and Chan H.C. (2021), *Sixteen Shades of Smart: How cities can shape their own future*, IMD
2. Bris, A., Cabolis, C., Lanvin, B. and Chan H.C. (2021), *Cities in a time of global emergencies*, IMD.
3. Green, B. (2019), *The Smart Enough City : Putting Technology in Its Place to Reclaim Our Urban Future*, MIT Press
4. Harari, N.Y. (2024), *Nexus*, Random House.
5. Lanvin, B. (2024), *Prosperous and Inclusive Cities*, IMD WeGO
6. Palmisano, S. (2008), *A Smarter Planet: The Next Leadership Agenda*, Remarks to the Council of Foreign Relations, New York City, 6 November 2008. https://www.ibm.com/ibm/ideasfromibm/za/en/smarterplanet/20081106/sjp_speech.shtml



**SMART CITY
T O P
A G E N D A
2 0 2 4**

The Regenerative Smart City: a New Horizon for Urban Living

재생력을 갖춘 스마트시티: 도시 생활의 새로운 가능성

스티븐 힐튼

Stephen Hilton



스티븐 힐튼은 스마트하고 지속 가능하며 포용적인 도시 미래를 위해 헌신하는 학자이자 기업가이다. 그는 2016년에 브리스톨과 바스에 지속 가능하고 공평한 도시를 만드는 데 초점을 맞춘 컨설팅 회사 City Global Futures를 설립했다. 또한 브리스톨 대학교University of Bristol 디지털 미래 연구소Digital Futures Institute의 명예 회원으로, 2020년에는 《디지털 시티를 재가동하자》Rebooting the Digital City를 저술하고 지역사회가 글로벌 디지털 시장에 직면해 더 큰 역량을 갖추어야 한다고 주장했다. 그는 브리스톨 시의회의 미래전략 책임자로 일하면서 경제 개발, 지속 가능성 및 디지털 혁신 분야의 여러 프로젝트를 주도함으로써 브리스톨시가 유럽녹색수도 2015European Green Capital 2015로 선정되는데 크게 기여했으며 '올해의 지방 정부 혁신가'로 선정되기도 했다. 현재 그는 영국 디자인 웨스트Design West의 이사이자 자선단체 보컬아이즈VocalEyes의 회장으로 있으면서 시각 장애인들이 예술에 접근할 수 있도록 돕고 있다.

E-mail: Stephen.hilton@cityglobalfutures.co.uk

초록

첨단 기술, 초연결성, 데이터 중심 혁신이 특징인 스마트시티의 등장으로 지속 가능한 도시 개발이라는 개념을 재검토하게 되었다. 환경 문제의 심화로 인해 '스마트시티가 지속 가능성을 넘어 진정한 재생형 도시로 나아갈 수 있을까?'와 같은 질문이 제기되고 있기 때문이다. 지속 가능성이 생태계의 피해를 최소화하는 데 초점을 맞추는 반면, 재생형 도시는 생태계를 복원하고 활성화하는 것을 목표로 한다. 이를 위해서는 도시 시스템이 모두를 위한 회복력과 형평성을 중심으로 근본적인 변화를 이뤄야 한다.

재생형 도시는 다양성, 형평성, 탄소 배출 제로 전환을 바탕으로 도시 생활의 목적을 재정의한다. 기존의 스마트시티가 대규모 인프라 중심이라면, 재생형 도시는 인간 중심의 개발을 우선시하며 지역적 요구와 참여를 강조한다. 이는 도시 이론가이자 활동가 제인 제이콥스 *Jane Jacobs*의 도시 디자인 비전(1967)을 떠올리게 한다. 건축가 겸 도시계획 설계자인 존 라일 *John Lyle*의 재생 설계 개념(1999)은 에너지, 물, 물질 흐름에 순환의 원리를 통합하고, 인간과 자연 시스템 간의 균형 잡힌 관계를 조성함으로써 이를 더욱 심화시켰다.

재생 원칙을 스마트시티 패러다임에 통합하면 재생형 스마트시티의 건설을 통해 도시의 미래를 재편할 기회를 제공할 수 있다. 인공지능 *AI*와 사물 인터넷 *IoT* 같은 기술은 도시의 회복력을 강화하는 데 기여할 수 있지만, 단편적인 데이터, 개인정보 보호 문제, 상호 의존적인 시스템 관리의 복잡성 등 여러 난제가 존재한다. 따라서 강력한 지역 거버넌스가 뒷받침되지 않으면, 스마트시티는 지역 사회와 자연으로부터 단절된 기술 관료 체제로 전락할 위험이 있다.

도시가 지속 가능성에서 스마트한 재생으로 전환하려면 해결하기 어려운 장벽을 극복해야 한다. 본 논문은 도시 거버넌스 모델의 근본적인 재고로 기술 혁신이 포용성과 생태적 관리와 조화를 이뤄야 한다고 결론짓는다. 이러한 통합만이 스마트시티가 지구 환경뿐 아니라 도시 생활의 사회적 구조까지 완전히 재생할 수 있기 때문이다.

키워드

재생형, 스마트, 공정한 전환, 지역주의, 거버넌스

ABSTRACT

The rise of smart cities, defined by advanced technology, hyper-connectivity, and data-driven innovation, has reshaped sustainable urban development. Yet, as environmental challenges escalate, a critical question arises: can smart cities evolve beyond sustainability to become truly regenerative? While sustainability seeks to minimise ecological damage, regenerative cities aim to restore and revitalise ecosystems. This shift requires a fundamental transformation of urban systems, focusing on resilience and equity for all.

A regenerative city incorporates principles of diversity, equity, and a just transition to net-zero carbon, rethinking the broader purpose of urban life. Unlike the large-scale infrastructure of smart cities, regenerative urbanism prioritises human-scale developments, echoing Jacob's(1967) vision of urban design centred on local needs and engagement. Lyle's(1999) concept of regenerative design deepens this by integrating circularity into energy, water, and material flows, fostering a balanced relationship between human and natural systems.

Embedding regenerative principles into the smart city paradigm offers an opportunity to reshape urban futures through the creation of regenerative smart cities. Technologies like artificial intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) can support cities in becoming restorative forces. However, challenges exist, such as fragmented data, concerns over privacy, and the complexity of managing interdependent systems. Without robust local governance, there is a risk that cities may evolve into technocratic regimes disconnected from both communities and nature.

For cities to transition from sustainability to smart regeneration, entrenched barriers must be addressed. This article concludes that governance models need rethinking from the ground up, ensuring that technological innovation is matched with inclusivity and ecological stewardship. Only through this integration can smart cities truly regenerate both the planet and the social fabric of urban life.

KEYWORDS

Regenerative, Smart, Just Transition, Localism, Governance

통제에 대한 환상: 스마트시티 개념에 대한 비판적 검토

유명 작가 E.M. 포스터는 1909년 단편 소설 《기계는 멈춘다》*The Machine Stops*에서 인간이 단일 기술 플랫폼에 완전히 의존하는 세상에 대한 예리한 통찰을 제시했다. 이 소설에서 자동화된 시스템이 극도로 효율적이 되면서 인간 간의 상호작용은 거의 사라지고, 기계가 삶의 모든 측면을 통제하면서 인간은 기계를 유지하거나 이해하는 능력을 잃는다. 결국 기계가 고장 났을 때 이를 수리할 지식이 사라져 사회적 붕괴로 이어진다는 경고를 담고 있다. 100년 전에 쓰인 이 이야기는 오늘날의 스마트시티 논의에서도 여전히 큰 공감을 불러일으킨다.

현대의 도시 개발은 인공지능AI, 사물 인터넷IoT, 빅 데이터와 같은 첨단 기술을 활용하여 효율성, 편의성, 도시 생활의 질을 크게 향상시키는 스마트 시티를 찬양하고 있다. 데이터가 원활하게 흐르고 서비스가 자동화되며, 도시 인프라가 이전보다 훨씬 정교하게 관리되는 초연결 시스템으로 도시들이 진화하고 있다. 이러한 비전은 매우 유망해 보이지만, 동시에 심각한 취약성을 드러낸다. 포스터의 경고는 기술에 대한 과도한 의존이 인간의 행동력을 약화시키고 책임감을 희석하며, 도시 생활을 거대한 기계 안에서 이루어지는 단순한 과정으로 축소할 수 있음을 상기시켜준다.

실제로 기존 스마트시티 모델은 자연 시스템과의 단절을 점점 더 심화시켜 왔다. 도시 환경이 점차 기술 중심으로 변하면서 생태계와의 조화가 깨지고, 생명을 유지하는 생태학적 과정과의 연결이 단절되는 위험이 커지고 있다. 기존의 스마트시티는 자연을 소중히 여기고 보호해야 할 대상으로 보기보다는, 관리와 통제 대상으로만 접근해 왔다.

독일 경제학자 에른스트 슈마허는 그의 저서 《작은 것이 아름답다》(Small is Beautiful, 1973)에서 이러한 사고방식에 대해 경고하며 “현대인은 자연과의 싸

움을 이야기하지만, 만약 그 싸움에서 승리한다면 결국 패배하는 자신을 발견할 것이다”라고 지적했다. 또한, 영국의 과학자이자 환경론자인 제임스 러브록James Lovelock은 가이아 가설(Gaia hypothesis, 1979)을 통해 지구는 생명체와 환경이 협력하여 스스로 조절하는 시스템으로 작동한다고 주장했다. 처음에는 기술이 지구에 미치는 영향을 비판했지만, 나중에는 기술이 환경 문제를 해결하는 도구가 될 수 있음을 인정하며, 책임감 있는 혁신이 기후 변화 완화와 지구 시스템의 균형을 회복하는 데 기여할 수 있다고 주장한 것이다.

스마트시티가 인공 시스템을 지나치게 강조할 경우, 시민들은 자연 세계로부터 분리되고, 도시 생활은 환경과 점점 더 단절될 위험이 있다. 이러한 단절은 도시를 지속 불가능한 상태로 만들 뿐만 아니라, 생태계 건강을 기술 진보의 뒷전으로 밀어내는 결과를 초래할 수 있다. 러브록이 복잡한 자연 과정을 제어할 수 있는 인간의 능력에 대한 과신에 대해 경고한 것도 이러한 이유에서다. 그는 자연 시스템의 복잡성과 예측 불가능성을 강조하며, 무책임한 기술 발전이 문제를 악화시킬 수 있음을 지적했다. 스마트시티의 미래는 어떤 방향으로 나아가느냐에 따라 다르다. 기술은 양날의 검과 같아서, 문제를 해결하기보다 오히려 악화시킬 위험을 내포하고 있다. 스마트시티가 지속 가능성을 넘어 진정한 재생형 도시로 발전하려면, 기술과 자연의 조화로운 균형을 찾아야 한다.

기존 스마트시티 모델의 약속과 한계

기존 스마트시티는 교통 흐름, 에너지 소비, 사전 예측 치안, 의료 서비스 등 도시 생활의 모든 측면을 데이터로 최적화하겠다는 기술관료적 이상에 그 뿌리를 두고 있다. 그러나 이러한 시스템이 점차 더 통합되면서, 시민들은 그 이면의 메커니즘을 점점 이해하지 못하게 된다. 스마트시티의 복잡한 시스템은 기술과 이를 사용하는 시민들 사이에 점점 더 큰 격차를 만들었고, 결국 도시 생활이 시민의 의견은 배제된 채 보이지 않는 시스템과 알고리즘에 의해 운영되는 과정으로 축소되는 결과를 초래했다. 이로 인해 시민들은 도시

생활에 능동적으로 참여하는 주체가 아닌, 단순한 수동적 사용자로 전락할 위험에 처해 있다.

더욱이 스마트시티는 처음 구상했던 시민적 이상에서 점차 벗어나고 있다. 원래는 지역사회의 권한을 강화하고 참여를 촉진하는 플랫폼으로 설계되었지만, 시간이 지나면서 기업의 영향력을 확대하는 수단으로 변질되었다. 도요타의 미래 실험도시 ‘우븐 시티’[Woven City](#)나 구글의 ‘사이드워크 랩스’[Sidewalk Labs](#) 프로젝트와 같은 기업 중심의 스마트시티 모델은 공공의 책임보다 사적 이익을 우선시하며, 데이터와 자원의 진정한 수혜자가 누구인지에 대한 우려를 낳고 있다.

또한, 디지털 인프라에 대한 지나친 의존은 형평성과 배제라는 새로운 문제를 야기한다. 디지털 환경에서 혜택을 누리는 사람들도 있지만, 반면에 안정적인 인터넷, 디지털 기기, 관련 기술에 접근하지 못하는 디지털 빈곤 계층이 생기고 있다. 한편, 디지털 도시에 완전히 통합된 사람들은 과다 노출(hypervisibility, 특정 정체성에 따른 과도한 주목으로 본연의 가치를 평가받지 못하는 현상)을 경험하며, 지속적인 연결성과 생산성을 기대하는 스마트시티에서 점점 더 심화된 감시와 소외를 느낄 수 있다. 이는 스마트시티의 장점으로 여겨지던 기술 발전이 오히려 시민들에게 피로감과 불만을 초래할 가능성을 시사한다.

스마트시티와 환경적 지속 가능성

스마트시티 모델은 이제 사회적 영향을 넘어 환경적 지속 가능성에 관한 논의로까지 확장되었다. 비평가들은 스마트시티가 데이터센터, 5G 네트워크, 디지털 인프라 운영에 막대한 에너지를 소비하여 기후 위기를 악화시키고 있다고 지적한다. 겉보기에는 효율적으로 보이지만, 스마트시티의 물리적 설계와 운영은 자원 소비를 가속화하며 영구적으로 지속 불가능한 도시를 만들어 내는 결과를 초래할 수 있다. 이로 인해 자연과의 단절은 심화되고, 도시 생태계 위기가 발생하면서 오히려 도시의 기반 자체를 위태롭게 만든다는 우려

가 제기되는 것이다.

E.M. 포스터의 단편 소설 《기계는 멈춘다》는 기술적 유토피아를 향한 경쟁이 내포한 위험성을 경고한다. 효율성과 편리함이 매력적으로 보일지라도, 이는 우리가 완전히 이해하거나 통제하지 못하는 시스템에 지나치게 의존하도록 만들 수 있다. 이러한 맹목적 의존이 지속된다면, 스마트시티는 시민의 요구와 열망에서 점점 멀어져, 인간과 자연을 단절시킨 채 단순히 더 효율적인 기계 도시로 전락할 가능성이 있다. 이 같은 문제를 간과한다면, 우리는 포스터의 소설 속 등장인물처럼 고장 난 시스템에 갇혀 무기력한 존재로 전락할 위험이 크다.

기존 스마트시티 모델의 성과

그럼에도 불구하고, 기존 스마트시티 모델이 가져온 긍정적인 성과를 인정하는 것은 중요하다. 예를 들어, 로스앤젤레스와 싱가포르의 지능형 교통 시스템은 교통 혼잡을 줄이고 탄소 배출량을 감소시키는 데 크게 기여했다. 스마트 전력망은 에너지 분배와 소비를 효율화하여 재생에너지 자원 통합과 화석 연료 의존도를 낮추는 데 도움을 주었다. 바르셀로나의 스마트 조명과 폐기물 관리 시스템은 자원 효율성을 극대화하고 환경적 영향을 대폭 줄이면서 비용 절감 효과도 가져왔다.

또한 스마트시티는 시민들이 문제를 직접 보고하거나 서비스에 쉽게 접근하고, 지역 의사 결정에 참여할 수 있는 플랫폼을 통해 커뮤니티의 참여를 확대했다. 암스테르담은 오픈 데이터 이니셔티브를 통해 시민과 조직이 데이터를 활용해 지역 프로젝트를 수행하도록 지원하여 투명성과 협업을 강화했다. 이러한 사례들은 스마트 기술이 도시 생활의 질을 개선하고 회복력 있고 적응력 있는 커뮤니티를 조성하는 데 기여할 수 있음을 보여준다.

미래를 위한 비판적 검토

스마트시티의 서사가 계속 진화하는 지금, 우리는 그 궤적을 비판적으로 검토해야 할 시점에 도달했다. 미래의 도시는 단지 효율적인 시스템에 그치지 않고, 공정하고 투명하며 주민의 요구를 충족할 수 있어야 한다. 건강한 도시 환경은 주변 생태계와 분리될 수 없으므로, 자연과 다시 연결되는 방식으로 설계되어야 한다. 이를 위해 도시 시스템은 단순히 최적화에 그치지 않고, 시민들에게 권한을 부여하며 자연 생태계를 복원하고 기술 발전의 혜택이 모든 사람에게 골고루 돌아가도록 해야 한다.

그렇지 않다면, 스마트시티의 약속은 공허한 메아리가 될 뿐이며, 기술은 사람과 지구를 위한 것이 아니라 기술 자체를 위한 도구로 남게 될 것이다. 새로운 방향성을 논의하고 기존 한계를 넘어설 대안을 모색해야 할 때이다. 여기서 지속 가능성을 넘어 생태계를 복원하고 새롭게 하는 ‘재생형 도시’라는 개념이 도시 개발의 새로운 패러다임으로 떠오르고 있다. 인간 시스템과 자연 간의 공생을 강조하는 재생형 도시의 원리는 기존 스마트시티 모델을 보완하고 발전시키는 데 중요한 역할을 할 것이다.

재생형 스마트시티의 기회

현대 도시 개발이 기존 스마트시티 모델의 한계를 넘어 발전함에 따라, 재생형 스마트시티라는 새로운 개념이 혁신적인 대안으로 부상하고 있다. 이 모델은 단순히 지속 가능성에 그치지 않고, 생태계를 적극적으로 복원하며 모든 주민의 삶의 질을 향상시키는 도시 혁신을 약속한다. 재생형 스마트시티의 핵심은 기존의 자원 추출 중심 모델에서 벗어나, 폐기물을 최소화하고 자원을 지속적으로 재사용하며 도시 생활에 자연 시스템을 완전히 통합하는 순환 경제 모델로의 전환에 있다.

이 비전의 중심은 자원 순환을 촉진해 도시가 폐기물을 가치 있는 투입물로 전환하며, 자연 생태계와 같은 기능을 수행하도록 만드는 것이다. 이는 환경을 훼손하는 기존 모델과는 달리, 환경을 복원하고 재생하는 시스템을 지향하며, 건축가 존 라일^{John Lyle}의 재생 설계 원칙(1999)과도 일치한다. 라일의 비전은 도시 숲, 옥상 녹화, 습지 복원 등 자연 기반 솔루션을 통합함으로써 인간 활동과 자연 시스템 간의 상호작용을 촉진한다. 이 접근 방식은 생물 다양성을 증진하고 환경 복원력을 강화하며, 동시에 유기 폐기물 흐름도 효과적으로 관리한다.

이러한 자원 순환 전략은 경제적 잠재력 또한 상당하다. 영국의 순환 경제 자선단체인 엘렌 맥아더 재단^{Ellen MacArthur Foundation}은 순환 경제 전략을 적극 활용하면 영국에서만 약 1조 4,000억 파운드(약 2,500조 원)의 경제적 이익이 발생할 것으로 추정한다. 그러나 경제적 이익만큼이나 중요한 것은 자원 순환이 환경 파괴를 줄여 도시가 생태계와 함께 변형할 수 있도록 돕는다는 점이다.

재생 스마트시티로 전환하기 위해서는 단순한 기술 혁신만으로는 충분하지 않다. 도시 거버넌스와 의사 결정 프로세스를 근본적으로 재검토해야 한다. 효과적인 도시 거버넌스는 재생의 실행이 공평하게 이루어지고 모든 지역사회에 혜택이 균등하게 분배될 수 있도록 보장하는 데 필수적이다. 저명한 도시학자 제인 제이콥스^{Jane Jacobs}는 도시 개발이 ‘인간적 차원’에서 이루어져야 하며, 지역사회가 환경 형성에 적극 참여해야 한다고 주장했다. 그녀가 지역사회 주도의 도시주의를 강조한 이유는 지역 주민의 참여가 있을 때 비로소 도시 개발이 주민의 요구를 충족할 수 있기 때문이다.

따라서 재생형 도시를 건설하기 위해서는 공공, 민간, 시민사회 간의 협력이 포함된 통합적 접근이 반드시 필요하다. 도시 정책은 순환 경제 이니셔티브를 위한 적절한 인센티브를 제공함으로써 지속 가능성과 회복력에 대한 공동의 헌신을 이끌어내야 한다. 도시 개발이 재생형 도시주의로 전환되면, 도시 생태계를 적극적으로 복원하고 지속 가능한 환경을 조성하는 기회를 제공

할 수 있다. 이는 도시가 단순히 생명을 유지하는 데 그치지 않고, 생명이 의존하는 생태계를 재생하는 데 기여할 수 있는 방향으로 진화해야 한다는 점을 의미한다.

전환을 위한 전략적 경로

재생형 스마트시티로의 전환을 성공적으로 이루기 위해서는 기술, 사회, 환경 시스템 통합의 중요성을 인식하고 이를 기반으로 한 전략적 경로가 필요하다. 이러한 전환은 과거의 개발 중심 접근 방식을 탈피하고, 기술 혁신이 지속 가능한 도시 생활과 조화를 이루도록 하는 총체적 전략을 요구한다.

이러한 변화를 이끌어내기 위한 효과적인 프레임워크 중 하나로, 모든 이해관계자가 잠재적인 미래 시나리오를 시각적으로 탐구할 수 있도록 돕는 ‘스리 호라이즌 모델’(Three Horizons Model, 2013)이 있다. 미국의 경제학자 빌 샤프(Bill Sharpe)가 개발한 이 모델은 세 가지 명확한 시간적 지평을 탐구할 수 있도록 설계되었다:

- 호라이즌 1은 현재 시스템과 관행에 초점을 맞추며, 단기적인 개선과 효율성을 중시한다.
- 호라이즌 2는 현재 관행과 지속 가능한 접근 방식 사이의 격차를 메우기 위한 점진적인 혁신과 적응을 다룬다.
- 호라이즌 3은 변혁적 미래를 구상하며, 순환 경제와 생태계 회복력을 통합하는 재생형 도시 실행을 특징으로 한다.

도시는 이 모델을 활용해 장기 목표와 일치하는 핵심 전략과 정책 방안을 도출할 수 있다. 예를 들어, 현재 실행 중인 활동(호라이즌 1)을 평가한 뒤, 이

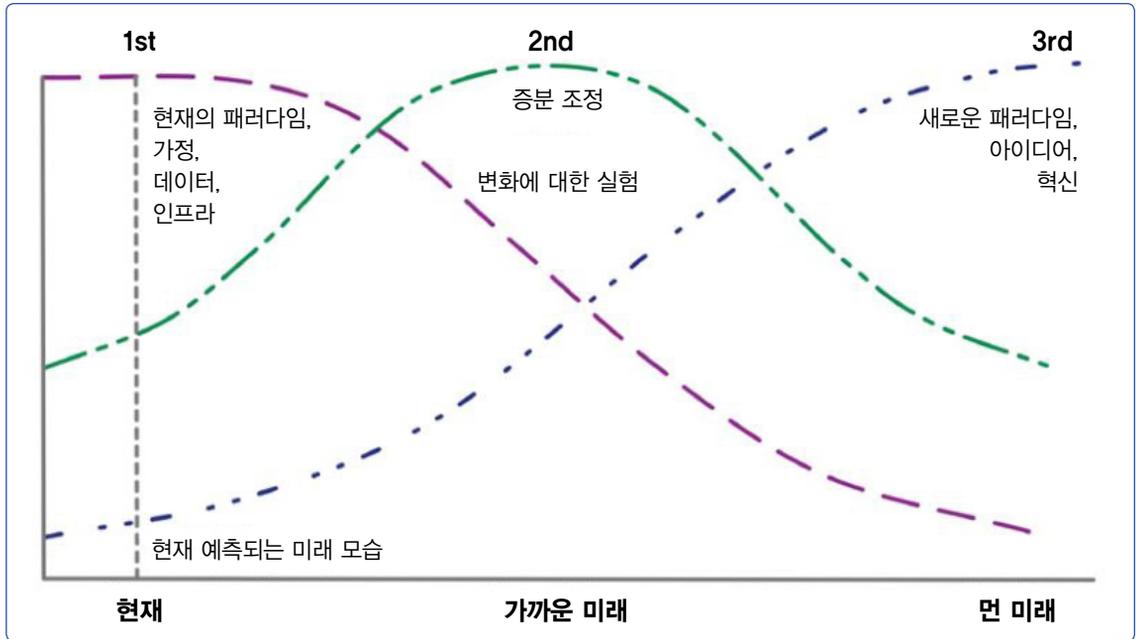


Table 1

스리 호라이즌 모델

Source : Three Horizons Framework (ITC)

를 기반으로 재생형 스마트시티(호라이즌 3)의 목표를 달성할 수 있는 새로운 기술과 커뮤니티 이니셔티브(호라이즌 2)를 찾아내는 방식이다.

스리 호라이즌 사과의 적용

바르셀로나와 암스테르담은 지속 가능한 도시 이동성과 순환 경제 원칙을 전략적 계획에 성공적으로 통합한 대표적인 사례로 꼽힌다. 바르셀로나의 2024년 도시 이동성 계획은 도보, 자전거, 대중교통을 장려하고 자동차 의존도를 줄이는 데 중점을 두고 있다. 62개의 핵심 강령과 300개 이상의 세부 조치를 통해 모든 이동의 81%를 지속 가능한 방식으로 전환할 예정이며, 이는 온실가스 배출 감소와 같은 환경 목표와도 조화를 이룬다.

암스테르담 역시 ‘암스테르담 순환 전략’[Amsterdam Circular Strategy](#)을 통해 2050년까지 완전한 순환 도시가 되겠다는 비전을 제시했다. 이 전략은 자원 효율성을 높이고 낭비를 줄이기 위해 지역 기업, 정부, 시민이 함께 참여하는 협력적 이니셔티브를 특징으로 한다.

고대 로마의 온천 도시였던 바스City of Bath도 스리 호라이즌 모델을 활용해 바스 스파 대학교Bath Spa University를 창의적 기술로 미래를 선도하는 기관으로 발전시켰다.

이 전략은 중소기업을 빠르게 확장하려는 기존의 가속화 모델에서 벗어나, 피어 투 피어Peer-to-Peer 협업을 통해 규모를 점진적으로 성장시키는 접근 방식을 채택했다. 이러한 점진적 성장 전략은 글로벌 충격과 스트레스에 대응해 회복력 있는 지역 경제를 구축하는 것을 목표로 한다.

이 도시들의 사례는 스리 호라이즌 모델을 통해 장기적이고 혁신적인 변화에 집중함으로써 현재 시스템을 보다 지속 가능하고 재생 가능한 미래로 전환하는 데 기여할 수 있음을 보여준다.

다양한 관점의 통합

스리 호라이즌 모델은 도시 미래를 구상하고 설계하는 과정에 다양한 이해관계자가 참여하도록 유도함으로써 도시의 포용성을 증진한다. 예를 들어, 포틀랜드의 친환경 도시계획EcoDistricts Initiative은 도시계획에 지역사회의 참여를 적용함으로써 이웃 차원의 지속 가능성 노력을 강화했다. 이 계획은 맞춤형 지역사회 거버넌스 구조와 지속 가능성 평가를 통해 지역의 회복력과 지속 가능성을 높이는 것을 목표로 한다.

최근 친환경 도시 연구소EcoDistricts Institute는 여러 도시의 대표자들을 모아 지속 가능한 지역 계획을 위한 모범 사례와 전략을 공유하는 자리를 마련

했다. 이러한 협력의 결과로, 자원 효율성을 높이고 낭비를 최소화하는 실행 가능한 계획이 도출되었으며, 주민들은 자신의 필요와 우선순위를 표현하고, 도시 전략이 지역사회의 열망을 반영하는 데 기여할 수 있었다.

포괄적 거버넌스 모델이 도시 시스템의 회복력을 향상시켰다는 여러 증거도 있다. 유럽연합이 제시한 도시 의제는 지속 가능한 도시 개발을 달성하기 위해 참여적 거버넌스가 중요함을 강조하며, 이를 채택한 도시들은 지역사회의 더 강력한 지원을 받고 있다. 이러한 조화는 환경적 지속 가능성을 높이는 동시에 주민들에게 옹호감과 책임감을 부여해, 사회적 웰빙과 생태적 웰빙 간의 상호 연결성을 강화한다.

도시 거버넌스의 과제와 기회

스리 호라이즌 모델은 보다 스마트한 도시 개발을 촉진할 잠재력을 제공하지만, 그 효과를 극대화하려면 몇 가지 과제를 해결해야 한다. 기존의 거버넌스 구조는 주로 단기적인 경제적 이익을 우선시해 장기적 지속 가능성을 놓치는 경우가 많다. 또한 기존 관행에 익숙한 이해관계자들은 새로운 협업 모델로의 전환에 거부감을 가질 수 있다.

그러나 이러한 도전 과제는 오히려 혁신의 촉매제가 될 수 있다. 예를 들어, 영국 브리스톨에서는 리빙 랩(Living Lab) 접근 방식을 통해 실제 환경에서 도시 솔루션을 테스트하고 개선할 수 있는 플랫폼을 제공하고 있다. 이는 반복적 학습과 적응을 통해 도시 혁신을 촉진하는 효과적인 방법으로 평가 받고 있다.

도시 변혁을 위한 급진적 접근 방식

기후 위기의 심화로 전통적인 도시 거버넌스 모델은 점점 더 비효율적인 것으로 간주되고 있다. '기후 변화에 관한 정부 간 협의체' IPCC는 지구 온난화에 대응하기 위해 신속하고 변혁적인 전략이 필요하다고 강조하며, 도시들이 대담한 혁신 솔루션을 실행할 것을 촉구하고 있다.

특히, '두려움을 모르는 도시 운동' [Fearless Cities Movement](#)은 급진적 민주주의를 통해 도시 거버넌스를 변혁하려는 사례로 주목받고 있다. 이 운동은 바르셀로나에서 시작되어 기업의 통제로부터 도시를 되찾고 사회적 형평성과 환경 정의를 실현하는 시민 주도 정책을 강조한다. 뉴욕과 토론토 같은 도시들은 참여 예산과 같은 정책을 도입해 지역 주민이 예산 할당에 직접 관여하도록 했다.

바르셀로나의 주민 참여 예산 [Participatory Budgeting](#) 제도는 주민이 제안하고 투표한 프로젝트에 약 3,000만 유로(약 450억 원)의 예산을 할당했다. 이 프로그램은 공공 공간과 지역 서비스를 개선하는 동시에 거버넌스의 투명성과 책임감을 강화하는 본보기가 되었다. C40 도시기후리더십그룹 [C40 Cities](#) 역시 도시들이 기후 변화 대응에서 중요한 역할을 수행하도록 돕는 플랫폼을 제공한다. 암스테르담과 런던은 C40의 '폐기물에서 자원으로' [Waste to Resources](#) 프로그램을 통해 지속 가능한 폐기물 관리 시스템을 구현하고 있으며, 이는 기후 문제에 직면한 도시들의 회복력을 높이는 데 기여하고 있다.

브리스톨의 '도시 도약 계획' [City Leap Initiative](#)도 성공적인 사례 중 하나인데, 시의회와 민간 이해관계자 간의 10억 파운드(약 1조 8,000억 원) 투자 파트너십을 통해 2030년까지 탄소 순배출 제로를 목표로 하고 있다. 이 계획은 재생 에너지 프로젝트와 공공건물의 에너지 효율성 향상, 그리고 지역사회 오너십 [local ownership](#)을 통해 기후 변화에 대응하고 사회적 형평성을 증진시킨다.

서울도 이러한 변화를 이끄는 아시아의 선도적 사례로 주목받고 있다. ‘서울 2030 전략’은 녹지 확대, 서민 주택 보급, 지속 가능한 교통 솔루션 도입, 도시 재생 프로젝트에 있어 지역사회 참여를 최우선으로 삼고 있다. 서울의 시민 참여 예산은 주민들이 지역 개선을 위한 예산 사용에 직접 참여하도록 하여 투명성과 지역사회 오너십을 강화하며, 참여적 거버넌스의 성공 사례로 평가받는다.

공공 의사 결정에서 공동 파트너십(PCPs)의 역할

케어 밀번(Keir Milburn)과 버티 러셀(Bertie Russel)은 논문에서 공공-공동체 파트너십(Public-Common Partnerships, PCP)이 재생 도시 전환에 필수적이라고 강조한다. 이 모델은 시민들이 환경 형성 과정에서 목소리를 내고 책임감을 가질 수 있는 포괄적 거버넌스를 촉진한다. PCP는 공공 목표와 민간 혁신을 조화롭게 통합해 도시 회복력을 강화하며, 옥상 녹화와 도시 숲 같은 자연 기반 솔루션을 통해 환경 지속 가능성과 사회적 응집력을 동시에 달성한다.

PCP를 도시 거버넌스 구조에 통합함으로써, 도시들은 기후 변화, 도시화, 사회적 불평등 같은 문제를 해결할 포용성을 확보할 수 있다. 이를 통해 기술적 발전뿐만 아니라 생태적·사회적으로도 활기찬 도시 환경을 만들어 나갈 수 있을 것이다.

결론

도시를 상호 연결된 재생 시스템으로 재해석하는 것은 단순한 열망에 그치지 않고, 긴박한 세계적 과제에 직면한 도시 개발에서 필수적인 과제가 되었다.

기존의 도시 개발 모델로는 기후 변화, 도시화, 사회적 불평등과 같은 복잡한 문제들을 해결하기에 한계가 있기 때문이다. 사회적, 경제적, 생태계의 상호 의존성을 우선시하는 통합적 접근은 도시 환경에서 회복성과 지속 가능성을 촉진하는 데 반드시 필요하다.

이러한 패러다임 전환의 핵심은 도시가 더 큰 생태적 네트워크의 필수적 부분이라는 인식을 갖는 데 있다. 도시는 순환 경제의 원칙을 채택하고 자원 관리를 강화함으로써 폐기물을 가치 있는 자원으로 전환하고, 황폐화된 생태계를 복원하며, 자원의 재활용을 추진할 수 있다. 이러한 재생 활동은 현재 환경에 미치는 영향을 줄이는 동시에, 미래의 충격에 대한 회복력을 높이는 데 기여할 것이다.

참여적 거버넌스와 지역사회의 적극적인 참여는 이러한 변화를 실현하는 데 필수적이다. 주민들이 기술적으로 앞서가며 사회적으로 공정한 도시 개발에 직접 기여할 수 있도록 돕는 것이다. 다양한 사례 연구는 지역에 대한 지식을 활용해 시민들 사이에 오너십에 대한 의식을 조성하고, 협력 모델의 잠재력을 성공적으로 보여주고 있다. 지역사회를 적극적으로 참여시키는 도시는 혁신적인 아이디어와 솔루션을 바탕으로 재생 가능한 미래로의 전환을 현실화시킬 수 있다.

C40 네트워크는 도시 회복력을 달성하는 데 있어 공유된 지식과 집단적 행동의 중요성을 입증한다. 이러한 네트워크는 모범 사례를 교환할 수 있는 장을 제공하여 기술 혁신과 시민 참여 간의 격차를 줄이고, 지속 가능한 도시 솔루션이 다양한 이해관계자 간의 협력에서 비롯되어야 함을 강조한다. 또한, '두려움을 모르는 도시 운동'¹(Fearless Cities Movement)과 같은 사례는 지역사회 주도의 계획과 사회 정의를 우선시하는 급진적이고 민주적인 거버넌스의 중요성을 잘 보여준다.

스마트 기술을 활용하여 이러한 도시 비전을 실현한다면, 삶의 질을 향상시키는 동시에 자연 생태계를 보호해 대응력 있는 환경을 조성할 수 있다. 데이터 기반 솔루션은 도시 생태 건강을 모니터링하고, 참여적 의사 결정을 유

도하며, 투명성을 강화하는 데 중요한 역할을 한다. 도시는 이러한 재생적 사고방식을 채택하여 생태적 통합성과 사회적 형평성을 우선시함으로써, 기술 발전의 혜택이 모든 주민에게 공평하게 분배되도록 할 수 있다.

스마트시티를 재생형 도시로 전환하는 과정에는 여러 어려움이 따르겠지만, 이것이 지속 가능하며 변치 않는 회복력 있는 도시를 만드는 길이다. 도시가 이러한 혁신적 비전에 전념한다면 생태적 균형을 회복하는 데 중요한 역할을 할 뿐만 아니라, 모든 주민의 행복을 증진할 수 있다. 궁극적으로 상호 연결된 재생 시스템으로의 전환은 단순한 전략적 움직임이 아니라, 불확실한 미래에서도 번성하기를 원하는 도시들에게 '스마트'가 유일한 선택이다. 재생력을 갖춘 스마트시티에 대한 이러한 비전을 수용한다면, 도시 생활과 자연이 조화롭게 공존하는 미래를 열어갈 수 있으며, 미래 세대를 위해 지구의 지속 가능성을 보장할 수 있을 것이다.

| References |

1. Barcelona En Comu. (2019) Fearless Cities, a Guide to the Global Municipalist Movement. UK, New Internationalist Publications.
2. City of Amsterdam. (2025). Amsterdam Circular Strategy 2020-2025. Amsterdam: City of Amsterdam.
3. City of Barcelona. (2024). The Urban Mobility Plan (PMU). City of Barcelona.
4. City of Seoul. (2021). City of Seoul Participatory Budgeting. The International Observatory on Participatory Democracy (IOPD). <https://oidp.net/en/practice.php?id=1302>
5. Forster, E.M. (2011). The Machine Stops. Penguin Classic.
6. Hilton, S. (2020). Rebooting the Digital City. Bristol+Bath Creative R+D.

- <https://www.cityglobalfutures.co.uk/projects/rebooting-the-digital-city>
7. Hilton, S. (2024). The Studio Hive: Propagating a Creative Technology Ecosystem. The Studio, Bath Spa University. https://thestudioinbath.co.uk/wp-content/uploads/2024/09/The_Studio_Five_Year_Vision.pdf
 8. Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*. Random House. 191.
 9. Lovelock, J. (1979). *Gaia: A New Look at Life on Earth*. Oxford: Oxford University Press.
 10. Lyle, J. T. (1999). *Design for Human Ecosystems: Landscape, Land Use, and Natural Resources*. Island Press.
 11. Milburn, K. & Russell, B. (2019). *Public-common partnerships: Building new circuits of collective ownership*. Common Wealth.
 12. Portland Sustainability Institute. (2012). *EcoDistricts Institute*. www.pdx-institute.org
 13. Schumacher, E.F. (1973). *Small is Beautiful: A Study of Economics as if People Mattered*. London: Blond & Briggs. 15.
 14. Sharpe, B. (2013) *Three Horizons: The Patterning of Hope*. Triarchy Press.



**SMART CITY
T O P
A G E N D A
2 0 2 4**



SMART CITY

T O P

A G E N D A

2 0 2 4

CHAPTER

02

스마트시티와
인공지능

AI-Enabled Smart Cities: Building Intelligent and Interconnected Urban Infrastructure Through Machine Learning Innovation

AI 기반 스마트시티:

머신 러닝 혁신을 통한 지능적이고
상호 연결된 도시 인프라 구축

칼 하틀라인

Carl Härtlein



칼 하틀라인은 투자 전문가로 투자자문회사 세인트 클레어 캐피털 Saint Clair Advisory & Capital 의 설립자 겸 CEO다. 그는 유럽과 한국 투자 생태계 간의 상호 협력을 강화하기 위해 세인트 클레어 아시아 투자 프레임워크 Saint Clair Asia Investment Framework를 설립했다. 그는 양측의 이해 관계자들과 협력하여 국제 투자 파트너십을 촉진하며, 특히 아시아 기술 혁신과 유럽의 실행 능력을 연결하는 역할을 한다. 디지털 기술 분야에서 쌓은 25년간의 전문 경력과 프랑스 국가 공인 건축사 Architecte DPLG로서의 학문적 배경을 두루 갖춘 그는 도시적 맥락에서 혁신에 대한 독특한 관점을 제시한다. 진정한 글로벌 시민으로서 그의 목표는 지구가 직면한 중요한 도전 과제를 해결하기 위해 힘을 합칠 수 있도록 가교 역할을 하는 것이다.

E-MAIL: carl@saintclair.ltd

초록

본 논문은 도시 환경에서 인공지능 통합에 대한 새로운 증거를 탐구하며, 특히 디지털 트윈 *digital twin*의 구현과 도시 개발에 미치는 영향을 중점적으로 다룬다. 또 경제적, 환경적, 사회적 함의를 고려하면서 AI 기반 도시 변혁 *AI-driven urban transformation*에서 중요한 성공 요인들을 규명한다. 이는 성공적인 AI 통합이 단순히 기술적 정교함에만 의존하는 것이 아니라 거버넌스 프레임워크, 시행 전략 및 이해관계자 참여를 신중하게 조율하는 것에 달려 있다는 것을 입증한다. 중요한 것은 양자 기술을 이용한 센서에서부터 자율적 환경 대응 시스템에 이르기까지 기술적 역량이 계속해서 빠르게 발전하고 있지만, 도시 변혁이 성공적으로 이루어지기 위해서는 혁신과 공공 이익을 균형 있게 조절하는 제도적 조치가 필요하다는 것이다. 본 논문은 여러 도시에서의 증거들을 바탕으로, 향후 AI 구현을 고려하는 도시들을 위하여 전략적인 조언을 제시하고, 상호 연결된 도시 네트워크 디지털 혁신을 달성하기 위한 신중하고 사려 깊은 접근 방식의 중요성을 강조한다.

키워드

인공지능, 디지털 트윈, 상호 연결된 스마트시티, 도시 거버넌스, 지속 가능성, 사회적 형평성

• ABSTRACT •

This paper examines the emerging evidence on artificial intelligence integration in urban environments, with a particular focus on digital twin implementation and its implications for city development. The study identifies critical success factors in AI-driven urban transformation while considering economic, environmental, and social implications. It demonstrates that successful AI integration depends not merely on technical sophistication but on the careful orchestration of governance frameworks, implementation strategies, and stakeholder engagement. Key findings suggest that while technical capabilities continue to advance rapidly, from quantum-enhanced sensing to autonomous environmental response systems, successful urban transformation requires institutional arrangements that balance innovation with public interest. Based on evidence from multiple urban centres, the paper provides strategic recommendations for cities considering AI implementation, emphasising the importance of measured, thoughtful approaches to achieve an interconnected, networked urban digital transformation

KEYWORDS

artificial intelligence, digital twins, interconnected smart cities, urban governance, sustainability, social equity

들어가며

인공지능을 도시 시스템에 통합시키면 도시 개발과 거버넌스에 근본적인 변화를 가져올 수 있다. 스마트시티에 관한 논의가 종종 기술적 역량을 강조하지만, 선도적인 구현 사례에서 얻은 증거는 기술적인 것을 넘어 보다 미묘한 현실을 보여준다. 즉 성공적인 도시 변혁은 기술적 정교함만큼 신중한 거버넌스와 사회적 배려에 달려 있음을 시사한다.

컴퓨터화된 시스템이 도입된 이래, 디지털 트윈 기술과 인공지능의 융합은 도시 관리에서 가장 중요한 발전을 이끌 수 있다. 양자 센싱 및 엣지 컴퓨팅 기능으로 더욱 정교해진 버추얼 레플리카(가상 복제본)는 도시 운영에 대한 전례 없는 통찰력을 제공해준다. 그러나 도시 개발의 진정한 가치는 그런 단순 연산력에서 나오는 것이 아니라 거버넌스 프레임워크와 사회 시스템의 사례 깊은 통합을 통해 드러난다.

이 변혁의 경제적 함의는 운영 효율성 그 이상으로 확장된다. 도시 지능 분야의 새로운 시장이 등장했으며, 기존 인프라 금융 모델도 디지털 역량의 가치를 포착하기 위하여 진화했다. 도시가 지역 차원 또는 글로벌 네트워크로 발전하면서 공공 서비스를 기반으로 새로운 비즈니스 모델을 지원하여 민간 투자를 유치하고 새로운 민관 파트너십의 기회를 창출할 수 있다.

이 기술들의 환경적 적용은 도시들이 점점 더 기후 문제에 직면하게 되면서 더욱 유망해질 전망이다. 정교한 AI 분석 기술이 탑재된 첨단 감지 네트워크로 도시 환경 성과를 보다 정확하게 이해할 수 있다. 아마도 가장 중요한 것은 AI 통합이 함축하는 사회적 함의가 신중히 고려되어야 한다는 점이다. AI의 초기 구현에서는 기술적 효율성을 우선시했지만, 앞서 이를 채택한 도시들은 점점 더 공평한 혜택 분배와 의미 있는 시민 참여를 보장하기 위한 정교한 접근 방식을 보여주고 있다. 이러한 진화는 AI 기술이 앞으로는 도시 분열을 초래하는 것이 아니라 사회적 통합의 원동력으로 기능하게 될 것임을 시사한다.

그러나 이러한 발전을 위해서는 반드시 기술적 기회와 사회적 책임의 균형을 이루는 전략적 대응이 필요하다. 전 세계 도시들이 AI 구현을 고려함에 따라, 그 성공은 거버넌스 프레임워크, 구현 순서, 그리고 이해 관계자들의 참여에 대한 세심한 주의에 달려 있다는 증거가 점점 더 많이 나타나고 있다.

스마트시티 개발에서 AI의 역할: 디지털 트윈과 데이터 생성

스마트시티 개발의 조용한 혁명은 눈에 보이는 도시 경관의 변화가 아니라 디지털 변화에 있다. 여기서 디지털 트윈이 AI 기반 도시 계획의 초석으로 부상하면서 도시 운영을 시뮬레이션하고, 분석하며 최적화하는 전례 없는 기능을 제공하고 있다. 이전의 초기 모델보다 훨씬 더 정교해진 버추얼 레플리카(가상 복제본)는 이제 현대 도시 관리의 중추 신경계 역할을 하고 있다.

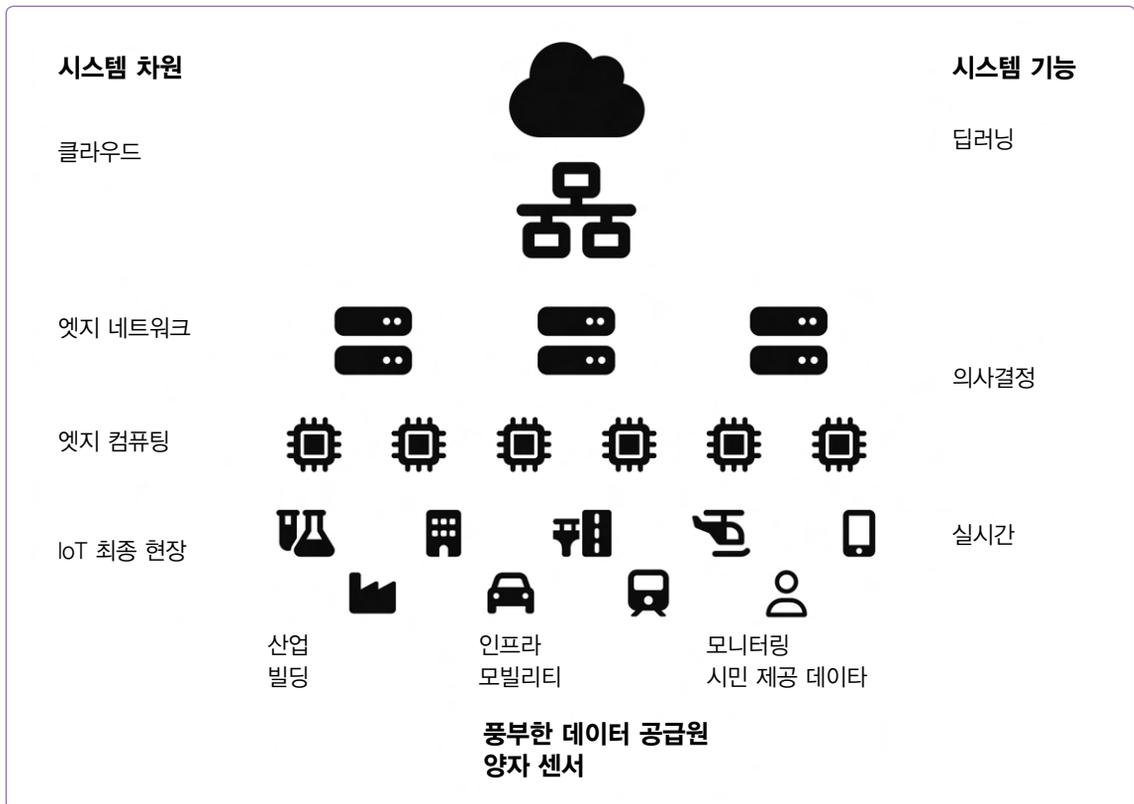
예를 들어 도시 전체를 디지털 트윈으로 모델링한 버추얼 싱가포르(Virtual Singapore) 플랫폼은 이 접근 방식의 영향이 실제와 얼마나 유사한지 잘 보여준다. 도시 국가인 싱가포르의 디지털 트윈은 간단한 시각화 도구에서 도시 의사 결정을 위한 포괄적인 계획 플랫폼으로 발전했다. 2014년부터 약 10년에 걸쳐 구축된 버추얼 싱가포르(싱기포르 토지청, 2014)의 첫 번째 단계는 제3자가 공공 의사 결정의 이해 관계자들이 보유하고 있는 데이터에 연결하여 정보를 교환할 수 있도록 하는 개방형 시스템을 목표로 했는데, 향후 이 플랫폼을 기업과 일반 시민에게 개방할 예정이다.

디지털 트윈의 진정한 가치는 실시간 도시 상황을 반영하는 광범위한 데이터 세트를 생성하고 처리할 수 있는 능력에 있다. 최근 도시들이 양자 기술을 이용한 센서로 보다 강화된 고급 감지 네트워크를 구축함에 따라 이 플랫폼은 교통 흐름에서부터 에너지 소비 패턴에 이르기까지 다양한 시스템에서 점점 더 세부적인 데이터를 수집할 수 있게 되었다. ‘포그 컴퓨팅’^{fog}

computing이라고도 부르는 엣지 컴퓨팅(edge computing) 인프라의 통합은 데이터 처리 지연 시간을 획기적으로 줄여 도시 상황을 거의 실시간으로 분석할 수 있게 해주었다.

이 플랫폼은 비록 자주 일어나지는 않지만 매우 중요한 시나리오(상황)를 시뮬레이션하는 데 특히 유용한 것으로 입증되었다. 로테르담의 기후 변화 극복 프로그램(Climate Proof Programme(C40 Cities, 2016))은 디지털 트윈이 첨단 모델링 기능을 통해 홍수 예측 및 피해 완화 전략을 어떻게 향상시킬 수 있는지를 잘 보여준다. 실제 극한 사건에서 필요한 데이터가 부족해 대비할 수 없었던 기존의 머신 러닝 접근 방식과는 달리, 일어날 가능성이 있는 상황에 대한 합성 데이터를 생성하는 기능을 가진 AI 모델은 드물게 발생하는 시나리오에 대해서도 대비할 수 있게 해준다.

Figure 1
스마트시티 디지털 트윈의
엣지 컴퓨팅 레이어



복잡한 합성 시나리오를 생성하는 기능을 가진 AI 모델은 위기관리뿐 아니라, 변화하는 교통 패턴에서 에너지 수요 변화에 이르기까지 도시 역학의 미세한 변화를 모델링하는 데까지 확대 적용될 수 있다.

그러나 아마도 가장 혁신적인 발전은 자율적 디지털 트윈의 등장일 것이다. 자율적 디지털 트윈은 도시 환경을 모델링할 뿐만 아니라 독립적으로 운영을 최적화할 수 있는 시스템이다. 이 시스템은 도시 인프라가 실시간으로 교통 신호를 조정하는 것에서부터 예측된 수요에 따라 에너지 분배 패턴을 수정하는 것에 이르기까지 변화하는 조건에 자동으로 적응할 수 있는 미래가 가능하다는 것을 시사한다.

디지털 트윈의 사용은 앞으로 점점 더 진화해서 도시 시스템 차원을 넘어 서까지 확장될 것이다. 특히 유럽 연합의 스마트시티 계획(유럽 위원회, 시기 미상)에서 다루어진 도시 간 디지털 트윈 네트워크는 공유 학습과 협업적 도시 지능의 잠재력을 잘 보여주는 사례이다. 이 네트워크에 참여하는 도시들은 교통 관리에서부터 비상 대응에 이르기까지 공통적인 도시 문제를 해결하는 도시의 능력이 현저히 향상되었다고 보고하고 있다.

시 기반 스마트시티의 경제적 파급 효과와 투자 기회

이처럼 도시 개발 의제를 지역적 또는 글로벌 의제와 관련시키면 도시 데이터 시장(유럽 위원회, 시기 미상)의 등장을 촉발시켜, 스마트시티 간 상호 운영을 촉진하고 이 분야에서 아마도 가장 중요한 경제적 발전 효과를 가져오게 될 것이다. 실제로 암스테르담의 스마트시티 계획(Amsterdam's Smart City, 2024)은 그동안 익명으로 제공된 도시 데이터 공유용 플랫폼을 개척하여 새로운 경제적 기회를 창출했다. 이러한 데이터 시장들은 기관 투자자를 유치할 수 있는 잠재력을 가지고 있으며(Moncada Rivera, 2024), 이는 도시 데이터

가 그 자체로 자산이 될 수 있음을 시사한다.

이러한 기술적 역량에 대응하기 위한 민관 합동 파트너십도 상당한 발전을 보였다. 기존의 자치 단체와 민간 간의 계약 방식 대신 AI 기반 모니터링 시스템에 의해 가능해진 보다 정교한 기반 모델이 등장하게 된 것이다. 바르셀로나는 논쟁의 선두에 있으며, 특히 교통 및 도시 이동성 분야에서 공공-민간 협업이라는 주제를 중심으로 글로벌 의제를 이끌어가고 있다. 바르셀로나시의 City OS(바르셀로나 시청, 시기 미상)는 공공 및 민간 이해 관계자가 공동으로 참여하는 협력 체제를 구축했다. 이런 새로운 파트너십 모델은 앞으로 도시 서비스가 더 큰 효율성과 책임감을 가지고 운영될 것이며, 스타트업과 투자자들과의 협력을 통해 민간 계획들의 민첩성과 반응성을 도입해 나갈 것임을 시사한다.

토큰화(tokenization)와 스마트시티 채권을 통한 인프라 자금 조달 방식의 변화도 또 다른 주목할 만한 발전을 예고하고 있다. 싱가포르와 스위스에서 최근 시도된 블록체인 기반 인프라 토큰 거래(Pereire & Yinxin, 시기 미상)는 보다 유동적이고 효율적인 인프라 투자 시장의 잠재력을 보여준다. 이 같은 접근 방식은 투자자에게 실시간 성과 데이터를 제공하는 동시에 도시 자산의 부분적 소유권을 가능하게 함으로써 인프라 투자의 위험-수익 구조(risk-return profile)를 근본적으로 변화시키고, 중요한 프로젝트의 실행 시간을 크게 단축시켜 줄 수 있다.

새로운 도시 데이터 시장의 등장 외에, 도시 지능도 수출 가능한 상품으로 부상하며 또 다른 중요한 경제적 기회를 가져다줄 것이다. AI 시스템에 투자하고 이를 성공적으로 구현한 도시가 보유하고 있는 귀중한 전문 지식과 검증된 솔루션은 다른 도시들에 판매할 수 있는 자산이 될 수 있다. 헬싱키의 디지털 트윈 프로젝트(Helsinki Digital Twin Project, 2024, Hämmäläinen, 2021)는 도시가 스마트시티 솔루션 전문 지식을 어떻게 개발하고 수출할 수 있는가를 잘 보여준다.

이러한 접근 방법이 환경에 미치는 영향이나 (그리고 더 중요한 것은) 개선된

도시 회복력이 가져다주는 재정적 이익이 확실히 어느 정도 커 보이기는 하지만 정확하게 정량화하기는 어렵다. 그러나 지구 온난화라는 도전과 위협에 직면한 첨단 AI 시스템을 갖춘 도시는, 긴급한 위기나 만성 스트레스를 관리하는 데 현저히 더 나은 성과를 보임으로써 보험 비용을 낮추고 신용 등급을 올리는 결과를 견인했다.

환경에 미치는 영향: 기후 회복력과 지속 가능성을 개선시키는 AI

도시 시스템에서 AI의 통합이 환경에 미치는 영향은 스마트시티 개발의 가장 중요한 측면이라 할 수 있다. 이는 도시가 기후 변화와 관련하여 점점 더 복잡한 문제에 직면함에 따라 더욱 중요해지고 있다. 따라서 도시 관리 및 도시 개발을 위한 더 나은 실행과 개선된 효율성을 추구하는 차원을 넘어, 도시가 더 크고 때로는 글로벌한 맥락의 일부가 됨으로써 미래를 계획하는 방식을 변화시킬 수 있다.

실시간 탄소 추적 시스템(real-time carbon tracking system)의 출현은 도시 환경 관리에 상당한 진전을 가져왔다. 코펜하겐 솔루션 랩(Copenhagen Solutions Lab, 2024)은 환경 모니터링을 위한 정교한 센서와 AI 분석을 구현하여 도시 탄소 배출 추적에 새로운 가능성을 보여주었다. 이러한 시스템 덕분에 도시는 광범위한 정책 조치가 아니라 실제 성과 데이터를 기반으로 하는 표적 정책 조치를 시행함으로써 향후 탄소 배출 감소에 있어 보다 세밀한 접근 방식을 취할 수 있게 되었다.

수자원 관리 분야도 AI 응용 프로그램의 매우 중요한 영역으로 부상했다. 본 논문을 쓰는 이 시점에도, 스페인 남부 발렌시아시는 엄청난 홍수의 여파를 겪고 있고, 바르셀로나 주민에게 물을 공급하는 저수지의 물 보유량은 2

년 넘게 지속되는 심각한 가뭄으로 역대 최저치를 기록하고 있다.

그러나 이제 첨단 예측 모델을 통해 도시는 놀라운 정밀도로 물 부족 상황을 예상하고 대응할 수 있게 되었다. 물 인프라에 양자 센서를 통합함으로써, 도시 시스템 기능에 보다 세부적인 데이터를 제공하여 물 보존 및 분배에 대한 보다 정교한 접근 방식이 가능해졌다. 이 시스템이 다양한 출처로부터의 데이터를 집계해 기후가 지역에 미치는 영향을 보다 더 정확하게 예측해주기 때문에 사전 대응적 접근 방식이 가능해진 것이다.

마침내 도시 계획 프로세스에서 환경 성과 데이터에 대한 관심이 개발 관행을 변화시키기 시작했다. 이제 도시 계획자들은 AI 시스템을 통해 제안된 프로젝트의 환경 영향을 전혀 없는 정확도로 모델링하여 환경을 고려한 설계 결정을 내릴 수 있게 되었다. 이러한 능력은 즉각적인 환경 영향을 넘어 장기적인 기후 회복력과 적응 잠재력까지 고려하는 것이다.

그러나 AI의 사용은 기후 스트레스에 대한 대응 계획을 지원하는 것에 그치지 않는다. 자율적인 환경 대응 시스템의 등장은 앞으로 도시가 변화하는 환경 조건에 자율적으로 적응할 수 있게 되었음을 다시 한번 시사해준다.

엣지 컴퓨팅과 양자 센서에서 상당한 기술적 발전이 이루어지면서 자율주행 같은 분야에서 실시간 운영이 가능해졌다. 이 기술을 사용하면 도시 환경에서 신속하고 즉각적인 대응이 가능해져 결과적으로 여러 시스템이 연계되어 조정된 대응을 할 수 있다. 실제로 바르셀로나와 도쿄에서의 초기 구현 사례가 있다. AI 시스템이 폭염 중에 건물 시스템을 조정하는 일부 폭우 중에 배수 시스템을 최적화하는 일까지 환경 스트레스 요인에 총체적으로 대응함으로써 도시 운영을 탄력적으로 조정할 수 있음을 보여준 것이다.

도시 간에 환경적 지능을 공유하는 네트워크의 출현은 기존의 개별 도시 차원 대응을 넘어서는 도시 기후 조치의 유망한 발전 가능성을 다시 한번 보여준다. 도시들은 이런 네트워크를 통해 서로의 경험에서 배우는 동시에 환경 문제에 대한 지식을 공유함으로써 보다 협력적인 접근 방식을 개발할 수 있게 되었다.

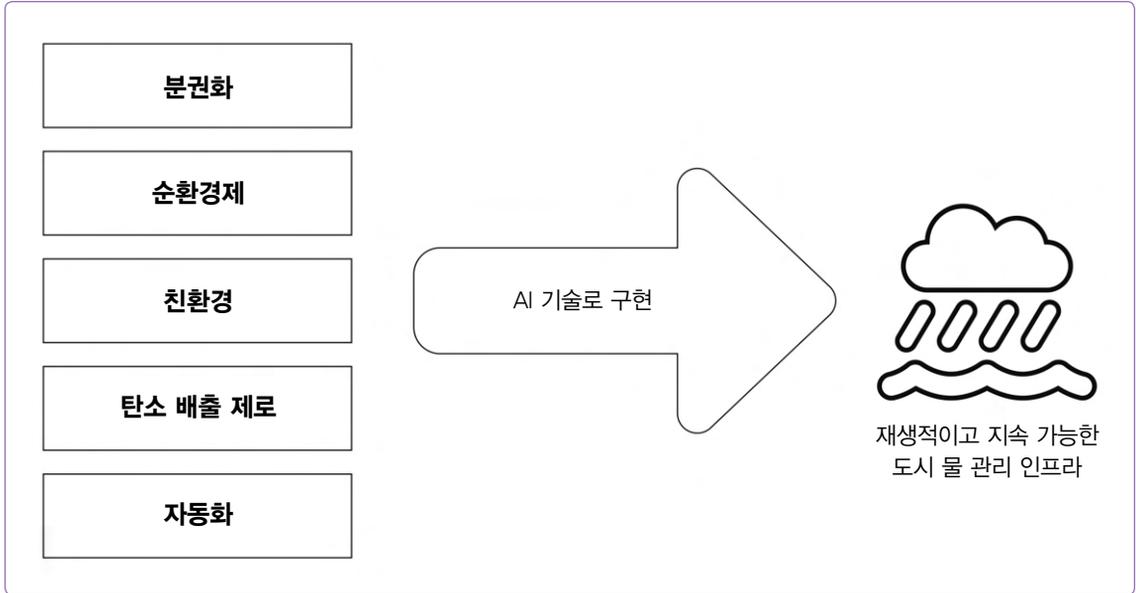


Figure 2
AI 기반 도시 수자원 인프라의
구성 요소

사회에 미치는 영향: **포용적이고 다양한 도시 공간** **구축을 가능하게 해주는 AI**

도시 환경에서의 AI 통합은 시민이 도시 환경과 상호 작용하는 방식, 그리고 직접 의견을 제시하고 더 많은 정보를 얻고 의사 결정에 참여하는 방식에 근본적인 변화를 만든다. AI 기반 시스템을 사용함으로써, 더 다양하고 포용적인 도시 환경의 조성을 목표로 하는 기존의 활동들을 개선하고 지원할 수 있으며, 이해 관계자들에게 스마트시티 맥락에서 사회적 또는 세대적 자분을 올바르게 평가하기 위한 새로운 계획이나 새로운 방식의 개발을 촉진하는 도구를 제공한다.

시민과의 협의를 위한 디지털 트윈 인터페이스의 등장은 참여형 도시 거버넌스에 상당한 진전을 가져왔다. 바르셀로나와 헬싱키를 포함한 도시들은

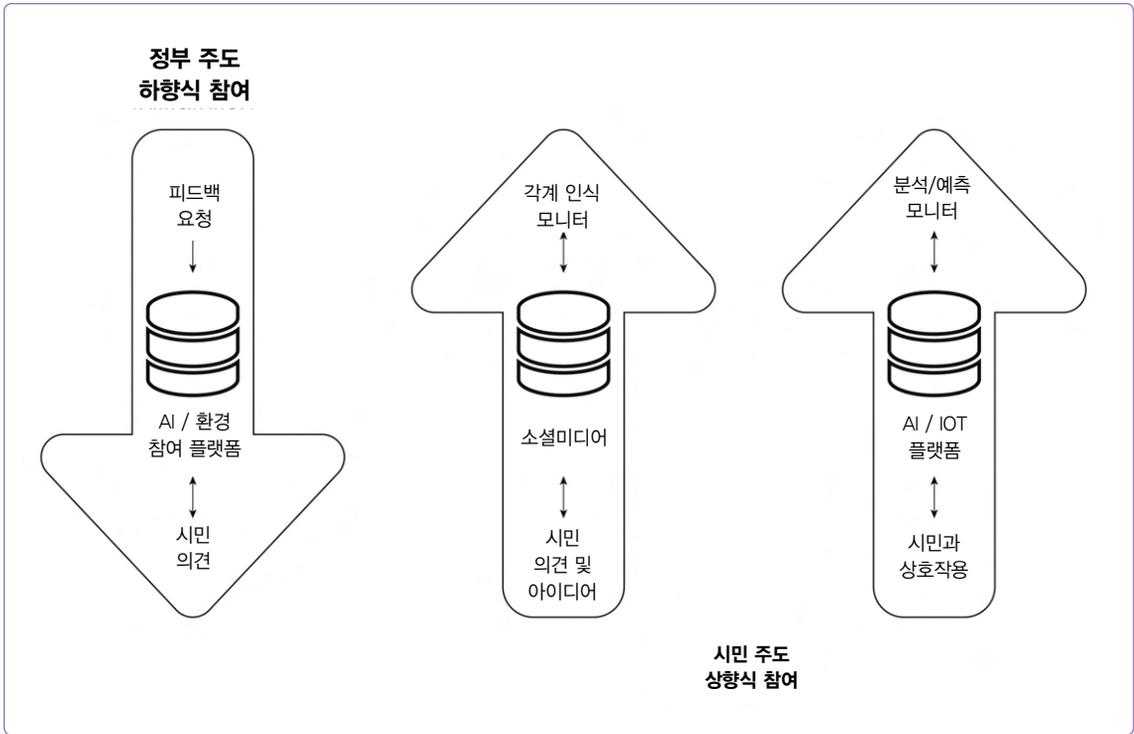


Figure 3
기술 주도 참여 모델

시민들이 몰입형 인터페이스를 통해 제안된 도시 변화를 시각화하고 의견을 제시할 수 있는 정교한 플랫폼을 개발했다. 이 도시들은 AI로 인해 가능해진 개인 맞춤형 기능을 통해 공공 서비스의 획기적인 변화를 추구하면서 포용성도 함께 제고시켰다. 이들은 정교한 서비스 제공 플랫폼을 구축해 행정의 간접비를 줄일 수 있었을 뿐만 아니라 동시에 사용자 만족도를 높여 공공 예산 사용의 효율성을 가져왔다. 또한 참여에 대한 기존의 장벽을 낮추고, 커뮤니티 의식을 강화하며, 포용성을 강화하는 동시에 보다 정보에 입각한 대중 담론과 토론을 수행해 나갈 수 있도록 했다.

논란의 여지는 있지만, 도시 디지털 신원 확인 시스템의 개발도 또 하나의 중요한 사회적 혁신을 의미한다. 중요한 개인 정보 보호라는 문제가 제기되고 있기는 하지만, 한편으로 신중하게 구현된다면 사회적 포용성을 강화하는 동시에 시민 서비스 제공을 개선할 수 있는 잠재력을 보여준다.

AI 통합을 통한 도시 안전 시스템의 진화는 기회와 도전을 동시에 제시한다. 첨단 시스템은 공공 안전을 개선할 수 있는 잠재력을 보여주지만, 성공적인 구현을 위해서는 투명성과 지역 사회의 관리 감독이 보장되어야 한다.

서울의 스마트시티 플랫폼(서울특별시, 2024) 구현은 실시간 데이터 처리 및 디지털 표현에서 그 역량이 크게 향상되었음을 보여준다. 서울시는 이 플랫폼이 영향을 미치는 범위를 지속적으로 확대하고 있으며, 서울 오픈 데이터 웹사이트(Seoul Open Data Website, 서울특별시, 시기 미상)를 통해 기업과 시민뿐만 아니라 관광객에게도 데이터를 제공하고 있다.

데이터 인텔리전스 서비스 플랫폼을 제공하는 서울의 스타트업 '화이트스캔'^{White Scan}의 재난 예방 지리 정보 시스템GIS은 AI 기반 보안 도구의 이점과 데이터 보안 측면에서의 도전을 동시에 보여주는 흥미로운 사례다. 이 시스템은 휴대전화 사용 및 모바일 결제에 대한 정보와 서울의 수많은 보안 카메라에서 실시간으로 촬영한 영상 데이터를 통합하는 빅데이터 접근 방식을 사용해 군중의 동향과 움직임을 예측한다.

그러나 안타깝게도 2022년 10월 29일 밤 150명 이상이 사망하고 200명 가까이 부상 당한 이태원 할로윈 참사가 발생했을 당시 이 시스템은 개발 단계에 있었다. 이 스타트업의 시스템이 앞서 개발되었더라면, 사고가 일어나기 전 해당 지역에서 수집한 데이터를 사용해 서울 이태원 지역의 좁은 골목길에서 보행자의 흐름을 예측하고 관리할 수 있는 방법을 제시할 수 있었을 것이다.

이 시스템이 효과적으로 사용될 수 있는 것은, 서울 시내에 수많은 데이터 출처가 존재하고, 일반적으로 관대한 한국의 데이터 보호 정책으로 인해 개인 정보에 쉽게 접근할 수 있기 때문이다. 하지만 유럽의 도시에서 이 같은 시스템을 구현하는 것은 불가능할 것이다. 실제로 한국의 화이트스캔이 운영하는 머신 러닝 모델을 훈련하고 실행하는 데 필요한 대부분의 데이터가 EU 내에서는 엄격한 개인 정보 보호법에 속하기 때문이다.

시 기반 스마트시티의 성공을 위한 전략적 조언

스마트시티를 추진하려는 리더들에게 데이터 거버넌스가 가장 중요한 전략적 고려 사항으로 떠올랐다. 지속적으로 성공적인 모습을 보여주는 도시들은 대개 첨단 AI 시스템을 배포하기 전에 데이터 수집, 관리 및 공유에 대한 명확한 프로토콜을 수립한다. 이러한 프레임워크는 운영 요구 사항과 개인 정보 보호를 균형 있게 조정하면서, 대중의 신뢰를 유지하기 위하여 충분한 투명성을 보장해야 한다.

다행히 효과적인 접근 방식에 대한 증거가 축적됨에 따라 AI 구현을 위한 투자 전략도 더욱 정교해졌다. 앞서가는 도시들은 빠른 성과와 장기적인 혁신 프로젝트가 균형을 이루는 포트폴리오 접근 방식을 점점 더 많이 채택하고 있다. 초기에는 과한 의욕으로 종종 잘못된 순서로 실행된 프로젝트들이 있었지만, 이제 도시들은 보다 신중한 접근 방식을 통해 지속 가능한 결과를 기대하고 있다.

지역적 또는 글로벌 의제에 대한 도시 간 학습 네트워크를 충분히 활용하면 AI 구현에서의 위험을 크게 완화할 수 있을 것이다. 또 체계적인 지식 교환 프로그램에 참여함으로써 AI 구현에 따른 함정을 피하면서 더 나은 결과를 달성할 수 있다.

양자 기술 준비에 대한 투자도 점점 더 중요한 전략적 고려 사항으로 떠오르고 있다. 양자 컴퓨터가 광범위하게 확산되는 것은 아직 먼일이지만, AI 시스템을 구현하는 도시들은 현재의 아키텍처 결정에서 양자 보안의 영향을 고려해야 한다. 이러한 전략적 방향이 기술적 측면을 넘어 광범위한 결과를 초래하기 때문이다. 도시는 기술과 지원을 제공하는 기업에 유리한 조건을 조성하고 잘 훈련된 고급 인력을 유치할 수 있는 곳임을 보여주어야 하며, 혁신과 투자에 유리한 생태계로서의 자격이 충분함을 입증해야 한다.

지속 가능한 접근 방식에 대한 증거가 축적됨에 따라 AI 구현을 위한 자

금 조달 모델 또한 계속 발전하고 있다. 혁신을 통해 투자자를 끌어들이고, 민관 파트너십에 대한 투자 전략을 개방하면 도시는 더 다양한 자금원을 확보할 수 있게 된다. 앞서 언급한 바 있는 토큰화라는 혁신적인 접근 방식을 통합함으로써 도시는 시민이 혁신적인 전략의 수혜자일 뿐만 아니라 도시 개발에서 재정적 이익을 얻을 수 있는 당사자가 되게 하는 새로운 모델을 개발할 수 있다.

자금 조달의 초기 모델은 대개 외부 자금이 크게 의존하는 경우가 많았지만, 보다 지속 가능한 모델이라면 시스템의 혜택으로부터 얼마나 많은 가치를 창출하느냐를 강조할 것이다. 이 접근 방식은 장기적으로 시스템의 품질을 유지하는 데에도 특히 중요하다. 도시 개발에 AI 기반 기술을 통합하려는 계획을 세움으로써 도시는 스마트시티 환경을 상호 연결된 네트워크 시스템으로 발전시킬 수 있고, 그에 따라 그런 시스템을 구현하고 운영하는 경험을 수익으로 만들 기회를 기대할 수 있다.

결론

양자 기술로 강화된 디지털 트윈에서부터 정교한 환경 모니터링 시스템에 이르기까지 기술적 역량은 계속해서 빠르게 발전하고 있지만, 지속적인 성공은 기술 중심 추진 방식보다는 여러 우선 순위의 사안들을 균형감 있고 신중하게 결정할 수 있는 제도적 장치와 시행 전략에 달려 있는 것으로 보인다.

공공 의사 결정의 이해 관계자들과 도시 계획가들은, AI 기반 기술을 통하여 필요한 기술과 예산 효율성을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 AI 기술이 보여주는 높은 수준의 확장성으로 인해 지금까지 각 도시별로 관리되어 온 도시 시스템을 상호 연결할 수 있는 전례 없는 강력한 도구를 얻게 되었다. 도시들이 기존의 성숙한 유산과 새로운 혁신 시스템을 적절하게 조율하면 도시가 직면한 과제에 대응할 수 있는 새로운 방법을 모색할 수 있다.

투자자 입장에서 보면, 도시의 상호 연결 측면이 가장 중요한 투자 기회를 제공하는 요인이라 할 수 있다. 앞서 언급한 기술적 확장성은 재정적 확장성으로 이어져 도시 시스템을 매력적인 투자 수익원으로 바꿀 수 있기 때문이다. 시민들은 토큰화를 통해 스스로 재정적 이해관계자가 될 수 있고, 도시 환경의 발전에 영향을 미칠 수 있는 추가적인 가능성까지 엿볼 수 있다.

마지막으로, 지역적 의제, 특히 글로벌 의제의 상호 연결은 도시 상호 간 자극의 원천이 될 수 있다. 도시들이 지식, 경험 및 데이터를 공유하면 각각의 도시가 지니는 역량의 합보다 훨씬 더 큰 스마트시티가 가능해지며, 스마트시티 전문가의 국제적 커뮤니티도 형성될 수 있다.

오늘날 도시들은 개별 도시 영역과 영향권을 넘어서는 전례 없는 도전에 직면해 있다. 지구와 사회가 직면한 도전에 대처하기 위해서는 집단 지성과 창의력을 최대한 활용해야 한다. 그것이야말로 도시 커뮤니티가 역사 이래 수천 년 동안 활용해 온 상호 연결된 힘이다.

| References |

1. Ajuntament de Barcelona. (n.d.). *City OS*. Retrieved from <https://ajuntament.barcelona.cat/imi/en/projects/city-os>
2. Ajuntament de Barcelona. (n.d.). *City OS*. Retrieved from <https://ajuntament.barcelona.cat/digital/en/technology-accessible-everyone/accessible-and-participatory/accessible-and-participatory-0>
3. Ajuntament de Barcelona. (2023). Barcelona Digital Twin Initiative. Retrieved from <https://ajuntament.barcelona.cat/digital/en>
4. Amsterdam Smart City. (2024). Amsterdam Innovation Platform. Retrieved from <https://amsterdamsmartcity.com/>
5. Copenhagen Solutions Lab. (2024). City Data Exchange. Retrieved from

- <https://cphsolutionslab.dk/>
6. C40 Cities. (2016). C40 Good Practice Guides: Rotterdam - Climate Change Adaptation Strategy. Retrieved from <https://www.c40.org/case-studies/c40-good-practice-guides-rotterdam-climate-change-adaptation-strategy/>
 7. European Commission. (n.d.). Smart Cities and Communities. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/smart-cities-and-communities>
 8. European Commission. (n.d.). Smart Cities Marketplace. Retrieved from <https://smart-cities-marketplace.ec.europa.eu>
 9. Hämäläinen, M. (2021). Urban development with dynamic digital twins in Helsinki city. IET Smart Cities. 3. 10.1049/smc2.12015.
 10. Helsinki Digital Twin Project. (2024). City of Helsinki 3D. Retrieved from <https://kartta.hel.fi/3d/>
 11. Moncada Rivera, F. (2024). Smart cities — are corporates missing an investment opportunity? Global Corporate Venturing. Retrieved from <https://globalventuring.com/corporate/overview/cities-smart-connected/>
 12. Pereire, K., Yingxin, L. (n.d.). Tokenization Of Real-World Assets – Singapore And Switzerland Set The Standard. KGP Legal. Retrieved from <https://www.kgplegal.com.sg/news-and-insights/tokenization-of-real-world-assets-singapore-and-switzerland-set-the-standard/>
 13. Seoul Metropolitan Government. (2024). Seoul Smart City Platform. Retrieved from <https://smart.seoul.go.kr/>
 14. Seoul Metropolitan Government. (n.d.). Seoul Open Data Website. <https://data.seoul.go.kr/SeoulRtd>
 15. Singapore Land Authority. (2014). Virtual Singapore – A 3D City Model

Platform for Knowledge Sharing and Community Collaboration. Retrieved from <https://www.sla.gov.sg/articles/press-releases/2014/virtual-singapore-a-3d-city-model-platform-for-knowledge-sharing-and-community-collaboration>



**SMART CITY
T O P
A G E N D A
2 0 2 4**

AI Smart Cities Operating Systems: Harnessing Autopoiesis, Collective Intelligence and City DNA as a new model

AI 스마트시티 운영 체제 AI/SCOS:

자기 생성, 집단 지성 및 도시 DNA를 새로운 모델로 활용

크리스토퍼 그랜트 커완

Christopher Grant Kirwan



AI Convergence 대표이자 영국 레딩대학교University of Reading 헨리비즈니스스쿨Henley Business School 객원교수. 크리스토퍼는 부동산 개발, 도시 계획, 건축, 기술, 뉴미디어 등 다양한 분야의 전문가, 학자, 기업가로서 스마트시티 설계에서 물리적 영역과 디지털 영역을 통합하는 데 주력해왔다. 그는 뉴욕, 밀라노, 서울, 두바이, 베이징, 리우데자네이루, 런던, 리야드 등 여러 도시에서 근무했다. 2009년부터 2015년까지는 베이징의 화빈그룹华彬集团: Reignwood Group에서 글로벌 브랜드 디렉터와 국제사업개발 담당 부사장으로 재직하며 수십억 달러 규모의 투자를 관리했다. 또한 뉴욕 파슨스Parsons디자인스쿨, 사우디 프린스술탄대학교Prince Sultan University, 레딩대학교, 중국 칭화대학교, 하버드대학교 등 여러 기관에서 강의도 병행했다. 그는 미국 로드아일랜드 디자인스쿨RISD에서 건축 및 미술 학위를 취득하고 MIT에서 대학원 과정을 마쳤다. 2020년 5월 네덜란드의 과학기술 전문 출판사인 엘스비어Elsevier에서 AI와 스마트시티에 관한 그의 최신 저서가 출간되었다.

E-mail: christopher.g.kirwan@gmail.com

초록

본 논문은 자기 생성, 집단 지성과 도시 DNA 개념을 활용하여 도시 관리와 개발을 재구상하는 AI 기반 스마트시티 운영 체제 *AI SCOS*를 위한 혁신적인 모델을 제안한다. 정적인 프레임워크와 달리, 이 모델은 도시를 살아있는 유기체와 같은 동적이고 진화하는 시스템으로 개념화했다. 도시의 DNA는 각 도시의 공간적, 경제적, 사회적 및 문화적 특성을 반영한 독특한 청사진으로 이 모델의 기초를 형성하며, 각 도시의 본질을 담고 그 도시의 기술적 통합과 진화에 대한 정보를 제공한다. AI SCOS는 자율적 생성의 원칙, 즉 자율 조절, 적응, 자기 생성을 통합하여 이 프레임워크를 기반으로 구축된다. 이를 통해 실시간 데이터를 활용하여 상황 인식과 적응적 대응을 촉진하는 시스템을 형성한다.

AI SCOS는 도시의 '중추 신경계' 역할을 하며 인간, 기술 및 환경 시스템 간의 상호 작용을 조화롭게 조정하여 회복력과 자원 효율성을 유지한다. 도시 기능, 센서, 시민 피드백, 환경 데이터를 통한 집단 지성은 도시가 지속적으로 적응할 수 있게 하며, 실시간으로 변화에 대응하면서도 고유한 정체성을 유지할 수 있도록 해준다. 이러한 방식으로 AI SCOS는 도시가 전통적이고 경직된 도시 관리 구조를 벗어나 기술 및 사회적 변화에 따라 진화하는 자립적이고 재생 가능한 생태계로 거듭나도록 지원한다.

이 논문은 도시가 자율적이고 지속적인 자기 조직화를 통해, 반응적이고 회복력이 있으며 자율 조절이 가능한 자기 생성 시스템으로 운영되는 변혁적인 미래를 위한 토대를 마련한다. 도시 DNA를 AI 기반 적응형 아키텍처에 통합함으로써, 각 도시의 고유한 공간적, 경제적, 사회적 및 문화적 청사진을 중심으로 운영 체제가 개발되면, 기술적 및 사회적 변화와 함께 진화하는 도시 환경이 가능해질 것이다. 대한민국은 첨단 기술 인프라, 중앙 집권적 거버넌스, 문화적 응집력이 결합되어 있어 자기 생성 운영 체제 *Autopoietic Operating Systems*를 시범 운영하기에 이상적인 환경을 갖추고 있다.

키워드

인공지능, 집단 지성, 자율 조절 도시, 지속 가능성, 자기 생성

● ABSTRACT ●

This paper proposes a pioneering model for AI-enabled smart city operating systems (AI SCOS) that harnesses autopoiesis, collective intelligence, and the concept of City DNA to reimagine urban management and development. Unlike static frameworks, this model conceptualizes cities as dynamic, evolving systems akin to living organisms—able to self-regulate, adapt, and transform. City DNA, the unique blueprint of each city’s spatial, economic, social, and cultural attributes, forms the foundation of this model, encapsulating each city’s essence and informing its technological integration and evolution. AI SCOS builds upon this framework by integrating principles of autopoiesis—self-regulation, adaptation, and self-creation—into a system that leverages real-time data to foster situational awareness and adaptive responses.

The AI SCOS acts as a city’s “central nervous system,” harmonizing interactions among human, technological, and environmental systems to maintain resilience and resource efficiency. Collective intelligence, fueled by inputs from urban functions, sensors, citizen feedback, and environmental data, enables the city to adapt continuously, responding to shifts in real-time while preserving its unique identity. In this way, AI SCOS enables cities to transcend traditional, rigid urban management structures, emerging as self-sustaining, regenerative ecosystems that evolve alongside technological and societal changes.

This paper lays the groundwork for a transformative future where cities operate as self-regulating autopoietic systems—responsive, resilient, and capable of continuous self-organization. By embedding City DNA within AI-driven, adaptive architectures, operating systems will be developed around each city’s unique spatial, economic, social, and cultural blueprint, allowing for urban environments that evolve in tandem with technological and societal shifts. South Korea’s distinctive blend of advanced technological infrastructure, centralized governance, and cultural cohesion provides an ideal context for piloting Autopoietic Operating Systems.

KEYWORDS

Artificial intelligence, Collective Intelligence, Self-regulating cities, Sustainability, Autopoiesis

들어가며

도시는 고정된 독립적 개체가 아니다. 도시는 살아있는 유기체와 비슷하게 진화하며 적응, 도태, 변이를 통해 더 복잡한 형태로 스스로 변화해 나간다. 우리는 문명이 뚜렷한 패턴을 따라 흥망성쇠를 거듭하는 것을 봐 왔지만, 오늘날의 도시는 세계화와 지속적인 변혁의 시대에 편입되어 있다. 오늘날의 도심이 환경 파괴에서부터 급속한 인구 증가에 이르기까지 여러 가지 도전에 직면하게 되면서, 도시를 스스로 살아남기 위해 진화하는 시스템으로 이해해야 할 필요성은 그 어느 때보다 시급해졌다. 이러한 관점을 수용해야만 지속 가능성을 달성하고 불확실한 미래 앞에서 시스템 붕괴를 피할 수 있다.

이러한 접근 방식의 핵심에 바로 도시 DNA 개념(도시의 공간적, 경제적, 사회적, 문화적 특성을 모두 망라해 도시의 고유한 내재적 정체성을 정의하는 프레임워크)이 있다. 도시 DNA가 지리, 역사, 문화 및 기술 역량에 의해 형성된 각 도시 환경의 기본적 본질을 구현하기 때문이다. 생물학적 DNA가 유기체의 유전적 구성을 결정짓듯, 도시 DNA는 각 도시의 고유한 특성을 이해하고 육성하기 위한 청사진을 제공한다. 이를 통해 기술은 도시의 핵심 정체성과 일치하는 방식으로 원활하게 통합되고, 각 도시의 진화에 맞게 적절하게 조정될 수 있다. 그러나 각 도시의 운영 시스템이 복잡해지면서 새로운 지능이 필요해졌다.

이 논문에서 소개하는 AI 스마트시티 운영 체제 AI SCOS의 개념은 이러한 이해를 바탕으로 자기 생성의 원리, 즉 스스로 조절하고 적응하며 창조하는 원리와 각 도시의 고유한 DNA에 적용된 집단 지성의 힘을 결합하여 구축되었다. 이러한 접근 방식을 통해 도시는 인간, 기술 및 자연 시스템이 조화롭게 상호 작용하는 자기 조절 생태계로 기능할 수 있다. 또 이 같은 AI 기반 프레임워크를 통해 도시는 역동적으로 균형 잡힌 자원 할당을 할 수 있고, 급속한 환경 변화에 대처하며, 실시간 데이터에 대응하면서 지속적으로 학습하고 진화함으로써 회복력을 키워나갈 수 있다. 따라서 AI SCOS는 도시의 ‘중

추 신경계' 역할을 하며 실시간 도시 기능, 센서, 시민 피드백, 환경 데이터 등의 입력을 처리하고, 지속적인 상황 인식 및 적응력을 유지한다.

집단 지성을 활용하고 도시 DNA를 적응형 자기 생성 아키텍처에 통합함으로써 AI SCOS는 도시들이 기존의 경직된 운영 체제와 도시 관리 모델을 초월하도록 지원한다. 이 프레임워크에서 도시는 단순히 인프라와 서비스의 집합이 아니라, 성장과 재생이 가능한 역동적이고 살아있는 생태계다. AI SCOS는 도시들이 회복력 있고 지능적인 환경으로 성장할 수 있도록 돕는 새로운 패러다임을 제시하며 인간, 기술, 자연 간의 균형 잡힌 관계를 촉진한다.

이 논문은 도시 환경을 자기 생성 시스템, 즉 스스로 지속하고 적응하며 끊임없이 자기 조직화를 할 수 있는 시스템으로 재구성함으로써, 도시가 기술 발전과 사회적 변화에 따라 미래로 진화하기 위한 토대를 마련할 것이다. 이 모델에서 도시의 삶은 지속될 뿐 아니라 더욱 풍요로워지며, AI SCOS는 급격한 글로벌 변화 시대에 지속 가능하고 대응적이며 회복력이 뛰어난 도시의 청사진을 제시한다.

도시를 자기 생성 시스템으로 보는 초기 개념은 저자의 이전 연구인 <사이버네틱 재탐구: 집단 지성 시대로 나아가다, 프린스턴 출판부, 2011>(Cybernetic Revisited; Towards a Collective Intelligence; Princeton Press, 2011)에서 이미 탐구된 바 있다.

이 새로운 사이버네틱 프로세스는 기하급수적으로 증가하는 계산 능력에 의존해 전 세계적인 활동과 그에 따른 행동 패턴에 대한 실시간 문서화를 제공하는 데 필요한 방대한 데이터를 처리하고 필터링할 것이다. 집단적 생태계 내의 각 요소를 이해하기 위해서는 각 요소들의 지질학적 및 기후 조건, 포식성, 수명 주기 등과 같은 여러 요인들을 상호 연관시켜 주의 깊게 추적해 보아야 한다. 이 복잡하고 다차원적인 데이터 환경에서 시각화의 역할은 그런 현상들의 새로운 패턴과 프로세스를 인식하

는 능력을 제공하는 데 핵심이 될 것이다. 미시적/유기적 상태에서부터 거시적/지구적 상태에 이르기까지 다양한 출처에서 나온 정보에 맞춰 시뮬레이션해야 하기 때문에 시각화 자체는 유기적일 수밖에 없을 것이다. 이 새로운 사이버네틱 형태의 저항을 만들고, 비정상적인 추세와 예외적인 현상을 밝혀내고, 자원을 보다 효과적으로 활용해 재앙이 발생하기 전에 이를 예방할 수 있는 능력을 제공하는 데에는 인공지능의 역할이 매우 중요하다고 본다.

도시 시스템에서 자기 생성의 개념

그리스어 ‘auto’(self-자율)와 ‘poiesis’(creation-생성)에서 유래한 Autopoiesis(자기-생성)는 한 시스템이 내부 프로세스를 통해 스스로를 지속시키는 능력을 말한다. 이 개념은 1972년 생물학자 움베르토 마투라나Humberto Maturana와 프란시스코 바렐라Francisco Varela가 그들의 획기적인 저서 《자기 생성과 인지: 살아있음의 실현》(Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living, 2023)에서 소개하였으며, 생명체가 생존에 필요한 모든 구성요소를 독립적으로 생성하고 유지할 수 있게 하는 본질적인 과정을 정의하였다. 따라서 자기 생성 시스템은 본질적으로 생명을 유지하기 위해 구조와 기능을 모두 관리하는 내재된 자발적 기관이다.

마투라나와 바렐라의 프레임워크는 생물학적 유기체에서 사회 및 조직 시스템으로 확장되며 나아가 도시 환경에 명확하게 적용된다. 여기서 도시는 복잡하고 진화하는 시스템으로 기능해야 하며 그러기 위해서는 지속적인 적응과 피드백 루프가 필요하다. 생명체와 마찬가지로 도시는 환경 변화에 스스로 조절하고 적응해야 하며, 이러한 능력은 AI를 통해 강화되어 도시가 자원을 역동적으로 균형감 있게 조절하고, 환경 변수를 모니터링하면서 내부

또는 외부 변화에 적응할 수 있게 한다.

자기 생성 렌즈를 통해 도시를 살펴보면, 상호 연결된 여러 개의 하위 시스템이 조화를 이루며 실시간으로 작동하는 복잡한 시스템으로 이해할 수 있다. 인체에 비유하자면 도시는 순환, 에너지 흐름, 폐기물 관리 등과 같은 상호 의존적인 기능을 가진 ‘게슈탈트(gestalt, 형태)의 형성’으로 볼 수 있다. 이러한 기능들은 인간, 기계, 환경적 요인에서 나오는 실시간 데이터에서 정보를 얻으며, 중요한 운영 통찰력을 제공한다. 도시 시스템이 인공지능에 의해 증강된 빅데이터를 사용해 실시간으로 상황을 필터링, 분석 및 대응함으로써 도시가 자체적으로 조절이 가능한 생태계로 성장해 나가는 것이다. 문제는 운영 요건과 대응 시간이 각기 다른 도시의 하위 시스템들을 어떻게 인간 중심으로, 또 자율 지능 기능을 모두 아우르는 일관된 도시의 전체 운영 시스템으로 통합하느냐 하는 것이다.

자기 생성 시스템의 결정적 특성은 환경과 지속적으로 상호 작용하면서 물리적 및 조직적 구조를 재편하는 능력이다. 바로 이러한 능력 때문에 도시는 핵심 경계를 유지하면서 구조와 자원 관리를 통해 스스로를 유지하고 자율적인 조직화와 복제, 적응을 할 수 있다.

예를 들어, 구조적 결합이라는 개념은 도시 시스템과 주변 환경 간의 상호 작용을 강조한다. AI는 기후 및 자원 가용성과 같은 요소에 대한 실시간 통찰력을 제공함으로써 그 결합을 더욱 강화시키는 한편 데이터, 에너지, 원료 등과 같은 자원의 흐름은 도시 기능에 필수적인 ‘도시 신진대사’*urban metabolism*를 형성한다. AI는 이러한 흐름을 평가하여 효율성과 지속 가능성을 최적화함으로써 보다 적응력 있는 도시 시스템을 구축할 수 있다.

AI SCOS가 도시 생태계를 자율 조절하고 적응 및 유지하게 만드는 이런 자기 생성적 특성은 다음과 같이 요약된다:

• **자율 조절** *Self-Regulation*: AI SCOS는 도시 기능과 프로세스를 자율적으로

모니터링하고 시스템을 조정함으로써 최적화된 효율성을 보장한다.

- **적응(Adaptation)**: AI 시스템이 머신 러닝을 통해 즉각적인 변화(예: 극한 날씨)와 장기적인 변화(예: 인구 변화 또는 자원 부족)에 적응하며 진화한다.
- **반복 및 피드백 고리(Recursion and Feedback Loops)**: 과거 데이터를 반영하고 반복적으로 개선함으로써 시스템은 지속 가능성을 향해 끊임없이 발전해 나간다.
- **생체 모방 및 지속 가능성(Biomimicry and Sustainability)**: AI SCOS는 자연적 과정을 모방해 지속 가능한 도시 관리 및 운영을 촉진한다.
- **예측 시스템 설계(Anticipatory System Design)**: AI SCOS는 실시간 데이터에 대응할 뿐만 아니라 예측 분석을 통해 미래 추세를 예측하여 잠재적 영향을 사전에 완화시킨다.

논문 <자기 생성 운영 시스템으로서의 도시>(Cities as Autopoietic Operating Systems)에서 저자들은 자기 생성을 구현하는 다양한 특성들을 표 1로 정의했다.

Table 1

AI 자기 생성 스마트시티 운영 체제의 특성

Source: 스마트시티를 위한 인공지능, 머신 러닝 및 최적화 도구를 사용한 융합적 자기 생성 시스템으로서의 도시; 지속 가능성을 위한 설계, 스프링거 (2022).

지각과 인지 Sentience and cognition	생활환경지능 Ambient intelligence	예측 능력 Anticipatory capabilities	구조적 결합 Structural coupling	구조적 결정론 Structural determinism
경험과 감각을 통해 이해하고, 지식을 습득하며 능력을 확장	증강된 자연환경, 상호작용적이고 반응적이며 예측 가능한, 도처에 존재하지만 비물리적 기반의 지능	예측 능력, 반응이 아닌 선도, 민첩성과 회복력, 체계적 위험과 복잡성 관리	개체와 환경의 상호 관계, 공생과 상호 의존, 시너지를 통한 적응	형태는 기능을 따름, 끊임없는 진화적 메커니즘, 지속적인 완성과 최적 상태를 향한 추구

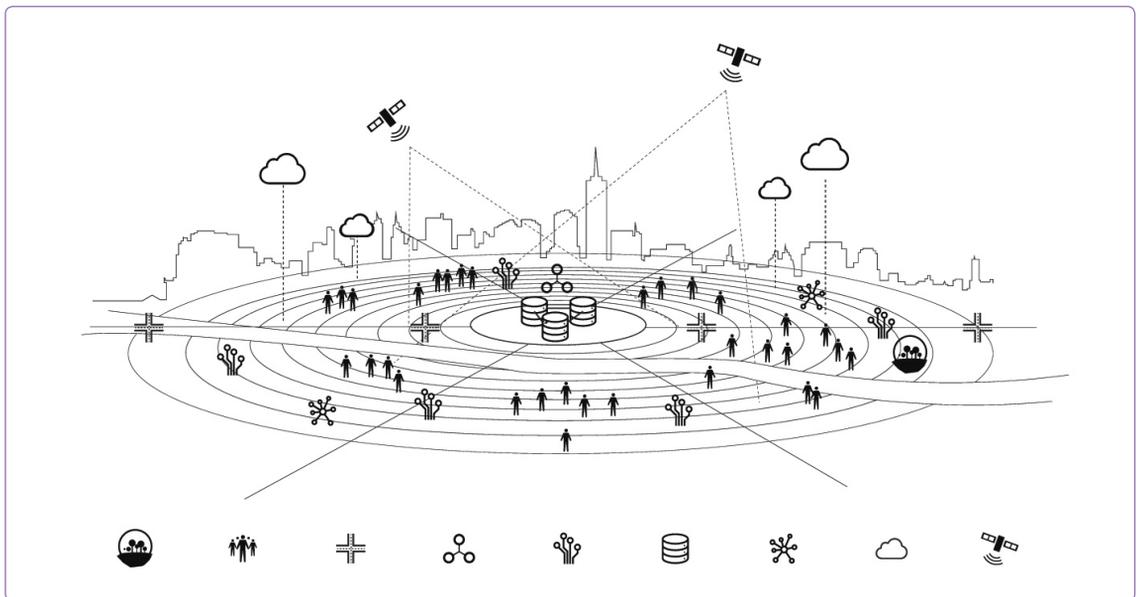
시 스마트시티 운영 체제 AI SCOS

AI SCOS는 도시가 기존의 계층적 운영 시스템과 관리 구조를 벗어나 보다 유기적이고 민첩하며 적응적인 상태로 기능할 수 있게 해준다. 이러한 시스템은 자율 조절 및 자기 창조라는 자기 생성 원리를 집단 지성과 결합하여 다양한 도시 기능과 외부 요인에 대해 도시 환경이 자율적으로 조절하고 대응할 수 있도록 촉진한다. 도시의 중추 신경계 역할을 하는 AI가 센서, 스마트 기기, 인간 변수 및 환경 변수를 포함한 다양한 출처들에서 나오는 데이터를 지속적으로 처리하여 일정한 인식과 적응 상태를 유지해준다. 이러한 구조는 도시 행동 패턴에서 비상 상황까지 실시간 변화에 대응할 수 있게 하여, 효율적이면서도 회복력 있는 도시를 만들어낸다. 핵심적으로 AI SCOS는 모든 도시 기능을 관리하는 집단적이고 지능적인 의사 결정 센터 역할을 한다

Figure 1

도시 에코 시스템

Source: 스마트시티와 인공지능: 계획, 설계 및 운영 융합 시스템; 엘시비어 (2020)



는 것이다. 이를 통해 도시가 기술 발전과 사회 변화에 따라 진화할 수 있는 플랫폼을 제공하며, 예상치 못한 문제에 대비하고 장기적인 회복력을 보장할 수 있게 된다.

집단 지성과 자율성의 통합: 하이브리드 모델

AI SCOS는 도시 하위 시스템 전반에 걸쳐 집단 지성과 분산 자율성의 균형을 통해 구현된다. 여기서 집단 지성은 인간의 인지, AI 역량 및 상호 연결된 네트워크를 지속적인 의사 결정 프로세스에 결합하는 것을 말한다. 이 시스템은 도시 지도자, 이해 관계자 및 시민의 지혜를 AI의 계산 능력과 결합하여, 주민의 요구에 지능적이고 적응력 높게 대응하는 도시를 만든다.

이 모델에서 집단 지성은 지식, 소프트웨어, 하드웨어 및 기술 전문성들이 결합된 시너지 효과에서 발생한다. 전체가 부분의 합보다 크다는 게슈탈트 관점은 복잡한 도시 환경에 대한 이해와 관리를 향상시킨다. 여기서 기술은 도시 기능과 시민의 웰빙을 최적화하며 시민은 생태계의 필수적이고 건강한 구성요소 역할을 한다. 시민들은 '인지적 노드'^{epistemic nodes}로서 도시의 집단 지성에 적극적으로 기여하여 시스템의 자율 조정과 진화 능력을 강화한다.

교통 및 에너지 전력망에서 공공 서비스 및 환경 모니터링에 이르기까지 수많은 동적 시스템이 통합되면서 도시는 더욱 복잡해진다. AI SCOS는 이러한 하위 시스템들을 관리하면서 각 하위 시스템이 자체의 지능과 자율성을 유지할 수 있도록 해주는 '두뇌'의 역할을 수행한다. AI SCOS의 하이브리드적 특성은 필요에 따라 중앙 집중적인 제어를 수행하고, 동시에 하위 시스템 전반에 분산된 자율성을 허용하는 이중 기능에 있다. 이를 통해 제각각 다른 도시 기능에 맞는 다양한 운영 체제, 즉 애플리케이션 및 솔루션을 통합하여

응집력 있으면서도 유연한 시스템을 가능하게 한다.

AI SCOS는 단순한 데이터 처리를 넘어서 도시 시스템이 학습하고, 예측적 결정을 내리고, 자동적으로 대응할 수 있도록 지원한다. 예를 들어, AI SCOS는 최대 에너지 수요를 예측하고, 교통 흐름을 최적화하고, 용수 공급에 문제가 생기면 이를 감지할 수 있다. 교통 관리, 폐기물 처리, 용수 공급 등 각 하위 시스템은 자율적으로 작동하지만 중앙의 AI와 연계하여 작동한다. 자율적 하위 시스템을 통해 이루어진 각 지역별 의사 결정은 AI SCOS가 설정한 도시 전체 목표(지속 가능성 목표 또는 재난 대비 등)와 공존한다. 이런 지능적 협력을 통해 도시는 국제 정책과 지역 규정을 동시에 맞춰가며 새로운 기술과 환경 요인에 적응하는 자율 조절 유기체로 가능하게 되는 것이다.

이 모델은 인간의 뇌가 특화된 신체 기능을 통합하면서도 각 장기가 독립적으로 기능하도록 하는 방식과 유사하게 도시 관리를 탄력적이고 적응적인 프로세스로 전환시킨다. AI SCOS가 운영 효율성도 높이고 도시의 지속적인 진화를 촉진하는 신경망 같은 통합을 달성하는 것이다. 중앙 집중형 AI와 분산형 지능의 이중적 조정으로 데이터가 원활하게 흐르고, 정보에 기반하여 의사 결정이 신속하게 이루어지며, 그에 따른 구체적 조치들이 도시 전체 목표와 지역적 요구 사항에 부합하는 반응적이고 적응력 있는 도시 환경을 조성한다.

본질적으로 이 하이브리드 프레임워크는 미래 스마트시티의 중추를 형성하며, 중앙 집중형 제어와 분산된 자율적 하위 시스템을 결합하여 각 부분의 합을 초월하는 도시 생태계를 육성한다. AI SCOS는 도시가 기술적으로 진보하도록 기여할 뿐 아니라, 국제 정책과 지역 규정을 모두 충족하면서 주민과 환경의 요구 사항에 신속하게 대응하고 적응하며 조화를 이룰 수 있도록 지원한다. 중요한 것은 이러한 정책이 끊임없이 진화한다는 것이다.

절충형 접근법: 하향식과 상향식 관점의 통합

AI 기반 도시를 구축하는 데 있어 한 가지 중요한 문제는 도시 관리자들이 단일 솔루션 기술 플랫폼에 의존하는 경향이 있다는 것이다. 이러한 단일형 시스템은 도시의 다양한 요구 사항과 기존 인프라의 복잡성을 간과할 수 있다. 따라서 도시의 다양한 요구 사항을 감안하면, 도시 관리자들에게는 경직되고 일률적인 솔루션이 아니라 시간의 경과에 따라 진화할 수 있는 적응 가능하고 유연한 플랫폼이 필요하다. AI SCOS 프레임워크는 구조화된 하향식 정책과 유기적인 상향식 시민 참여를 균형 있게 조화시키는 절충형 접근 방식을 도입한다. 이러한 접근 방식은 기술적으로 지속 가능할 뿐 아니라 사회적, 경제적, 환경적 차원을 포함하는 스마트시티 시스템의 유연한 성장을 가능하게 한다.

절충형 접근법의 개념 *The Middle Ground concept*은 광범위한 정책 프레임워크, 비즈니스 혁신 및 시민의 풀뿌리 참여를 통합하는 것의 중요성을 강조하며 정부, 기업 및 시민 모두 중요한 역할을 하는 스마트시티 생태계를 조성하는 데 중점을 둔다. 이러한 다층적 참여를 통해서 각 그룹이 도시 운영에 의미 있게 기여하고, 도시 인프라, 비즈니스 생태계 및 지역적 요구 사항을 통합하는 동시에 총체적인 실행 가능성과 지속 가능성을 달성할 수 있다. AI SCOS는 모든 이해 관계자가 적극적으로 참여하는 공통 플랫폼 역할을 함으로써 지방 자치 단체의 목표, 비즈니스 및 재정적 요건, 지역사회의 열망을 조화롭게 통합하는 것을 용이하게 한다.

스마트시티 개발에 대한 이와 같은 절충형 접근 방식은 다음 세 가지 요소로 구성된다:

- **하향식 통합** *Top-Down Integration*: 도시 관리자와 정책 입안자는 기능적인 스마트시티에 필요한 기본 프레임워크와 인프라를 마련한다. 여기에는 포

괄적인 정책 구현, 규정 준수 대책, 대중교통, 에너지 전력망, 연결 네트워크 등과 같은 필수 인프라 구축이 포함된다.

- **절충 시너지**Middle Ground Synergy: 기업, 기술 플랫폼 및 지역사회는 이러한 기존 프레임워크 내에서 혁신을 추구하고 특정 도시 기능에 맞는 맞춤형 분산 솔루션을 제공한다. 이들 이해 관계자들은 체계적인 프레임워크 내에서 일하면서 지역적 문제를 해결하는 특정 솔루션을 제공하여 유연성과 질서가 공존하는 환경을 조성한다.
- **상향식 참여**Bottom-Up Participation: 시민들은 모바일 앱, 소셜 미디어 플랫폼, 데이터 공유 시스템 등 디지털 도구를 활용해 도시 관리에 적극적으로 참여한다. AI 기반 피드백 루프를 통해 실시간 데이터를 제공하고, 자신의 요구 사항을 표현하며, 도시의 의사 결정을 형성하는 통찰력을 제공한다. 시민들은 이러한 방식으로 스마트시티 시스템의 구성요소가 되어 다양한 관점과 지역에 관한 지식으로 시스템을 향상시킨다.

AI SCOS 모델은 중앙 집중화된 권한, 기업 커뮤니티, 분산된 시민 의견 간 역동적이고 상호 작용하는 관계를 촉진한다. 도시 관리자는 하향식 통합을 통해 기반 시스템을 구축하고, 기업과 지역사회가 이를 기반으로 혁신적인 방식으로 기업의 요구 사항과 지역적 필요 사항을 해결해 나가도록 돕는다. 한편, 시민들도 디지털 도구를 통해 적극적으로 참여하여 행정 주체와 지역사회의 협력을 강화하는 상호 관계를 형성한다.

AI SCOS의 맥락에서 시민들은 지역의 데이터, 아이디어, 솔루션을 제공하여 도시의 집단 지성을 풍부하게 하는 지식 허브인 '인지적 노드' 역할을 한다. 시민 참여 앱과 데이터 공유 시스템 같은 디지털 플랫폼들이 지역사회의 역동성에 대한 피드백을 실시간으로 제공하며, 이런 피드백들이 모두 처리되어 도시의 운영 체제에 통합된다. AI SCOS는 이와 같은 다양한 지역사회 데이터를 수집하여 지역사회 간의 문화적, 환경적, 경제적 차이에 적응하고 지역의 요구 사항을 충족하는 맞춤형 서비스를 지원한다.

예를 들어 홍수나 정전과 같은 비상 상황에서 주민들은 시민 앱을 통해 즉각적인 현장 정보를 제공할 수 있으며, AI SCOS는 이 정보들을 처리하여 신속한 의사 결정과 자원 배치를 할 수 있다. 시민이 이러한 시스템과 상호 작용하면, 도시 관리자는 지역 사회의 흐름과 관심 사항을 이해하고 역동적인 도시 변화에 더 민첩하게 적응하고 대응할 수 있다.

머신러닝으로 강화된 집단 지성

AI는 인간 행동, 자원 사용, 환경 조건의 패턴을 식별하고 분석하여 도시의 집단 지성을 강화시킨다. 머신 러닝 알고리즘(Machine learning algorithms)은 이 방대한 양의 데이터 풀을 처리하고 학습하여 미래의 추세를 예측하고, 선제적으로 자원을 관리하며, 기후 변화나 인구 증가 같은 문제에 대비하여 도시 시스템의 회복력을 향상시킨다.

AI SCOS는 인간의 통찰력과 머신 러닝 능력을 결합하여 새로운 요구와 위기를 처리하면서 진화하는 미래 지향적 시스템을 만들어 나간다. 또한 AI SCOS의 '예측 시스템'은 과거 데이터와 실시간 데이터를 끊임없이 학습하여 예측 능력을 개선하고 회복력을 강화시킨다. 예를 들어, 공중 보건 관리에서 AI SCOS가 건강 데이터에 나타난 패턴을 모니터링하여 잠재적 발병을 조기에 감지하고 예방 조치를 취할 수 있다. 에너지 관리 사례에서도 AI SCOS가 수요 변동을 예측하고 유통을 최적화하여 도시를 효율적이고 회복력 있게 만들어 나간다.

따라서 AI SCOS의 절충형 접근법은 구조화된 거버넌스, 기업 활동 및 풀뿌리 창의성의 강점을 통합하여 기술적으로 진보하면서 인간 중심적인 도시로 나아가는 길을 열어준다. AI SCOS는 상향식 참여와 하향식 구조를 융합함으로써, 스마트시티가 유기적으로 진화하고 재정적으로 실행 가능한 상태

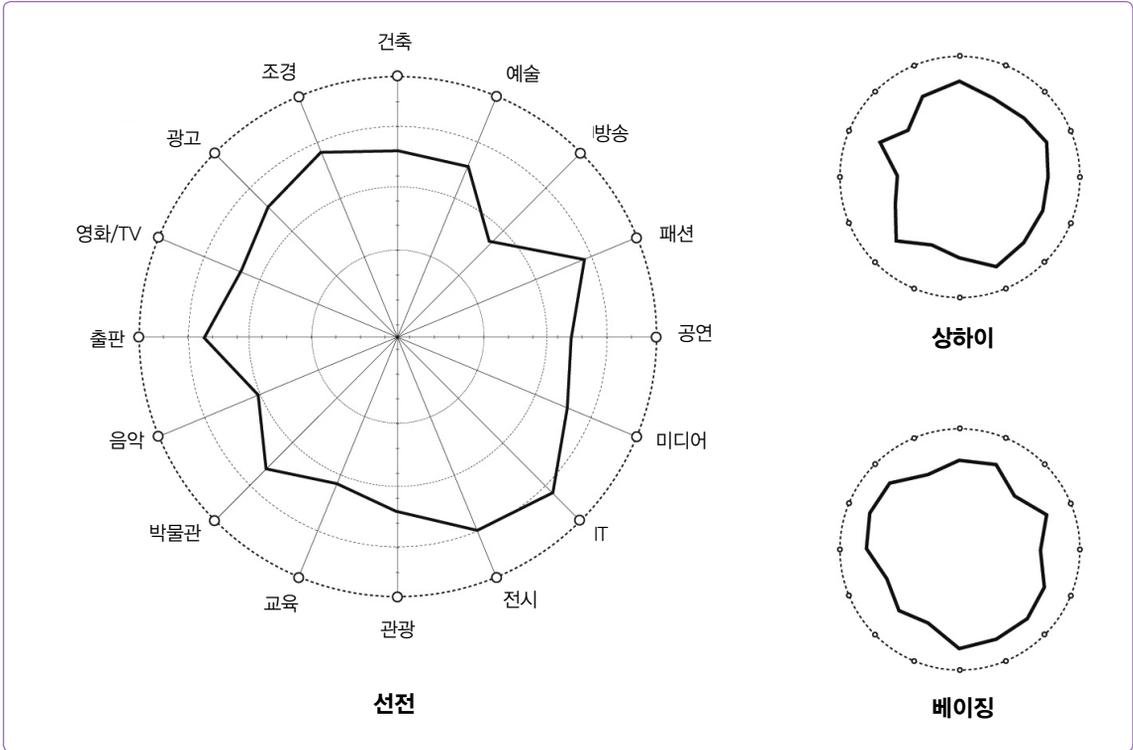
를 유지하면서 활기차고 적응력이 뛰어나며 주민의 요구 사항과 열망을 진정으로 반영할 수 있게 한다.

도시 DNA: AI가 주도하는 도시 정체성을 위한 청사진

모든 도시는 공간적, 경제적, 사회적, 문화적 역학의 복잡한 상호 작용으로 형성된 특별한 독립체다. 진정으로 적응적이고 반응성이 뛰어난 AI SCOS를 개발하려면 각 도시 고유의 특성과 기본 정체성을 포괄하는 개념인 ‘도시 DNA’를 인식하고 이를 통합하는 것이 매우 중요하다. 도시 DNA는 각 도시의 개별적 속성을 이해하기 위한 섬세하고 체계적인 접근 방식을 제공하여 그 도시의 핵심 정체성을 반영하는 목적에 부합하는 솔루션을 개발할 수 있게 해준다.

도시 DNA는 각 도시의 고유한 특성, 장점 및 제약을 인지하고 이를 AI 기반 전략과 응용프로그램에 정보를 적극적으로 제공함으로써 ‘스마트’ 상태를 달성하는 데 중요한 프레임워크 역할을 한다. 신체적 특성을 결정하는 유전 정보를 암호화한 인간 DNA와 마찬가지로, 도시 DNA도 도시 환경의 밈 코드(memetic code)를 나타낸다. 이 코드는 지리, 역사적 진화, 인구 변화, 문화적 규범, 경제 구조, 기술 도입 패턴 등을 포함한 광범위한 요소로 구성된다. 이런 요소들이 모여 각 도시 환경에 고유한 ‘게놈(genome)’를 만들어내며, 이는 도시의 거버넌스와 발전의 모든 측면에 영향을 미친다.

AI SCOS 프레임워크는 도시 DNA의 원칙을 스마트시티 솔루션의 생성적 설계 프로세스와 기능에 내재시켜 활용한다. 도시 DNA는 도시의 독특한 특성을 분석해 AI SCOS가 도시의 고유한 정체성을 반영하는 맞춤형 솔루션을 구현할 수 있도록 청사진을 제공해 준다. 도시 DNA의 이러한 기본 속성을 간과하거나 잘못 인식하면 스마트 기술과 관리 솔루션이 지역사회, 경제



Source: 스마트시티와 인공지능: 계획, 설계 및 운영 융합 시스템; 엘시비어Elsevier(2020).

Figure 2
도시 DNA

및 기술적 요건을 충족하지 못할 위험이 있고, 결과적으로 비효율성, 저항, 프로젝트 실패로까지 이어질 수 있기 때문에 도시 DNA를 제대로 인식하는 것은 매우 중요하다.

도시 DNA에는 다음과 같은 요소들이 포함된다:

- **물리적 도시 형태, 지리적 및 환경적 속성** *Physical Urban Form, Geographic and Environmental Attributes*: 도시 DNA는 기후 패턴과 천연자원에서부터 도시 밀도와 공간 구성에 이르기까지 각 도시의 지리적 및 환경적 맥락에 대한 모든 정보를 보여준다. AI SCOS는 이러한 통찰력을 활용해 지속 가능한 인프라를 개발하고, 에너지 소비를 최적화하고, 환경적 현실과 조화되는 방식으로 자원을 관리한다.

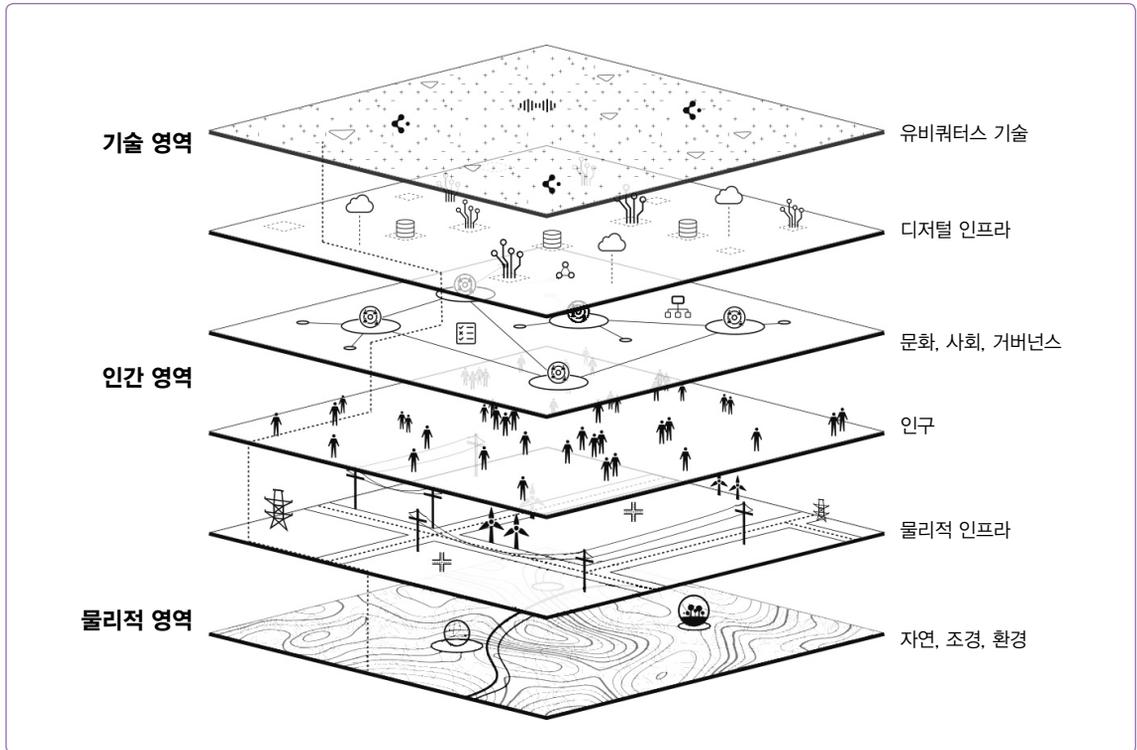


Figure 3

Source: 스마트시티와 인공지능: 계획, 설계 및 운영 융합 시스템; 엘시비어Elsevier(2020).

도시 Dimensions

- **역사적 및 문화적 정체성** *Historical and Cultural Identity*: 도시의 역사와 문화 유산은 도시의 정체성에 필수 요소이며 지역사회가 도시 공간과 상호 작용하는 방식에 큰 영향을 미친다. 도시 DNA의 문화적 통찰력을 내재시킴으로써, AI SCOS는 문화 자산을 강화하고, 유산을 보호하며, 장소 의식을 증진시키는 해결책을 설계할 수 있다. 이러한 전략은 지역사회의 참여를 유도하고 기술 변화와 조화를 이루며 진화하는 회복력 있는 도시 정체성을 창출한다.
- **사회경제적 역동성** *Socioeconomic Dynamics*: 도시 DNA에는 고용 패턴, 소득 분배, 교육 수준 등과 같은 사회경제적 지표가 포함되어 있으며, 이런 지표들이 주민의 특정 요구 사항과 역량에 대한 정보를 제공한다. AI SCOS는 이 데이터를 활용하여 공평한 서비스 분배를 개발하고, 특정 지역사회

의 요구에 맞게 공공서비스를 제공하며, 포괄적인 경제 성장을 촉진할 수 있다. 이러한 통찰은 스마트시티 전략이 다양한 인구 집단의 복지에 실질적으로 기여하도록 보장한다.

- **기술 및 혁신 생태계** Technology and Innovation Ecosystem: 각 도시는 디지털 채택률에 있어 기존 기술 인프라 및 혁신 생태계에 이르기까지 기술과 고유한 관계를 맺고 있다. AI SCOS는 이러한 차이를 반영하여 기술 계획을 맞춤화하고, 도시의 AI 통합 준비 상태를 고려하여 적합한 기술을 배치하며, 지역 역량에 부합하는 방식으로 연결성을 강화시킨다.

도시 블록체인에 내재된 진화적 코드로서의 도시 DNA

AI와 디지털 기술로 인하여 도시가 변화하는 과정에서, 도시 DNA는 진화적 성장을 위한 역동적 청사진 역할을 한다. 이를 통하여 AI SCOS는 획일화된 모델을 넘어 변화하는 상황에 대응하며 적응하고 진화하는 '살아있는' 프레임워크를 채택할 수 있다. 도시 DNA 요소를 지속적으로 모니터링하고 업데이트함으로써 AI SCOS가 미래의 필요를 예측하고, 새로운 동향을 파악하며, 장기적인 회복력을 위하여 도시 시스템을 최적화할 수 있다.

예를 들어, AI SCOS는 예측 분석을 사용해 인구 통계적 패턴이나 경제 추세의 변화를 감지하고, 이런 통찰력을 사용해 시기적절한 서비스와 정책을 사전에 조정할 수 있다. 이런 접근 방식이 단지 여러 특성을 보유한 저장고에 불과했던 도시 DNA를 진화하는 프레임워크로 변환시켜, 도시 적응 전략에 정보를 제공하고 도시가 다양한 발전 단계를 거치며 나아갈 길을 안내한다. 이 과정에서 도시 DNA는 도시 진화를 기록하는 유전자 코드로서 도시 블록체인의 구축에 포함될 것이다.

도시 DNA와 집단 지성의 통합은 주민, 공무원 및 이해 관계자의 지식과 의견을 정책에 활용하여 AI SCOS를 강화시킨다. AI SCOS는 도시 DNA를 정의하고 개선하는 데 지역사회를 적극적으로 개입시킴으로써 도시 거버넌스에 대한 주민 참여 접근 방식을 가능하게 하였다.

시민들은 디지털 도구와 피드백 플랫폼을 통해 자신의 경험, 요구, 그리고 바람을 알릴 수 있으며, 이는 도시 DNA와 그로부터 도출된 전략을 형성한다. 이러한 시민 중심 피드백 루프는 도시의 정체성을 강화하고 책임감과 주인 의식을 고취하여 스마트시티 개발이 지역의 가치와 필요에 부합되도록 조정한다.

결론적으로 도시 DNA는 단순한 특성이 나열되어 있는 카탈로그가 아니라 AI SCOS를 알리고 추진하는 가장 기초적인 설명서라 할 수 있다. AI 기반 전략의 핵심에 도시 DNA를 내재화함으로써 도시는 기술과 정체성의 공생 관계를 발전시킬 수 있다.

이를 통해 스마트시티 생태계가 발전할 때마다 도시의 고유한 본질이 더 강화될 수 있다. 그 결과 지역사회의 독특한 정체성을 반영하고 존중하는, 회복력과 적응력을 갖춘 도시 시스템이 구축되어 기술의 진보가 도시 경험을 방해하기보다는 풍요롭게 만들 수 있게 될 것이다.

스마트시티에 AI SCOS 적용하기

AI SCOS는 도시 관리의 여러 영역에 실용적으로 적용될 것이다:

- **스마트 환경 모니터링** Smart Environmental Monitoring: AI SCOS는 도시 전체에 내장된 센서를 통해 대기과 수질, 폐기물 관리, 에너지 소비 등의 환경 조건을 모니터링하고 조정할 수 있다. 이를 통해 도시는 탄소 중립net-zero 목표와 순환 경제circular economy를 추구할 수 있다.
- **AI로 모빌리티 시스템 강화** AI-Enhanced Mobility Systems: AI SCOS는 교통 흐름을 관리하고, 대중교통 시스템을 최적화하며, 자율주행 차를 활성화함으로써 교통 시스템을 혁신할 수 있다. 시민들의 출퇴근 패턴을 분석하여 더 원활하고 빠른 환경친화적인 모빌리티 시스템을 제공할 수 있다.
- **참여형 거버넌스 플랫폼** Participatory Governance Platforms: AI 기반 플랫폼은 시민이 아이디어를 제안하고, 프로젝트에 투표하고, 도시 계획에 기여하

계 함으로써 시민 참여 의사 결정을 용이하게 해준다. AI는 또 자원의 효율적 할당을 보장함으로써 도시가 주민의 변화하는 요구에 대응할 수 있도록 돕는다.

- **서비스 기능 도시** City as a Service, CaaS: CaaS는 AI SCOS를 활용해, 수요에 따라 공공 서비스를 제공하는 역동적인 플랫폼으로서 도시 환경을 재구성한다. 도시는 실시간 데이터를 활용해 디지털 허가, 가상 시민 참여, 실시간 공공 안전 경보 등과 같은 전자 정부 서비스를 매끄럽게 제공할 수 있다. 이러한 접근 방식은 보다 대응력 있는 거버넌스, 시민의 만족도 향상, 의사 결정 투명성을 보장하는 동시에 주민과 기업의 요구에 맞는 맞춤형 경험을 제공한다.

AI SCOS의 메타 아키텍처 *Meta-Architecture*

AI SCOS의 메타 아키텍처는 도시를 살아 있는 적응형 개체로 구동시키는 기본 원칙, 체계적 프레임워크 및 행동 규칙을 수립한다. 이 포괄적인 아키텍처는 생물학적 유기체의 자율 조직화, 자기 조절, 그리고 진화의 특성을 모방할 수 있도록 해주는 다섯 가지 핵심적인 자기 생성적 특성의 융합에 기반을 두고 있다.

인간 해부학과 자연에서 발견되는 유기체의 행동에서 영감을 얻은 메타 아키텍처는 반복적 상호 작용, 예측 조절 및 적응적 자율 조절을 지원하도록 설계되었다. 이러한 요소들은 환경의 변화에 따라 끊임없이 조정하면서 역동적인 생태계로 작동하는 생체 모방 시스템 아키텍처의 기초를 형성한다.

메타 아키텍처의 핵심은 자기 생성적 메타 융합의 원리 *the principle of autopoietic meta-convergence*로, 살아있는 유기체의 생명 시스템이 가지고 있는 자립적 특성을 AI가 지원하는 스마트시티의 집단 지성 및 고유한 도시 DNA

와 통합시키는 것이다. AI SCOS 메타 아키텍처가 정적인 인프라를 넘어 발전하기 위해서는 특정 도시를 위해 개발된 복잡한 상태를 관리할 수 있는 디자인 언어와 운영 코드를 통합해야 한다(일반적인 솔루션이 아니라). 이를 통해 효율적이고 유연하고 적응 가능한 최적의 도시 시스템을 구축해 나갈 수 있다.

지속적인 진화를 가능하게 하는 적응성 및 메타 설계

효과적인 AI SCOS가 되기 위한 핵심 요건은 지속적으로 적응하고, 개선하며 스스로 최적화할 수 있는 능력이다. 기술 및 환경이 빠른 속도로 변화한다는 것을 감안할 때, 이러한 적응력은 AI SCOS가 자율적으로 학습하고 진화할 수 있게 하는 통합 피드백 시스템에 의해 더욱 촉진된다. 이 맥락에서 메타 설계는 메타 아키텍처와 밀접하게 관련된 개념으로, 시스템이 개방형 상태를 유지하도록 보장하며, 초기 개발 중에 미처 예상하지 못하는 미래의 요구와 도전을 수용할 수 있도록 설계되었다. 이러한 메타 설계는 상호 작용적이고 적응적이며 생성적인 아키텍처를 촉진하여 AI SCOS가 도시와 함께 살아있는 시스템으로 진화할 수 있도록 한다.

AI SCOS가 성공하려면 메타 아키텍처가 중앙집중형, 분권형, 분산 시스템 간의 균형을 맞춰야 하며, 이를 통해 지역 및 글로벌 과제에 모두 대응할 수 있는 회복력 있는 도시 생태계를 만들어야 한다. 이러한 하이브리드 접근법을 통해 중앙 기관과 분산 네트워크 간에 데이터가 자유롭게 흐르고, 블록체인과 같은 투명하고 안전한 기술까지 통합하여 거버넌스를 강화할 수 있다. 또한 AI SCOS 내의 예측 분석 및 예상 시스템이 예방적 관리를 가능하게 하여 도시가 잠재적인 위협이 확대되기 전에 이를 예측하고 완화할 수 있도록 한다.

자기 생성 운영 체제의 한국 적용 가능성: 전략적 적합성

한국에서 AI SCOS 개념을 개발한다면 매우 특별하고 전략적인 기회를 제공할 것이다. 자립형 시스템에 관한 이론들과 AI 기반 스마트시티 설계를 통합하는 것을 목표로 하는 이 프레임워크는 국가의 IT 인프라 발전, 중앙 집중화된 정치 시스템, 통합된 문화적 배경을 갖춘 한국의 맥락에 특히 적합하다고 볼 수 있다.

한국은 세계에서 가장 빠른 인터넷 속도와 광대역 서비스를 자랑하는 고도로 발달된 IT 인프라로 유명한 나라다. 이러한 첨단 디지털 인프라는 실시간 분석 및 의사 결정을 위해 강력한 데이터 생태계에 의존하는 AOS(스마트 운영 시스템)를 구현할 수 있는 견고한 기반을 제공한다. 자기 생성 프레임워크 내에서 AI와 IoT가 통합되면, 한국 도시들은 변화에 역동적으로 적응하고 자원을 최적화하며 지속 가능성을 향상시킬 수 있다. 시민들이 가지고 있는 기존의 디지털 리터러시(digital literacy)에 스마트 기술의 광범위한 채택을 더하면, 이러한 복잡한 시스템의 구현을 충분히 지원하고, 보다 원활한 전환과 효과적인 운영을 할 수 있을 것이다.

강력한 중앙 집중화가 되어 있는 한국의 정치 시스템도 AI SCOS의 배치와 조화를 이룰 수 있는 또 다른 핵심 요소다. 정치가 분산되어 있거나 연방을 이루고 있는 국가들과는 달리, 한국의 거버넌스는 전국적으로 통일된 정책 구현이 가능하다. 이러한 중앙 집중화는 여러 도시 지역에 AI SCOS를 배치하기 위한 협력적 노력을 용이하게 하여 필요한 규제와 기준을 일관되게 적용할 수 있다. 이러한 협력과 조정은 각 구성 요소가 원활하게 상호작용하는 생활 시스템으로서 작동하는 스마트시티의 전체적인 개발에 매우 중요하다. 뿐만 아니라 성공적인 시범 프로젝트의 신속한 확장이 가능해, 지역적 솔루션을 곧바로 스마트하고 지속 가능한 도시 생활을 위한 국가 표준

으로 전환할 수 있다.

한국의 문화적 동질성과 통일된 언어도 AI SCOS의 잠재적 성공에 크게 기여할 것이다. 모든 국민이 공유하는 문화적, 언어적 맥락을 통해 AI SCOS의 목표, 이점 및 기능을 대중에게 더 쉽게 전달하고, 이런 기술에 대한 공동의 이해와 채택을 촉진할 수 있기 때문이다. 국가적 일체감과 공통된 목적의식은 대중의 수용과 참여를 촉진할 수 있을 뿐 아니라, 환경과의 상호 작용과 피드백에 의존하는 자기 생성 시스템의 기능에 매우 중요하다. 이러한 조화를 통해 도시가 인간, 사회, 기술적 요소들과 시너지를 이루며 탄소 제로 배출, 자원 최적화, 삶의 질 향상과 같은 공동의 목표를 향해 협력하는 진정한 ‘융합적 자기 생성 시스템’*convergent autopoietic systems*이 될 수 있다.

이러한 맥락에서 AI SCOS를 개발하다면, 한국은 스마트시티 혁신 분야의 글로벌 리더로서의 명성을 더욱 공고히 할 수 있는 기회를 얻게 될 것이다. 기술력, 응집력 있는 거버넌스, 통합된 사회적 구조가 하나로 어우러져, 전 세계적으로 지속 가능한 도시 개발을 위한 새로운 벤치마크가 될 수 있는 첨단 도시 시스템을 시범 운영하고 개선하기 위한 이상적인 환경을 조성할 수 있을 것이다. 또한 한국이 도시 밀도, 노후화된 인프라, 기후 변화 등과 같은 과제들을 해결하고자 할 때, AI SCOS 프레임워크가 도전을 성장과 회복력의 기회로 전환하기 위한 전략적 경로를 제공하게 될 것이다.

한국이 가지고 있는 기술 인프라, 중앙 집중식 거버넌스, 문화적 응집력의 특별한 조합은 자기 생성 운영 체제 개발을 위한 이상적인 맥락을 제공한다. 이러한 시너지 효과를 통해 한국은 도시 계획 및 관리에 첨단 기술을 통합하려는 다른 국가의 모델이 될 수 있는 역동적이고 자립적인 도시 시스템을 제공할 수 있다. 한국에서 AI SCOS가 개발된다면 이는 아시아 지역뿐 아니라 전 세계적으로 보다 스마트하고 지속 가능한 도시 생활을 달성하기 위한 중요한 발걸음이 될 것이다.

AI SCOS 메타 아키텍처 내에서 자기 생성 원리, 집단 지성 및 도시 DNA가 융합되면 도시를 역동적이고 자립적인 시스템으로 구축할 수 있다. 이러한 통합을 통해 도시는 기능적 실체로서뿐만 아니라 내부 및 외부 자극에 유기적으로 반응하는 살아있는 시스템으로 운영될 수 있다. AI SCOS는 단순히 도시 관리를 위한 도구가 아니라, 기술, 인간, 환경, 데이터가 원활하게 수렴되는 반응적이고 자율적인 생태계로 도시를 변모시킨다.

AI SCOS는 또 집단 지성을 활용해 도시가 사회적 요구와 기술 발전에 맞춰 진화할 수 있게 만든다. ‘인지적 노드’로서 그 위상이 강력해진 시민들은 지역의 통찰력을 제공함으로써 기술과 지역사회 간에 시너지 효과를 창출한다. 이러한 자율 조직화 구조를 통해 AI SCOS는 기존의 하향식 관리를 넘어 정책 입안자, 기업 및 주민이 협력하여 도시의 진화를 형성하는 포괄적인 환경을 조성한다.

AI SCOS 프레임워크가 계속 진화함에 따라 도시들은 지속 가능한 개발을 위한 전 세계적인 노력에 적극적으로 참여할 수 있게 될 것이다. 도시의 미래는 복잡성 속에서 적응하고, 진화하고, 번성하며 살아있는 유기체로서의 기능을 얼마나 잘 수행할 수 있느냐에 달려 있다. 도시는 이러한 비전을 가지고 인간, 기술, 자연 간의 조화로운 균형을 유지하며 AI와 집단 지성의 발전을 도시 생활의 구조에 통합시켜야 한다. 이러한 맥락에서 볼 때, 한국은 AI 스마트시티 운영 체제를 구현하는 데 있어 글로벌 리더가 될 수 있는 경쟁력을 갖추고 있다.



**SMART CITY
T O P
A G E N D A
2 0 2 4**

Seeing Urban Future Using Generative AI: A Case Study of MapAI

생성형 AI를 이용한 도시계획: MapAI 개발 사례를 중심으로

한정훈

Hoon Han



호주 최초의 도시계획분야 한인 정교수다. 호주 뉴사우스웨일즈대학(2024 QS세계대학순위 19위)에서 15년간 강의하고 있으며, 호주국립주택도시연구원 [Australian Housing Urban Research Institute-UNSW](#) 원장을 겸임하고 있다. 호주-뉴질랜드 한인과학기술인협회 회장(2022~2023)도 역임했다. 도시공간분석 관련해 150여 편의 영문 논문을 출간하였으며, 이 논문들은 국제적으로 2,600회 이상 인용되었다(Google scholar Hoon Han). 최근 AI를 이용한 부동산 감정평가시스템을 개발하여 호주 최초로 상용화에 성공했는데, 현재 호주 최대 은행인 커먼웰스뱅크 [Commonwealth Bank of Australia](#)가 이용 중이다. 2024년 생성형 AI 기반의 지리정보분석 서비스를 제공하는 [MapAI](#) 벤처회사를 공동창립하여 대표 [principal](#)로 활동하고 있다. 이러한 공로를 인정받아 호주도시계획학회에서 수여하는 최고 연구업적상인 [혁신연구상 Cutting Edge Research Awards](#)을 수상했다.

Email: h.han@unsw.edu.au

초록

전 세계에서 AI는 양자컴퓨팅과 더불어 국가 R&D 사업의 핵심 어젠다로 자리매김하고 있다. 최근에는 한국을 비롯한 IT 선도국에서 도시의 진단, 분석 및 계획에 AI를 적극 도입하고 있다. 하지만 도시계획 분야에서 한국의 AI 활용은 대부분 머신러닝, 딥러닝에 기반한 도시설계와 도시 빅데이터 분석에 집중되어 있으며, ChatGPT와 같은 생성형 AI의 개발 및 적용은 매우 미미한 수준이다. 따라서 이 글은 생성형 AI를 이용하여 다양한 지리 정보를 검색, 분석, 시각화하는 MapAI의 소개에 초점을 맞추고 있다. 생성형 MapAI는 기존의 지리정보분석 소프트웨어나 프로그램 언어(예: ArcGIS, SQL, R)를 알지 못하는 불특정 다수 일반인이 쉽게 지리정보를 분석하고 원하는 내용을 지도로 만들 수 있게 해준다. 저자는 호주 최초로 생성형 AI 기반의 벤처회사 MapAI를 설립하고 관련 기술을 개발한 경험을 바탕으로, 생성형 AI가 가까운 미래의 도시계획에 어떤 변화를 가져올 것인지 예측하고 한국형 스마트시티의 진화 방향을 짚어 보고자 한다.

키워드

생성형 AI, 기계학습, 도시계획, ArcGIS, 지리정보

● ABSTRACT ●

Globally, AI, along with quantum computing, has become one of the core national agenda for R&D. Leading innovation countries, including the Republic of Korea (hereafter Korea), are increasingly adopting AI for urban diagnosis, analysis, and planning. However, AI technologies in urban planning have largely focused on urban design and big data analysis using machine learning and deep learning models. The development and application of generative AI like ChatGPT in Korea is still at a premature stage. This paper introduces MapAI, which utilises generative AI to search, analyse, and visualise various geographic information. Unlike existing geographic information analysis software or programming languages (e.g., ArcGIS, SQL, R), MapAI allows the general public, who may not have expertise in these tools, to easily analyse geospatial information and create thematic maps. Drawing on his experience in founding Australia's first generative AI-based MapAI venture, the author explores the changes generative AI will bring to urban planning in the near future and its impact on the evolution of smart cities in Korea.

KEYWORDS

Generative AI, Machine Learning, City Planning, ArcGIS, Geospatial Data

들어가며

200년여 전 수학자 칼 가우스 Carl Friedrich Gauss, 1777~1855는 가우스함수 bell curve를 창안하였다. 이런 확률적 통계 inferential statistics에 기반한 계량분석기법은 지난 2세기 동안 도시 및 사회과학 분야에서 주요 연구방법론으로 통용되어 왔다. 통계적 가정 statistical assumption에 기반한 계량분석기법은 확률에 기반한 신뢰도를 제공함으로써, 의학 및 과학분야에서도 대표적인 데이터 검증방법으로 진화하였으며 현재까지도 주된 데이터분석 수단으로 활용되고 있다. 세계 정치, 문화, 예술, 과학의 프레임이 바뀌는 급변기에, 유독 데이터분석 방법론에 있어서는 많은 통계적 오류에도 불구하고 샘플링에 기초한 통계분석기법이 200년여간 이어져왔다는 사실이 실로 놀랍기까지 하다.

그런데 최근 머신러닝 Machine Learning에 기반한 데이터학습 Data Training을 통해 데이터분석 방법론에 일대 변혁이 일고 있다. 하지만 아직도 도시계획 및 공간분석에 있어서 생성형 AI를 활용하는 선행연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 이 글은 도시공간분석 기법의 변천과정을 둘러보고, 도시계획에 생성형 AI를 활용해야 할 필요성과 주의점을 짚어보고자 한다. 또한 필자가 개발 중인 생성형 MapAI 기술을 도시공간분석에 활용한 실제 경험을 바탕으로 미래 스마트시티에 생성형 AI가 가져올 변화를 예측해본다.

미래에 도시계획 분석기법은 어떻게 변할 것인가?

CAD가 도입되기 전, 건축, 도시설계 및 디자인을 전공한 지금의 50대는 학창시절 실제로 T자로 도면을 그린 경험이 있을 것이다. 사회과학분야 전공자도 마찬가지다. SPSS, SAS 같은 통계분석 소프트웨어가 도입되기 전 카시오 전자계산기를 쓴 세대다. 오늘날 4차 산업혁명으로 불리는 컴퓨팅 혁명은

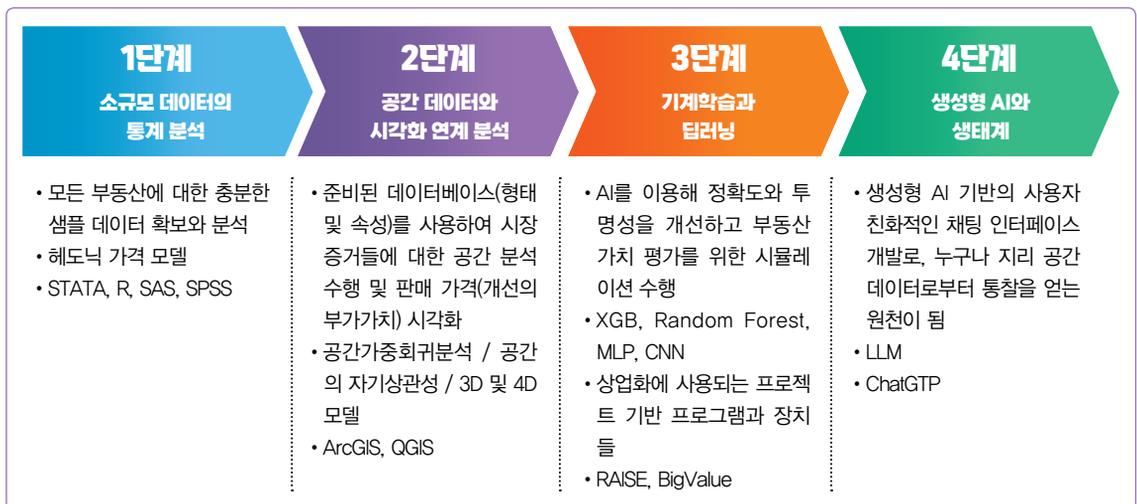
수많은 프로젝트 기반 분석 도구(Project oriented application)를 제공하였다. 이러한 프로그램은 데이터의 종류와 복잡성에 따라 다양한 컴퓨터 프로그래밍 언어(R, C++, SAS, STATA, SQL)를 사용한다. 1990년대 한국에서는 이러한 프로젝트 기반 언어(Project oriented language)를 배우려는 열풍이 불기도 했다(그림 1: Stage 1).

비슷한 시기, 도시공간분석에 있어서는 공간정보분석과 시각화를 연계할 수 있는 지리정보시스템(GIS)이 대표적인 학문으로 자리매김하였다. 이러한 GIS의 활용에 최적화된 소프트웨어로는 ArcGIS와 MapInfo 등이 있다. 이후 오픈소스의 접근성이 높아지며 저비용 프로그램인 R 혹은 QGIS가 진입 장벽을 지속적으로 낮추는 추세다(그림 1: Stage 2). 이들 프로그램은 지리정보 분석에 있어 통계기반의 공간분석기법을 사용하고 있다. 이러한 통계기반의 공간정보분석 장치(tool)들은 통계적 오류와 지리적 오차를 극복하는 방향으로 지속적으로 발전해 왔으며, 그 대표적 사례가 GWR(공간가중회귀분석)과 같은 계량모델이다.

이러한 통계분석결과의 신뢰도는 최근에 와서 AI 기계학습을 통해 놀라울 정도로 향상되고 있다. AI 모델들은 스몰데이터(small data)와 빅데이터(big

Figure 1
도시 지리정보분석기술의 변천

Source: 한정훈



data의 특성에 따라 다양한 AI 알고리즘으로 발전하고 있다. 최근 신경망 모델neural network model 등이 이미지분석image processing에 탁월한 효과를 보여 주고 있다(그림 1: Stage 3). 그동안 AI 분석 기법으로 XGBoostXtreme Gradient Boosting, 랜덤포레스트Random Forest, CNNConvolutional Neural Network 등 많은 AI 모델이 개발되었으며 예측의 정확도가 향상되었다.

하지만 이런 AI 모델의 활용은 비전문가뿐만 아니라 도시계획 전공자에게도 진입장벽이 높다. 최근 이러한 AI 분석의 진입장벽을 획기적으로 낮춰 줄 생성형 AI 기술과 개발이 급부상 중이다. 잘 알려진 ChatGPT의 경우, 모국어를 쓸 줄만 알면 누구나 AI를 이용한 분석이 가능하다. 자신이 자유롭게 구사하는 모국어가 파이썬Python과 같은 프로그래밍언어가 되는 시대가 온 것이다(그림 1: Stage 4). 이제 ‘생성형 AI를 도시계획이나 공간분석에 어떻게 활용할 수 있을까?’라는 고민을 해야 한다.

도시계획에 왜 생성형 AI가 필요한가?

AI의 대표적 접근방법인 딥러닝은 이미지나 디지털 센서를 통해 수집된 빅 데이터를 분석함으로써 이루어진다. 기존 통계기법에서 데이터를 변수화하는 과정 중에 생기는 ‘데이터 유실data loss’이나 ‘데이터 조작data manipulation’을 효과적으로 방지할 수 있게 된 것이다(Lee et al., 2024).

머신러닝은 계량분석기법을 빠르게 대체하고 있으며, 통계가 갖는 가정에 의한 오류를 기계학습이라는 방식으로 획기적으로 줄일 수 있게 되었다. 예를 들어, 부동산 감정평가에 사용되는 대표 모델인 회귀분석 기반의 헤도닉 모델(그림 2: OLS, GWR)이 내놓은 부동산가격 예측 결과는 AI 기반의 기계학습모델(그림 2: Random Forest, GMB, XGBoost)보다 정확도가 현저히 떨어진다는 사실이 최근 논문에서 밝혀지고 있다(Gao, et al., 2022).

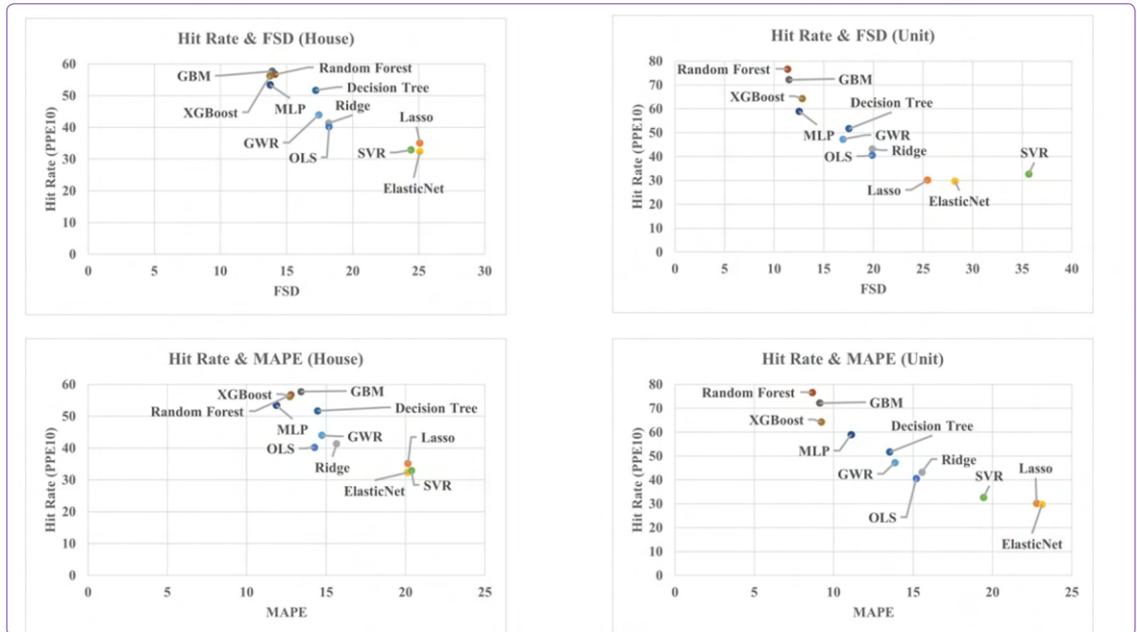
하지만 이런 AI 기반의 기계학습과 신경망학습은 AI 알고리즘을 대표하는 파이선 언어와 다양한 AI 분석기법의 코딩 소스를 제공하는 라이브러리 `library`에 대한 접근법을 배우지 않고서는 일반인이 쉽게 사용할 수 없다. 또한 특정 프로젝트 혹은 도시문제를 해결하기 위해 잘 짜여진 AI 알고리즘은 그 문제를 해결한 이후 활용도가 매우 떨어지고 지속성에 의문이 제기되는 경우가 많다. 이러한 이유로 AI 활용분야에 제한이 없는 생성형 AI를 도시공간분석에 도입할 필요가 있다. 대표적인 생성형 AI 모델인 ChatGPT의 경우, 거대언어모델 `Large Language Model`이라는 텍스트 기반의 빅데이터를 이용하여 사용자가 원하는 텍스트를 그 범위와 주제에 관계없이 자유롭게 생성해준다.

이러한 거대언어모델 `LLM` 기반의 ChatGPT는 도시계획분야에도 활용할 수 있다. 기존의 도시 및 지리분석에 있어 가장 중요한 요소는 지리정보 분석과 시각화이다. 대표적 지리정보분석 프로그램인 ArcGIS는 지리정보데이터를 포함한 어트리뷰트 테이블 `attribute table`과 지리정보를 표현해주는 지도

Figure 2

AI 기계학습모델과 통계모델의 정확도 비교

Q Gao, V Shi, C Pettit, H Han (2022) Property valuation using machine learning algorithms on statistical areas in Greater Sydney, Australia- Land Use Policy, Vol. 123, December 2022, 106409



(shape file)를 필요로 한다. 따라서 생성형 AI를 통해 지리공간데이터의 수집, 분석 그리고 시각화를 동시에 구현할 수 있는 것이다. 이러한 생성형 AI는 비단 도시계획뿐 아니라 이웃 학문에도 다른 방식으로 활용되고 있다. 건축 설계 분야의 경우, 다양한 건축가의 건축양식과 디자인을 빅데이터로 구축하고 생성형 AI를 이용해 새로운 건축설계를 구현하고 있다. 예를 들어, 생성형 AI를 이용해 건축가 안도 다다오, 리차드 마이어, 프랭크 게리의 디자인을 50:40:10의 비율로 융합한 건축설계를 구현할 수도 있다.

생성형 AI를 도시서비스 관리 및 계획에 활용하는 것은 도시란 공간이 시민과 정부가 함께하는 곳이기 때문에 당위성을 갖는다. 다양한 계층의 시민들이 ArcGIS나 특정 소프트웨어 사용법을 배우지 않고도 자신의 도시공간정보와 커뮤니티 서비스에 접근하고 분석할 수 있게 된다. 필자가 호주 최초로 개발한 MapAI 기술의 경우, 간단한 채팅창을 통해 지도를 생성하고 언제 어디서든 지리공간데이터를 분석할 수 있다. 특히 구글과 같이 오픈소스를 활용한 도시공간의 정보 탐색 및 제공 서비스는 특정 목적을 가진 웹 기반 서비스보다 포괄적이고 투명하다.

표 1에서 볼 수 있듯이, 생성형 AI는 나라와 장소, 관심주제에 상관없이 언제 어디서나 지리정보를 검색, 분석, 시각화(지도 생성)할 수 있어 기존의 지

Table 1
생성형 AI와 지리정보분석
프로그램 비교

Source: 한정훈

	생성형 AI - MapAI	기존 지리정보 솔루션(ArcGIS)	스타트업	전문가 방식 (프로젝트 기반 도구)
생성형 AI + 위치 미세조정	☑	?	?	☒
현재 가용성	☑	?	☒	☑
데이터 저장에 변화 없음	☑	☑	?	☑
기존 플랫폼과의 통합 가능성	☑	☒	☒	☒
투명성	☑	☒	☒	☑
사용자 인사이트	☑	☒	?	☒
글로벌 스케일	☑	☑	☑	☒
즉각적 응답	☑	☒	☑	☒

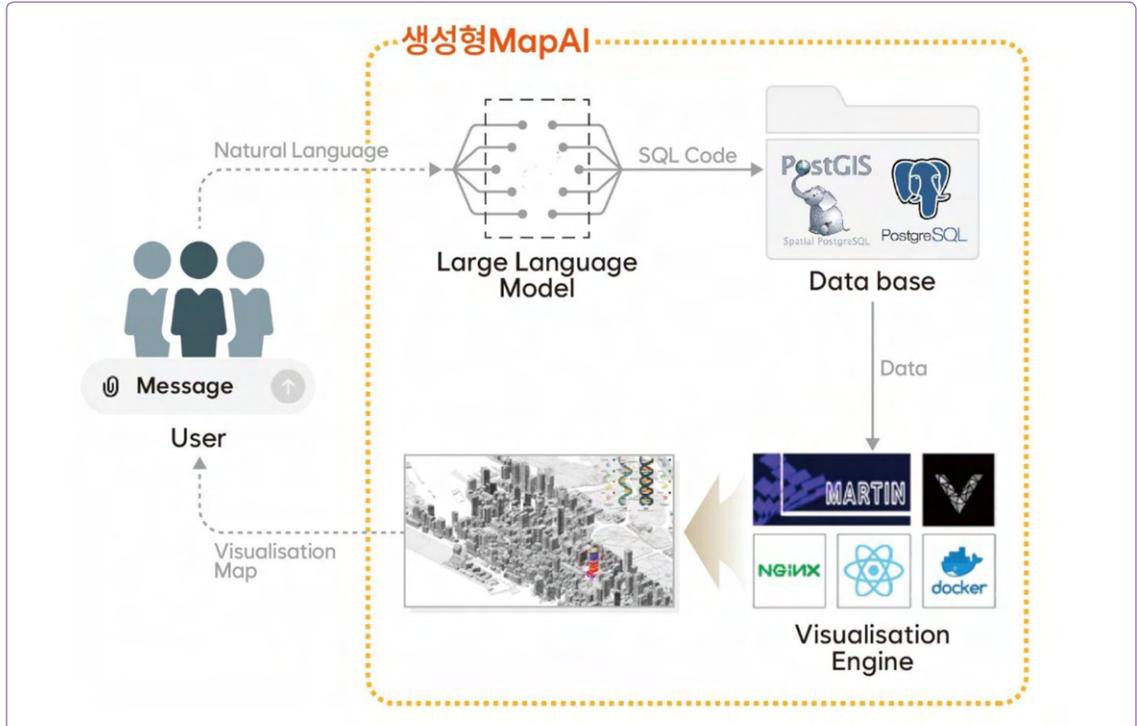
리정보 프로그램보다 효율성과 접근성이 높다. 생성형 MapAI의 구체적 활용 사례는 다음 장에서 소개하겠다.

생성형 MapAI를 이용해 어떻게 공간정보를 분석할 것인가?

우리가 만든 생성형 MapAI는 사용자들이 원하는 공간정보가 포함된 지도를 생성해주는 것을 목적으로 한다. ChatGPT와 같은 거대언어모델(LLM)을 기반으로 사용자의 질문을 SQL, R, Python 등의 프로그래밍언어로 변환하여 이를 지도에 시각화하는 개념이다(그림 3 참조).

유료 웹사이트인 AirBNB를 예로 들자면, 회원들에게 가격별, 위치별, 중

Figure 3
MapAI 아키텍처



류별로 원하는 숙소 정보를 제공하지만 웹사이트에서 주어진 검색조건 내에서만 검색이 가능하다. 반면 생성형 MapAI에서는 개인의 다양하면서도 구체적인 요구에 따라 맞춤형 검색이 가능해진다. 예를 들어, AI 창에 “나는 초등학교 자녀가 있으니 초등학교까지 걸어가 수 있는 거리에, 여성이 밤에 다니기에 안전한 지역에, 층간소음이 없고, 방은 2개 이상, 월 100만 원 이하 월세를 원한다”와 같은 조건을 입력하면, 조건에 부합하는 집들의 주소와 위치가 지도에 표시되고 엑셀파일로도 제공된다.

그림 4에서 지도와 채팅 창으로만 구성된 간단한 인터페이스를 보여주는 MapAI를 볼 수 있다. 그림 5는 MapAI의 챗봇에게 호주 멜버른의 갓길 실시간 주차 가능 위치를 알려달라고 물어 본 결과이다. 실제로 “지롱Geelong 지역에서 지금 갓길 주차가 가능한 곳은 어디인가?”라는 질문을 하면, 사용자의 질문이 SQL 코드로 전환되어 지자체 맵에 시각화되는 것을 볼 수 있다. 또한 “이 중에서 야라Yarra 길에 가장 가까운 장애인 주차가 가능한 곳은?” 등의 추가 질문을 했을 때 생성형 AI가 조건에 맞는 주차정보를 제공한다. 이는 물론 지자체에서 관리하는 주차센서 시스템을 MapAI 플랫폼에 연결했기 때문에 가능하다.

“LA에서 교통체증이 가장 심한 지역은?”과 같은 일반적인 질문은 구글과

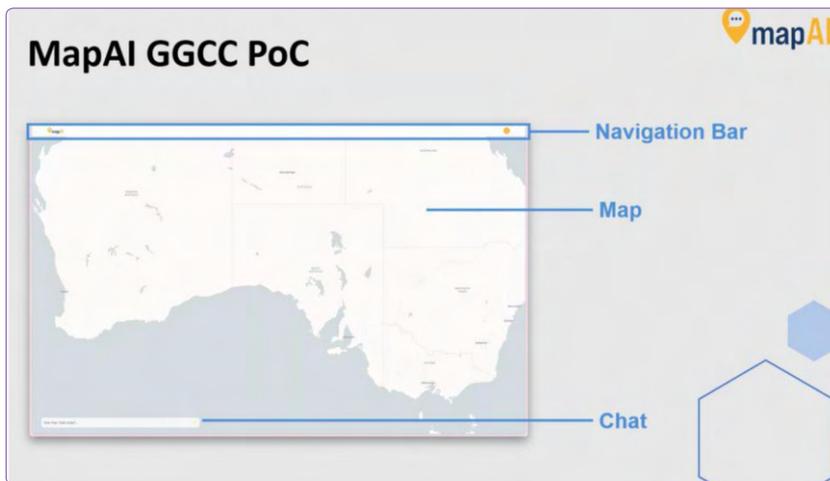
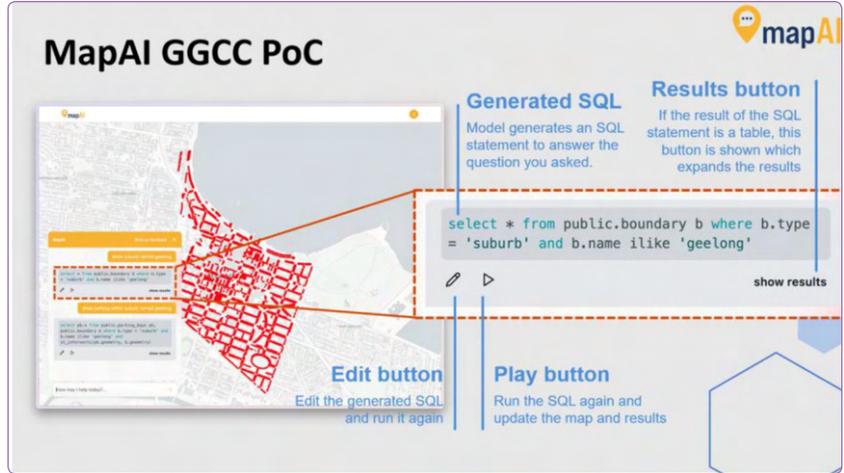


Figure 4
MapAI 인터페이스

Figure 5
MapAI 분석 사례



같은 오픈소스데이터를 이용하여 지도를 생성하지만, 마이크로데이터 분석과 시각화는 데이터 제공기관과 플랫폼을 공유해야 가능하다. 이렇듯 자신의 도시에서의 생성형 AI 활용은 시민과 지자체, AI 벤처기업이 함께 만들어 가야 한다. 스마트시티의 다양한 도시서비스들이 MapAI와 같은 생성형 AI와 연계되었을 때 파생되는 창의적 공간분석과 솔루션은 무궁무진하다. 다음으로는 생성형 MapAI를 이용한 다양한 비즈니스모델을 살펴 보고자 한다.

생성형 MapAI는 어떻게 진화할 것인가?

미래에 생성형 MapAI의 도시공간분석은 디지털트윈(Digital Twin)과 연계될 것이다. '생성형 AI + 디지털트윈'의 공식은 앞으로 도시 AI의 주요 먹거리가 되리라 생각한다. 우리의 도시는 날로 초연결되고 컴팩트화되고 있다. 건물 내 3D 공간의 활용과 관리는 디지털트윈의 주요 자산이지만, 디지털트윈에서 나오는 다양한 시나리오의 시뮬레이션은 아직 성장단계에 머물러 있다. 이러한 3차원 공간분석 및 시뮬레이션을 생성형 AI로 대체할 수 있다.

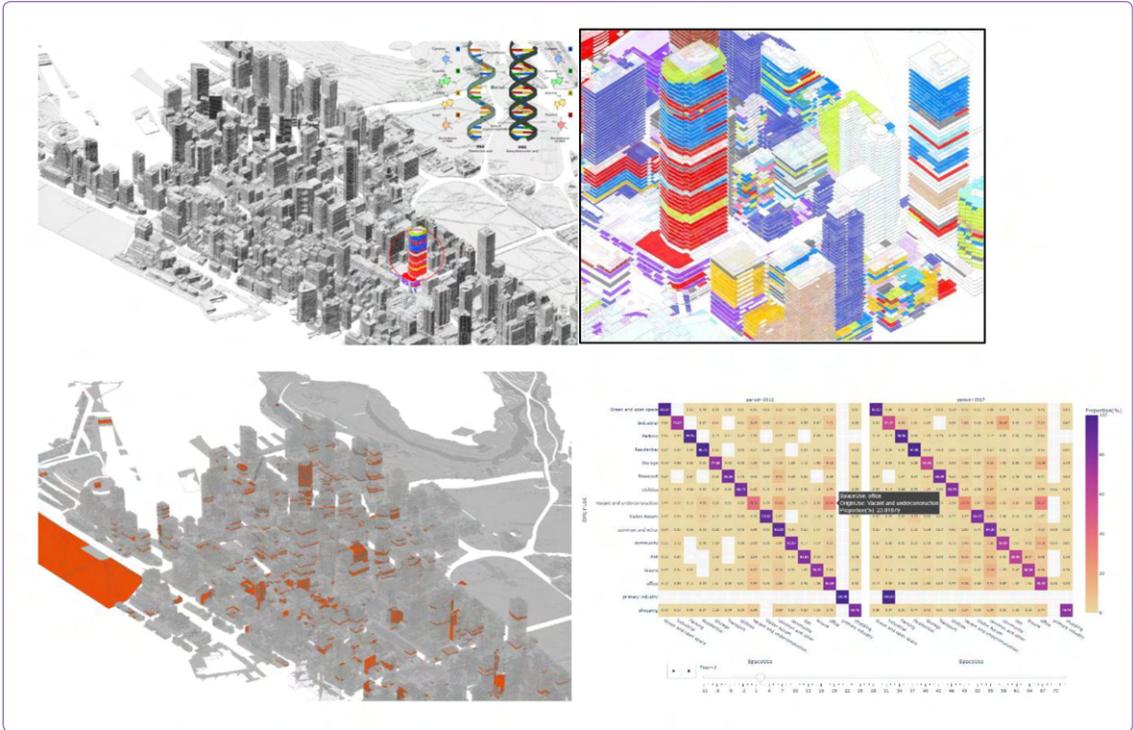


Figure 6
생성형 AI와
디지털트윈의 융합

필자는 호주 시드니 다운타운(downtown)에 입지한 모든 빌딩의 층별 평면도 big data를 이용하여 3차원 공간으로 디지털트윈을 만들고(그림 6 상단 왼쪽), 각 건물의 층별, 구획별 공간에 어떤 업종이 입점해 있으며(그림 6 상단 오른쪽), 다른 업종과 연면적을 어떻게 공유하고 있는지를 분석하여 특정 업종의 공실 위험성(예: 상가용도)을 시뮬레이션했다(그림 6 하단 왼쪽 오렌지색). 빌딩에 입주한 다양한 업종 간의 상생(pull) 및 반목(push) 관계를 차원 지도화하여 수요가 증가하는 업종공간(예: 공용오피스co-working space)과 쇠퇴하는 공간(예: 상가 retail)의 3차원 지도를 만들 수 있다(그림 6 하단 오른쪽).

예를 들면 B건물의 17~19층 공실공간의 최적 입점 업종은 무엇인지 생성형 AI를 통해 확인 가능하다. 이러한 생성형 AI와 디지털트윈 기술을 접목하면, 앞으로 세종시의 높은 상가 공실율도 도시계획 시나리오에 따라 미리 시뮬레이션할 수 있을 것이다.

이제까지 생성형 AI가 도시계획 및 공간분석에 있어 게임체인저가 될 수 있음을 보여주었다. 하지만 생성형 AI 개발자의 입장에서 보자면, 앞으로 생성형 AI의 도시계획 활용은 다음의 4가지 중요한 도전에 직면해 있다.

첫째, 생성형 AI의 신뢰성이다.

‘생성형 AI를 통해 재창조된 결과물 혹은 즉흥적 응답을 우리는 얼마나 신뢰할 수 있는가?’라는 점이다. 실제로 필자의 연구팀이 개발한 MapAI의 결과물을 검증했을 때 초기 베타 버전의 정확도는 50%에 미치지 않는 것으로 분석되었다. ChatGPT의 경우도 마찬가지다. ChatGPT4 이전 모델들은 그 정확도와 신뢰도에 많은 의문이 제기되어 온 것이 사실이다. 따라서 생성형 AI를 신뢰할 수 있는 공인 검증시스템의 도입이 시급하다. 또한 검증 결과에 대한 투명하고 객관적인 공개가 중요하다고 생각한다. 이를 위해서는 생성형 AI의 신뢰성에 대한 사전 경고와 활용 시의 주의점을 반드시 공지하여야 하며 국제표준인증ISO를 통한 신뢰도 공지가 수반되어야 할 것이다.

둘째, 생성형 AI의 연구 윤리이다.

ChatGPT와 같은 거대언어모델LLM은 데이터 분석 및 대필을 일정 부분 가능하게 해준다. 실제 ChatGPT는 논문의 작성 및 과제 수행에 다용도로 이용되고 있다. 특히 대학에서 학생들의 과제 수행에 오용되거나 초과 이용되는 경우가 다수 보고되고 있다. 생성형 AI의 사용 여부 및 사용율을 검증하기 위해 또다른 AI 도구를 활용하기에 이르렀다. 아이러니컬하게도 AI가 AI를 검증하고 있는 것이다. 대학에서 학생들을 가르치는 교수의 입장에서는 AI 사용율을 검증하는 AI tool의 신뢰성에 대해서도 확신을 가질 수 없다. ChatGPT를 활용한 결과물을 바탕으로 과제물을 다시 쓰는 경우, 사실상 AI 사용 여부를 알아채기가 어렵다. AI 이용에 관한 윤리 교육과 책임 있는 AI 이용(responsible AI)이 체계적이고 지속적으로 이루어져야 한다. 교육적 측면에서 생성형 AI가 연구자와 학생들의 창의적 사고 개발에 부정적 영향을 미치

는지를 확인하기 위해서는 더 많은 데이터와 시간이 축적되어야 한다. 하지만 생성형 AI의 윤리적 사용과 교육에 대한 지침을 세우는 것은 지금도 늦지 않다. 실제로 많은 국제 도시계획 학술지들이 투고한 저널의 AI 사용 여부와 범위를 사전에 보고하는 시스템을 도입하고 있다.

셋째, 생성형 AI의 인권보호이다.

생성형 AI는 다양한 빅데이터를 기반으로 사용자가 요구하는 정보를 재창조하는데, 개인정보 빅데이터를 이용한 악성정보의 재생산 및 유출이 심각한 문제를 불러올 수 있다. 실제로 생성형 AI를 이용한 딥페이크 기술은 일반인이 분별하기 어려운 수준에 도달했다. 비단 얼굴 이미지뿐 아니라 목소리, 동영상 등의 생성으로 보이스피싱 같은 범죄에 악용될 우려가 크다. 갈수록 AI 생산물과 실제 생산물을 구별하기 어려운 시대가 될 것이다. 진품명품을 판별하는 골동품 감정사처럼, 미래에는 생성형 AI를 이용한 그림인지 사람이 그린 그림인지를 판별하는 AI 감정사의 국가자격증 도입이 필요할 수도 있다. AI의 개인정보와 인권 침해에 대한 종합적이고 체계적인 정부 대응이 시급하다.

넷째, 생성형 AI의 형평성 및 민주화이다.

과거 한국의 U-City를 대변했던 기치는 ‘언제 어디서나 anytime, anywhere 접근 가능한 도시서비스 구현’이었다. 미래의 한국형 스마트시티는 생성형 AI를 통해 ‘누구나 공정하게 anyone fairly 접근할 수 있는 도시서비스 구현’으로 전환될 것이라 생각한다. 노인, 어린이, 컴맹 여부와 상관없이, 한글만 쓸 줄 알면 누구나 AI 챗봇 chatbot을 통해 원하는 지리정보와 예측에 대한 공정한 서비스 접근 equitable access이 가능하다. 이는 스마트시티에 사는 거주자와 비거주자 간 서비스 접근의 차별을 줄여주는 효과도 있다. 부동산과 경제에 대해 잘 모르는 일반인들도 부동산투자와 재테크에 필요한 공간정보를 자유롭게 구현하고 접근할 수 있다. 이는 ChatGPT와 마찬가지로 비용과 지식 측면에서 진입 장벽을 낮춘다. 진정한 의미에서 ‘공간정보의 민주화 open data and open city’에 한걸음 더 다가가는 것이다(필자의 책 《Open Data Open City》 참조).

I References I

1. Hsu, Y. -Y., & Han, H.* 2024. Toward volumetric urbanism: analysing the spatial-temporal dynamics of 3D floor space use in the built environment. *Environment and Planning B: Planning and Design*.
2. Hsu, Y. Y., Han, H.*, & Lee, J. 2024. Co-working office spaces in Sydney: Spatiotemporal dynamics and industry patterns. *Geographical Research*, 623, 358–376. doi:10.1111/1745-5871.12650.
3. Han, H., Pettit, C., Lee, H., Shi, Y., & Gao, Q. 2023. Machine learning approach to residential valuation: a convolutional neural network model for geographic variation. *The Annals of Regional Science: international journal of urban, regional and environmental research and policy*. doi:10.1007/s00168-023-01212-7
4. Gao, Q., Shi, V., Pettit, C., & Han, H. 2022. Property Valuation using Machine Learning Algorithms on Statistical Areas in Greater Sydney, Australia. *Land Use Policy: the international journal covering all aspects of land use*. doi:10.1016/j.landusepol.2022.106409
5. Han, H., Chen, H., & Lee, J. 2021. Spatiotemporal changes in vertical heterogeneity: High-rise office building floor space in Sydney, Australia. *Buildings*, 118. doi:10.3390/buildings11080374
6. Pettit, C., Shi, Y., Han, H., Rittenbruch, M., Foth, M., Lieske, S., . . . Jamal, M. 2020. A new toolkit for land value analysis and scenario planning. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 478, 1490–1507. doi:10.1177/2399808320924678
7. Hawken, S., Han, H., & Pettit, C. Eds. 2020. *Open Cities | Open Data: collaborative cities in the information era*. Singapore: Palgrave Macmillan Springer. doi:10.1007/978-981-13-6605-5

8. Han, H. 2023. Smart cities in Asia: Ambiguity, innovation, and evolution. In *Routledge Handbook of Asian Cities*, Retrieved from <https://www.routledge.com/>
9. Han, H., Pettit, C., Lee, H., Shi, Y., & Gao, Q. 2023. Machine learning approach to residential valuation: a convolutional neural network model for geographic variation. *The Annals of Regional Science: international journal of urban, regional and environmental research and policy*. doi:10.1007/s00168-023-01212-7
10. Han, H., & Hawken, S. 2018. Introduction: Innovation and identity in next-generation smart cities. *City, Culture and Society*, 12, 1-4. doi:10.1016/j.ccs.2017.12.003

*본 글은 필자가 저술(공동 저술)한 다음 논문들을 기반으로 작성되었으며, ChatGPT를 사용하지 않았음을 밝힌다.



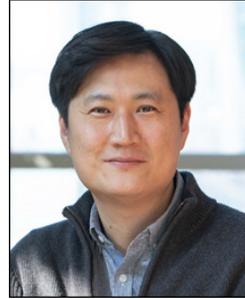
**SMART CITY
T O P
A G E N D A
2 0 2 4**

AI-Powered Urban Planning Technologies for the Future of Smart Cities

스마트시티를 위한 인공지능 기반 도시계획 기술

이호영

Lee Ho-young



직책 (주)텐일레븐 대표이사

약력

2014. 03~현재 | (주)텐일레븐 대표이사

2013. 03~2014.06 | 성신여자대학교 IT학부 외부강사

2011. 09~2013.02 | 고려대학교 컴퓨터정보통신연구소 연구원

2009. 03~2011.08 | (주)아세아향측 부설연구소 연구원

E-mail: hylee@1011.co.kr

김선후

Kim Sun-hoo



직책 (주)텐일레븐 전략이사

약력

2018. 06~현재 | (주)텐일레븐 전략이사

2016. 09~2016.12 | 동국대학교 건축학부 외부강사

2014. 03~2018.05 | VSA KOREA Ltd, 파사드 디자이너

E-mail: sunhookim@1011.co.kr

초록

최근 1기 신도시 재건축 사업은 사업성을 이유로 고밀개발이 요구되고 있다. 법규의 완화를 통한 고밀개발의 결과물은 주거환경의 악화를 가져올 수 있으므로 합리적인 계획이 요구된다. 특히 앞으로의 노후도시 재개발은 더욱 고밀화 가능성을 갖고 있어 합리적이고 지속가능한 계획 방법론이 요구된다.

주거환경을 고려한 고밀개발 계획은 AI인공지능, ECO환경분석, DT디지털트윈 기술로 달성 가능하다. 각각의 기술은 현 시점 존재하는 기술이지만, 중요한 것은 각 기술의 융합을 통한 지속가능 개발 시나리오의 도출이다. 법규와 설계 조건을 결정함에 있어서 인공지능 설계기술과 환경분석 기술을 활용하여 고밀개발이 주거환경에 미치는 영향을 예측할 수 있다. 디지털트윈 플랫폼에서 다양한 고밀개발을 도시적 관점에서 검토할 수 있는 것이다. 지속가능한 도시계획을 위한 스마트 분석기술은 본 글에서 소개하는 기술 외에도 다양하게 존재한다. 다양한 스마트 분석기술이 디지털트윈 플랫폼에 융합된다면 지속가능한 스마트시티 계획을 달성할 수 있을 것이다.

키워드

인공지능 단지설계, 주거환경, 최적화 설계, 디지털트윈

● ABSTRACT ●

Recently, high-density development is being demanded in the reconstruction projects of the first generation new towns due to economic feasibility. The outcome of high-density development through regulatory relaxation may lead to a deterioration of the living environment, which necessitates rational planning. Particularly, the redevelopment of aging cities in the future is likely to involve even greater potential for high-density development, making the need for rational and sustainable planning methodologies critical. High-density development plans that consider the living environment can be achieved through the technologies of AI *Artificial Intelligence*, ECO *Environmental Analysis*, and DT *Digital Twin*. Each of these technologies currently exists, but what is most important is deriving sustainable development scenarios through the integration of these technologies. By utilizing AI design technology and environmental analysis technology in determining regulations and design conditions, it is possible to predict the impact of high-density development on the living environment. Various high-density developments can be examined from an urban perspective using a digital twin platform. There are many other smart analysis technologies for sustainable urban planning beyond the ones introduced in this paper. If these various smart analysis technologies are integrated into the digital twin platform, achieving sustainable smart city planning becomes possible.

KEYWORDS

AI-powered Urban Planning, Habitat Quality, Design Optimization, Digital Twin Models

스마트시티 계획을 위한 인공지능 설계 기술

스마트시티는 일반 사람들에게도 익숙한 단어이다. 하지만 일반적인 상식으로 읽혀지는 의미보다 더 큰 의미를 가진다. 스마트시티는 다양한 최신 기술을 활용한 플랫폼으로서의 도시다.

스마트시티는 다양한 4차산업 혁신기술을 활용하여 도시의 계획, 운영, 관리, 재개발 등 도시의 생애주기 전반에 걸쳐 지속가능성을 고려해야 한다. 4차산업 혁신기술은 다양하게 존재하나 본 기고문에서는 도시계획 측면에서의 인공지능 기술을 중점으로 설명하되 디지털트윈 기술과의 연관성으로 확장하여 결론을 도출하였다.

인공지능 기술은 분야의 한계 없이 다양하게 적용되고 있으며, 인공지능을 통하여 향상되는 생산성은 정통성과 인간성을 이유로 인공지능 기술을 무시하기 어려운 시대를 만들었다. 인간이 생산하는 모든 결과물은 시간의 축 위에서 노동력(자본)을 투입하여 도출된다. 따라서 생산성의 증가는 이러한 시간과 노동력(자본)의 절약을 의미한다. 시간이 무한하다면 인공지능은 필요하지 않을 수도 있다. 하지만 유한한 시간에 높은 성과를 내기 위해서는 인공지능 기술이 효과적이며, 도시계획의 경우 더욱 그러하다.

도시계획은 건축계획보다 넓은 공간을 다양한 경우의 수로 판단해야 한다. 이때, 인공지능 기술을 적용할 경우 획기적으로 높아진 생산성은 기존에 할 수 없었던 검토를 가능하게 해준다. 예를 들어, 1기 신도시 전체의 재건축을 통하여 확보되는 세대수를 예측하는 작업이 사람에 의해 수행된다면 상당한 시간과 노동력(자본)이 들어가겠지만, 인공지능 기술을 이용한다면 비교적 쉽게 해결할 수 있다.

기존의 도시설계 방식

일반적으로 건축 프로젝트를 수행할 때 초기 사업성 검토부터 시작하여 계획, 기본설계, 실시설계 단계를 거치며 다수의 디자인 및 수정보완이 이뤄진다. 특히 초반 건축설계 단계일수록 그 빈도는 더욱 높다. 초기 사업성 검토 단계에서 다양한 시나리오를 검토할 필요가 있으며, 도시설계 규모에서는 단일 건축물이나 단일 공동주택 단지만 고려하는 것이 아니라 도시 전체를 고려한 설계를 수행한다. 즉, 단일 규모의 건축물도 초기 다수의 설계 검토를 수행하지만 이러한 빈도를 도시설계 규모에 적용할 경우 필요한 설계안의 수가 과도하게 많아진다는 문제가 발생한다. 따라서 도시설계 규모에서는 더 큰 맥락에서 도시를 분석하고 방향성을 제시하는 업무를 수행한다.

도시설계 단계에서는 단일 건축물만 고려하는 것이 아니라 교통, 물류, 생활편의시설, 교육, 의료 등 다양한 도시의 요소를 복합적으로 고려한다. 하지만 대부분의 도시 인프라는 사람들에 의해 사용되는 요소이기 때문에 예상되는 인구수(또는 가구수)는 매우 중요한 도시설계 지표가 된다. 기존의 도시설계 방법에서는 각 구역별 용적률을 기반으로 인구수를 예측하였다. 용적률을 이용한 인구수 도출로는 대략적인 예측은 가능하지만 정교한 예측이 불가능하여 다음의 문제점을 예상해볼 수 있다.

- 용적률, 건폐율, 층수는 건축설계의 규모를 결정짓는 요소로서 도시계획상 설정된 값을 기준으로 실제 용적률 달성이 어려울 수 있다.
- 용적률을 과도하게 높게 설정할 경우, 목표 용적률을 달성하기 위해 상품성보다 사업성을 고려한 공동주택 배치안이 될 수 있으므로 비합리적인 건축계획이 도출될 수 있다.
- 건축물의 규모(각 세대의 크기)에 따라서 동일 용적률에 따른 세대수의 편차가 크다.

정교한 예측을 하기 위해서는 도시의 각 구역에 정교한 건축설계가 필요하다. 하지만 앞서 언급했듯이, 도시설계의 모든 구역에 건축설계를 수행하여 인구수를 도출하기는 어렵다. 특히 방대한 건축설계 범위를 인간이 설계하는 것은 불가능하기 때문에, 인공지능 건축설계 기술은 이러한 이슈들을 빠르게 해결할 수 있다.

특히 최근 1기 신도시 재건축의 경우, 더욱 복잡한 문제점을 가지고 있다. 노후된 1기 신도시 지역의 주거환경 개선을 위해 재건축이 필요한 상황이지만, 재건축의 경우 추가 확보되는 세대수에 따른 분양수익으로 건설사의 시공비를 충당하게 된다. 예를 들어, 현재 용적률이 200%인 공동주택 단지를 300%까지 용적률을 높여 재건축할 경우 100%에 해당하는 세대 수만큼의 분양수익을 기대할 수 있다. 또한 최근 증가하는 시공비는 추가 확보해야 하는 용적률의 기준을 높이고 있다.

즉, 재건축 시장 구조는 고밀화 개발을 요구하고 있다. 고밀화 개발은 규제 완화의 통화를 통하여 숫자적인 달성은 충분히 가능할 것이다. 하지만 고밀화는 주거 품질의 악화를 가져올 수 있다. 각 세대의 일조성능이나 조망성능이 고밀화로 악화되는 대표적인 주거 품질이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 환경성능을 종합적으로 검토하는 도시계획이 이뤄져야 한다.

마지막으로, 모든 도시계획의 결과물은 디지털트윈 기반으로 검토하는 것이 필요하다. 도시적인 스카이라인, 각 구역별 랜드마크, 특정 고밀지역의 경관 침해, 기존 인접 주거지역의 도시적 불균형 등을 종합적으로 검토하기 위해서는 3차원 모델링에 각 요소의 속성 정보를 포함하는 디지털트윈 플랫폼 구축이 필요하다. 결국 의사결정은 사람에 의해서 이뤄지는 것이고 다양한 분석을 토대로 만들어진 입체적 도시형상을 기준으로 새로운 스마트시티가 생성될 것이다.

따라서 스마트시티 계획을 위해서는 ‘정교한 규모 검토’, ‘환경특화 검토’, ‘디지털트윈 플랫폼화’가 요구되며, 이를 혁신 기술의 키워드로 변환하면 AI 인공지능, ECO환경분석, DT디지털트윈이 될 것이다. 이러한 혁신 기술의 경우

각 요소기술은 이미 산업에 존재하고 있지만, 각 요소기술의 효과를 융합하여 스마트시티 계획으로 달성하기 위해서는 융합된 기술 플랫폼이 필요하다. 즉, 인공지능 설계 솔루션에 환경분석 알고리즘을 추가하고 그 결과물을 디지털트윈 플랫폼에 가시화하여야 한다. 또한 요소기술 간 연결관계는 서로 양방향 피드백이 가능하여, 도시계획을 수정함에 따라 그 결과를 실시간으로 업데이트하는 기술이 필요할 것이다.

AI: 인공지능 설계 기술을 활용한 도시설계

도시설계에 활용 가능한 인공지능 공동주택 단지설계 기술의 한 예가 BUILDIT^{빌드잇}이다. BUILDIT은 인공지능 공동주택 단지설계 솔루션으로, 사용자가 입력한 조건에 따른 다양한 공동주택 설계안을 자동으로 생성한다. 특히, 입력 시에 건축법규와 설계 조건을 설정할 수 있기 때문에 다양한 도시계획의 조건을 반영하여 설계안을 도출할 수 있다. BUILDIT은 공동주택 단지설계를 위한 다양한 필요정보와 분석을 자동으로 호출하고 생성한다. 이는 기존의 건축설계 방법처럼 수동으로 수행될 경우에 시간이 다소 소요되는 요소들이다.

- 용도지역별 건폐율, 용적률, 정북일조^{正北日照}, 채광사선^{採光斜線}, 인동거리^{隣棟距離}, 대지 내의 공지 등 건축법규 자동 추출
- 필지 정보 자동 추출 및 필지 속성 정보 기준 자동 인접대지 경계선 자동 추출
- 건물 용도별 필요 주차대수 산정 기준 자동 추출

이러한 자동화 요소를 구축하기 위해서는 다양한 공공데이터를 융합하여

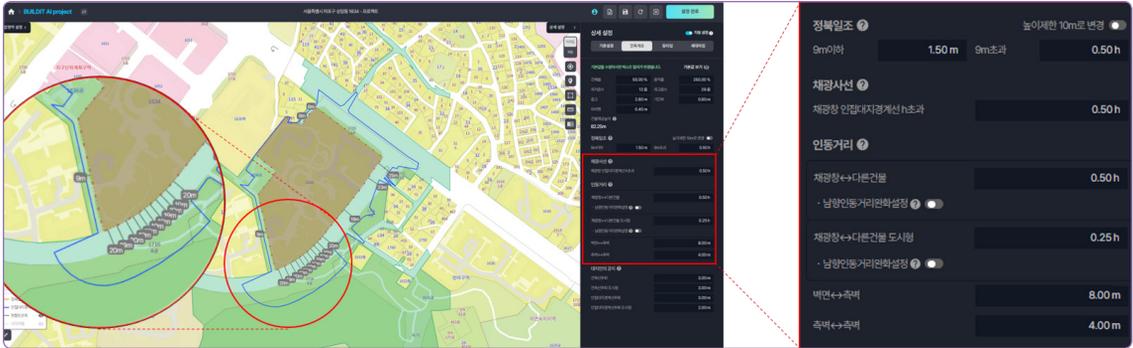


Figure 1

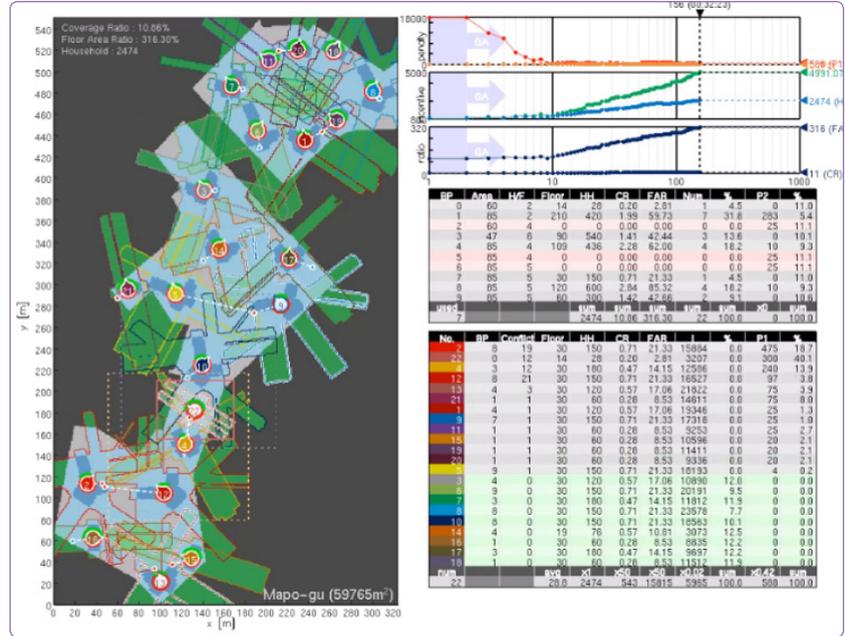
**자동 추출되는
공공데이터 모습(BUILDIT)**

완결성을 높이고 좌표계를 통일시켜 DB화하여야 한다. BUILDIT에서는 원 클릭으로 분석을 원하는 지역의 공공데이터를 일괄 호출하고 자동화 연산 후 위와 같은 결과물을 생성한다(그림 1 참조). 이러한 결과물은 인공지능 설계를 위해 입력되어야 하는 정보로서 기존에는 사람에 의해서 수동으로 찾아지거나 그려져야 하는 요소들이다.

BUILDIT은 공동주택 단지의 배치 설계안을 자동으로 생성하기 위해 아래에 예시한 자동화 요소를 포함한다. 기존 설계 방식에서 이러한 행위는 CAD나 모델링 도구를 통하여 수동으로 이뤄지기 때문에 배치안 하나를 만들기 위해 많은 시간이 소요되며, 배치안을 생성하는 설계자에 따라서 품질 차이가 발생한다. 자동화 생성 기술의 경우 항상 동일한 수준의 품질로 도시 전체를 평가할 수 있으므로 도시계획 시 평가 지표로서 객관적 활용이 가능할 것이다(그림 2 참조).

- 정북일조, 인동거리 등 자동 법규 검토
- 법규 검토에 따른 층수 산정
- 건축개요 자동 생성
- 단지 배치에 따른 캐드 파일 자동 생성
- 단지 배치에 따른 3차원 모델링 자동화
- 지형 및 주변건물 3차원 모델링 자동화

Figure 2
인공지능 공동주택 배치 모습 (BUILDIT)



BUILDIT은 공동주택 단지 배치안의 환경성능을 검토하기 위해 아래와 같은 다양한 분석 모듈이 연계되어 있다. 따라서 다양한 공동주택 단지설계 시나리오에 대한 주거환경의 변화량을 정량적으로 평가할 수 있다. 이러한 환경분석 모듈은 개별 분석마다 수일의 시간이 소요되기 때문에 도시단위의 환경분석을 정밀하게 한다는 것이 현실적으로 불가능에 가깝다. 하지만 인공지능 설계기술에 연계된 자동 환경분석 모듈은 이러한 현실적인 문제점을 해결하는 솔루션으로 동작할 수 있다.

- 단위세대 일조성능 자동 분석
- 단위세대 조망성능 자동 분석
- 주변 학교일조 피해 실시간 분석
- 개발 전후 경관 변화량 실시간 분석
- 개발 전후 스카이라인 실시간 분석
- 태양광 패널 검토를 위한 일사량 자동 분석(그림 3 참조)

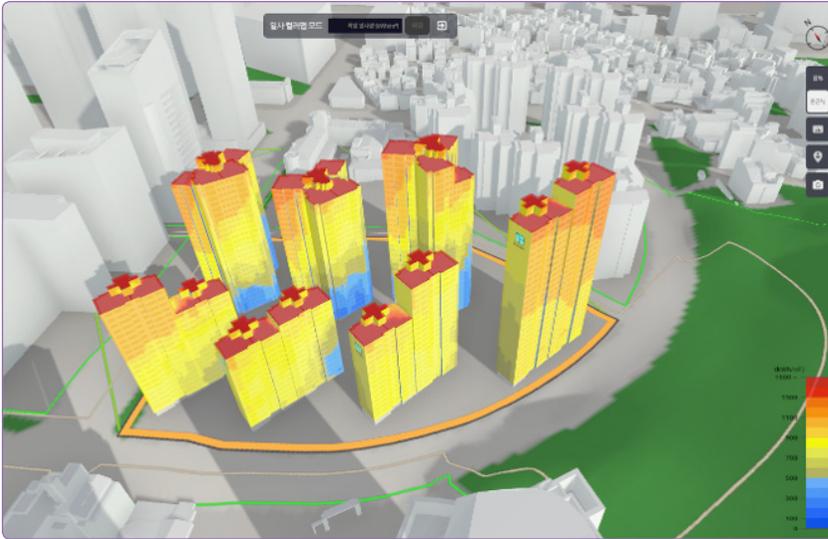


Figure 3
태양광 패널 검토를 위한
일사량 분석(BUILDIT)

설계 조건을 기준으로 하나의 공동주택 단지의 대략적인 규모 검토를 위해서는 일반적인 건축사무소에서 3~5일 정도의 시간이 필요하다. 하지만 인공지능 설계 솔루션에서는 30분 안에 그 결과를 확인할 수 있다. 또한 솔루션 내부에 연계된 다양한 환경분석 모듈로 자동화된 3차원 모습, 정밀한 환경분석(일조, 조망성능) 결과를 확인할 수 있다(그림 4 참조).

공동주택 단지설계의 경우 설계안의 정답이 정해져 있는 분야가 아니며 다양한 스타일이 존재할 수 있다. 따라서 해당 솔루션에서는 다양한 스타일의 결과를 제시하고 사용자에게 선택권을 부여한다. 이는 ChatGPT와 같은 인공지능 모델을 사용할 때 제공받은 결과를 사용자가 판단하고 일부를 발췌

Figure 4
인공지능 공동주택
단지설계 결과 예시
(좌: 단지 배치, 우: 3차원 모델링)



하여 보고서에 활용하는 것과 같은 프로세스이다. (여기서 예상할 수 있는 중요한 점은 이러한 인공지능 기술이 발전하더라도 사람의 역할이 변화할 뿐 사라지지 않는다는 것이다. 인공지능 기술은 우리에게 방대한 데이터를 빠른 시간에 제공하기 때문에 사람들은 이제 데이터를 더 빠르게 해석하고 판단해야 하는 역할을 요구받는다. 사라지는 것은 반복적으로 상상력 없이 생산하는 역할일 것이다. 아직도 선택과 취합은 사람의 역할이고 상상력이 더욱 중요한 시대가 될 수 있다.)

도시계획 시 결정되는 용적률, 건폐율, 최고 층수, 인동거리 등 형태를 결정하는 기준은 건축설계 시 기준이 되는 숫자이며, 형태를 결정하는 요소이다. 지정되는 기준에 따라 예상되는 도시의 모습을 면밀하게 검토할수록 도시계획의 정밀도가 향상될 수 있다. 인공지능 설계기술을 적용할 경우 다양한 기준값에 따라 예상되는 결과를 즉각적으로 판단할 수 있으며, 이러한 판단 근거는 스마트시티 계획을 위한 중요한 근거자료로 활용될 수 있다.

그림 5는 인동거리, 용도지역 기준값의 변화에 따른 인공지능 설계 결과물 예시이다. 예시에서 알 수 있듯이 인동거리, 용도지역 등 도시계획에서 검토하는 요소를 기준으로 인공지능 설계안의 차이가 발생한다. 인동거리 기준이 높아질수록 용적률과 세대수가 낮아지며 일조성능은 높아진다. 하지만 용도지역의 경우 '3중 일반주거지역'에서 '준주거지역'으로 변화할 경우 용적률, 세대 수가 높아지고, 예상과는 달리 일조성능도 향상된다. 준주거지역으로

Figure 5
인동거리, 용도지역 기준값의 변화에 따른 인공지능 설계 결과물(BUILDIT)



변경됨으로써 정북일조 기준이 제외되고 그에 따라서 일조성능이 우수한 위치에 공동주택이 위치할 수 있기 때문에 평균적인 일조성능이 높아진 것이라 예상할 수 있다. 즉, 대지 형상에 따라서 법규가 완화되더라도 환경성능이 좋아질 수 있으므로, 도시계획 시 계획되는 구역별 형상에 따라 인공지능 설계 기술을 적용하여 기준 변화에 따른 효과를 분석할 필요가 있다.

그림 6은 도시의 스카이라인과 형상에 연관된 최고 층수, 층고, 세대 타입 기준 변화에 따른 인공지능 설계 결과물 예시이다. 최고층수가 높아질 경우 확보 가능한 용적률과 세대 수는 증가한다. 특이한 점은 일조성능도 같이 좋아진다는 것이다. 이는 고층 부분의 일조성능이 좋은 세대 수가 많아지기 때문에 평균적으로 일조성능이 좋아지는 것이다.

세대 타입의 경우 큰 세대를 배치할 경우 세대수가 줄어들고 일조성능은 좋아진다. 반대로 작은 세대를 배치할 경우 세대수가 늘어나고 일조성능이 줄어들 것으로 기대할 수 있으나, 이 예시에서는 오히려 일조성능이 좋아지는 것을 볼 수 있다. 이 경우 대지 형상이 작은 세대의 도면으로 일조성능에 유리한 남쪽 면에 4개 건물을 배치할 수 있기 때문에 일반적인 추세와 다르게 세대수가 증가하여도 일조성능이 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 앞서 소개한 사례와 같이 공동주택 단지의 구역별 형상에 따른 차이로 볼 수 있다.

결과적으로 인공지능 설계 기술을 활용한 도시계획은 다양한 '구역계 형



Figure 6
최고 층수, 층고, 세대 타입
기준 변화에 따른 인공지능
설계 결과물(BUILDIT)

상, '용적률, 층수 등 제한사항'에 따른 설계안을 도출할 수 있고 이는 도시설계의 인구수 예측 정확도를 높일 수 있다. 이어서 필요 인구수에 따른 예상 교통량, 필요 SOC 규모검토 등 다양한 도시설계를 위한 분석 솔루션을 연계한다면 복합적이고 입체적인 도시계획이 가능하다.

ECO: 환경분석을 위한 설계 융합기술

도시설계와 건축설계의 공통점은 결과물이 수십 년간 지속된다는 점이다. 또한, 건축물이 준공되면 단 1미터도 이동이 어렵다. 도시의 규모로 확장한다면 더욱 불가능하다. 따라서 설계단계부터 설계 이후 영향에 대한 다양한 엔지니어링이 필요하다. 구조분석, 화재예방, 바람길, 일조분석, 태양광 발전 등과 같이 다양한 종류의 엔지니어링 요소가 존재한다.

대부분의 엔지니어링 분야는 설계안을 기준으로 분석하고 피드백을 거친다. 또한 대부분의 엔지니어링은 전문 업체에 의해 수행된다. 이는 설계자가 디자인을 수행하고, 엔지니어링 분석 결과를 피드백 받을 때까지 시간과 비용이 발생한다는 의미이다. 대부분의 프로젝트는 한정된 시간 내에 설계가 이뤄지기 때문에 충분한 최적화가 매우 어려운 상황이다.

예를 들어, 설계가 완료된 공동주택 계획을 기준으로 햇빛이 안 들기 때문에 설계안을 수정하여 옆으로 이동하는 데는 매우 큰 기회비용이 발생한다. 불가능한 것은 아니지만 건물의 위치를 이동함에 따라 수반되는 각종 구조, 설비, 지하층 계획 수정 등 다양한 변경사항이 발생하게 된다.

만약 초기 설계단계에 햇빛이 잘 드는 곳에 건물을 배치했다면 앞과 같은 이슈는 없을 것이다. 즉, 엔지니어링에 의한 최적화는 초기설계 단계에서 수행될수록 그 효율은 매우 높을 수 있다. 하지만 초기 설계 단계에서는 다양한 계획안을 검토해야 하므로 매 계획안마다 비용과 시간을 들여서 엔지니어링

을 수반하는 것은 매우 어렵다.

엔지니어링을 위해서는 설계가 선행되어야 한다. 일조분석을 위해서는 설계안이 우선 정의되고 해당 설계안의 일조분석을 실시하게 되는 것이다. 설계안의 변경은 엔지니어링 결과의 변경을 의미한다. 따라서 최적화 설계를 위해서는 '설계안 → 엔지니어링 → 설계안 업데이트 → 추가 엔지니어링'과 같은 프로세스가 이뤄진다.

앞서 언급했듯이, 각 단계는 시간과 기회비용을 발생시킨다. 반대로 일조분석을 설계사무소에서 직접 수행한다면 기회비용을 줄일 수 있고 최적화 설계가 가능하다. 따라서, 설계도구와 엔지니어링 도구의 융합이 필요하다.

설계도구와 엔지니어링 도구의 융합 사례로 기존 파라메트릭 설계도구가 있다. 라이노의 그래스호퍼, 레빗의 다이내모 등이다. 하지만 이 두 가지 파라메트릭 도구는 사용자가 엔지니어링 논리 스크립팅을 직접 작성해야 하기 때문에 사용성이 낮다. 특히, 엔지니어링을 위한 데이터(예를 들어 주변 지형, 기후정보, 구조기준, 재료의 구조적 물성값 등)를 사용자가 직접 입력해야 하는 불편함이 존재한다. 이러한 이유로 기존 파라메트릭 도구가 존재함에도 설계 최적화가 어려운 것이 현실이다.

따라서 디자인과 엔지니어링의 융합을 위해서는 스마트설계 솔루션이 필요하다. 스마트설계 솔루션이 최적화 문제 해결을 하기 위해서는 다음의 특징을 필요로 한다.

- 설계의 도구와 엔지니어링 도구의 융합
- 설계사무소에서 직접 사용할 수 있는 수준의 사용 편의성
 - 엔지니어링을 위한 복잡한 데이터 수집 자동화
 - 엔지니어링을 위한 파라미터 세팅 자동화
- 엔지니어링을 반영한 설계가 가능하도록 실시간 동작

그림 7은 BUILDIT의 디자인 편집도구인 BUILDIT Designer로 주변 일

Figure 7
실시간 일조분석 기능
활용 최적화 공동주택
설계 프로세스
(BUILDT Designer)



조 피해를 최소화하는 설계안을 도출하는 스마트설계 솔루션 예시이다. 실시간 주변 일조분석과 피해원인 건물을 가시화하는 기능을 갖고 있으며, 건축 법규 검토, 용적률 실시간 업데이트 등의 설계안 검토를 위한 기능을 포함하고 있다.

이 예시에서는 주변의 일조피해 문제를 실시간으로 확인하고 설계안을 변경함에 따라서 주변 일조성능을 즉각적으로 확인할 수 있다. 이를 통해 주변 일조 피해 저감을 위한 최적화 스카이라인을 생성하는 것이 가능하다. 이러한 입체적 모델링에 대한 실시간 분석 기능은 설계자에게 설계 최적화를 위한 환경분석 결과를 즉각 피드백해주는 것과 같다. 따라서 앞서 환경분석을 위한 엔지니어링 업체와의 커뮤니케이션 기회비용 없이 최적화 설계가 가능하다.

이러한 최적화 융합기술이 적용된 스마트설계 솔루션은 설계 초기 단계부터 적용 가능하다. 따라서 기회비용이 가장 낮은 설계 시점에 효율적인 의사결정이 가능하다. 당연히 최적화된 결과를 도출하기 때문에 다양한 엔지니어링 분야에서 효율적인 설계안을 도출할 수 있다. 또한 최적화 융합기술은 설계안의 품질을 향상시킨다. 최적화된 결과이기 때문에 당연히 품질이 향상되지만, 필자가 말하는 것은 최적화에 의한 영향 이상으로 향상될 수 있음의 미한다. 그 이유는 시간의 절약이다. 모든 설계 프로세스에는 유한한 시간이

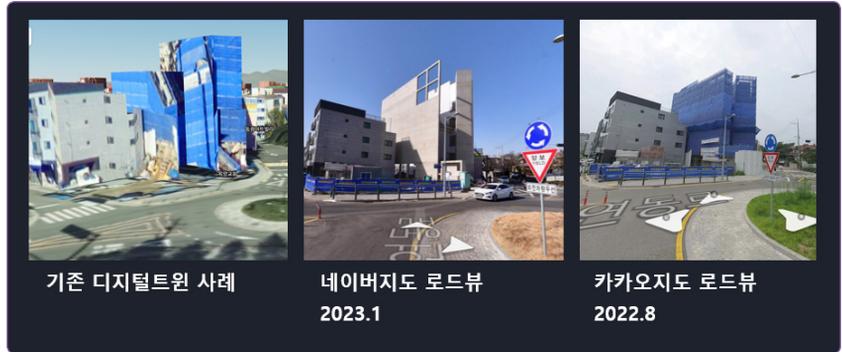
주어지므로, 최적화 솔루션으로 불필요한 설계 변경에 따른 기회비용 발생을 최소화할 수 있다. 따라서 동일한 설계기간에 더 많은 디자인적 고민을 수행할 수 있다. 즉, 절약된 시간만큼 설계안을 더 아름답게, 더 정교하게, 더 스마트하게 계획할 수 있는 것이다. 따라서 설계안의 품질이 최적화 요소 이상으로 향상될 수 있다.

DT: 스마트시티 계획을 위한 융합 플랫폼

현실을 모사한 게임과 디지털트윈의 가장 큰 차이점은 결과의 사회적 영향이다. 디지털트윈은 단순히 현실을 모사하여 표현된 3차원 공간이 아니다. 즉, 디지털트윈의 공간에서 이뤄지는 다양한 활동들은 사회적, 경제적 영향력을 가진다. 따라서, 디지털트윈 속 정보는 '정확성', '최신성', '표준성'을 기반으로 하는 '신뢰성'이 매우 중요하다. 예를 들어, 인접 건축물을 피해서 일조를 확보하는 건물의 형상을 계획하였을 때, 인접한 건축물의 위치, 형상 정보는 매우 중요한 요소이다.

이러한 데이터의 신뢰성을 고민하는 사례의 예로, 지도서비스의 로드뷰 사용 행태를 볼 수 있다. 필자는 새로운 목적지를 검색할 때, 로드뷰를 보면서 확인을 한다. 이때, 로드뷰에 찍힌 사진의 촬영 일자를 보고 너무 오래된 사진인 경우 100% 신뢰하지 못하게 된다(그림 8 참조). 즉, 로드뷰 이미지는 디지털트윈 데이터가 되는 것이고, 촬영 일자는 데이터 정보의 신뢰성을 대변한다. 따라서 디지털트윈에 적용되는 모든 데이터는 '정확성', '최신성', '표준성'을 가져야 하기 때문에, 이는 하나의 기준으로 정의되어 향후 추가되는 데이터에도 적용되어야 한다. 앞서 소개한 인공지능 설계 기술을 포함하여 다양한 분석 모듈은 통합된 디지털트윈에서 신뢰성을 가지는 데이터를 활용하여 동작해야 한다.

Figure 8
디지털트윈 데이터 최신성
오류 예시



도시는 지속해서 존재하는 역사를 가지기 때문에 누적되는 데이터가 존재하고, 누적된 데이터는 미래를 예측하는 기초 자료로 활용된다. 지속적으로 데이터가 쌓이면서 그 정확도가 향상되고 데이터를 활용한 분석모듈의 결과값이 고도화될 수 있다. 예를 들어, 건축물의 다양한 형태, 배치 데이터는 도시계획 시 활용되는 인공지능 설계모듈의 품질을 향상시킨다. 또는 공동주택 단지 인근 교통량 데이터는 공동주택 단지 출입구 제한영역이나 가로구역 활성화 산정의 기초자료로 활용 가능하다.

디지털트윈의 필수 구성요소는 3차원 모델링을 실제 좌표를 기반으로 구축된 가상의 공간으로 구축하는 것이다. 좌표체계를 기반으로 구축된다는 것은 새로운 레이어를 생성하고 추가적인 데이터를 맵핑할 수 있다는 의미가 된다. 여기서 기존 GIS 툴과 디지털트윈의 차별성을 정의해야 한다. 디지털트윈의 가장 큰 차별성은 3차원이라는 것이다. 차원의 수가 하나 늘었기 때문에 얻어지는 효과는 엔지니어링 측면에서 매우 크다.

다양한 분석을 수행할 수 있는 다양한 솔루션들은 개별로 존재한다. 또한 일반적으로 각 솔루션에는 분석대상 정보와 분석환경 정보를 입력해야 하고 분석된 결과는 보고서 형태로 요약된다. 각 솔루션에 정보를 입력하기 위해서는 설계안에서 분석대상 정보를 추출하는 과정이 필요하고, 이는 많은 시간이 소요된다. 하지만, 디지털트윈에서는 하나의 분석대상 정보를 기준으로 다양한 분석이 가능하고, 분석환경 정보를 통합 관리할 수 있다. 즉, 별도로

의 분석대상 정보 입력 없이 디지털트윈 상의 모델링 정보를 바로 사용하면 더 ‘신속한’ 분석이 가능하다. 추가적으로 이러한 신속한 분석 기술은 앞에서 서술한 최적화 융합기술로 동작할 수 있다.

도시는 복잡하고 유기적인 연결관계를 가지는 요소로 구성되기 때문에 최적화 설계를 위해서 다양한 분석 모듈이 융합되어야 한다. 따라서 새로운 모듈의 융합이 가능한 개방형 구조를 가진 디지털트윈은 스마트시티 계획을 위한 플랫폼으로서 유용하게 활용될 수 있다. 특히 이러한 플랫폼은 자생하는 생태계적 성격을 지녀야 한다.

도시가 유기적으로 성장하듯이 스마트시티 계획 솔루션도 지속적인 업데이트와 기능 개발이 필요하다. 이때 중앙기관에 의한 단독 개발은 사회 전반에서 발생하는 방대한 데이터를 흡수하거나 필요 개발 항목들을 모두 대응하기 어렵다. 대신 디지털트윈 공간상에서 비즈니스가 가능한 구조라면 마치 모바일 시장에서 다양한 앱이 개발되듯이 자생하는 플랫폼으로서 지속적인 연구개발이 이뤄질 수 있다.

고밀화가 요구되는 최근 1기 신도시 이슈에서 알 수 있듯이 지금 우리의 도시는 다양한 요소기술을 융합하여 지속가능한 계획이 필요한 상황이다. IT 강국으로 다양한 스타트업에서 기술개발을 수행하고 있는 현 시점에서 스마

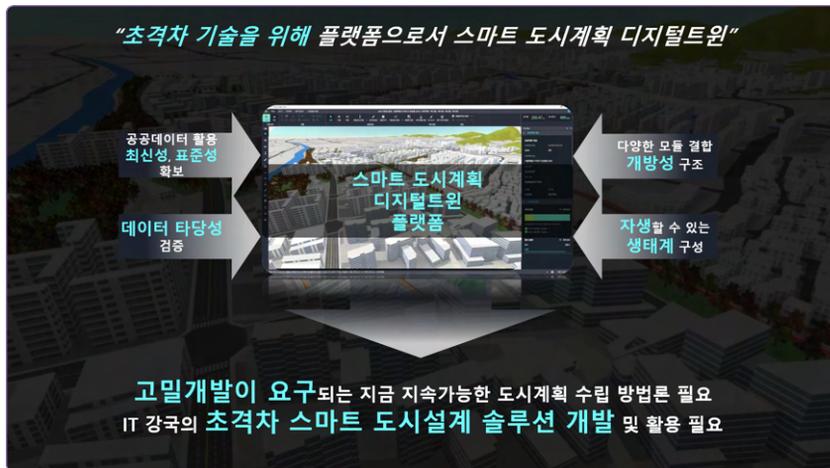


Figure 9
스마트시티 계획 기술을 위한
디지털트윈 플랫폼

트시터를 위한 디지털트윈 플랫폼이 앞에서 논한 바와 같이 자생할 수 있는 구조로 구축된다면 우수한 민간 기술이 스스로 융합되어 스마트시티 플랫폼을 구현할 수 있다(그림 9 참조). 이는 스마트시티 분야의 글로벌 초격차를 달성하는 기술의 핵심이 될 것이다.



SMART CITY

T O P

A G E N D A

2 0 2 4

CHAPTER

03

**스마트시티와
첨단교통**

Smart City and Advanced Transportation

스마트시티와 첨단교통

카를로 라티

Carlo Ratti



건축가이자 엔지니어인 카를로 라티는 MIT와 밀라노 공과대학교에서 교수로 재직 중이며, MIT의 감응형 도시 연구소Senseable City Lab 소장을 맡고 있다. 그는 토리노, 뉴욕, 런던에 사무실을 둔 건축 및 디자인 스튜디오 CRACarlo Ratti Associati의 대표이기도 하다. 라티는 풀브라이트 장학생으로 토리노 공대, 파리 기술대학교, 케임브리지 대학교에서 학위를 취득했으며, 가장 많이 인용되는 도시계획 학자 10인 중 한 명으로 손꼽힌다. 그는 《감응도시 아틀라스》(Atlas of the Senseable City, 예일대 출판) 등 750편 이상의 저술을 남겼다.

그의 대표적인 프로젝트로는 타임지 선정 '최고 발명품'에 이름을 올린 <코펜하겐의 스마트 자전거>Copenhagen Wheel와 로봇 디자이너 <스크리비트>Scribit가 있다. 그의 작품은 뉴욕 현대미술관MoMA, 베네치아 비엔날레, 2015년 밀라노 엑스포, 2019년 선전 도시건축 바이시티 비엔날레UABB, 14회 비엔날레 매니페스타 등 세계적인 전시회에서 소개되었다. 그는 2025년 베네치아 비엔날레 제19회 국제 건축 전시회의 큐레이터로 선정되었으며, 블룸버그는 그를 '감응형 도시의 철학자'Philosopher of the Senseable City라 칭했다.

초록

새로운 기술이 도시 생활 방식을 재구성함에 따라 도시는 점진적으로 진화하고 있다. 본 논문은 카를로 라티 교수가 이끄는 MIT 감응형 도시 연구소 *MIT Senseable City Lab*에서 수행한 6개 프로젝트를 살펴봄, 데이터 활용을 통해 도시 이동성 문제에 대한 혁신적 솔루션을 탐구한다.

2006년 월드컵 기간 동안 이동성을 추적한 '실시간 로마' *Real Time Rome* 프로젝트로 시작된 이 연구들은 디지털 도구를 활용하여 기술이 개인의 도시 생활에 미치는 잠재적 영향을 보여준다.

이 프로젝트는 공유, 이동, 감지라는 세 가지 주제로 나뉜다. HubCab(택시 공유)과 Unparking(주차공간 줄이기)은 공유 이동성 시스템과 자율 주행차가 교통 체증을 완화하고 도시 공간을 확보하는 데 어떻게 기여할 수 있는지 탐구한다. 특히, 유휴 차량을 줄여 주차 인프라를 실질적으로 감소시킬 가능성을 조사한다. Pointiest Path와 US-15는 사람들이 도시를 탐색할 때 길을 선택하는 패턴을 분석하며, 이를 통해 접근성과 도시 설계에 관한 중요한 질문을 제기한다. Good Vibrations와 Flatburn은 교량이나 대중교통 인프라의 실시간 환경 및 구조 데이터를 수집하여 스마트한 도시 관리를 위한 도구를 제시한다. 이 연구들은 단순히 더 빠르게 이동하는 방법만을 고민하지 않는다. 이동성 시스템이 탄소 배출 감소, 활용도가 낮은 도시 지역의 활성화 등 도시의 다양한 요구를 충족하는 데 어떻게 기여할 수 있는지를 탐구한다. 이러한 연구에서 등장한 개념이 바로 'Moving Web'이다. 이는 다양한 교통수단을 통합해 사람들에게 더 큰 유연성과 선택권을 제공하는 미래 도시 이동성 모델이다.

키워드

도시 이동성, MIT 감응형 도시 연구소, 실시간 데이터, 역동적 인프라, 분산형 감지(Distributed Sensing)

● ABSTRACT ●

Cities are quietly evolving as new technologies reshape how we navigate urban life. This paper examines six projects by the MIT Senseable City Lab, directed by Professor Carlo Ratti, that use data to explore solutions to urban mobility challenges. Starting with Real Time Rome, a project that mapped movement during the 2006 World Cup, these projects demonstrate the potential of digital tools to rethink urban life.

The projects are grouped into three themes: sharing, movement, and sensing. HubCab and Unparking investigate shared mobility systems and how autonomous vehicles might ease congestion and free up city space. Behavioral studies like Pointiest Path and US-15 examine the patterns and decisions shaping how people navigate cities, raising important questions about accessibility and urban design. Meanwhile, Good Vibrations and Flatburn reveal how everyday infrastructure, such as bridges or public vehicles, can gather real-time environmental and structural data, creating tools for smarter city management.

These projects don't just focus on moving people more quickly; they aim to rethink mobility systems to serve broader needs, from reducing emissions to reclaiming underutilized urban areas. A concept emerges of a "Moving Web," where diverse forms of transportation are integrated to offer people greater flexibility and choice. This work by the Senseable City Lab offers practical insights into how cities can move beyond traditional transportation models and create systems that are more adaptable, efficient, and responsive to the lives of their residents.

KEYWORDS

Urban Mobility, MIT Senseable City Lab, Real-Time Data, Dynamic Infrastructure, Distributed Sensing

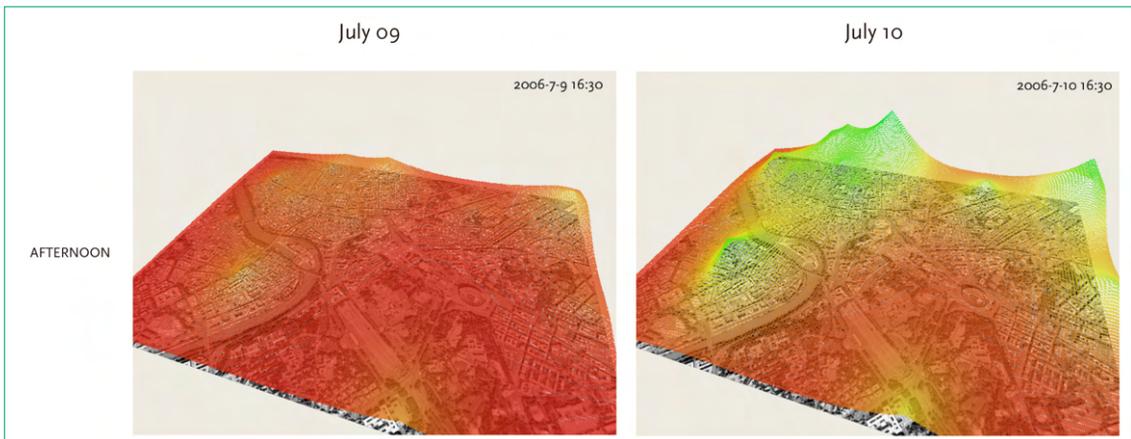
들어가며

2006년 여름, 이탈리아와 프랑스의 월드컵 결승전이 전 세계 TV 화면을 통해 중계되면서 로마의 거리는 활기로 가득 찼다. 수천 명의 열광적인 팬들이 술집, 식당, 혹은 집으로 모여들며 집단적 에너지가 도시 전역으로 퍼져나갔다. 아슬아슬한 승부차기 끝에 마침내 이탈리아가 승리를 거두자, 로마는 축제 분위기로 폭발했다. 거리는 경적을 울리는 자동차, 넘실대는 국기의 물결, 그리고 열광적인 구호로 가득 찼다. 하지만 이런 들뜬 표면 아래, 또 다른 종류의 움직임이 조용히 작동하고 있었다. 바로 데이터로 가동되는 움직임이었다.

결승전 하프타임 동안, 많은 팬이 긴장감 넘치는 동점 상황을 친구들에게 전하기 위해 전화를 걸면서 전화망에 불이 붙었다. 경기가 종료되고 이탈리아의 승리가 확정되자, 이번에는 택시 호출이나 파티 계획 같은 통화가 이어지며, 이 전화망을 통해 도시 전역에서 사람들의 이동 흐름이 드러났다. MIT 감응형 도시 연구소가 주도한 이 실험 프로젝트는 이러한 보이지 않는 소통과 움직임의 흐름을 포착하고 시각화하려는 첫 시도였다.

2006년 베니스 비엔날레에서 공개된 실시간 로마 프로젝트 **Real Time Rome**

Figure 1
월드컵 당일 오후와
다음날 오후, 로마 시내
이동성을 실시간으로
시각화한 화면

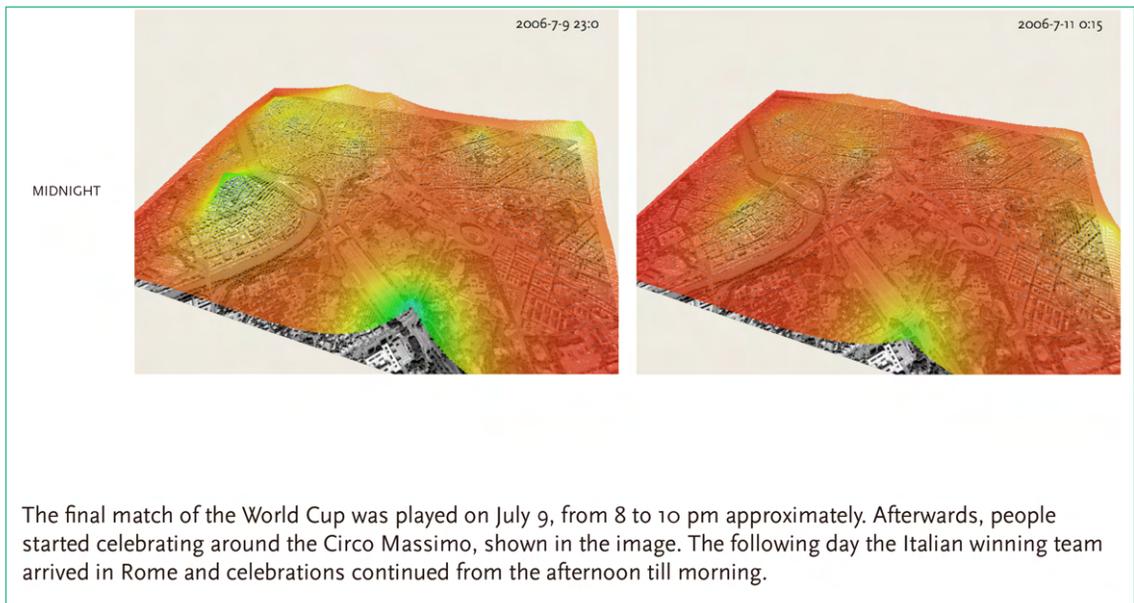


Project는 디지털 데이터가 도시의 맥박을 시각화하는 데 어떻게 기여할 수 있는지를 보여준 초기 시도 중 하나였다. 이탈리아 통신 그룹 TIM(구 Telecom Italia)의 Lochness 플랫폼 덕분에, 휴대전화, 버스, 택시 데이터를 활용할 수 있었고, 이를 통해 월드컵 기간 동안 로마의 이동성을 실시간으로 시각화할 수 있었다. 그 결과, 도시 생활이 실시간으로 거리에서 어떻게 흐르는지, 사람들이 특정 지역에 어떻게 모이고 축하 행사가 끝난 후 어떻게 흩어지는지를 보여주는 생생한 지도가 완성되었다.

이 프로젝트는 데이터 기반 도시 연구에서 획기적인 전환점이 되었지만, 디지털 네트워크를 통해 도시를 이해하려는 훨씬 더 광범위한 노력의 첫걸음에 불과했다. 스마트폰이 보편화되기 전, '통신 네트워크를 활용한 도시 이동성 추적'은 혁신적인 접근 방식으로 여겨졌으나, 오늘날 이는 현대 도시 계획에서 가장 기본적인 요소로 자리 잡았다. 오늘날 우리는 앱, 센서, GPS 장치에서 얻은 실시간 데이터가 교통 경로부터 승차 공유 알고리즘에 이르기까지 모든 것에 영향을 미치는 시대에 살고 있다. 이를 통해 도시는 더욱 스마트해

Figure 2

**월드컵 당일 밤과
다음날 밤의 로마 시내
이동성을 실시간으로
시각화한 화면**



지고, 상호 연결된 생태계로 진화하고 있다.

도시 이동성은 늘 도시를 형성하는 중요한 동력이었다. 고대 로마의 격자형 도로에서 베니스의 수로, 20세기의 광대한 고속도로에 이르기까지, 우리가 이동하는 방식이 우리가 도시를 건설하는 방식을 결정해왔다. 프랑스의 건축가 르 코르뷔지에 [Le Corbusier](#)는 “빠른 속도를 가능하게 만드는 도시가 성공적인 도시다”라는 유명한 말을 남겼다. 그러나 끊임없이 속도를 추구하는 것은 교통 체증, 오염, 도시 외곽의 고립 같은 비용을 초래하기도 했다.

오늘날의 도시는 이러한 도전에 대응하며, 더 스마트하고 적응력 있는 이동성 솔루션에 초점을 맞추고 있다. 데이터 분석, 인공지능, 실시간 추적과 같은 기술의 발전 덕분에 도시 계획가들은 도시 환경을 탐색하고 설계하는 방식을 새롭게 구상할 수 있게 되었다. 이러한 접근은 도시를 ‘살아있는 유기체’로 변화시키며, 실시간 정보에 따라 인프라가 역동적으로 조정되는 환경을 만들어가고 있다.

스페인의 도시 계획가이자 현대 바르셀로나의 기틀을 세웠다고 평가받는 일데폰스 세르다 [Ildefons Cerdà](#)는 그의 저서 《도시화 일반 이론》[The General Theory of Urbanization](#)¹⁾에서 도시를 과학적으로 설명할 방법에 대해 꿈꿨다. 시간이 흘러 그 꿈은 디지털 네트워크와 데이터 기반 통찰력을 통해 현실이 되었다. 이제 우리는 세르다가 상상하지 못했던 방식으로 건축 환경을 이해하고 최적화할 수 있으며, 사람들이 도시를 어떻게 이동하고 그 패턴에 맞게 도시 시스템을 어떻게 조정하는지를 실시간으로 볼 수 있다.

도시가 계속 진화함에 따라 도시 생활의 다음 단계는 단순히 ‘속도’가 아니라, 적응 가능하고 효율적이며 지속 가능한 환경을 만드는 데 초점을 맞추고 있다. 도시 이동성의 미래는 비효율성을 줄이고 대중교통을 개선하며 도시를 더 살기 좋은 공간으로 만드는 데 데이터를 얼마나 효율적으로 활용할 수 있

1) Cerdà, I. *The General Theory of Urbanization*.

느냐에 달려 있다. 중요한 과제는 기술 발전과 함께 포용성과 인간 중심 디자인이라는 공간적 필요성을 조화롭게 균형 맞추는 것이다.

MIT 감응형 도시 연구소에서 오랜 기간 이 분야에 기여해온 점을 자랑스럽게 생각한다. 또한 CRA *Carlo Ratti Associati*는 우리가 연구한 아이디어를 혁신적인 디자인으로 전환하는 데 중요한 역할을 해왔다. 로마에서 시작한 초기 작업부터 최근의 프로젝트에 이르기까지, 우리는 데이터를 활용해 도시를 경험하는 방식을 재구성하려는 연구자와 실무자 커뮤니티와 협력해왔다.

본 연구에서는 감응형 도시 연구소에서 탐구한 다양한 주제 중에서 도시 이동성의 미래를 형성하는 데 핵심적인 몇 가지를 강조하고자 한다. 이는 공유 및 자율 운송, 이동 패턴을 발견하기 위한 수학적 모델 활용, 그리고 적응형 도시 시스템을 지원하는 분산형 감지 기술 *Distributed Sensing*에 관한 것이다.

1부: 공유

공유 모빌리티는 디지털화된 도시 환경의 진화에서 핵심 원칙으로 자리 잡고 있다. 공유 택시부터 자율주행 차까지, 가용한 자원을 공동으로 사용하는 방식을 통해 도시는 교통 체증을 완화하고 탄소 배출량을 줄이며, 도시 공간을 보다 효율적으로 활용할 수 있다. 1부에서는 감응형 도시 연구소의 HubCab(2013)과 Unparking(2018) 프로젝트를 통해 공유 모빌리티 시스템이 도시 교통 네트워크를 최적화하고, 개인 차량 의존도를 낮추며, 사람들이 이동하는 방식을 재구성하여 도시 환경에 어떤 변화를 가져오는지 살펴본다.

이들 프로젝트는 도시 이동성을 보다 지속 가능한 방향으로 재편하기 위한 미래지향적 노력에 귀중한 통찰력을 제공한다. 또한, 승차 공유 *ride-sharing*와 차량 공유 *car-sharing*의 개념을 구분해 논의한다. 승차 공유는 여러 사용자

가 동시에 한 대의 차량을 공유하는 방식이고, 차량 공유는 하루 중 각기 다른 사용자가 다른 시간대에 동일 차량을 사용하는 개념이다.

공유-허브캡 HubCab

HubCab 프로젝트는 승차 공유가 도시 교통에 어떤 혁신을 가져올 수 있는지를 탐구한 초기의 대표적 사례로, 중요한 통찰력을 제공한다. 이 프로젝트는 뉴욕시에서 1억 7천만 건 이상의 택시 운행 데이터를 분석해 복잡한 택시 이동 네트워크를 시각화했다. 혁신적인 수학적 접근을 통해 택시 운행 빈도, 위치, 시간을 세부적으로 보여주는 대화형 시각화를 생성함으로써, 기존에 볼 수 없었던 도시 이동성에 대한 새로운 관점을 제시했다.

HubCab은 개인의 이동 습관을 추적하는 데 그치지 않고, 승차 공유를 통해 여행을 최적화할 수 있는 엄청난 가능성을 강조한다. 이 시스템은 사람들이 언제, 어디서, 어떻게 승차하고 하차하는지를 분석하여, 이동 패턴이 중복되는 구역을 식별함으로써 중요한 공유 기회를 발견하도록 돕는다. 그 결과, HubCab은 다음과 같은 질문을 제기한다.

복잡하고 다양한 택시 운행 중 얼마나 많은 운행이 공유될 수 있을까? 승차 공유를 통해 운행 횟수, 교통 체증, 연료 소비를 얼마나 줄일 수 있을까? 이런 질문은 승차 공유가 도시 이동성을 어떻게 재편할 수 있는지에 대한 광범위한 비전의 핵심을 이룬다.

HubCab의 대화형 인터페이스는 수백만 건의 개별 택시 운행 데이터를 통해 구축된 방대한 실시간 도시 데이터 세트를 기반으로 한다(그림 3). 이 데이터는 단순히 사람들이 어디로 이동하는지를 보여줄 뿐만 아니라, 도시가 모빌리티 허브를 통해 어떻게 연결되어 있는지를 파악할 수 있는 중요한 패턴을 드러낸다. 사용자는 승객의 승차 및 하차 활동이 집중된 구역을 조사할 수 있으며, 이를 통해 해당 구역이 도시 이동의 중심 허브로서 기능하는 방식에 대한 중요한 통찰을 얻을 수 있다. 이처럼 이동 패턴을 이해하면 도시 교통의 복잡성을 해결하고, 공유 모빌리티 솔루션을 활용하여 도시를 보다 효율적으로



Figure 3

HubCab이 뉴욕시 택시 이동과 공유 가능성이 높은 교점을 시각화한 화면

로 만들 수 있는 방안을 모색할 수 있다. HubCab 프로젝트는 데이터와 수학적 접근법을 통해 도시 이동성을 혁신적으로 재구성하는 데 기여한 대표적인 사례다.

HubCab은 새로운 수학적 접근 방식인 공유 네트워크의 개발에 결정적 역할을 했다. 네트워크 과학의 선구자로 알려진 스티븐 스트로가츠(Steven Strogatz)와의 협력으로 개발된 이 공유 네트워크 개념은, 여행 공유의 잠재력을 모델링하고 최적화하기 위한 수학적 프레임워크를 제공한다. 해당 연구는 미국 국립과학아카데미²⁾ 회보에 게재되었으며, 이를 통해 택시 운행의 효율성을 극적으로 높일 수 있는 가능성을 보여주었다. HubCab의 연구에 따르면, 승객들에게 큰 불편을 주지 않으면서도 뉴욕시의 택시 운행 횟수를 약 40%까지 줄일 수 있는 것으로 나타났다.³⁾

2) P. Santi, P. Resta, G. Szell, M. Sobolevsky, S. Strogatz, S., & Ratti, C. (2014). Quantifying the benefits of vehicle pooling with shareability networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 111(13290–13294).

3) Santi, P., Resta, G., Szell, M., Sobolevsky, S., Strogatz, S., & Ratti, C. (2013). Taxi pooling in New York City: A network-based approach to social sharing problems.

이 시스템은 단순히 이동 횟수를 줄이는 데 그치지 않고, 환경적·경제적 측면에서도 상당한 이점을 제공한다. 다른 모든 조건이 동일할 때, 여행이 감소하면 도로의 차량 수가 줄어들어 교통 체증이 완화되고 연료 소비가 줄어드는 결과를 가져온다. 이는 탄소 배출량의 대폭 감소로 이어진다.⁴⁾ 경제적으로도 공유 여행은 각 여행의 비용을 여러 승객이 분담함으로써 요금을 낮추는 효과가 있다. 이처럼 비용과 교통량의 감소는 지속 가능하고 경제이며 효율적인 교통 시스템의 구축 가능성을 열어준다. HubCab의 연구 결과는 실질적인 환경 문제의 완화로 이어질 수 있음을 보여주며, 공유 여행이 활성화될 경우 수천 킬로그램에 달하는 탄소 배출량을 줄일 수 있다는 점을 강조한다.⁵⁾

이 연구의 영향은 단순한 학문적 호기심을 넘어섰다. HubCab이 제공한 통찰력은 우버 풀(Uber Pool)과 같은 승차 공유 서비스의 탄생에 중요한 단초가 되었다. 실제로 HubCab의 연구 결과가 발표된 직후, 우버의 CEO가 이에 깊은 관심을 보였고, 곧이어 MIT와 우버 간의 협력으로 공유 모빌리티 솔루션 개발이 본격화되었다. 오늘날 우버 풀, 디디(Didi), 그랩(Grab), 리프트(Lyft)와 같은 승차 공유 서비스들은 그들의 주요 개념과 원칙 상당 부분을 HubCab의 연구 성과에서 차용했다고 해도 과언이 아니다.

HubCab의 데이터 기반 접근 방식은 디지털 세계가 물리적 세계에 미치는 영향을 명확히 보여주는 사례다. 사람들이 도시를 이동하는 방식을 분석함으로써, 이동성을 개선하기 위한 인프라 재구성에 필요한 통찰력을 제공한다. 예를 들어, 택시 여행의 상당 부분이 공유될 수 있다는 사실이 밝혀진다면, 개별 차량 전용 도로를 줄이고 보행자, 자전거 이용자, 대중교통을 위한 공간을 늘리는 도시 설계를 구상할 수 있다. 이러한 아이디어는 디지털 통찰력이

4) Szell, M., & Groß, B. (2013). Hubcab - Taxi-Fahrgemeinschaften, digital erkundet. In D. Offenhuber & C. Ratti (Eds.), *Die Stadt entschlüsseln* (Bauwelt Fundamente). Birkhäuser.

5) ibid

물리적 변화를 유도하는 피드백 루프의 일부로 작용하며, 이를 통해 지속적으로 새로운 데이터와 설계 기회를 창출할 수 있음을 보여준다.

공유-언파킹 Unparking

Unparking은 차량 공유, 특히 공유 및 자율주행 차량의 도입을 통해 도시 이동성을 재편하고 주차 수요를 줄이는 방안을 탐구하는 프로젝트다. 싱가포르의 실제 데이터를 기반으로 한 이 프로젝트는 도시가 개인 소유 차량 중심의 모델에서 공유 이동성 시스템, 특히 자율주행 자동차를 통합하는 모델로 전환했을 때, 얼마나 많은 주차 공간을 절약할 수 있는지를 체계적으로 정량화한다. 이 연구는 두 가지 시나리오를 제시한다. 현재 상황에서는 개인 차량 한 대가 하루 동안 여러 곳에서 주차 공간을 차지하지만, 미래에는 공유 자율주행 차량이 효율적으로 활용되어 목적지마다 전용 주차 공간이 불필요하게 될 수 있다는 것이다.

현대 도시 환경에서 개인 차량은 도로 인프라의 대부분을 점유하며, 집, 직장, 쇼핑센터 등 다양한 목적지에서 상당한 주차 공간을 차지한다. 그러나 개인 차량은 하루의 약 95%를 운행하지 않고 정차 상태로 보내며, 그동안에도 차량을 수용하기 위한 대규모 인프라가 필요하다. 이 프로젝트는 이러한 모델의 비효율성에 주목한다.⁶⁾ 즉, 한 대의 자동차가 집과 직장 등 최소 두 곳의 주차 공간을 필요로 함으로써 값비싼 도시 토지가 충분히 활용되지 못하고 있다는 점이다.

Unparking은 특히 재택근무와 같은 패턴이 교통 체증과 주차 수요를 완화하는 데 어떻게 기여할 수 있는지에 초점을 맞춘다. 통근자는 집과 직장 두 곳 모두에 전용 주차 공간이 필요하기 때문에, 도시 공간의 상당 부분을 운

6) Kondor, D., Zhang, H., Tachet, R., Santi, P., & Ratti, C. (2018). Estimating savings in parking demand using shared vehicles for home-work commuting. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(8), 2903–2912.

행하지 않는 차량이 점유한다. 이 연구는 60만 명 이상의 싱가포르 통근자의 휴대전화 데이터를 분석해 다양한 공유 모빌리티 모델의 영향을 평가했으며, 특히 자율주행 차량의 가능성에 중점을 두었다. 연구에 따르면, 자율주행 차량을 공유하여 지속적으로 장소를 이동시키면 주차 공간에 대한 필요성을 획기적으로 줄일 수 있다.

결론적으로, 연구는 공유 자율주행 차량 모델로 완전히 전환할 경우, 현재 도시 지역에서 필요한 주차 공간의 최대 85%를 다른 용도로 활용할 수 있다고 제한한다(그림 4). 싱가포르에서 실시된 연구 시뮬레이션에 따르면, 20만 대의 자율주행 차량이 사람들의 이동을 처리하면 상당수의 개인 차량 이용을 대체할 수 있으며, 현재 137만 대의 주차 공간 중 70%가 감소한 41만 대만 필요하게 된다. 게다가 최소 규모의 자율주행 차량으로 최적화된 솔루션을 고안하면 주차 공간을 더욱 극적으로 줄일 수 있다. 예를 들어, 9만 대의 자율주행 차량을 운행하면 21만 개의 주차 공간만 필요하게 되어 차량과 주차 인프라가 최대 85%까지 감소할 수 있다는 것이다. 그러나 이 경우, 각 이동 간 가용한 자율주행 차량의 배치를 재조정해야 하기 때문에 차량 한 대당 총 주행 거리가 약 20% 증가할 수 있다는 점도 고려해야 한다.⁷⁾

Figure 4
 싱가포르에서 현재 주차공간(왼쪽)과 AV 운영 시 예상되는 주차공간(오른쪽) 비교 지도



7) ibid

Unparking에서 중요한 논점 중 하나는 기존 차량 공유 모델과 자율주행 차량 공유 모델의 차이를 명확히 하는 것이다. 기존 차량 공유 모델은 몇 가지 이점을 제공하지만, 사용자가 빈 차량을 찾는 데 느끼는 불안감, 편도 여행 후 차량을 재배치하는 어려움 등과 같은 문제로 인해 보급에 한계가 있다. 이러한 수송 문제로 인해 기존 차량 공유 시스템은 효율성에서 제한적일 수밖에 없다. 반면 자율주행 차량은 운영에 있어 더 큰 유연성을 제공하므로 이러한 문제를 해결할 가능성이 높다. 자율주행 차량은 운전자가 필요 없고, 수요에 따라 경로를 지속적으로 조정할 수 있어 차량이 유휴 상태로 있는 시간을 줄이고 특정 위치에 주차할 필요성을 최소화한다. 결과적으로 주차와 경로 최적화가 가능해져 더 적은 차량으로도 더 많은 인구에게 효율적인 서비스를 제공할 수 있다.

이 연구는 또 ‘ r_{max} ’⁸⁾라는 개념을 탐구한다. r_{max} 는 사용자가 가용 차량이 있는 위치까지 도보로 이동할 수 있는 최대 거리를 의미한다. 기존 차량 공유 모델에서 사용자들은 차량이 자신의 위치에 가깝게 배치되기를 선호하므로 r_{max} 가 매우 제한적이었다. 차량이 멀리 배치되어 있어 도보 거리가 길어질 경우, 사용자 불만이 발생할 가능성이 높았다. 그러나 자율주행 차량 공유에서는 이러한 걱정을 덜 수 있다. 차량이 사용자 위치로 직접 이동할 수 있어 주차에 대한 부담이 사라지고, r_{max} 가 더 유연해질 수 있는 것이다. 자율주행 차량의 배치 유연성은 공간과 시간을 효율적으로 활용할 수 있게 하며, 결과적으로 주차 인프라에 대한 의존도를 크게 줄일 수 있다.

Unparking의 영향은 단지 주차 문제를 해결하는 데 그치지 않고 도시 계획 및 지속 가능성으로 확장될 수 있다. 주차 인프라 필요성이 줄어들면, 도시는 공간 활용 방식을 재구성하여 현재 주차장이 차지하고 있는 지역을 녹지, 공원, 또는 보행자 구역으로 전환할 수 있다. 이를 통해 도시는 거주성을

8) *ibid*

향상시키고, 도시 열섬 효과를 완화하며, 환경적으로 지속 가능한 도시를 만들 수 있다. 또한, 공유 모빌리티 시스템으로 도로 위 차량 수가 줄어들면 교통 체증이 감소하고 탄소 배출량이 줄어들어 대기 질이 개선된다. 이는 도시를 더욱 건강하고 살기 좋은 장소로 변화시키는 데 기여할 것이다.

2부: 이동의 법칙

도시에서 사람들이 어떻게 이동하는지 이해하는 것은 미래의 도시 이동성을 설계하는 데 핵심적인 요소다. 기술과 인프라가 이동성을 위한 프레임워크를 제공한다면, 개인의 행동은 이동성을 결정하는 근본적인 동력이다. ‘이동의 법칙’*laws of mobility*은 사람들이 도시를 탐색하고, 경로를 선택하며, 교통망과 상호작용하는 과정에서 나타나는 패턴과 경향, 인지적 메커니즘을 포괄한다. 프로젝트 ‘Pointiest Path(2021)’와 ‘US-15(2024)’는 대규모 데이터를 분석하여 편의성, 방향 정확도, 최단 거리 같은 요소가 이동 패턴을 어떻게 형성하는지 탐구한다. 이러한 통찰력은 도시의 혼잡을 줄이고 접근성을 개선하며 지속 가능하고 살기 좋은 환경을 만드는 데 기여한다. 추정이 아닌 실제 인간 행동에 초점을 맞추므로써, 도시는 효율적이고 직관적이며 주민의 삶의 질을 향상시키는 시스템을 설계할 수 있다.

이동의 법칙 - Pointiest Path

Pointiest Path 프로젝트는 사람들이 도시 환경을 탐색하는 방식을 분석하며, 보행자들이 종종 벡터 기반 탐색*vector-based navigation*이라는 간단한 발견적 해결 방법*heuristic approach* (복잡한 문제를 푸는 데 있어 시행착오를 반복하면서 자기 발견적으로 문제를 해결하는 방법)을 따른다는 사실을 밝혀냈다. 이 방법은 최단 거리를 정확히 계산하기보다 목적지 방향을 가장 직접적으로 가리키는 경

로를 선택하는 것을 우선시한다.⁹⁾ 보스톤과 샌프란시스코를 포함한 50만 개 이상의 보행 경로 GPS 데이터를 분석한 결과, 사람들이 실제로 최단 경로보다 더 긴 거리를 선택하는 경향이 있음이 드러났다. 하지만 이 편차는 무작위적이지 않았다. 보행자들은 최적화된 거리보다 방향성을 중시하며, 이는 'Pointiest Path'라는 경향으로 나타난다. 이 경향은 사람들이 경로를 선택하는 데 있어 의사결정을 단순화하려는 자연스러운 욕구를 보여준다.

이 연구는 인간의 도시 탐색에 내재된 인지적 메커니즘을 강조한다. 복잡한 의사결정을 단순화하려는 우리의 뇌는 '충분히 괜찮은' 경로를 선택해 계획에 필요한 인지적 부담을 줄이고, 다른 활동에 정신적 자원을 할당한다. 이러한 방식은 곤충에서 영장류에 이르기까지 다양한 생명체의 경로 탐색 전략과 유사하며, 인간 또한 유사한 벡터 기반 전략을 사용한다는 점에서 흥미롭다.

Pointiest Path는 도시 환경에서 인간 행동이 따르는 법칙을 이해하는 데 중요한 통찰력을 제공한다. 사람들이 경로를 선택하는 방식과 그 이유를 이해하면, 도시 계획가와 기술 개발자는 인간의 행동을 고려한 교통 시스템과 인프라를 설계할 수 있다. 예를 들어, 벡터 기반 탐색 모델을 통합하면 보행자 경로, 대중교통 경로, 심지어 자율주행 차 알고리즘까지 더 효율적으로 설계할 수 있다. 이러한 통찰력은 도시 혼잡을 줄이고 접근성을 개선하며, 궁극적으로는 사람들이 도시를 이동하는 방식을 최적화할 수 있다.

고해상도 GPS 데이터를 기반으로 한 이 연구는 인간의 경로 탐색 행동과 알고리즘이 생성한 경로 제안(예: 구글 맵) 간의 차이를 보여주며, 보행자는 기계 알고리즘과는 다른 우선순위를 가진다는 점을 강조한다. 이는 도시 시스템이 인간의 경향을 통합하여 더 직관적이며 사용자 친화적인 탐색 도구를 개발해야 함을 시사한다. 이 프로젝트는 효율적이고 살기 좋은 도시 공간을

9) Bongiorno, C., Zhou, Y., Kryven, M., Theurel, D., Rizzo, A., Santi, P., Tenenbaum, J., & Ratti, C. (2021). Vector-based pedestrian navigation in cities. *Nature Computational Science*, 10(1), 1–8.

조성하기 위해 인간 중심적 접근이 필수라는 점을 강조한다.

이동의 법칙-US-15

도시 지역이 전 세계 온실가스 배출량의 60% 이상을 차지하는 상황에서, 지속 가능하고 포괄적이며 비용 효율적인 도시를 만드는 것은 점점 더 중요한 과제가 되고 있다.¹⁰⁾ 이 문제의 핵심은 사람들이 이동하는 방식을 근본적으로 재평가하는 데 있다. 특히 미국에서는 교통이 에너지 소비와 온실가스 배출의 주요 원인 중 하나로 꼽히며, 이에 따라 근접성을 강조하는 도시 모델이 주목받고 있다.¹¹⁾ 대표적인 사례로 카를로스 모레노Carlos Moreno가 제안한 ‘15분 도시’ 개념이 있다. 이 모델은 일상적인 필수 편의시설이 도보로 15분 이내에 접근 가능해야 한다는 점을 강조하며, 이를 통해 교통으로 인한 탄소 배출을 줄이고 지역사회의 상호작용을 촉진하고자 한다.

US-15 프로젝트는 이 모델의 실현 가능성을 탐구하며, 필수 편의시설의 근접성이 이동 행동에 어떤 영향을 미치는지 분석한다. 이 연구는 미국 400개 도시 지역에서 4천만 대 이상의 모바일 기기 GPS 데이터를 활용하여 사람들이 실제로 지역 편의시설을 어떻게 사용하는지를 조사했다. 연구 결과, 소비와 관련된 일일 이동 중 단 14%만이 집에서 도보 15분 거리 내에서 이루어진다는 사실이 드러났다.¹²⁾ 이는 근접성이 반드시 이동 패턴을 결정짓는 최우선 요인이 아님을 보여준다.

또한, 근접성이 높은 지역에서도 토지용도제한법과 과거의 도시 개발 정책이 주민의 이동 행동에 상당한 영향을 미쳤다. 연구는 이러한 규제를 완화

10) United Nations. (2012). Generating power. Retrieved from <https://www.un.org/en/climatechange/climate-solutions/cities-pollution>. Accessed January 19, 2023.

11) U.S. Energy Information Administration. (2021). *International Energy Outlook 2021 (IEO2021)*. Retrieved from https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/IEO2021_ReleasePresentation.pdf.

12) U.Abbiasov, T., Heine, C., Sabouri, S., Salazar-Miranda, A., Santi, P., Glaeser, E., & Ratti, C. (2024). The 15-minute city quantified using human mobility data. *Nature Human Behaviour*.

하고 복합 용도의 개발을 장려하는 정책이 지역 서비스를 더 많이 이용하도록 유도할 수 있다고 제안한다. 이는 장거리 이동 필요성을 줄이고, 한 번의 이동으로 여러 가지 활동을 해결할 수 있는 효율적인 이동 행동을 촉진함으로써 탄소 배출량 감소와 지속 가능한 이동 형태를 장려할 수 있다.

그러나 이 연구는 근접성을 강조하는 도시 모델이 사회적 딜레마를 야기할 가능성도 제기한다. 특히, 저소득 지역의 경우 지역 편의시설에 대한 의존도가 높아질수록 사회경제적 격차가 확대될 위험이 있다. 이는 다양한 사회 및 경제 집단 간 상호작용을 제한하고, 커뮤니티의 분열을 심화시킬 가능성을 내포한다. 따라서 환경적 이점을 극대화하는 동시에 이러한 부정적 결과를 최소화할 수 있는 균형 있는 접근이 필요하다.

US-15는 도시 계획이 '15분 도시'와 같은 모델의 환경적 이점을 실현함과 동시에 사회적 고립이나 경제적 분열을 방지해야 한다고 강조한다. 이동 거리를 줄이는 정책이 지속 가능성 목표 달성에 기여할 수 있지만, 이러한 정책이 도시의 경제적·사회적 결속력을 약화시키지 않도록 주의 깊게 설계되어야 하는 것이다.

3부: 분산형 감지 *Distributed Sensing*

도시 인구 증가로 인해 오염, 교통 체증 등 도시가 직면한 문제들이 복잡해짐에 따라, 도시 전체를 실시간으로 모니터링하고 효과적인 정책을 수립할 수 있는 혁신적 도구의 필요성이 커지고 있다. 차량이나 공공 인프라에 내장된 저비용 모바일 센서 네트워크를 활용하는 분산형 감지는 특정 지점만 모니터링하는 방식을 넘어 도시 전역을 분산 모니터링하며, 대기 질, 소음, 인프라 노후화 등 다양한 도시 상태에 대한 역동적 데이터를 수집하고 이에 상응하는 솔루션을 제공한다.

Good Vibrations(2018)와 Flatburn(2023) 프로젝트는 이러한 분산형 감지 기술을 활용해 도시 인프라와 환경 상태를 실시간으로 모니터링하고, 이를 데이터 플랫폼으로 변환함으로써 도시 관리와 대응력을 강화하는 방안을 모색한다. 이 기술은 환경 모니터링과 교통 관리 개선뿐 아니라, 지역사회가 도시 환경 조성에 직접 참여할 수 있도록 지원한다. 분산 감지를 통해 도시는 자원 사용과 교통 흐름을 최적화함으로써 스마트하고 지속 가능한 도시로 발전할 수 있다.

분산형 감지 - Good Vibrations

Good Vibrations 프로젝트는 스마트폰과 차량 센서를 활용하여 교량의 구조적 노후 상태를 모니터링하는 분산형 감지 플랫폼 개발을 목표로 한다. 자동차, 버스, 전동 스쿠터 등 일상적으로 운행되는 차량에 스마트폰을 장착해 데이터를 수집하고, 이를 통해 사람들의 이동을 대규모 인프라 유지 관리 도구로 전환할 수 있음을 보여준다.

이 프로젝트의 핵심은 기존의 고가 전문 센서 네트워크 대신 스마트폰 네트워크를 활용해 분산형 감지 방식을 혁신적으로 적용하는 데 있다. 운전자와 승객이 손쉽게 사용할 수 있는 스마트폰에 가속도계(accelerometers)와 몇 가지 센서만 장착하면, 교량이 차량에 전달하는 진동을 포착하여 교량의 구조적 역학에 대한 통찰력을 제공할 수 있다.

이 개념은 도시 계획가들에게 스마트 모빌리티와 인프라 관리에 새로운 시각을 제공한다. 단순히 차량이 다리를 정기적으로 건너는 것만으로도 이 데이터가 유용한 정보로 전환되어 도시 인프라 관리에 기여할 수 있는 것이다. Good Vibrations는 기존의 고비용 센서 네트워크에 의존하지 않고도 실시간으로 자체 모니터링할 수 있는 역동적인 분산 감지 네트워크로 도시 인프라를 재구성한다.

샌프란시스코 금문교와 이탈리아 카도레교를 대상으로 한 초기 실험에서 스마트폰 기반 감지가 3% 미만의 오차로 교량의 구조적 상태를 파악할 수 있

음을 입증했다.¹³⁾ 이처럼 높은 정확도는 분산 감지가 공공 인프라 유지 관리에서 중요한 역할을 할 수 있을 만큼 성숙한 기술임을 보여주며, 시의적절한 개입과 수리를 통해 교량의 수명을 연장할 수 있는 가능성을 제시한다.

Good Vibrations의 역할은 교량 모니터링에 그치지 않는다. 이 프로젝트는 도시 모빌리티의 다양한 활용 가능성을 보여준다. 센서가 장착된 차량은 이미 도시 풍경의 일부이며, 일상적인 통근, 대중교통, 승차 공유 서비스의 일부로 도시 전역을 이동한다. 이러한 차량을 모바일 센서로 전환함으로써 도시는 인프라 상태, 환경 조건, 교통 패턴 등에 대한 방대한 데이터를 수집할 수 있으며, 이를 위해 고가의 하드웨어를 추가적으로 설치할 필요도 없다.

이러한 분산 감지는 단순히 도시의 재정적 부담을 줄이는 것을 넘어, 데이터 수집을 민주화함으로써 시민들의 일상적인 움직임이 도시 생활 개선에 기여하는 자원으로 전환할 수 있다는 점에서 더 큰 의미를 가진다. 별도의 감지용 차량을 운영하든, 개인 차량을 활용하든, 대규모 클라우드 소싱 방식의 데이터 수집이 가능해져서 도시는 보다 유연하고 대응력 있는 인프라 시스템을 구축할 수 있게 된다.

Good Vibrations는 분산 감지를 통해 인프라 모니터링과 유지 관리를 혁신할 수 있는 사례 중 하나다. 사람들의 일상적인 도시 이동을 데이터 수집 프로세스에 통합함으로써, 도시가 이동성과 연결성을 활용해 건축 환경의 안전성과 수명을 어떻게 향상시킬 수 있는지를 보여준다. 스마트폰과 차량만으로 운영되는 이 프로젝트는 인프라 자체를 센서 네트워크의 일부로 활용하여, 의사 결정자들에게 중요한 데이터를 제공한다. 이를 통해 보다 효율적이고 지속 가능한 미래를 구축하는 스마트시티의 가능성을 잘 보여주는 모범 사례가 될 것이다.

13) Matarazzo, T., Vazifeh, M., Pakza, S., Santi, P., & Ratti, C. (2017). Smartphone data streams for bridge health monitoring. *Procedia Engineering*, 966, 966–971.

분산형 감지 - Flatburn

Flatburn 프로젝트는 분산 감지를 활용해 대기 질 관리에 대한 새로운 접근 방식을 제시한다. Flatburn은 저비용의 오픈 소스 센서를 통해 시민과 지역 사회가 대기 오염과 같은 환경 조건을 손쉽게 모니터링하고 이해할 수 있도록 돕는다. 이 프로젝트는 환경 감지를 보다 접근 가능하고 확장 가능하게 만들어, 실시간 환경 데이터를 수집하는 상호 연결된 센서 네트워크를 구축함으로써 스마트 모빌리티와 스마트시티 발전에 중요한 기여를 한다.

Flatburn의 센서는 차량에 장착되어 모바일 데이터 수집 플랫폼으로 기능한다. 예를 들어, 이 센서를 장착한 쓰레기 수거 트럭이나 개인 차량이 도시 전역을 이동하면서 실시간 대기 질 데이터를 수집하고 전송한다. 이를 통해 대기 오염, 소음, 온도와 같은 다양한 도시 환경 변수를 모니터링할 수 있는 역동적인 모바일 센서 네트워크로 전환될 수 있다.

Flatburn 센서는 누구나 쉽게 이용할 수 있도록 설계되었다. 저렴한 부품을 사용해 기기를 3D 프린터로 제작하거나 직접 조립할 수 있어 지역사회 단체, 지방 정부, 시민 개인 모두 자신만의 대기 질 모니터링 시스템을 구축할 수 있다. 이와 같은 오픈 소스 프로젝트는 데이터 수집 과정을 민주화하고 환경 모니터링에 지역사회의 참여를 장려해서 도시의 대기 질 문제를 해결하는데 기여한다.

이 기술은 도시 개발에 있어 상향식 접근 방식을 가능하게 한다. Flatburn은 도시 정부나 대규모 기관의 하향식 정책에 의존하는 대신, 지역사회가 데이터 수집 과정에 직접 참여하도록 장려한다. 이는 시민과 정책 입안자 간의 격차를 좁히고, 대기 질과 전반적인 도시 생활 여건을 개선하는 정책 결정에 긍정적인 영향을 미치는 피드백 루프를 생성한다.

Flatburn의 분산형 감지 플랫폼은 대기 질 모니터링뿐만 아니라 소음 수준, 온도 측정과 같은 다른 환경 매개변수까지 확장하여 도시 환경을 보다 종합적으로 이해할 수 있는 기회를 제공한다. 이 데이터는 주민의 삶의 질을 최우선으로 고려하는 도시를 개발하려는 도시계획가와 지방 정부에게 유용한

자원이 된다.

Flatburn 플랫폼은 분산 감지가 스마트 모빌리티의 미래에 어떻게 기여할 수 있는지 보여준다. 오픈 소스 설계와 모바일 기능, 환경 감지에 초점을 맞추으로써 도시 대기 질 모니터링을 위한 확장 가능하고 비용 효율적인 솔루션을 제안한다. 시민들의 데이터 수집 참여를 통해 도시 환경에 대한 이해도를 높이고, 실시간 데이터와 커뮤니티 참여를 기반으로 환경 관리를 강화해서 더 포괄적이고 대응력 있는 도시를 만드는 데 기여한다. 이러한 접근 방식은 상향식 혁신이 하향식 개발 정책을 보완하고 강화하여 궁극적으로 더 건강한 도시 환경을 조성할 수 있음을 보여준다.

결론

실시간 로마 프로젝트 이후, 도시 모빌리티를 구상하고 관리하는 방식은 꾸준히 진화해 왔다. 2006년의 실시간 로마 프로젝트는 상호 연결된 도시의 미래를 엿보게 해준 중요한 사례였으며, 오늘날 첨단 기술 도구와 시스템들은 이러한 비전을 현실로 만드는 역량을 점점 더 강화하고 있다. 도시는 이제 지능형 생태계로 진화할 수 있는 중요한 전환점에서 있다. 교통수단 간의 경계는 점차 흐려지고 있으며, 효율성은 단순히 속도뿐만 아니라 적응성, 지속 가능성, 선택과 같은 다양한 기준에 따라 평가되고 있다.

그렇다면, 모빌리티의 미래는 어떤 모습일까? 지금까지 시도해 온 여러 프로젝트는 우리가 앞으로 나아가야 할 방향에 대해 어떤 통찰을 제공하고 있을까?

어쩌면 미래의 모빌리티는 '무빙 웹'[Moving Web](#)에 달려 있을지도 모른다. 이는 모든 교통 수단을 원활하게 통합하는 역동적이고 끊임없이 진화하는 플랫폼을 의미한다. Moving Web은 오늘날의 승차 공유 시스템을 훨씬 뛰어넘어, 자율주행 차 공유, 전기 자전거, 자율주행 셔틀, 실시간 물류 및 데이터

수집 등을 하나의 네트워크로 통합한다. 이 네트워크에서 교통은 하나의 흐름으로 작동하며, 스마트시티란 통근자와 물품이 버스, 전기 자전거, 자율주행 셔틀, 전기 스쿠터를 통해 최종 목적지까지 원활히 이동할 수 있는 도시이다. 이 모든 과정은 실시간으로 조정되어 최적의 경로와 수단을 제공한다.

이 글에서 논의된 프로젝트들은 유동적인 멀티 모드 모빌리티로의 전환 가능성을 시사한다. 미래의 도시 거주자는 단일 교통수단에 의존하지 않고, 실시간 상황과 필요에 따라 다양한 옵션을 유연하게 활용할 수 있는 '모빌리티 포트폴리오'[mobility portfolio](#)에 접근할 수 있을 것이다. 이는 자율주행 셔틀과 전기 스쿠터 같은 공유 마이크로 모빌리티 솔루션의 도입을 가속화하고, 도시가 변화하는 이동 수요와 환경 조건에 더 잘 적응할 수 있도록 도와줄 것이다.

따라서, 도시 개발 성공의 기존 지표였던 속도 개념은 적응성, 지속 가능성, 선택권으로 대체될 것이다. 기술, 인간 행동, 도시 계획이 융합되면서 도시 이동성은 단순히 A에서 B로 이동하는 것을 넘어, 도시와의 의미 있는 상호작용을 통해 삶의 질을 향상시키는 미래를 열어갈 것이다.



SMART CITY

T O P

A G E N D A

2 0 2 4

Smart Mobility Transition and Outlook

스마트모빌리티 전환 및 전망

이재용

Lee, Jae Yong



이재용 상무는 현재 현대자동차 그룹의 스마트 시티추진실장으로 스마트시티 사업을 총괄하고 있다. 현대자동차 그룹 이직 전에는 국토연구원의 선임연구위원으로 스마트녹색도시 연구센터장, 스마트공간 연구센터장 및 공간정보정책 연구센터장을 역임하였다(2008~2024). 미래기획위원회, 4차산업혁명위원회 및 국가과학기술자문회의 등에서 대통령 자문위원 또는 전문위원을 맡았으며, 국가스마트도시위원회, 스마트시티 특별위원회 등 주요 스마트도시위원회 위원직도 담당하였다. 네 차례에 걸쳐 국가스마트도시 종합계획을 수립하였으며 스마트도시법, 스마트시티 챌린지 사업 및 스마트도시인증의 기획 및 운영, 스마트도시 국가전략 R&D사업 세부기획 등 60여 개의 관련 프로젝트를 수행하였고 50여 편의 스마트도시 관련 국내외 저서 및 논문을 저술하였다.

Email: leejy@hyundai.com

초록

스마트시티에서 교통분야 솔루션은 항상 비중이 높고 중요한 분야이다. 지난 100여 년간 교통 분야는 더 빠른 교통수단으로 대체되기는 하였지만 커다란 변화를 가져오지는 못하였다. 하지만 4차산업혁명 시대의 도래로 정보통신기술들과 교통이 결합하게 되면서 스마트모빌리티라는 개념이 새롭게 등장하고 교통 분야에서도 대규모 혁신이 일어나고 있다. 스마트모빌리티는 시민들에게 보다 안전하고 편리한 서비스로 작동하고 있을 뿐 아니라 전 세계적 위기라 할 수 있는 기후위기에 대응하기 위한 중요한 수단이 되고 있다. 스마트모빌리티가 이전과 다른 전면적 혁신을 가져올 수 있는 이유는 수요자 관점의 서비스로 전환 가능한 기반을 마련하였고, 친환경적 모빌리티 수단의 도입과 효율적 교통 관리체계를 통한 탄소 절감을 실현 중에 있으며, 각종 빅데이터 및 플랫폼을 활용하여 수요자와 공급자 간 최적 분배를 가능하게 하였기 때문이다. 반면 스마트모빌리티가 빠르게 정착하기 위해서는 여전히 많은 숙제가 존재하고 있는데, 새롭게 등장하는 스마트모빌리티 수단 및 서비스들이 도시 내에서 잘 적용되기 위한 제도적 기반 마련과 도시 내 신규 기반시설의 도입이 특히 중요하다.

키워드

스마트시티, 스마트모빌리티, 수요자 관점 전환, 탄소 절감, 빅데이터

● ABSTRACT ●

Transportation solutions have always been a large and important part of smart cities. Over the past 100 years, the transportation sector has been replaced by faster vehicles, but it has not brought about significant changes. However, with the advent of the Fourth Industrial Revolution, the combination of information and communication technologies and transportation has led to the emergence of the concept of smart mobility and a massive revolution in the transportation sector. Smart mobility is not only working as a safer and more convenient service for citizens, but it is also becoming an important means of responding to the climate crisis, which could become a global crisis. The reason why smart mobility is able to bring about a sweeping innovation unlike anything before is that (1) it has laid the foundation for a shift to services from a consumer perspective, (2) is realizing carbon reduction through the introduction of eco-friendly mobility means and (3) efficient traffic management systems, which is enabling optimal distribution between consumers and suppliers by utilizing various big data and platforms. On the other hand, there are still many challenges in order for smart mobility to settle down quickly, and it is especially important to establish an institutional foundation for the application of newly emerging smart mobility means and services in the city and the introduction of new infrastructure in the city.

KEYWORDS

Smart city, smart mobility, consumer perspective shift, carbon reduction, big data

시작하며

스마트시티는 일반적으로 정보통신기술을 활용하여 도시가 가지고 있는 문제를 효율적으로 해결하는 지속가능한 도시로 인식되고 있다. 스마트시티는 미래도시의 트렌드로 2010년 이후 전 세계적으로 확고히 자리 잡고 있으며 최근에는 도시문제의 효율적 해결뿐 아니라 기후위기 대응, 4차산업 조성의 공간, 도시 포용성의 확보 등과 같은 목표 달성에 부합하는 수단으로 여겨지고 있다.

AI, 빅데이터, IoT, 모바일, 디지털 트윈, 블록체인 등 다양한 첨단정보통신기술과 결합한 새로운 도시 모델 시장은 개발도상국 및 선진국의 주목을 받으며 신규 시장으로 빠르게 성장하고 있다.

스마트시티의 영역은 교통, 환경·에너지, 방범·방재 등 도시의 모든 기능들을 포괄하고 있으며 스마트시티 서비스 유형 관련 분석에서 교통 분야가 32%로 가장 높게 나타나고 있는 것으로 확인된다(이정훈 외, 2022). 교통 분야는 그 자체로도 도시의 중요한 기능이지만 여기에 더하여 기후위기 대응과 관련하여서도 매우 중요하다. 우리나라를 예로 들면 탄소배출량의 16.5%를 교통 부문이 차지하며, 그중 자동차 사용에 의한 배출량이 94%로 나타나면서, 도시에서 발생하는 기후위기와의 연관성 또한 매우 높게 나타난다(석주연

Table 1

새로운 도시 모델 시장 성장 전망

Source: 제4차 스마트도시종합계획(2024~2028), 국토교통부

시장조사기관	내용
Markets and Markets (2022.11)	2022년 5,116억 달러(약 665조 원)에서 2027년 1조 244억 달러(약 1,332조 원) 규모로 연평균 14.9%씩 전체 시장 성장 전망
Grand View Research (2022.12)	2022년 6,568억 달러(약 854조 원)에서 2030년 6조 9,650억 달러(약 9,054조 원) 규모로 연평균 25.8%씩 전체 시장 성장 전망
Insight Partners (2023.02)	2022년 1조 940억 달러(약 1,422조 원)에서 2028년 3조 1,110억 달러(약 4,044조 원) 규모로 연평균 19%씩 전체 시장 성장 전망

& 이희연, 2013). 스마트 교통 부문은 신산업 시장에서도 그 중요성이 부각되고 있다. 특히 기후변화 위기 대응을 위해 교통수단들에 사용되는 에너지가 전기 및 수소 등의 친환경 에너지로 전환되면서 교통과 관련한 전반적인 산업 밸류 체인이 전면적으로 개편되고 이로 인하여 모빌리티 시장 자체뿐 아니라 에너지 등 유관 산업 부문들에 대한 새로운 시장 역시 급격하게 성장하고 있다.

스마트모빌리티로 대표되는 스마트시티 교통 솔루션은 스마트폰이 사람들의 일상생활을 바꾼 것과 같이 첨단정보통신의 결합으로 인하여 기존의 이동에 대한 개념을 크게 변화시키고 있다. 전통적인 이동의 개념은 사람들이 집, 직장 또는 쇼핑 등의 특정 활동 목적을 달성하기 위하여 그러한 활동을 제공하고 있는 장소로 옮겨 가는 것을 이야기하며, 여기서 이동은 사람들의 활동과 관련한 목적을 달성하기 위한 수단에 불과하였다.

이동이 목적을 달성하기 위한 불가피한 수단에 불과하며 이동 자체에 큰 의미가 없다면 결국 이동을 최소화하는 것이 필요하다. 즉, 단순 이동을 위한 교통은 불필요한 파생적 수요이며 거리당 이동 시간을 최소화하는 방식으로 발전이 이루어졌다. 초기 인류는 걷는 것을 통한 이동에서 출발하였지만 말과 마차 등 더 빠른 운송수단으로 변화가 이루어졌고 이는 다시 더 빠른 열차나 자동차로 대체되는 방식으로 변화가 일어났다. 더 빠른 이동을 위한 수단의 변화는 일어났지만 사람들을 특정 장소로 데려다 주는 목적을 달성하기 위한 부가적 수단이라는 측면에서는 최근까지 동일하다고 볼 수 있다.

하지만, 열차나 자동차와 같은 더 빠른 이동 수단은 도시의 규모를 확대시키는 결과를 가져왔으며 이는 자동차에 대한 의존성을 강화하는 동시에 다양한 교통 문제를 발생시키는 원인이 되었다. 도심 내 더 많은 자동차는 교통 혼잡, 주차 문제 등의 문제를 일으켰으며, 도시 내 환경오염의 원인이 되고 교통사고 등 사람의 인명을 해치는 부정적 도구가 되기도 하였다.

전통적인 관점에서의 이동은 목적지에서의 활동이라는 목표 달성에는 불필요하고 특정 지역에 도달하기 위한 목적을 달성하기 위하여 피치 못하

게 발생하는 파생적 수요이기 때문에, 근본적 문제를 해결하기 위해서는 이동이라는 수단을 최소화하거나 또는 이동 자체를 파생적 수요가 아닌 필요한 목적으로 전환하는 방안이 필요하다. 다행히 지난 100년간 자동차를 중심으로 하는 더 빠른 이동이라는 제한적 변화가 이루어졌다면 정보통신기술의 발전으로 연결성connected, 자율주행autonomous, 차량공유shared, 전동화electrification로 대표되는 스마트모빌리티와 함께 이동에서의 전면적 혁신이 일어나고 있다.

스마트시티의 본격적 논의가 기존의 도시문제를 보다 효율적으로 해결하기 위하여 시작되었다는 측면에서, 도시문제에서 가장 큰 비중을 차지하는 교통 분야가 스마트시티에서 중요하게 다루어지는 것은 당연한 일이다. 본 원고는 교통과 관련하여 새롭게 등장한 스마트모빌리티에 대한 의미들을 살펴보는 것을 목적으로 한다.

공급자적 관점의 교통수단 제공에서 수요자적 관점의 모빌리티 서비스로 전환

교통수단들이 정보통신기술과 연결되면서 공급자적 관점에서 수요자적 관점으로의 전환이 가능해졌다. 교통수단들이 수요자적 관점으로 전환하게 되면서 이동과 관련한 비효율성을 제거하는 데 큰 도움을 주고 있다.

정보통신기술과 교통수단이 연결되지 못하였던 1990년대 이전만 하여도 시민들은 버스 등 대중교통수단이 도착하기를 정류장에서 마냥 기다릴 수밖에 없었다. 하지만 2000년 이후 버스정보시스템BIS이 본격적으로 도입되면서 무작정 버스를 기다려야 하는 불편에서 벗어날 수 있었다. 버스정보시스템은 이전 버스의 위치를 확인할 수 없었던 지자체에도 경제적인 이익을 주었다. 예를 들어 1시간에 4대의 버스가 운행된다면 산술적으로 15분마다 버

스가 도착하여야 하지만 시스템 도입 이전에는 1시간이 지난 후 버스 4대가 한꺼번에 버스 정류장에 오기도 하는 등 운행 시간이 제대로 지켜지지 않는 경우가 빈번하였다. 심지어는 1시간에 4대 운영하기로 하였지만 2대만 운영하여 대중교통 보조금을 과대 지급 받는 등의 편법도 있었다. 하지만 버스정보시스템에서 실시간 버스 운행정보를 확인할 수 있게 되면서 이러한 문제점이 해소되었다. 즉, 정해진 시간에 버스가 정확하게 도착하고 이를 미리 확인 가능하게 되면서 승객의 편의성을 높였을 뿐 아니라 주먹구구식의 대중교통 보조금 지급 등의 문제점이 해소되어 지자체 입장에서도 세금 낭비를 줄이는 긍정적 효과를 가져왔다.

하지만 버스정보시스템이 시민들의 편의성을 높였지만 수요자 중심의 대중교통이라 말하기는 어렵다. 수요응답형 대중교통DRT의 도입이 수요자적 관점의 대중교통의 본격적인 출발이라 할 수 있다. DRT는 시민들이 내가 승차하고자 하는 위치와 하차하고자 하는 위치를 결정하여 버스를 부르는 형태이다. 수도권 외 지역에서 충분한 승객 수요가 없는 평일 낮 등에는 버스가 텅텅 빈 채로 운행되는 경우가 다수 있으며, 버스는 고정된 정류장들을 반드시 거쳐야 하지만 버스 정류장에서 아무도 기다리지 않는 경우도 자주 발생한다. 이런 문제가 지속된다면 버스 운행의 경제성을 높이기 위하여 더 많은 버스 정류장을 거치도록 버스 노선을 설정하거나 버스 운행 횟수를 줄일 수밖에 없다. 승객 입장에서는 버스가 너무 많이 운행된다고 느끼거나 버스가 자주 오지 않는다는 불편을 감수하여야 한다.

DRT는 이러한 문제를 인식하고 고정된 노선으로 다니는 것이 아니라 사람이 있는 버스정류장들만 찾아 다닐 수 있도록 하여 승객의 대기시간과 이동시간을 줄이고, 버스를 운행하는 입장에서도 텅텅 빈 버스를 운행하는 것이 아니라 보다 효율적 방식으로 버스를 운영하는 것이 가능하다. 승객의 대기시간과 이동시간을 줄이는 것은 당연하게도 탄소배출의 절감에도 도움을 줄 수 있다. 또한 DRT의 지속적 운행으로 축적되는 승차 데이터를 통해 어떤 지역에서 언제 승객들이 많이 탑승하는지를 파악함으로써 DRT의 운영

계획을 보다 체계적으로 수립할 수 있도록 하여 DRT의 운행 기간이 길어질 수록 보다 효율적 방식으로 서비스를 제공할 수 있다. 공급자가 일방적으로 제공하였던 고정된 노선의 버스 운행에서 승객을 찾아다니는 수요자 관점의 DRT 서비스는 실시간으로 승객의 위치를 파악하는 정보통신기술과 실시간으로 버스 노선을 만들어 가는 AI 기술의 경쟁으로 가능해졌다.

수요자의 선택을 확장시킨 또 다른 교통 솔루션으로 서비스형 모빌리티 MaaS가 있다. MaaS는 서로 다른 교통 수단들을 하나의 플랫폼에서 연결하여 그 정보를 제공하고 비용을 지불할 수 있게 한 것으로, 시민들은 내가 가고자 하는 위치까지 어떤 교통 수단들을 결합하여 이용할 것인지를 스스로 선택할 수 있다. 내가 빠르게 이동하는 것이 중요한지 또는 비용을 가장 적게 들여 이동하는 것이 중요한지에 따라 여러 교통 수단들을 다양하게 연결하여 이동할 수 있는 새로운 모빌리티 서비스로, 수요자적 관점의 대표적 서비스라 할 수 있다. MaaS는 다양한 교통 수단들이 결합하면 결합할수록 더 큰 시너지를 발생시킨다. First/Last Mile 관련 공유 모빌리티, 버스 및 지하철 등 대중교통, 철도 등 장거리 운행수단 등의 다양한 이해관계자들이 결합하는 MaaS와 같은 플랫폼은 결국 이해관계자들 간 거버넌스를 기반으로 할 수밖에 없기 때문에 블록체인과 같은 기술이 결합될 때 이해관계자들의 신뢰가 보다 공고해질 수 있다.

교통 수단들에 대한 수요자적 관점의 솔루션뿐 아니라 교통 관련 시설 활용에 있어서도 수요자 중심의 솔루션들이 확대되고 있다. 일례로 주차장 활용에 있어서 비용 및 위치 등의 정보를 시민들에게 제공하여 선택의 폭을 넓혀주는 것 등도 수요자적 관점의 솔루션이라고 할 수 있다. 특히 스마트주차 솔루션은 주차장을 찾아 배회하는 차량을 감소시켜 도심 내 교통혼잡, 배기가스 감축 등의 효과를 높여준다. 최근에는 주차장의 숫자가 절대적으로 부족한 도심 내 상업지역 등에서 로봇 주차 등을 도입하여 동일 면적에 더 많은 차량을 주차할 수 있도록 하는 시도도 이루어지고 있다.

수요자 관점의 솔루션들은 수요자가 요구하는 바를 정확하게 파악하여 필

요한 장소와 시간에 그 요구를 충족시킬 수 있는 공급을 제공하는 방식을 채택하고 있으며 이는 실시간 기반의 데이터 확보가 가능한 환경에서만 제공될 수 있다.

기후위기 대응 위한 모빌리티 솔루션의 진화

세계 주요국들은 2050년 넷제로(Net Zero) 선언을 하였고 2030년까지의 탄소저감 목표를 발표하면서 탄소저감 목표 달성에 대한 요구가 급격히 확대되고 있다. 우리나라 역시 2030년 국가 온실가스 감축 목표를 2018년 대비 40% 감축하는 것으로 정하고 있다(관계부처 합동, 2023.03). 국가 온실가스 전체 배출량 중 교통 부문에서 발생하는 온실가스가 13.5%를 차지하고 있다(환경부 온실가스종합정보센터, 2020).

우리 정부의 탄소감축 수단으로는, 지속적으로 증가하고 있는 승용차 교통량을 억제하기 위한 교통수요관리가 첫 번째 방안으로 제시되고 있다. 2030년 우리나라 자동차 등록대수는 2018년에서 약 500만 대 증가한 약 2,700만 대 수준으로 전망되고 있으며, 2030년까지 전기차 및 수소차 450만 대를 보급하고, 자동차의 총 주행거리 4.5% 감축과 2050년 승용차 교통량 15% 감축을 목표로 하고 있다(관계부처 합동, 2021.10.18). 이를 위하여 자전거와 같은 탈탄소 개인 이동수단 활성화, 혼잡통행료제 강화, 대중교통전용지구 확대 등이 제시되고 있지만 이에 더하여 스마트모빌리티 솔루션에 대한 방안들에 대한 고민도 반드시 필요하다.

2019년 발표된 유럽 그린 딜의 수송부문 대책은, 지속가능하고 스마트한 모빌리티 전략 수립을 포함하고 있다. 스마트한 모빌리티 전략(2020.12)을 지속가능한 모빌리티 시스템과 스마트한 모빌리티 시스템의 2가지로 분류하고 5개 세부전략을 각각 마련하여 발표하였다. 지속가능한 모빌리티 시스템은

탄소제로를 위한 교통 인프라 도입 촉진을 중요하게 다루고 있으며, 스마트한 모빌리티 시스템에서는 MaaS와 데이터 및 AI 활용 촉진이 중요한 모빌리티 수단으로 제시되고 있다.

지속가능하고 스마트한 모빌리티 전략에서도 알 수 있듯이, 기후위기에 대응하기 위한 모빌리티 솔루션은 크게 두 가지 유형으로 생각해 볼 수 있다. 첫 번째는 탄소배출에 대한 에너지 부문의 전면적 변화를 만들어 가는 것, 두 번째는 MaaS와 데이터 및 AI 활용 촉진을 통하여 이동을 최소화하여 탄소배출을 감소하는 방안이다.

첫째는 수단 자체의 환경 친화적 전면 개편이다. 대표적으로 전기차 및 수소차 등과 같은 친환경 모빌리티 수단의 전면적 보급은 기후위기 대응을 위한 가장 효과적 수단이며, 이는 유럽 등을 포함하여 국내 및 개발도상국 등에서 정부 정책으로 추진 중에 있다. 대부분의 선진국들은 대체로 2035년을 전후하여 전면적 친환경 자동차로의 전환을 목표로 하고 있다. 우리나라 역시 2030년까지 전기·수소차 보급목표를 450만 대(전체 차량의 16.7%)로 설정하고 있으며, 그중 사업용 차량 50만 대를 무공해차로 우선 전환하는 것을 추진할 예정이다. 이를 위해 친환경차 가격경쟁력 확보를 위한 구매보조금 유지 및 재정지원 기반 마련에 집중하고 있다.

하지만 친환경으로의 전면적 개편은 도시 기반시설의 전면적 전환을 전제하기 때문에 어려움이 존재한다. 전기 충전인프라의 보급은 전기차 증가율을 여전히 따라가지 못하고 있으며, 약 5천만 원~1억 원 정도 드는 전기충전소에 비하여 수소충전소 건설비용은 25억~30억 원이기 때문에 보급 및 확대에 더 큰 어려움이 있다. 인프라의 보급 및 확대는 모빌리티 수단 자체의 환경친화적 전면 개편과 관련하여 가장 시급하게 해결해야 할 부분일 것이다.

둘째, 이동의 최소화는 정보통신기술을 기반으로 교통의 수요 및 공급과 관련한 분배를 최적화해 나가는 방식이 될 것이다. 지능형 교통시스템(ITS)으로 대표되는 도로 교통체계 효율화 시스템은 전체 교통 효율성을 향상시키는 것이며 이는 에너지 자원의 절감 및 탄소 배출을 줄이는 결과를 가져올 수 있

다. 운전자 관점에서 지능형 교통시스템은 내비게이션 등을 통해 목적지까지 최적의 경로를 제공하여 불필요한 이동을 감소시킬 수 있도록 한다. 최근은 교통사고, 교통정체 현황 등과 같은 도로의 실시간 상황정보 제공으로 운행 경로를 보다 효율화할 수 있는 정보까지 제공되고 있다. 예를 들어 내비게이션을 통하여 실시간 교통상황 정보를 제공받는다면 운전자는 어느 도로가 정체되고 있는지 미리 파악할 수 있다.

정체되는 도로를 피하고 우회하는 도로를 활용한다면 더 빨리 목적지에 도착할 수 있음을 알게 된다면, 대부분의 운전자는 우회도로를 사용하여 더 빨리 목적지에 도착하는 것을 선택할 것이다. 이는 운전자의 시간을 절약하는 효과도 있지만 전체적인 도로 상황을 생각해 본다면 정체되는 도로로 더 이상 진입하는 운전자가 줄어들게 됨으로써 정체가 더 빠르게 해소될 수 있고 운전자가 잘 사용하지 않던 우회도로를 사용하게 됨으로써 우회도로의 활용도는 높여주는 결과를 가져온다.

즉, 막히는 도로의 사용량은 줄이고 덜 이용하던 도로의 사용량은 높여주는 차량 배분의 최적화 효과를 통하여 막히는 도로와 덜 막히는 도로 모두 활용도를 높여주는 효과를 얻을 수 있다. 이는 내비게이션을 통하여 도로의 실시간 상황을 파악하는 것이 가능하기 때문이다. 최근에는 이동과 관련한 정보뿐 아니라 주차와 관련한 실시간 현황 정보들도 제공하여 앞서 언급한 것처럼 도심 내 정체 해소에도 기여하고 있다.

AI와 데이터 기술이 발전할수록 교통량 분배는 보다 효율적으로 이루어질 것이며 이는 교통정체 해소 및 탄소절감에 큰 역할을 할 것이다. 앞서 언급한 것처럼 MaaS와 같은 서비스 솔루션은 사람들의 이동 선택권을 확대시켜 주기 때문에 개인승용차의 사용을 줄여주는 효과를 가져다 줄 수 있다. MaaS를 기반으로 하는 이동 최적화 및 편의성은 자동차 통행량을 감소시키며 교통체증 및 주차문제 등을 해결할 수 있으며 탄소배출 절감 효과까지 가져올 수 있다.

모빌리티 보급 위한 제도화 및 기반시설 전환

동일한 첨단기술을 장착한 자율주행자동차를 운용하더라도, 어떤 도시는 도입이 매우 빠른 반면 어떤 도시는 도입이 매우 느리게 나타난다. 이는 그 도시 지역의 제도화 정도 및 기반 시설과 연관성이 높다.

첨단기술을 도시 내 실증 도입하는 것과 관련하여 가장 큰 걸림돌은 도시 내 다양한 규제이다. 이를 해소하기 위하여 국내를 포함 해외에서 적극적으로 도입하고 있는 제도는 규제샌드박스인데 이는 신제품, 신기술 및 새로운 서비스 등을 착수할 때 일정 기간 동안 규제를 면제해 주는 제도를 말한다. 규제샌드박스는 2016년 영국에서 핀테크 산업육성을 위해 시작했다. 미국은 2018년 애리조나주의 핀테크 관련 규제샌드박스 도입을 시작으로 와이오밍 주, 켄터키주 등으로 확대·추진 중이다. 이 외에도 일본, 중국 등 다양한 국가에서 규제샌드박스 도입을 경쟁적으로 추진하고 있다.

국내 역시 2018년 이후 산자부, 금융위, 과기부, 국토부, 중기부 등에서 규제샌드박스를 준비하여 추진 중에 있는데, 도시 내 규제 유예와 직접적으로 관련 있는 지역혁신에 기반한 규제샌드박스 제도는 국토교통부와 중소기업부를 중심으로 이루어지고 있다.

도시 내 규제 유예제도가 활성화됨으로써 스마트시티와 관련한 다양한 실증사업들이 성공적으로 추진 가능해졌고 특히, 수요응답형 모빌리티, 자율주행차 등과 같은 신규 아이템들이 도시 내에 빠르게 정착하는 것에 도움을 주었다. 규제샌드박스 등과 같은 규제 유예 여부는 도시 내 신규 혁신산업 및 솔루션들의 빠른 정착에 필수적이다. 특히 지역혁신을 위한 규제샌드박스 제도의 경우 모빌리티에 기반하는 경우가 많다. 국토교통부에서 운영 중인 스마트시티 규제샌드박스 승인사업은 현재까지 총 51건인데, 수요응답형 모빌리티, 자율주행 서비스 관련 솔루션, 드론 관련 솔루션 등 승인된 대부분의 사업이 모빌리티와 직·간접적으로 연계되어 있다. 일본의 경우는 규제샌드

박스를 아예 자율주행과 드론에 한정하여 운영하고 있다. 대부분의 모빌리티 수단들은 사람의 생명과 연관되기 때문에 규제가 강할 수밖에 없다. 새로운 모빌리티 수단 도입을 위하여 규제샌드박스과 같은 규제유예 정책을 시행하는 도시와 그렇지 못한 도시는 당연히 스마트모빌리티 솔루션 도입에 차이가 생길 수밖에 없다.

새로운 모빌리티 솔루션들을 수용할 수 있는 인프라 시설의 존재 여부 역시 그 도시의 신규 모빌리티 솔루션 도입에 크게 영향을 미친다. 자전거도로가 잘 설치되어 있는 도시 지역이 자전거도로가 설치되지 못한 도시 지역보다 퍼스널 모빌리티 확대에 유리할 수밖에 없다. 또한, 전국 최초의 광역 자율주행 버스가 세종 고속버스터미널에서 오송역을 거쳐 반석역까지 총 32.2 km를 운행할 수 있었던 이유는 중간에 끊기지 않고 다른 차량들이 접근할 수 없는 버스전용차선이 그 지역에 존재하고 있었기 때문이다. 새로운 모빌리티 수단들을 쉽게 수용할 수 있는 인프라 시설을 갖춘 지역일수록 모빌리티 솔루션 수단 도입이 용이하다. 따라서, 모빌리티 솔루션의 구축 및 운영뿐 아니라 이를 뒷받침하는 도시 내 인프라 시설 확보는 매우 중요하다.

플랫폼 기반 모빌리티, 십시일반의 데이터 가치

글로벌 자동차 제조 매출이 2,500조 원 규모라면 데이터 기반의 모빌리티 생태계 가치는 약 7,000조 원에 이를 것으로 추산된다. 또한 자동차 제조 이익이 130조 원 규모라면 서비스 매출 이익 규모는 2,100조 원으로 10배를 뛰어넘을 것으로 추산된다(김준성, 2020). 연간 글로벌 데이터 발생량은 10년 전과 비교하여 20배 이상 증가하였으며, 향후 10년 뒤에는 다시 10배 이상 증가할 전망이다.

모빌리티 빅데이터는 차량 움직임과 관련한 차량 내비게이션 관련 데이

터, 사람의 움직임과 관련한 모바일데이터 및 신용카드 데이터, 대중교통 이용자의 움직임을 파악하기 위한 대중교통카드 데이터 등을 포괄한다. 이러한 모빌리티 빅데이터는 우선적으로 모빌리티에 대한 서비스 수요와 이용 가능한 공급을 실시간으로 파악할 수 있도록 하며, 수요와 공급을 최적화하는 방식의 솔루션들을 제공하는 필수적 요소가 된다. 앞서 언급한 수요자 관점으로의 전환과 기후위기 대응을 위한 이동 최소화 모두 실시간 데이터를 확보하여 수요와 공급 최적화를 통하여 달성할 수 있는 목표이다.

다양하게 추진되고 있는 도시 내 모빌리티 실증사업들의 운영 기간이 증가하게 되면 더 많은 실시간 데이터들이 지속적으로 축적되고, 이는 특정 지역과 특정 시간대 모빌리티 이용량 등까지 예측할 수 있어 모빌리티 관련해 보다 효율적인 운영 계획 및 필요 인프라 계획 등에 활용 가능하다.

모빌리티 빅데이터는 실시간으로 공급 및 수요의 최적 분배를 가능하게 하며 모빌리티 수요에 대한 공간 및 시간별 예측까지 가능하게 해주기 때문에 효율적 모빌리티 체계 구축을 위한 가장 기초가 되는 요소이며, 이러한 모빌리티 빅데이터는 플랫폼 하에서 상호 연계될 때 실제 작동 가능하다.

미래 모빌리티 전망

지난 100여 년 이상 큰 변화가 없었던, 즉 단순히 이동을 위한 수단에 불과했던 모빌리티에 큰 변화가 일어나고 있는 시대이다. 지금까지는 모빌리티 수단의 속도를 높일 수 있는 방향으로만 접근이 이루어졌다면, 이제는 실시간으로 수요 및 공급을 최적으로 분배하는 방식이 다양하게 도입되고 있으며 여기에 더하여 탄소를 배출하는 모빌리티 수단의 전면적 개편을 위하여 에너지의 획기적 전환까지 이루어지고 있다.

향후 AI 및 자율주행차의 발전이 지속적으로 이루어진다면 미래 모빌리티

는 실시간 데이터에 기반하는 플랫폼적 관점에서 더 큰 전환이 이루어질 것이다. 더 이상 인간의 개입이 필요하지 않은 자율주행차의 시대에는 자율주행 플랫폼을 통하여 전체 통행량을 AI가 분석하고 각각의 개별 차량들이 어떤 경로를 사용해 목적지로 이동하는 것이 최적인지 지정하는 것이 가능하며, 이는 다시 개별 차량들의 최적 교통로들을 지정해 줌으로써 도시 내 전체 통행량에 대한 최적 관리를 가능하게 할 것이다. 여기에 더하여 도시 내의 수요에 맞는 차량 숫자만큼 공급할 수 있도록 하여 도시 내 잉여가 되는 차량 대수를 줄이는 것도 가능할 것이다.

미래에 내가 이동이 필요할 때 즉각적으로 주변에 있는 자율주행차를 실시간으로 편하게 불러서 이동할 수 있다면 개인 소유 차량의 필요성은 사라질 것이고 개인 소유 차량 보유로 생기는 비효율적인 도시 내 인프라들, 예를 들어 차를 세워두기 위한 주차장 등의 시설은 줄어들게 되고 전체 교통량을 최적으로 운행 가능하여 도로 효율성도 높아지기 때문에 도시 내 도로가 차지하는 비중도 줄어들 것이다.

자율주행차 시대의 도래와 AI를 기반으로 하는 도시 내 교통량 분석 플랫폼 시대의 등장이 결합된다면 개별 차량들의 이동 편의성은 크게 향상되고 도시 전체 관점에서는 교통 흐름이 최적으로 관리되면서 불필요하게 소요되는 자원들을 크게 줄이는 동시에 탄소절감에도 큰 효과를 볼 수 있을 것이다. 아직은 가야 할 길이 멀지만, 현재 스마트모빌리티의 개별 기술 발전들이 지속적으로 통합되면서 시민들의 편리성과 도시 내 자원 분배의 최적화, 탄소절감이라는 목표까지 달성 가능할 것으로 생각한다.

| References |

1. 관계부처 합동, 2030 국가 온실가스 감축목표NDC 상향안, 2021.10.18.
2. 관계부처 합동, 국가 탄소중립 녹색성장 기본계획, 2023.03.

3. 국토교통부, 제4차 스마트도시종합계획(2024-2028), 2024.04.30.
4. 김준성, Tesla vs. Non-Tesla, 메리츠증권, 2020.08.31.
5. 석주영, 이희영, 2013, 도시권의 교통에너지 소비에 따른 탄소배출량 분석, 한국도시지리학회지 vol.16 3, pp.41-54.
6. 이정훈 외, Smart Cities Index Report 2022, 2022.02.
7. 환경부 온실가스종합정보센터, 2020 국가온실가스 인벤토리 보고서, 2020.



**SMART CITY
T O P
A G E N D A
2 0 2 4**

The Role of Autonomous Vehicles in Completing Smart Cities

스마트시티 완성을 위한 자율주행자동차의 역할

최인성

Choi, Inseong



한국교통안전공단 자동차안전연구원 K-City 연구처 처장
2023년 2월 국민대학교 대학원 기계설계학과 박사
2022년 05월~현재 국가기술표준원 수송기계 기술심의위원
2021년 국가기술표준원 자율주행자동차 표준화 포럼 위원
2023년 국토교통부 모빌리티혁신포럼 위원
이메일: inschoi@kotsa.or.kr

민경찬

Min, Kyonungchan



한국교통안전공단 자동차안전연구원 자율주행정정책처 연구위원
2003년 2월 한양대학교 기계공학과 졸업.
2005년 2월 한양대학교 대학원 자동차공학과 졸업
2016년~현재 자율주행자동차 운행허가
2021년~현재 행정안전부 정책위원회(운송분야)
2022년~현재 경기도 자율주행자동차 운영위원회
이메일: mkc0707@kotsa.or.kr

초록

스마트시티 구현에 있어서 모빌리티 혁신은 중요한 성공 요인이고 그 중심에 자율주행이 있다 해도 과언이 아니다. 무엇보다도 교통시스템에 대한 만족도(특히, 안전사고와 관련된 수용성)를 획기적으로 개선하지 않는다면 스마트시티에 대한 체감도는 낮을 수밖에 없을 것이다. 현재 보편화된 첨단 운전자지원장치(Advanced Driver Assistance System)는 사고피해 저감에 적지 않은 기여를 하고 있지만, 운전자의 오작동 또는 기술의 오남용으로 인한 위험성은 여전히 존재한다는 것을 감안하면 궁극적인 교통안전을 위해서는 자율주행 기술의 도입이 필요하다. 본 고에서는 스마트시티 도입을 위한 선결과제로서, 자율주행자동차의 안전성을 확보하고 서비스를 촉진하기 위한 관련 정책과 법규(안전기준)가 어떻게 준비되고 있는지 살펴보고자 한다.

키워드

모빌리티 서비스, 사이버보안, 자율주행자동차 안전 정책과 제도, 자율주행자동차 시범운행지구, 자율주행자동차 성능인증제도

● ABSTRACT ●

Mobility innovation is one of the critical factors in the success of creating smart cities, and autonomous driving is at the center of it. Without a significant improvement in the satisfaction with the transportation system (especially the acceptance of accidents related to safety), the public would not feel the city is smart enough. Currently, Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), which are now commonplace, have made a significant contribution to reducing the damage of traffic accidents, but given that there is still a risk of driver malfunction or misuse of the technology, the introduction of autonomous driving technology is necessary for ultimate traffic safety. In this article, we will look at how related policies and laws (safety standards) are being prepared to secure the safety of autonomous vehicles and promote their services as a prerequisite for the introduction of smart cities.

KEYWORDS

Mobility Services, Cybersecurity, Autonomous Vehicle Safety Policies and Systems, Autonomous Vehicle Pilot Operation Zone, Autonomous Vehicle Performance Certification System

미래 모빌리티의 핵심인 자율주행

스마트(미래) 모빌리티

스마트(미래) 모빌리티는 스마트시티 구현을 위한 핵심수단으로서 도시의 효율성과 지속 가능성 그리고 시민들의 삶의 질을 개선하는 데 활용될 뿐만 아니라, 이동수단의 범위를 넘어 데이터 중심 교통효율화를 통해 이동체계 혁신을 만들어내기 위한 매우 중요한 요소이다.

통상 스마트 모빌리티 구현을 위해서는 사물인터넷IoT, 지능형교통시스템ITS, 실시간 데이터 분석, 인공지능AI, 데이터 통신 및 클라우드/엣지 컴퓨팅 기술들과 이들의 통합·관리 기술이 필요하며, 상당 부분은 이미 구현 중인 자율주행 기술과 많은 교차점을 가지고 있다.

자율주행

자율주행 기술은 레벨0부터 레벨5까지 6단계로 구분되며, 실질적인 자율주행에 해당하는 단계는 레벨3 이상으로 볼 수 있다. 레벨3 자율주행 기술은 그 정의상 정확하게는 시스템이 설계된 운전범위를 벗어나거나 더 이상 작동이 불가능한 상황이 발생할 경우 운전자의 대응을 필요로 하며, 현재는 현실적·기술적 한계로 고속도로 기반으로 상용화가 진행되고 있다. 따라서, 스마트시티와의 기술적인 결합이라는 관점에서 봤을 때 인프라 데이터와의 네트워킹을 통한 스마트 모빌리티 구현은 레벨4 이상의 자율주행에 보다 가깝다고 봐도 될 것이다.

그렇다면, 스마트 모빌리티를 구현하는 데 있어 자율주행의 역할은 무엇일까?

현재도 C-ITSCooperative Intelligent Transport System와 운전자지원장치Driver Assistance System에 의해 스마트 모빌리티 콘셉트를 구현하는 것은 가능하며, 일반 자동차에 의한 공유 모빌리티는 이미 2010년대 초반에 도입되어 어느

정도는 도시 내 교통량 감소에 기여하고 있는 것으로 알려져 있다.

나아가, 자율주행이 도입되면 AI에 의한 실시간 데이터 분석·판단·제어라는 기술적 코어를 기반으로, 준법 운영을 통한 차량 간 질서와 협력에 의해 교통효율성을 극대화할 수 있으며, 공유서비스나 자율주차 등 시간과 공간 활용성 측면에서 획기적인 교통효율 개선효과를 기대할 수 있다. 또한, 무엇보다도 사고의 90% 이상을 차지하는 운전자 요인을 원천적으로 차단하여 교통안전을 확보할 수 있다는 절대적인 이점을 갖고 있다.

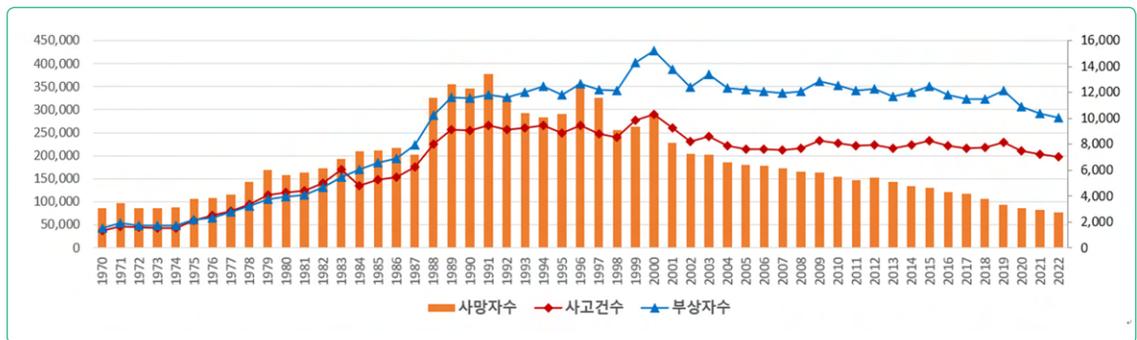
자율주행: 사고 Zero 스마트도시 구현

유럽의 '비전 제로 Vision Zero' 정책은 2030년까지 교통사고 사망자수 및 중상자수 50% 감소, 2050년에는 교통사고 사망자를 완전히 없애는 것을 목표로 하고 있다. 미국, 호주, 일본, 캐나다 등 다른 여러 나라에서도 이와 유사한 교통안전 정책을 추진 중이고, 우리나라도 관련 당국(국토교통부)과 지자체(인천시, 세종시 등) 차원에서 교통사고 감소를 위한 정책과 캠페인을 시행하고 있다.

우리나라 교통사고 통계를 보면 차량등록대수가 1980년대의 2백만 대 수준에서 2022년 2천 4백만 대로 10배 이상 증가한 상황인데, 2010년 이후 데이터만 보면 사망자수는 지속적으로 감소(2010년 5,500여 명 → 2022년 2,700여 명)했지만 교통사고 건수는 의미 있는 수치로 줄어들지 않고 있다.

Figure 1

교통사고 현황



사망자수의 감소는 2000년대 이후 교통안전정책에 따라 다양한 첨단 운전 지원장치(Advanced Driver Assistance System)가 도입된 효과로 볼 수 있다. 하지만, 최근 사고 추이를 통해 알 수 있듯이, 운전자 개입이 필요한 첨단 운전자 지원장치만으로는 교통사고 자체를 획기적으로 줄이는 데 한계가 있으며, 이는 사고 원인의 90%가 인적 오류(Human error)에 의한 것이기 때문이다. 이런 이유로 교통사고 없는 스마트시티를 궁극적으로 완성하기 위해서는 자율주행자동차 도입이 필요하다.

자율주행의 해결 과제

성공적인 스마트 모빌리티 구현을 위해서는 자율주행자동차 상용화가 선결되어야 한다. 이와 관련하여 기술적인 문제(안전성 평가, 데이터 통신 등)는 물론 사회적 합의와 정책적 결정으로 해결해야 할 과제가 상당수 존재한다.

표준화된 스마트 인프라

우선, 데이터 기반 모빌리티 구현을 위해서 인프라와의 협력이 필요하며, 기존의 물리 인프라(도로 기하구조, 교통시설 등)와 디지털 인프라(정밀지도, 교통정보, 통신 등)를 자율주행 기술 구현에 용이하도록 개선하고 표준화하는 절차가 요구된다.

이와 관련하여 자율주행을 위한 인프라 수준을 정의하고 표준화하기 위한 노력(Road Infrastructure Support Levels for Automated Driving, 25th ITS World Congress, Copenhagen, 2018)도 진행되고 있다. 하지만 현실적으로 이런 인프라들은 도로교통상황에 종속되어 국가별로 운영되고 있으므로 국제적인 합의에 의한 기준 또는 표준화가 자동차 분야에 비해 어려운 것이 현실이다.

개인정보 및 데이터 보안

스마트 모빌리티의 구현은 데이터에 기반해 교통상황에 대한 관리권한을 갖는 것을 의미하고, 이를 위해서는 안전하고 신뢰할 수 있는 데이터 관리 체계를 확보하는 것이 중요하다. 특히, 자율주행의 경우에는 자동차의 온보드 시스템(Onboard System)에 의해 위치 정보, 이동 경로, 주변 차량 및 보행자 정보 등이 실시간으로 수집·가공·분석·활용되어야 하며, 이 과정에서 개인정보보호와 데이터보안 문제는 매우 중요한 이슈가 된다.

최근 개인정보보호법 개정(2022)을 통해 이동형 영상정보처리기기에서 주변 교통정보 수집을 허용하는 등 제도적 장벽은 계속 낮아지고 있지만, 수집된 정보가 타 정보와 결합하여 정보침해의 문제가 발생할 근본적인 가능성은 상존하므로 이 모든 것을 대비한 '적절한' 수준의 개인정보보호 수단을 도출하는 것은 쉽지 않으며, 특히 네트워크와 연결된 환경에서는 해킹과 같은 보안 위협에도 노출될 가능성이 높아진다.

이에 국제연합 산하 경제위원회(UNECE)는 2020년 사이버보안에 대비하기 위한 국제기준을 도출하였고, 우리나라는 관련 법(자동차관리법)이 공포되어 2025년 8월 시행 예정이다. 하지만 만약 해킹으로 인해 차량 제어 시스템이 악의적으로 조작된다면 대규모 교통 혼란을 야기하고 심각한 인명 피해까지 초래할 수 있기 때문에, 자율주행 시스템에 강력한 암호화 기술을 적용하고 네트워크 보안 프로토콜 역시 강화되어야 한다.

사회적·윤리적 지침

인간 운전자와 달리, 자율주행은 명확하고 신속한 의사결정이 필요한 특정 상황에 어떻게 대응해야 할지에 대한 행동양식을 정하기가 어려운 경우가 있다. 법규 준수가 오히려 교통 효율성을 심각하게 해칠 수 있는 상황이거나 사고가 나서 승객 안전과 보행자 안전 간에 선택이 요구되는 상황(Trolley Dilemma)이 그러하다.

이러한 사회윤리적 딜레마 상황에서 자율주행 알고리즘이 어떤 판단을 해

야 하는지에 대한 최소한의 가이드는 필요할 것이다. 이를 위해, 비록 정답은 없다 하더라도 자율주행자동차의 의사결정 알고리즘이 사회적 합의와 윤리적 기준을 어떻게 반영할 것인가에 대한 지속적인 논의가 필요하며, 만약 이에 대한 사회적 합의가 부재하거나 국가마다 기준이 다를 경우 자율주행 기술의 도입은 더욱 어려워질 것이다.

사회적 불평등과 기술 접근성

스마트시티와 자율주행 기술은 그 자체로 혁신적이지만 그 혜택이 모든 사회 계층에 공평하게 제공되지 못할 수도 있다. 런던의 한 연구사례는 자율주행 공유차량 서비스는 주로 부촌 지역에 집중되어 빈촌 지역의 교통 접근성을 개선하지 못한다는 결과를 보여준다('The Opportunity of Shared Autonomous Vehicles to Improve Spatial Equity in Accessibility', European Transport Research Review, 2023). 이는 기술 도입 초기 단계에서 발생하는 문제로, 자율주행자동차의 높은 도입 비용이 이러한 불평등을 부추기는 요인일 것이다.

세계은행 보고서('From Gridlock to Green Transport: Supporting Electric Mobility to Meet the Demand for Passenger Transport', World Bank Report, 2024)에 따르면, 자율주행자동차를 소유하기 위한 초기 투자비용은 일반차량 대비 50% 이상 높게 나타났다. 소득수준에 따라서 공공기술에 대한 접근기회가 공평하게 제공되지 않을 수 있기 때문에, 자율주행 기술을 대중화하여 공공의 이익을 실현하고자 한다면 정부와 기업이 기술의 보급과 공공 교통 시스템과의 통합에 대한 지원 정책을 함께 고민해야 할 것이다.

스마트 모빌리티에 대비한 사회적 준비

이 밖에도 자율주행 기술이 일상에 도입되기 위해서는 수많은 법적, 제도적 준비가 필요한데, 우리나라의 경우 단계적으로 여러 정책을 마련하여 자율주행 기술개발 및 서비스 활성화를 지원하고 있다. 더불어, 자율주행자동차가 일상으로 자리잡기 위해서는 시민들의 인식 개선과 교육이 필요하다. 혁신

기술에 대한 불안감과 오해를 해소하고 그 효용성에 대해 확고한 인식을 갖는다면 사회적 수용성을 높이는 데 기여할 수 있을 것이다.

자율주행자동차 안전 정책 및 제도

자율주행자동차의 성공적 도입을 위한 일차 관문 중 가장 중요한 것은 안전성 확보이다. 자율주행자동차의 안전성에 대한 소비자 설문조사 결과(2020 Global Automotive Consumer Study: Is consumer interest in advanced vehicle technology waning?, Deloitte Insights, 2020), 우리나라와 일본은 미국(42%)이나 유럽(50~55%)에 비해 상대적으로 안전성에 대해 신뢰하지 못하는 것으로 밝혀졌다. UN 및 각국 정부는 자율주행자동차 안전성 확보를 통해 서비스를 확산하기 위한 정책을 적극 추진하고 있으며, 그 주요 사항은 다음과 같다.

국내 정책 동향

우리나라는 2015년 「자동차관리법」 개정을 통해 자율주행자동차의 법적 정의를 신설하였으며, 자율주행자동차 기술개발 지원정책을 적극적으로 추진하게 되었다. 2016년 2월 「자율주행자동차 임시운행 허가제도」를 시행하여 기술개발을 위한 일반도로 운행을 허가하였고, 2019년 4월에는 「자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률」 제정을 통해 자율주행자동차를 활용한 유상 여객 및 화물 운송서비스를 허용하였다. 또한, 2019년 12월에는 레벨3 자율주행자동차 안전기준을 제정하여 국제수준의 기준을 마련하였고, 2025년부터는 레벨4 자율주행자동차의 기업 간 거래가 가능하도록 「자율주행자동차 성능인증제도」를 시행할 예정이다.

① 임시운행 허가제도

자율주행자동차 기술개발을 위해서는 일반도로 운행을 통한 데이터 수집과 학습이 필수적이다. 국토교통부는 시험·연구용 자율주행자동차에 대해 최소한의 안전요건이 충족된 경우 최대 5년까지 일반도로 운행이 가능하도록 하는 임시운행 허가제도를 2016년 2월부터 시행하고 있다. 이전에는 자율주행자동차의 공로 운행 자체가 불가능했던 점을 고려하면 임시운행 허가제도 시행이 국내 자율주행자동차 기술개발을 촉진하는 계기가 되었고, 자율주행자동차가 제도권 내에서 인정되는 시작점이 되었다. 현재 65개 기관에서 442대(2024년 8월 기준)의 자율주행자동차가 허가를 받아 운행 중에 있으며, 운전석이 없는 자율주행 셔틀(B형 자율주행자동차)과 사람이 탑승하지 않는 자율주행자동차(C형 자율주행자동차) 등 모빌리티 측면의 적용 기술도 다양해지고 있다(민경찬, 자율주행자동차 융복합 미래포럼 이슈브리프, 2023).



Figure 2

자율주행자동차 형태별 구분

② 자율주행자동차 시범운영지구

자율주행자동차는 기존의 자동차 안전기준을 그대로 적용하기 곤란한 부분이 있다. 예를 들면, 운전자 중심으로 설계된 안전개념인 운전자 시계범위, 실내·외 후사경, 제동장치 작동성능 등이 그러하다. 때문에, 미국의 대표적 무인 배송자동차인 NURO의 경우, 미연방자동차안전기준(FMVSS)의 운전자 관련 항목에 대한 적용 면제를 받기까지 약 18개월이 소요되는 등 새로운 형태의 모빌리티 등장은 기존 법제도에 대한 개정을 필요로 하게 된다. 이에, 국토교통부는 다양한 형태의 자율주행자동차 개발과 신개념 모빌리티 적용 확대를 위해 2019년 「자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률」



Figure 3

자율주행자동차
시범운영지구 개요

을 제정하였다. 이를 통해 「자율주행자동차 시범운영지구」로 지정된 지역에서는 자동차안전기준의 일부를 면제받아 다양한 형태의 자율주행자동차 개발이 가능하게 되었고, 개발된 기술이 운송서비스로 연결되는 모빌리티 생태계의 기틀을 마련하였다. 현재 전국 17개 지자체에 36개(2023년 12월 기준) 시범운영지구가 지정되어, 다양한 자율주행 모빌리티 서비스를 제공하고 있다.

③ 자율주행자동차 안전기준

자율주행자동차를 임시운행이 아닌 운행 목적에 따라 자유롭게 활용하기 위해서는 자동차 등록이 필요한데, 이를 위해서는 「자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙」에 적합하게 제작되어야 한다. 이와 같은 제도는 대부분의 국가에서도 유사하게 적용되고 있으며, 자율주행기술 적용을 위한 가장 기본적인 요소라고 하겠다.

Table 1

레벨3 자율주행자동차
안전기준 현황

구분	레벨3 자율주행자동차 안전기준		비고
	현행	개정안	
적용차종	승용자동차	승용·승합·화물자동차	국제기준과 동등
작동속도	도로제한속도 준수	도로제한속도 준수* *MRM 차로변경 불가 시 60km/h 제한	
기능	차로유지	차로유지 및 차로변경* *승용자동차 및 3.5톤 이하 화물자동차	

우리나라는 레벨3 자율주행자동차 안전기준을 제정하여(2019년 12월) 자율주행자동차 시대를 위한 제도적 기틀을 마련하였고, 자율주행기술 개발수준과 국제기준UNECE Regulations 변화에 맞춰 관련 기준을 지속적으로 정비하고 있다.

한편, 레벨4 자율주행자동차의 경우 2027년 이후 국제기준이 제정될 것으로 예상된다. 이에 따라 레벨4 자율주행자동차 판매기업 간 거래를 허용하여 기술개발을 촉진하고 관련 산업 생태계 조성을 위해 별도의 인증제도(성능인증제, 「자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률」 개정)를 마련하여 2025년 시행 예정이다.

해외 정책 동향

각국 정부는 자율주행자동차의 안전성 확보와 보급 확대를 위한 다양한 정책들을 수립하여 시행하고 있다. UN은 레벨4 자율주행자동차 국제안전기준 제정을 위한 다양한 전문가 기술그룹을 출범시켰고, EU와 독일은 우리나라의 성능인증제와 유사한 레벨4 자율주행자동차를 위한 별도의 제도를 마련하여 운영 중에 있다.

① 국제연합 *United Nations*

UN 산하 WP.29(자동차기준 국제조화회의, World Forum for the Harmonization of Vehicle regulations)는 기술변화에 대응하기 위해 2018년 9월 자율주행전문가 그룹GRVA, Working Party on Automated/Autonomous and Connected Vehicles을 출범시켰다. 또한, 자율주행자동차의 주행안전, 사이버보안, 관련 데이터 저장을 위한 세부 전문가그룹을 결성하여 레벨4 자율주행자동차 국제기준 제정을 위해 노력하고 있다.

② 유럽연합 *European Union*

유럽연합은 2022년 8월 레벨4에 해당하는 자율주행자동차 형식승인 규정을

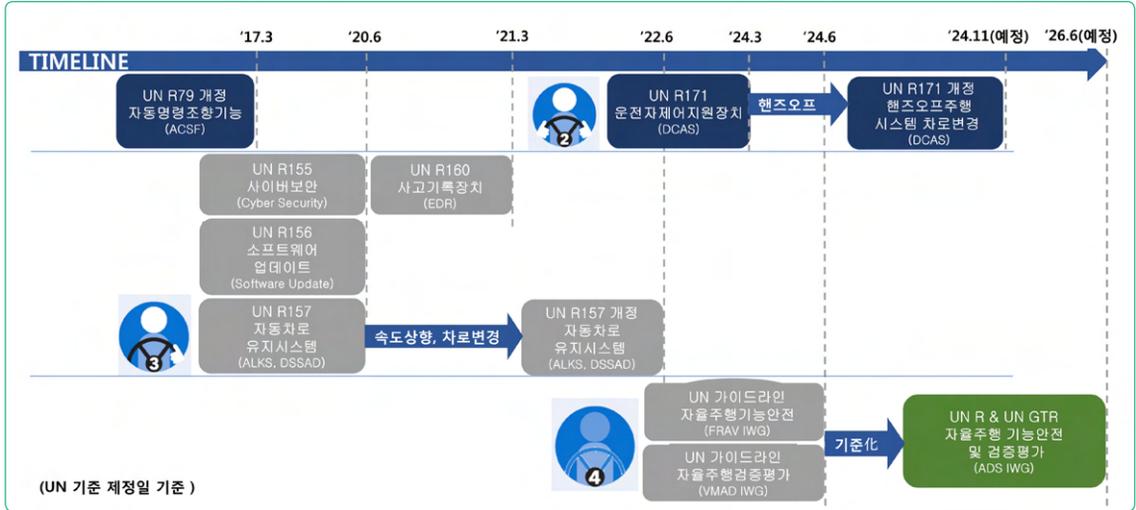


Figure 4
국제기준 도입 일정

제정하였다. 이는 유럽연합 내 각 국가에서의 형식승인을 위한 통일된 절차와 기술규정 적용을 목적으로 하고 있으며, 자율주행자동차의 적용범위, 기술요건 및 형식승인을 위한 행정규정을 규정하고 있다. 이 규정은 제작사에게 자율주행자동차의 기술개발 목표를 제시했고, 유럽연합 회원국 내에서 통일된 레벨4 자율주행자동차 인증절차를 마련했다는 점에서 큰 의미가 있다고 할 수 있다(EU 2018/858, 2022).

모빌리티 혁신 로드맵(2022)

스마트시티의 구현 방향은 국가별로 다르게 적용되고 있다. 하지만, 스마트시티의 공통개념은 ICT(Information and Communications Technology)를 활용하여 한정된 자원과 인프라를 효율적으로 사용하여 높은 인구밀도와 교통소외에서 야기되는 도시문제를 해결하는 것으로 집약된다. 특히, 대부분의 대도시에서 발생하는 가장 큰 문제는 교통사고로 인한 인적·물적 피해와 교통정체

및 에너지 문제에 따른 사회적 비용의 증가로 볼 수 있다. 이에 따라 많은 국가에서는 스마트 교통을 스마트시티의 핵심요소로 분류하여 다양한 정책(스마트시티, 황건욱, 2018)을 수립하고 있다. 우리 정부(국토교통부)도 2022년 「모빌리티 혁신 로드맵」을 발표한 바 있는데, 그 주요내용은 다음과 같다.

수요자 맞춤형 이동 서비스 확산

자율주행자동차는 스마트 교통 인프라와 결합하여 실시간 데이터로 교통서비스를 혁신할 수 있다. 기존 교통 시스템과 ICT의 융합을 통해 수요자 중심의 이동 서비스를 제공할 수 있으며, 시간이나 장소 제한을 없애고 교통시스템을 획기적으로 변화시킬 수 있다. 이는 정해진 시간과 노선에 따라 운행되던 교통시스템에서 실시간으로 변화하며 소비자 니즈Needs를 충족시킬 수 있는 맞춤형 이동 서비스로의 전환을 의미한다. 이를 위해 추진되는 K-MaaS(Mobility as a Service) 사업은, 자율주행자동차와 AI 기반 모빌리티 데이터를 통합하여 다양한 교통수단과 정보를 연계하고 단일 플랫폼에서 최적경로를 안내하며, 예약과 결제를 통합하여 소비자의 이동편의성을 획기적으로 향상시키게 될 것이다.

안전한 교통환경 제공

자율주행자동차는 이동 편의성 제공은 물론 교통사고 제로 실현을 위한 가장 확실한 방안이 될 수 있다. 이를 위해서는 우선적으로 자율주행자동차의 안전성이 확보되어야 한다. 국제연합은 이를 위한 다양한 실행방안을 고려하고 있으며, 실제 주행환경에서 운행 중 발생할 수 있는 위험성에 대한 실차 검증 평가는 물론 자율주행 기능안전에 대한 소프트웨어 검증체계를 구축하여 안전성 확보에 주력하고 있다. 또한, 운전 중 발생될 수 있는 위험성 검증을 위해 정부와 제작사 간의 보고체계를 구축하도록 하고 있다. 이와 같은 안전관리 방안은 기존 자동차에 비해 강화된 안전관리 정책으로 자율주행자동차의 안전성을 담보해줌으로써, 자율주행자동차가 안전한 모빌리티의 한 축으로

성장할 수 있는 동력이 될 것이다.

모빌리티와 도시의 융합

교통신호등, 주차장, 대중교통 시스템 등 다양한 교통인프라와 모빌리티 기능의 통합은 스마트시티의 완성도를 높이게 될 것이다. 수요응답형 교통시스템은 신속하고 안전한 이동권을 제공하고, AI를 활용한 최적경로 예측과 무인배송 시스템은 물류혁신으로 이어져 도시 내 산업생태계를 새롭게 구성하게 될 것으로 예측된다. 이를 위해 정부는 자율주행자동차와 드론 등 新모빌리티 서비스의 실증을 위한 특화도시를 조성할 예정이며, 이러한 노력은 궁극적으로 스마트시티의 성공으로 귀결될 것이다.

Advanced Air Mobility in Smart Cities

스마트시티의 미래항공모빌리티

김상현

Sang Hyun Kim



김상현은 항공교통 전문가이다. 현재 한국항공대학교 항공교통물류학부의 부교수로 재직 중이며, 그 전에는 한국항공우주연구원 선임연구원과 한국교통연구원 부연구위원으로 근무하였다. 그는 항공우주와 교통 시스템의 안전하고 효율적인 운영을 위해 최적화, 위험분석, 수요 예측 등의 연구를 하고 있다. 김 교수는 국제민간항공기구의 기술 패널들에서 전문가로 활동하였으며, 유인항공기와 무인항공기의 안전한 공역 내 통합 운용을 위하여 기술적 및 정책적 방안을 연구 중이다.

Email: sanghyun@kau.ac.kr

초록

본 글은 스마트시티에서 도심항공교통 *Urban Air Mobility: UAM*과 드론을 포함한 미래항공 모빌리티의 도입이 도시와 교통체계에 미칠 영향을 분석한다. UAM은 친환경 전기동력 수직이착륙기를 활용해 도심 내 교통혼잡 문제를 지속 가능하게 해결할 수 있는 혁신적 교통수단으로 주목받고 있으며, 드론은 물류의 라스트 마일 문제를 개선해 배송 효율성을 극대화할 수 있다. 이러한 기술이 성공적으로 도입되기 위해서는 법적·제도적 개선 뿐만 아니라 안전성 검증이 우선되어야 하며, 도심 내 주요 지점에 지상교통과 연계된 버티포트 *vertiport* 설치와 드론 물류를 위한 자동화된 집하시설 등 필수 인프라 구축이 뒷받침되어야 한다. 장기적으로는 도시 계획 단계에서부터 미래항공모빌리티를 염두에 둔 통합적 도시 설계를 통해 스마트시티의 교통 효율성을 높이고, 나아가 도시민의 삶의 질을 향상시키는 데 기여할 수 있을 것이다.

키워드

미래항공모빌리티, 스마트시티, 도심항공교통, 드론, 버티포트

● ABSTRACT ●

This article discusses the impact that the introduction of future air mobility, including urban air mobility **UAM** and drones, will have on cities and transportation systems in the context of smart cities. UAM is gaining attention as an innovative mode of transportation that can sustainably alleviate urban congestion by utilizing eco-friendly, electric-powered vertical take-off and landing aircraft. Meanwhile, drones have the potential to enhance last-mile logistics, maximizing delivery efficiency. For these technologies to be successfully introduced, legal and institutional improvements, as well as safety validation, must be prioritized. Additionally, the necessary infrastructure—such as vertiports integrated with ground transportation at key points in city centers and automated collection facilities for drone logistics—must be developed. In the long term, integrating future air mobility into urban design from the city planning stage will enhance the transportation efficiency of smart cities and, in turn, improve the quality of life for urban residents.

KEYWORDS

Advanced Air Mobility, Smart City, Urban Air Mobility, Drone, Vertiport

들어가며

국립국어원의 표준국어대사전에 따르면, 교통은 자동차, 기차, 배, 비행기 따위를 이용하여 사람이 오고 가거나 짐을 실어 나르는 일을 의미한다. 캠브리지 사전 역시 사람 또는 화물을 한 장소에서 다른 장소로 이동하는 행위라고 교통(Transportation)을 정의하고 있다. 즉, 교통의 대상은 사람과 화물이 되며, 그 경로는 지상, 해상, 항공으로 나눌 수 있다. 이 중 항공교통은 지상교통과 달리 일상적으로 자주 사용되는 수단이 아니다. 항공교통의 운송수단인 항공기는 일반적으로 넓은 활주 공간을 필요로 하고 이착륙 시에 많은 소음을 유발한다. 이에 따라 공항이라는 한정된 공간에서만 항공교통을 이용할 수 있고, 세계적인 주요 공항들은 대부분 도심 외곽에 위치해 있다. 따라서 항공교통은 지상교통으로 시간이 많이 소요되는 장거리를 비교적 짧은 시간에 이동하려는 목적으로 주로 활용된다. 그러나 최근 전기모터와 배터리 기술의 발전으로 인해 항공교통의 활용 범위와 빈도가 증가하고 있으며, 가까운 미래에는 지상교통과 유기적으로 결합되어 도시의 일상에 더 밀접하게 연결될 것으로 전망된다. 이 글을 통해 스마트시티에서 미래항공모빌리티(Advanced Air Mobility: AAM)가 사람과 화물의 이동에 가져올 변화를 전망해보고자 한다.

스마트시티의 도심항공교통 - 멀티모달 허브로서의 벤티포트

서울과 같은 변화한 대도시에서는 지상교통이 늘 혼잡하고, 그로 인하여 차량운행비용 및 소요 시간이 증가하고 있다. 한국교통연구원이 발표한 2021년 교통혼잡비용 산정결과에 따르면, 서울특별시의 교통혼잡비용은 14조 6천억 원, 전국적으로는 약 65조 원으로 추정되며 이는 우리나라 GDP의 약

3%에 해당한다(Cheon, 2023). 이러한 지상교통의 혼잡을 피하고자 도시의 하늘을 이용하려는 시도가 도심항공교통(Urban Air Mobility: UAM)의 형태로 구체화되고 있다. 한국형 도심항공교통 운용개념서 1.0에 따르면, UAM은 도심 내 활용이 가능한 친환경 전기동력 수직이착륙기 등을 이용하여 승객이나 화물 운송 등을 목적으로 타 교통수단과 연계되어 운용되는 새로운 항공교통체계를 의미한다.

미국 NASA는 전기동력 수직이착륙기(electric Vertical Take-Off and Landing aircraft: eVTOL) 등 새로운 비행체를 국가 공역에서 안전하게 통합 운용하기 위해 2018년부터 National Campaign을 통해 실증을 진행하고 있다. 우리나라도 UAM의 안전성을 검증하기 위해 2023년 K-UAM 그랜드챌린지 1단계 실증사업을 시작하였다. 유럽에서도 혁신항공교통(Innovative Air Mobility: IAM)으로 도시의 교통체계를 혁신하는 과정에 있다. 미국의 AAM 개념과 유럽의 IAM 개념은 UAM뿐만 아니라 소형 드론을 활용한 화물의 이동도 포함하고 있으나, 우선 사람이 탑승할 수 있는 UAM으로 인하여 바뀌게 될 미래도시의 모습을 먼저 살펴보려고 한다.

UAM 서비스를 위한 기체로 가장 많이 고려되는 형태는 eVTOL이다. eVTOL 항공기는 항공연료를 사용하는 제트엔진이 아닌 전기모터를 사용하므로 친환경적이고 소음이 적다는 장점이 있다. 또한 다수의 모터를 이용해 추력을 발생시키는 분산추진 시스템을 적용하여 안전성을 높일 수 있다. 그리고 기존의 여객기와 다르게 수직 이착륙이 가능하므로 넓은 활주 공간이 불필요하고 도심 내 비교적 좁은 공간에서도 운용이 가능하다. 따라서 넓고 개방된 공간이 부족한 복잡한 도심에도 UAM 이착륙장(버티포트) 설치가 가능하고, 이는 항공교통의 접근성 및 사용빈도를 획기적으로 높일 수 있으며 결과적으로 지상의 통행량을 감소시켜 도시의 지상 혼잡도를 낮추는 데 기여할 수 있다.

eVTOL 항공기의 등장 전에도 헬리콥터를 이용하여 도심과 주변부를 연결하는 서비스가 있었고, 이는 UAM의 초기 형태라고 볼 수 있다. 하지만 헬

리콥터는 소음이 매우 크고 운용비용이 높아서 헬리콥터를 이용한 UAM 서비스는 대중화되지 못하고 뉴욕과 같은 일부 도시에서 고소득층을 대상으로 서비스되고 있다. 그에 비해 UAM은 저렴한 운임을 목표로 하고 있는데, 우리나라의 K-UAM 기술로드맵은 성숙기로 예상하는 2035년에 1,300원/명·km의 운임단가 시나리오를 제시하고 있다. 예를 들어 강남역에서 인천공항 제1여객터미널까지는 직선거리로 약 51km인데, 이착륙 경로나 공역 가용성 등을 고려하여 UAM이 직선거리 대비 약 20% 우회한다고 가정한다면, 강남역에서 인천공항까지 편도 운임은 승객 1인당 약 8만 원 정도가 된다. 교통상황과 시간대에 따라 다르지만, 이 정도의 편도 운임은 현재의 택시 운임과 큰 차이가 나지 않는다.

그림 1은 2010년부터 2022년까지 서울시의 버스, 지하철, 승용차, 택시 등의 수단분담률을 보여준다(Seoul, 2024). 2021년 이후 택시의 수단분담률이 다소 낮아지긴 했으나, 그 전까지 택시는 대략 6%대의 통행을 분담하고 있었다. 수단분담률에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 운임과 소요시간인데 UAM은 매우 빠른 이동속도를 가지고 있다. 따라서 만약 UAM의 운임이 택시와 유사한 수준으로 낮아진다면, UAM 이용 가능 지역에서는 UAM의 수단분담

Figure 1
서울시의 수단분담률

Source: 서울시 2024년

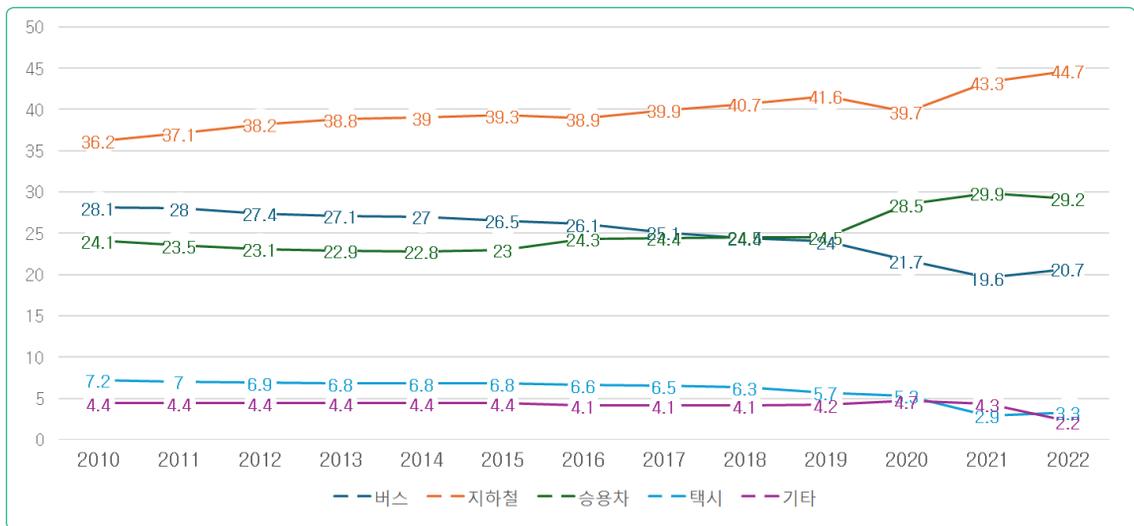
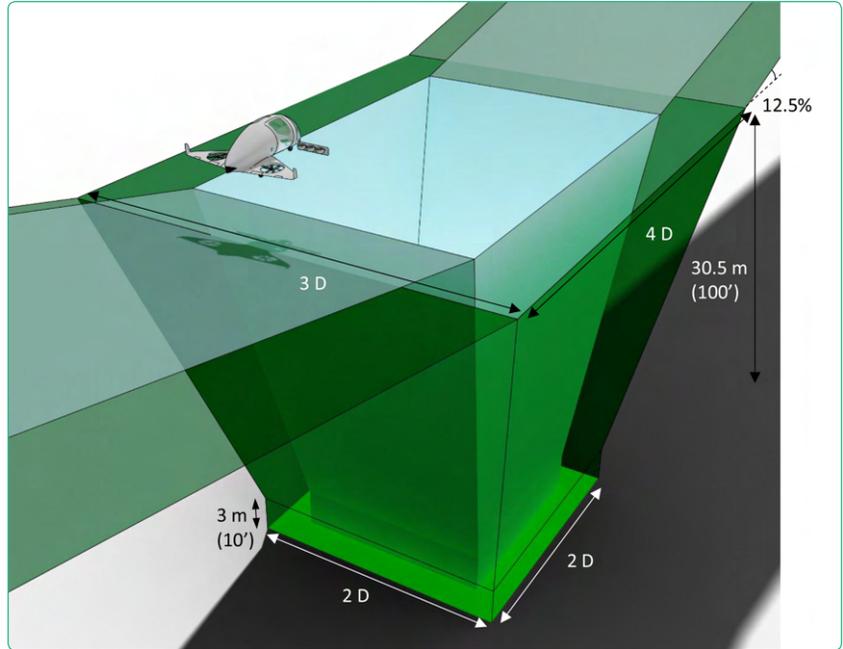


Figure 2
버티포트 출도착
레퍼런스 볼륨



Source: EASA, 2022

물이 택시보다 더 높을 것이라고 예측할 수 있다.

그러나 UAM은 특정한 장소(버티포트)에서만 이착륙이 가능하므로 택시와 같은 접근성을 갖기는 어렵다. UAM에 주로 사용될 eVTOL 기체는 수직이 착륙이 가능하지만 아무곳에서나 이착륙할 수 있는 것은 아니다. 미국 연방 항공청FAA은 2022년에 Engineering Brief No. 105, Vertiport Design을 공개했는데, 이 문서에 따르면 버티포트는 기존의 헬리포트와 거의 동일하게 출도착 경로상에 장애물이 없어야 한다. 유럽 항공안전청EASA은 이보다 조금 완화된 형태의 출도착 경로 조건을 그림 2와 같이 제시하였으나, 여전히 UAM은 버티포트에서만 이착륙이 가능하다.

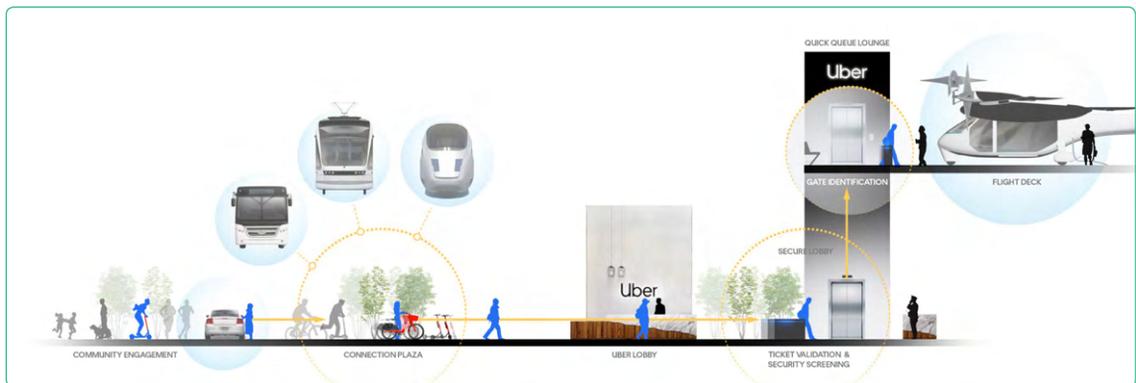
따라서 미래의 도시에서 UAM의 접근성을 높이기 위해서는 도시 내 주요 지점에 버티포트가 위치해 있어야 하며, 버티포트와 지상교통이 유기적으로 연계되어 있어야 한다. 즉, UAM은 기존 항공교통과 마찬가지로 단독으로 교통수단의 역할을 하는 것에 한계가 있으며, MaaS(Mobility as a Service)의

일환으로 서비스가 제공될 필요가 있다. UAM을 MaaS의 구성요소로서 보는 관점은 UAM 시장의 초기를 이끌었던 Uber Elevate가 2019년에 발표한 자료에서 그 개념을 찾을 수 있다(Uber Elevate, 2019). 그림 3은 개인형 이동수단이나 지상교통을 이용하여 버티포트에 도착한 후 UAM을 탑승하여 이동하는 Uber Elevate의 비즈니스 모델을 보여준다. MaaS 사업자는 자사의 서비스 영역 내에서 승객의 퍼스트마일(first mile), 미들마일(middle mile), 라스트마일(last mile)을 유기적으로 연결하는 전체 여정을 제안하고, 승객이 한 번의 예약을 통해 출발지에서 목적지로 효율적으로 이동하게 한다.

UAM과 같은 신 교통수단을 이용하여 도시 안과 주변부의 통행을 원활하게 하고 절약된 시간과 비용을 활용하여 도시민의 삶을 보다 윤택하게 만들기 위해서는, UAM을 포함한 MaaS 체계가 도시의 설계, 구조, 운용과 유기적으로 연결되어야 한다. 앞에서 언급한 바와 같이 UAM은 버티포트에서만 이용이 가능하므로 도시 내의 최적 위치에 버티포트가 위치해야 하며, '최적'의 위치는 개별 버티포트의 운영뿐만 아니라 전체 버티포트 네트워크의 측면까지 종합적으로 고려해서 판단해야 한다. 또한 UAM은 지상교통수단과의 연계가 필수이므로 기존 지상교통의 네트워크와 상호보완적으로 운영되어야 한다. 버티포트도 일종의 교통시설이므로 해당 교통시설을 실질적으로 이용할 수 있는 최대 범위인 영향권(catchment area)이 존재한다. 승객들이 지상교통

Figure 3
Uber Elevate의
MaaS 체계 내 UAM 개념도

Source: Uber Elevate, 2019



을 이용하여 버티포트로 접근하게 되므로 지상교통 네트워크의 구조 및 운영 특성에 따라 UAM의 실질적인 영향권이 결정된다. 우리나라 수도권의 최적 버티포트 위치를 연구한 기존 논문에 따르면, 버티포트 영향권의 크기에 따라 UAM의 통행량과 수단분담률이 달라진다(Kim et al., 2024). 또한 동일한 위치의 버티포트라 하더라도 지상교통의 상황에 따라 '실질적' 영향권이 달라질 수 있다. 가령 지상교통이 매우 혼잡한 첨두(尖頭)시간에는 일단 UAM을 탑승하면 먼 거리를 빠르게 이동할 수 있으므로 보다 먼 곳에서 버티포트로 접근하는 것이 유효할 수 있다. 반면 지상교통이 원활할 때에는 먼 거리를 이동하여 UAM을 탑승하는 것보다 지상교통으로 바로 목적지까지 이동하는 편이 시간과 비용 측면에서 더 효과적일 수 있다. 따라서 UAM의 효과를 극대화하기 위해서는 도시 지역의 전체적인 교통상황과 예상교통수요에 대한 정보가 실시간으로 업데이트되고 공유될 필요가 있다.

또한 도시의 중심업무지구와 대규모 주거지역을 설계할 때에는 UAM과 지상교통의 중심점 역할을 할 수 있는 멀티모달 허브로서 버티포트를 계획에 포함해야 한다. 공항보다는 매우 작은 규모이긴 하지만 버티포트 자체로도 어느 정도의 공간이 필요할 뿐 아니라 지상교통과 연계된 허브 역할을 하기 위해서는 버티포트의 규모가 클 필요가 있다. 또한 UAM 항공기의 이착륙 방향에 고층 건물이 있으면 안 되므로 해당 지역의 도시계획 단계에서 버티포트의 설치를 염두에 두고 설계에 반영해야 한다.

스마트시티 내 항공물류 - 드론 배송의 라스트 미터 문제

앞서 살펴본 UAM은 승객 이동뿐만 아니라 물류에도 활용될 수 있다. 현재 개발 중인 UAM 기체들은 대부분 2명에서 4명 정도의 승객을 태울 수 있으며, 그와 유사한 무게의 화물도 운송이 가능하다. 한편, 미국의 AAM과 유럽

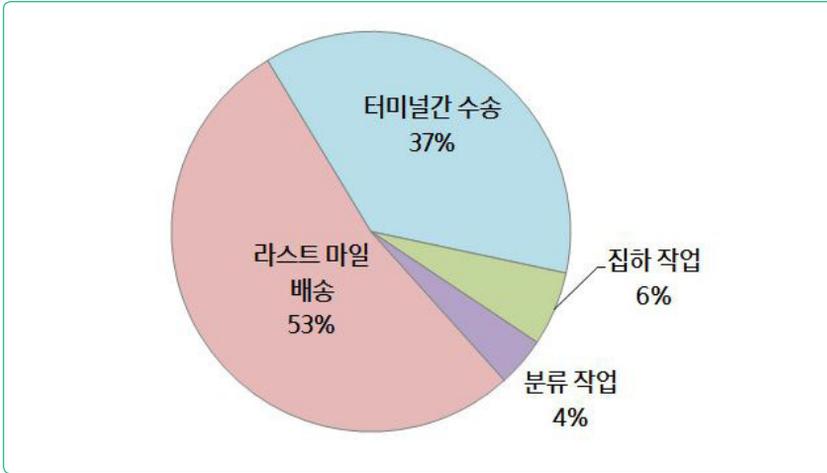


Figure 4
물류 단계별 비용 구성

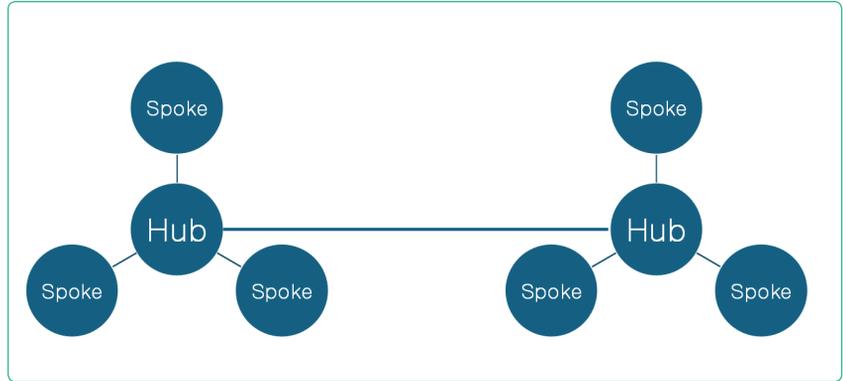
Source: 삼성증권, 2020

의 IAM 개념은 UAM 항공기보다 훨씬 작은 소형 드론을 활용한 소형 화물 배송도 포함하고 있다. 우리나라의 드론산업발전 기본계획 역시 (소형) 드론을 이용한 물품 배송을 주요 활용분야로 선정하였다.

세계적인 물류 기업인 아마존은 아마존 프라임에어 Amazon Prime Air라는 드론 배송 서비스를 시범 운영하고 있으며, 우리나라에서도 드론실증도시 사업을 통하여 드론 배송 상용화를 추진하고 있다. 물류 프로세스에 드론을 활용하려는 것은 최종 소비자에게 물품을 전달하는 ‘라스트 마일 Last Mile’ 영역인데, 삼성증권(그림 4)에 따르면 전체 물류 비용 중 절반 이상이 라스트 마일에서 발생한다(삼성증권, 2020).

라스트 마일 배송에서 비용이 많이 발생하는 가장 큰 이유는 규모의 경제가 성립하기 어렵기 때문이다. 대형 항공사나 물류 회사들은 일반적으로 그림 5와 같은 허브 앤 스포크 Hub-and-Spoke 네트워크를 활용하는데, 각 지점을 직접 연결하는 Point-to-Point 네트워크와 비교하여 적은 수의 구간으로 전체를 다 연결할 수 있다는 장점이 있다. 그래서 허브 공항이나 화물 터미널간 수송은 대용량 운송수단(예: 대형 항공기, 대형 트럭)으로 효율적인 이동이 가능하다. 그에 비해 최종 소비자는 각자 다른 위치에 있고 화물의 갯수도 상대

Figure 5
허브 앤 스포크 네트워크



Source: 김상현

적으로 적으므로 물류 동선이 더 길고 복잡하다. 세계적인 물류 기업인 페덱스FedEx는 라스트 마일 배송의 어려운 점을 다음과 같이 세 가지로 제시하였다.

1. 고객들은 빠른 배송을 원한다.
2. 라스트 마일 배송은 비용이 높다.
3. 특별한 배송 요청이 증가하고 있다.

드론을 이용하여 라스트 마일 배송을 한다면 비교적 저렴한 기체를 동시에 다수 운용하여 더 많은 고객에게 신속한 배송을 제공할 수 있다. 그러나 드론 배송에는 치명적인 한계점이 있다. 드론 기체는 작고 긴 거리를 비행하기 어렵기 때문에 작고 가벼운 물품을 단거리로 배송할 때만 효과적이다. 이를 보완하기 위해 고정형 날개를 적용하여 탑재 가능 물품의 최대 중량을 높이고 운용 가능 거리도 늘릴 수 있기는 하지만, 작은 기체 크기로 인한 근본적인 한계를 가지고 있다는 점은 명확하다.

도시의 관점에서 드론 배송을 바라볼 때에는 또 다른 어려움이 존재한다. 물류 프로세스 중 라스트 마일의 효율성을 높이기 위해 드론을 적용하면 기존 물류 프로세스에는 없던 라스트 미터의 문제가 발생한다. 이는 드론이 물품을 최종 소비자에게 어떻게 전달할 것인가가 핵심이다. 세계적인 컨설팅



Source: 아마존

Figure 6

아마존 드론 배송 테스트
주행에서 식별자(마커)를
향해 하강하는 모습

회사인 맥킨지McKinsey & Company는 드론 배송을 실현하기 위해 해결해야 할 중요한 과제로 라스트 미터 문제를 꼽았다(Cornell, Miller, & Riedel, 2023). 앞서 언급한 드론 배송의 물리적인 탑재 중량과 비행 거리의 한계를 해결하더라도, 드론이 최종 소비자에게 물품을 안전하게 전달하는 방식은 아직 완전하지 않다. 예를 들어 미국 아마존은 그림 6과 같이 지상에 특정한 식별자marker를 설치하고 드론이 그 위에 물품을 낙하시키는 방법을 시연한 바 있다. 하지만 우리나라와 같이 대다수의 인구가 공동주택에 거주하고 있는 환경에서는 이런 방법을 적용하려면 주거건물에 특별한 시설이 필요하다.

다시 말해 우리나라 대도시에서 드론 배송을 실현하기 위해서는 주요 건물 옥상에 드론 배송을 위한 집하 시설을 설치해야 한다. 기존 건물에는 물품을 수집할 수 있는 기본적인 시설만 설치할 수 있겠지만, 새로 계획되는 스마트시티에서는 집하된 물품을 자동 식별하여 개별화된 보관 공간(예: 무인택배함)으로 이동시키고 수취인에게 자동으로 알람을 보내는 체계가 필요할 것이

다. 즉, 드론 배송이 현실화되기 위해서는 스마트시티와 유기적으로 연결된 시스템이 필수적이다.

마치며 - 미래 도시와 항공모빌리티의 융합을 위한 과제 —

다양한 기술의 발전은 미래 도시의 구조와 시민들의 일상을 근본적으로 바꿀 것이다. 특히 항공기술의 발전은 제한된 영역 안에서만 3차원으로 확장 가능한 통행 행태를 훨씬 넓은 영역으로 확대할 잠재력을 가지고 있다. 이러한 변화는 교통 혼잡을 줄이고 이동 효율성을 높일 뿐만 아니라, 도시 공간을 더 효율적으로 활용할 수 있게 만든다. 그러나 이를 실현하기 위해서는 여러 가지 사전 준비와 문제가 해결되어야 한다.

가장 시급하고 중요한 문제는 법적·제도적 기반의 마련이다. 새로운 항공교통수단이 상용화되기 위해서는 안전성이 필수적으로 보장되어야 하며, 이는 관련 법과 제도의 개선을 통해 가능하다. 항공안전 규정, 비행 경로 설정, 도심 내 이착륙장 설치 기준 등 다양한 법적 문제들이 해결되어야만 도심 항공교통(UAM)과 드론 물류 서비스가 안전하게 운용될 수 있다. 특히, 무인항공기와 자동/자율 비행과 관련된 제도가 기술 발전과 함께 마련되어야 할 필요가 있다.

이 글은 충분한 기술 검증을 통해 안전이 확보된 상황에서, UAM과 드론 같은 새로운 항공교통수단이 스마트시티에 성공적으로 적용되기 위해 준비해야 할 사항들을 논의하였다. 앞서 살펴본 것처럼, 이 신기술들은 그 자체만으로는 기능할 수 없고 관련 인프라가 반드시 뒷받침되어야 한다. 버티포트, 드론 배송 집하 시설, 그리고 기존 교통수단과의 연계가 핵심이다. 더 나아가, 미래 도시를 설계할 때는 단순히 현재의 문제를 해결하는 차원을 넘어, 미래 교통 수단과 인프라를 위한 계획적 접근이 필요하다. 도시의 성장과 변

화를 고려한 유연한 설계, UAM과 드론의 원활한 운용을 위한 기반 체계의 개발, 시민들이 새로운 교통수단에 쉽게 접근할 수 있도록 돕는 지능형 교통 체계의 도입 등이 필수적이다. 도시 설계자와 정책 입안자들은 이러한 변화를 미리 예측하고, 기술과 도시 인프라가 긴밀하게 연결된 미래형 스마트시터를 구상해야 할 것이다.

궁극적으로, 미래항공모빌리티는 도시 내 우리의 일상을 더욱 편리하고 효율적으로 만들어줄 것이며, 지속 가능한 도시를 구축하는 중요한 열쇠가 될 것이다. 이러한 기술 혁신이 성공적으로 자리잡기 위해서는 지금부터 체계적인 준비가 필요하며, 이는 스마트시티와의 융합을 통해 비로소 실현될 수 있다.

| References |

1. Cheon, S. (2023). Estimation for Road Traffic Congestion Costs in 2021, Korea Transport Institute.
2. Seoul Metropolitan Government. (2024). Transportation Mode Share. Retrieved October 10, 2024 from <https://news.seoul.go.kr/traffic/archives/289>
3. EASA. (2022). Prototype Technical Specifications for the Design of VFR Vertiports for Operation with Manned VTOL-Capable Aircraft Certified in the Enhanced Category.
4. Kim, S. H., Park, B. T., Chae, M., Kim, H., & Shim, S. H. (2024). Optimal Vertiport Locations for Air Taxi Services in Metropolitan Areas, International Journal of Aeronautical and Space Sciences.
5. Samsung Securities. (2020). The Future of Distribution: Last-Mile Delivery Service. Retrieved October 10, 2024 from <https://www.samsungpop.com/>

mobile/invest/poptv.do?cmd=fileDown&FileNm=uma_200214.html

6. FedEx. The key step in e-commerce business operations: last mile delivery. Retrieved October 10, 2024 from <https://www.fedex.com/en-kr/small-business/getting-started/last-mile-delivery.html>
7. Cornell, A., Miller, B., & Riedel, R. (2023). Solving the “last-meter” challenge in drone delivery. Retrieved October 10, 2024 from <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/future-air-mobility-blog/solving-the-last-meter-challenge-in-drone-delivery>



SMART CITY

T O P

A G E N D A

2 0 2 4

CHAPTER

04

스마트시티와
시민의 삶

Power to the people and districts as laboratories:

Urban innovation
pattern language^[uiPL]
as performance-based
approach for future-proof
cities

시민에게 권한을, 지역을 실험실로:

미래가 보장된 도시를 위한 성과 기반 접근법으로서의
도시 혁신 패턴 언어

슈테펜 브라운

Steffen Braun



슈테펜 브라운 박사는 공학박사이며 슈투트가르트에 위치한 프라운호퍼 [Fraunhofer](#) 산업공학 연구소 IAO의 부소장이다. 2016년부터 이 연구소의 도시 시스템 설계 연구센터 [Urban System Design Research Center](#) 책임자이자 수석 과학자로 활동해 왔다. 그는 미래 도시와 도시 시스템이 어떻게 하면 기후 친화적이고 시민 중심적이며 몰입적이고 적응 가능한 환경으로 더 빨리 변모할 수 있는지에 대한 질문에 초점을 맞춰 연구하고 있다. 2003년부터 2009년까지 슈투트가르트 대학교 [University of Stuttgart](#), 미국 SUNY 버팔로 [SUNY Buffalo](#), 핀란드 탐페레 공과대학 [TU Tampere](#)에서 건축학과 도시 계획을 공부했다. 졸업 후 프라운호퍼 연구소에서 연구 경력을 쌓기 시작했고, 이어서 도시와 산업을 위한 국제 혁신 플랫폼인 프라운호퍼 모르겐슈타트 [Fraunhofer Morgenstadt](#) 계획의 공동 설립자로 참여했다. 그는 40편 이상의 논문을 저술한 저자이자 기조 강연자이다. 도시 기술 및 미래 교통, 공공 부문 디지털화, 탄소 중립 및 개방형 스마트 도시에 대한 다양한 전문가 위원회, 자문 위원회 및 실무 그룹에도 참여하고 있다.

E-mail: steffen.braun@iao.fraunhofer.de

초록

지속적인 도시화로 21세기 말까지 도시 인구가 90억 명에 달할 것으로 예상되는 가운데, 현재의 지속 불가능한 패러다임 내에서 모든 기반 시설을 포함한 기존 글로벌 도시 시스템의 규모가 두 배로 커질 것으로 예상된다. 따라서 오늘날 글로벌 사회의 주요 거주지이자 경제 영역인 도시 시스템의 기술 발전은 우리 시대에 더욱 중요해지고 있다. 초기 산업화 이후 기술 혁신의 출현과 확산이 도시 시스템에서 점점 더 중요한 역할을 담당했지만, 미래 기술 잠재력을 체계적으로 다루거나 전략적으로 예측할 수 있는 실용적인 접근 방식은 여전히 찾아보기 힘들다. 본 논문은 글로벌 관점에서의 도시 변환과 지속 가능한 도시 개발의 맥락에서 도시 간 협력적 혁신과 확산 과정을 체계화하는 것을 목표로 하고 있다. 데이터베이스에서 지식 발견의 정성적, 정량적 연구 방법을 모색함으로써 지금까지 시행되어 온 도시 시스템의 공동 혁신 과정을 탐색적으로 분석하고 반복되는 특성을 패턴으로 식별하고 검증하고자 한다.

목표는 소프트웨어 엔지니어링 이론을 기반으로 한 보편적 패턴 언어 세트의 초기 프로토타입을 개발하고 검증하는 것이다. 이를 통해 입증된 솔루션을 체계화하고 이해하기 쉬운 형태로 구현하여, 도시 시스템의 전략적 혁신 관리에 참여자들 간의 협력을 강화하고자 한다. 즉 과학, 산업, 정치 및 공공 기관 간의 공통 언어를 개발하는 것이다. 스마트하고 시민 중심적이며 탄소 중립적인 미래 도시를 위해서는 복잡한 시스템으로서 도시의 다양성과 적응성을 새롭게 이해하는 것이야말로 성공의 핵심이기 때문이다. 이러한 성과 기반 접근 방식을 35개 도시의 각기 다른 혁신 패턴으로 프로그래밍하면, 스마트 도시와 관련된 공공의 이해 관계자들을 위한 체계적 혁신 역량을 밝혀내어 구체적으로 다룰 수 있다.

키워드

협력적 진화, 도시 혁신, 패턴 언어, 미래 보강 도시, 스마트 도시

• ABSTRACT •

With ongoing urbanization to a projected 9 billion people in cities by the end of the century, the existing global urban system, including all underlying infrastructure, is expected to double in size - within today's unsustainable paradigms. Technological progress in urban systems as predominant habitats and economic domains of our global society has become highly relevant in our time. Although the emergence and diffusion of technical innovations have played an increasing role in the urban system since early industrialization, there are still hardly practical approaches that enable a systematic handling or a strategic foresight of future technological potentials. The paper pursues the systematization of cooperative innovation and diffusion processes between cities in the context of urban transformation and sustainable urban development from a global perspective. With qualitative and quantitative research methods of knowledge discovery in databases, previous co-innovation processes of urban systems are analyzed exploratively, and recurring characteristics as patterns are identified and validated.

The objective has been the prototypical development and validation of a first universal pattern language set based on the theories in Software Engineering to organize identified proven solutions, operationalize them in an understandable form and thereby strengthen cooperation between those involved in the application of strategic innovation management in urban systems - a common language between science, industry, politics, and public authorities. For smart, citizen-centric, or carbon-neutral cities of the future, it becomes evident that a new understanding of the versatility or adaptivity of cities as complex systems is key to success. With a performance-based approach coded into a unique set of 35 urban innovation patterns, systemic innovation capacities for public stakeholders in smart cities can be specifically addressed and unlocked.

KEYWORDS

co-evolution, urban innovation, pattern language, future-proof cities, smart districts

들어가며

덴버시의 전前 시장 웰링턴 웹(Wellington Webb)은 19세기를 제국의 시대, 20세기를 국가의 시대, 21세기를 도시의 시대로 정의한 바 있다. 오늘날 도시의 미래 지향적 개발, 즉 변화아말로 지구상에서 우리 인류의 역할을 이해하는데 핵심적이다. 특히 전례 없는 기후 변화 시대에 이는 더욱 중요하다. 고대부터 도시와 도시 기술이 없었다면 인류는 결코 지금까지 진화하지 못했을 것이다. 오늘날까지 사회적 가치, 경제적 부와 노동력, 문화, 교육의 구조적 축적이 가능한 것도 바로 도시가 있었기 때문이다. 우리의 문명은 기술의 진화와 인구 증가에 따라 도시가 다각적으로 ‘여러 가지 역할’을 함으로써 끊임 없이 상호 협력하며 발전해 왔다. 새로운 기술이 등장할 때마다 도시는 소프트웨어나 하드웨어가 업데이트되듯 함께 변화해 왔다.

현재까지 진행된 논의를 정리하기 위해 스마트하고 지속 가능한 21세기 도시 문제의 도입 부분을 다시 살펴보기로 하자.

- 1992년은 현대 도시 개발에 있어 중요한 전환점이었다. 처음에는 전혀 별개였던 두 가지 접근 방식이 구분하기 어려울 정도로 융합되기 시작한 시점이기 때문이다. 이러한 융합된 접근 방식이 오늘날의 공간 계획에 어떤 영향을 미쳤는지 다루겠다. 한편, 리우데자네이루에서 열린 첫 유엔환경개발회의(United Nations Conference on Environment and Development)에서 약 10,000명의 각국 대표단과 전문가들이 모여 글로벌 환경 문제를 논의하고 공동 대응을 합의했다. 1972년 스톡홀름에서 제1차 유엔인간환경회의(UN Conference on the Human Environment)가 열린 지 20년이 지난 이후, 지속 가능한 글로벌 발전을 위한 장기적인 국가별 행동 계획의 공통 기반을 제공한 ‘어젠다 21(Agenda 21)’이 채택된 것은 가장 중요한 성과 중 하나였다[유엔, 1992].

- 그해에는 대중의 관심이 집중된 중요한 기후 보호 계획 외에도, 또 다른 획기적인 출판물이 간행되었다. 데이비드 김슨 등(David Gibson et al)이 쓴

《테크노폴리스 현상: 스마트시티, 고속 시스템, 글로벌 네트워크》The Technopolis Phenomenon: Smart Cities, Fast Systems, Global Networks가 ‘스마트시티’의 개념에 대한 과학적 토대를 마련했는데, 이 개념은 30년이 지난 지금까지도 그 어느 때보다 더 구체적이고 실용적 개념으로 다루어지고 있다[김순, 1992]. 제목에서도 분명히 알 수 있듯이, 이 책은 정보 및 통신 기술이 사회에 더 많이 침투하고 있다는 맥락에서 그리스어로 ‘테크네’*techné*와 ‘폴리스’*polis*를 탐구하는 데 초점을 맞추고 있다. 1991년 세계 최초의 웹 브라우저가 출시되어 네트워크 정보사회라는 새로운 시대를 연 것은 우연이 아니다. 한국에서도 1990년대 중후반까지 인천 송도 국제도시가 개발되면서 ‘유비쿼터스 도시’*ubiquitous city, u-city* 형태의 초기 개념이 등장했는데, 이 도시는 지역 운영을 위해 통합된 정보 및 통신 네트워크 분야의 첨단 접근 방식을 추구했다 [O’ Connell, 2005].

혁신 도시의 짧은 역사를 되돌아볼 때, 지속 가능한 스마트 도시라는 플라톤적 아이디어는 여전히 계속 진행되고 있으며, 21세기 고도로 도시화된 지구에서 인류의 미래에 절대적 영향을 미칠 것이다. 반기문 전 유엔 사무총장도 “지속 가능한 세계를 위한 투쟁의 승부는 도시에서 판기를 날 것이다”라고 말한 바 있다. 스마트 도시에서 시민의 삶을 개선하기 위한 핵심과제는 엄격한 규제와 공공 이해관계자의 여러 제약 속에서 혁신과 변화를 얼마나 빠르게 이끌어낼 수 있느냐에 달려 있다.

도시 시스템의 진화: 마차에서 로보 택시까지

도시 시스템 진화의 개념을 이해하기 위해서는 사회적, 기술적, 경제적, 생태적, 문화적 요소가 혼재해 있는 도시를 일종의 복잡한 기계로 축소해서 바

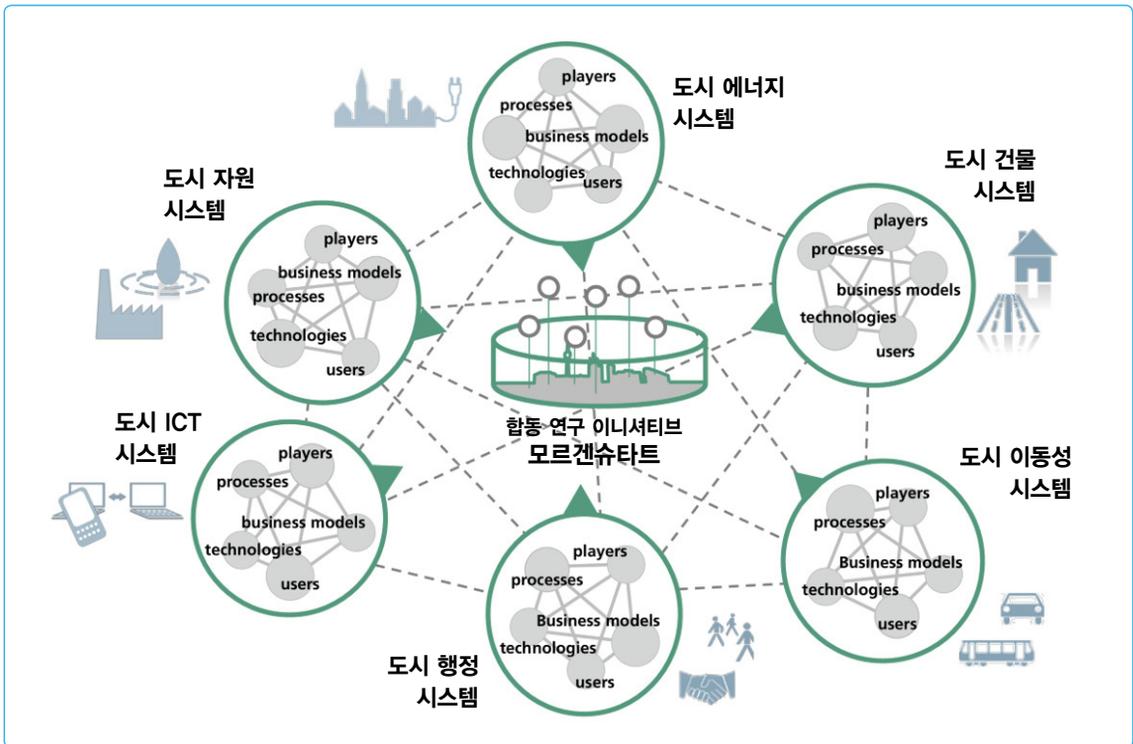
라보는 것이 도움이 될 수 있다. 즉 도시를 서로 다른 여러 부분 또는 하위 시스템이 서로 결합되어 시너지 효과를 내는 기계로 보는 것이다. 이런 관점에서 보면, 21세기의 현대 도시 시스템은 13개의 하위 시스템으로 구성되어 있으며[Braun, 2024], 각 시스템은 도시 운영을 위한 주요 기능과 고유의 기반 기술을 제공한다고 설명할 수 있다[Pumain, 2004]. 이것이 바로 필자가 강조하는 중요한 관점이다. 여러 국가의 스마트시티 전략이 이러한 진화의 측면을 간과하고, 도시 혁신에 대한 체계적 이해 없이 다음 단계의 기술에만 초점을 맞추고 있기 때문이다.

2012년부터 프라운호퍼 모르겐슈타트 계획은 미래 도시를 위한 응용 연구와 시스템 혁신의 발전에 참여해 왔으며, 여러 하위 시스템과 그 시스템의 기후 중립적 변화를 핵심 연구 분야로 간주했다(그림 1 참조).

따라서 도시 시스템을 사회적·기술적 하위 구성 요소로 정의할 때, 현대

Source: Bauer, 2012

Figure 1
 지속 가능한 도시를 위한
 핵심 요소로서의
 도시 하위 시스템



도시의 역사적 발전 과정에서 각기 다른 하위 시스템으로 여겨졌던 모든 요소를 포함해야 한다. 기술, 사업모델, 절차와 같은 핵심 원칙들은 이미 오래 전부터 확립되어 있던 안정적 요인들(예: 조정)이지만, 다른 요인들은 ‘새로 도입되어’ 계속 확장되고 있는 요인들(예: 폐기물)이다. 또한, 과거에는 도시 시스템의 일부였지만 패러다임의 전환으로 인해 ‘아웃소싱’됨으로써 도시 영역에서 사라지거나(예: 식품) 그 물리적 형태가 디지털 영역으로 바뀐 요인들도 있다(예: 보안). 과학 문헌 조사를 통해 다음과 같은 시스템의 변화가 발견되었다:

1. **이동성 시스템** 말이 끄는 마차에서 로보택시로(1662~2016)
2. **에너지 시스템** 석유 램프에서 전력, 가스로(1662~2015)
3. **건물 시스템** 목조 주택에서 소형 주택으로(1849~2017)
4. **통신 시스템** 전신에서 사물 인터넷으로(1837~2022)
5. **물 시스템** 수도관에서 진공 하수 시스템으로(1804~2017)
6. **보안 시스템** 성벽에서 예측 치안으로(1766~2014)
7. **경제 시스템** 중상주의Cameralistics에서 가상화폐Robocoins로(1762~2014)
8. **노동력 시스템** 제조 공장에서 자동화 공장micro-factories으로(1769~2014)
9. **식량 시스템** 생산성이 낮은 정원식 논밭poor gardens에서 수직 농업으로(1746~2015)
10. **조경 시스템** 공공 공원에서 동물 공존 설계animal-aided design로(1637~2019)
11. **폐기물 시스템** 쓰레기 수거에서 청소 로봇으로(1874~2016)
12. **물류 시스템** 기체 압력을 이용하는 수송관pneumatic tube에서 배달 드론으로(1761~2019)
13. **행정 시스템** 이상적 도시에서 가상 도시로(1699~2021)

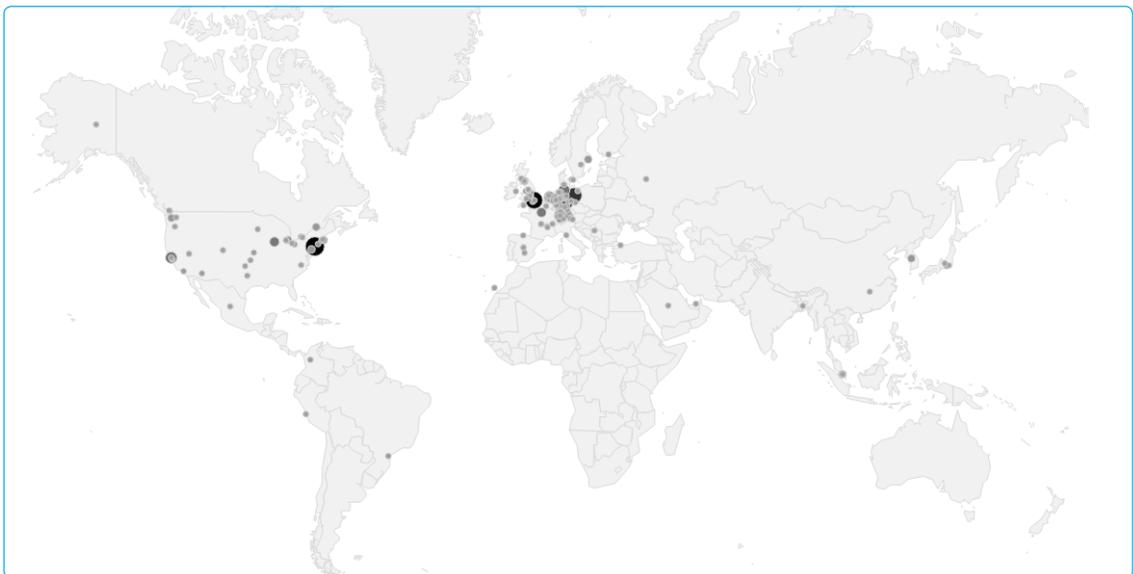
이러한 시스템의 현대적 기원, 즉 도시 기술 진화의 시작은 17세기에서 19세기의 유럽 도시로 거슬러 올라갈 수 있다. 유럽 도시에서 세계적 도시화가

일어나면서 북미에서 아시아, 아프리카에 이르기까지 전 세계 도시로 도시화가 확산되었다. 전 세계 118개 도시에서 1,629개 항목(ID, 시간, 위치 등)이 포함된 135가지의 포괄적인 도시 혁신 데이터 세트가 구축되면서, 도시 시스템은 한편으로는 진화적 개념으로, 다른 한편으로는 높은 수준의 표준화를 보여왔다고 말할 수 있다. 예를 들어, 독일 슈투트가르트의 지하철은 한국의 서울이나 아르헨티나의 부에노스아이레스의 지하철과 거의 같은 방식으로 작동한다. 완전히 새로운 도시 패러다임이 다가오면서 도시 혁신의 진화는 앞으로 흥미롭게 전개될 것이다(예: 사우디아라비아의 무중력 신도시 계획 '더 라인 The Line').

지금까지 확인된 도시 혁신의 상당 부분은 발명이나 초기 실험이 시작된 특정 도시(탄소 중립 도시)에 국한될 수 있다. 그림 2는 1750년에서 2020년 사이 도시 혁신(N=135) 사례의 분포를 보여주는 지도로, 주로 유럽과 미국에 집중되어 있음을 볼 수 있다.

도시 시스템의 개념을 설명하기 위해 도시 이동성 시스템의 진화를 간략

Figure 2
지금까지 진행된 도시 혁신의 전 세계 분포(N = 135)



하게 요약해 보자(분석된 시기에 진행된 58개의 혁신을 모델로 하였음):

- 1662년 이전에 모든 도시 주민들의 교통 수단은 진흙길, 소가 끄는 수레, 말이 끄는 마차 등으로 이루어져 있었다. 당시 유명한 수학자 블레즈 파스칼(Blaise Pascal)이 프랑스 파리에 ‘5솔 마차’Cinque Carrosses라는 세계 최초의 대중교통 시스템을 도입하여 몇 년 동안 성공적으로 운영했다. 하지만 다음 세기가 되어서도 다른 도시에서 이 교통 수단은 채택되지 않았다.

- 칼 프라이헤르 폰 드라이스(Carl Freiherr von Drais)는 ‘여름 없는 해’(1816년을 말함-역주)의 이듬해인 1817년, 독일 카를스루에(Karlsruhe)에서 자전거를 발명했다. 자동차가 발명되기 훨씬 전의 일이다.

- 1830년에 개통된 영국의 리버풀-맨체스터 철도는 승객과 화물을 모두 운송하는 증기 기관차가 공공 운송 수단으로 운행된 최초의 현대 도시 간 철도였다.

- 1863년은 영국 런던에서 세계 최초의 지하철 노선이 개통된 획기적인 해였다. 터널 굴착 기술이 활용되었으며, 전기화 시대가 오기까지는 석탄 기관차로 운행되었다.

- 1881년 베르너 폰 지멘스(Werner von Siemens)(Siemens AG 설립자)에 의해 베를린-리히터펠데(Berlin-Lichterfelde) 구간에서 전동 열차의 최초 운행이 이루어졌고, 5년 후인 1886년에는 독일 슈투트가르트 거리에 모터로 작동하는 최초의 현대적 자동차가 등장했다. 자동차의 등장은 모든 도시에 좋은 영향과 나쁜 영향을 함께 미치면서 세계를 바꾼 기술이 되었다.

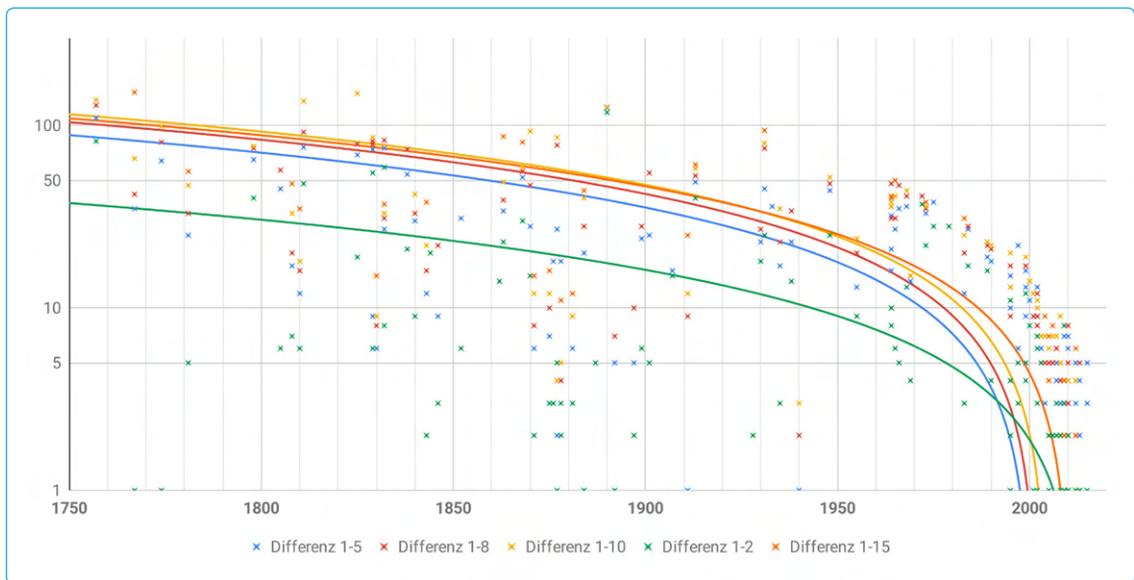
- 20세기에 들어오면서 지하 터널(1896년, 슈투트가르트), 전기 신호등(1914년, 클리블랜드), 주차장 요금기(1935년, 오클라호마시티), 횡단보도(1948년, 런던) 등과 같은 다양한 자동차 관련 혁신이 일어났다.

- 《성장의 한계(Limits of Growth)》(Donella Meadows, 1972)가 출간된 이후, 더 나은 대중교통(1974년 브라질库里티바의 간선급행버스시스템 BRT), 더 많은 규제(1975년 싱가포르의 첫 유료 도로 체계 ALS), 첫 상업용 자전거 및 자동차 공유(1995년 코펜하겐의 공유 자전거 Bicyklen), 자율 주행차의 상업적 도입(1999년 로테

르담의 Connexion) 등이 도입되면서 새로운 이동성 패러다임이 나타나기 시작했지만, 이 분야의 많은 부분은 여전히 개발 중에 있다. 앞으로 21세기의 남은 부분 동안 탄소 중립성으로 전환하는 다차원적인 새로운 이동성 분야가 제시될 것이다.

지금까지 설명한 이동성 영역 같은 개별적 도시 시스템의 진화는 초기 개발 단계에서는 대부분 서로 독립적으로 전개되었지만, 시간이 지나면서 다른 종류의 도시 시스템(예: 에너지 인프라 등)과 더 많이 연결되며 새로운 발전이 이루어졌다. 1990년대와 2000년대 초에 시작된 정보 기술 시대에 스마트 도시 또는 커넥티드 도시가 등장하면서(‘들어가며 참조’) 도시 시스템들이 서로 연결되고 상호 의존하는 새로운 패러다임이 생겨났고, 지난 수십 년 동안 혁신의 속도는 전례 없이 빨라졌다. 그림 3은 도시 시스템과 도시 간 혁신의 도입률을 체계적으로 측정하는 것이다. y축은 특정 도시 혁신이 최초로 도시에서 시범 운영된 후, 이를 다른 도시들이 성공적으로 도입해 확산되기까지 걸린 햇수를 나타낸다(예, 런던에서 1863년에 지하철이 등장한 이후 지하철을 도입한 도

Figure 3
도시 혁신(N = 135)이 확산되는 데 걸리는 기간은 다양하게 나타났다.

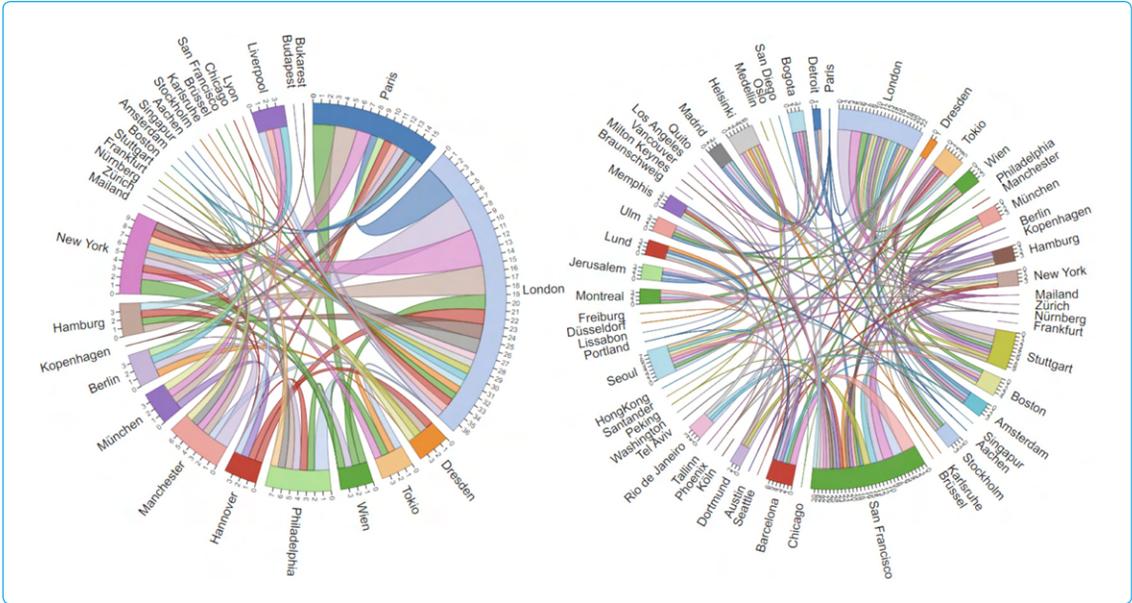


시가 10개가 되기까지). 현대에 들어서면서 도시 간 도시 혁신의 확산 속도가 지속적으로 빨라지며 명확한 패턴이 드러났다. 19세기에는 특정 도시 혁신이 10번째 도시로 확산되기까지 약 34년이 걸렸지만, 21세기에는 5년 미만으로 빨라졌다. 도시 혁신의 이 같은 빠른 속도는 현대의 도시 계획 주기를 언제나 앞지르고 있으며, 이것이 바로 새로운 패러다임을 채택해야 하는 이유가 되고 있다[Popescu, 2020].

런던에서 샌프란시스코까지 - 도시 혁신 경쟁을 선도하는 도시는 어디인가?

도시 시스템에서 정량적 측정을 용이하게 하기 위해서는 과거 특정 기간 동안 혁신이 얼마나 확산되었는지에 대한 포괄적 경험주의에 기반한 새로운 지표를 도입해야 한다. 이를 위해 UI 요인이 도시의 혁신 성과를 판단하는 수단으로 제시되고 있다. 이러한 성과는 가중치가 부여된 혁신 분석을 통해 도출할 수 있으며, 도시의 단일 혁신 성과를 도시의 전체 혁신 시스템과 연결시켜 설명할 수 있다[Braun, 2024].

그림 3의 확산 곡선(13가지 도시 시스템을 도입한 곳에서의 N=135 도시 혁신)과 더불어, 시간, 위치, 유형을 포함하는 원 데이터가 각 UI의 초기 10개 데이터 포인트에 대해 각 도시(UI_{1-x})를 평가하는 데 사용된다. 어느 도시가 글로벌 규모로 UI₁을 세계 최초로 시범 실시하는 경우 1위가 부여된다. 이후 내림차순으로 순위가 지정되는데, UI₁을 실시하는 두 번째 도시는 2위, 세 번째 도시는 3위가 되는 것이다. 이 지표를 통해, 다른 도시들이 따라 할 수 있는 혁신적인 도시 기술을 주도하는 글로벌 도시 혁신 리더인지, 얼리 어답터인지, 아니면 후발 주자인지를 판단할 수 있다. 이런 차원에서 볼 때, 이 데이터는 도시 간의 장기적 상호 의존성이 시간이 지나면서 변화하는 유동적인 것임을



Source: Braun, 2024

Figure 4

50개 도시에서 나타난
 확산 기간 비교.
 1850년 이전에 걸린
 기간(왼쪽)과
 2000년 이후에 걸린
 기간(오른쪽)

보여준다[Smith, 2013].

특정한 두 시대에 있어 확산에 걸리는 기간을 비교하면(그림 4 참조), 그 시대 도시의 글로벌 혁신 생태계에 대한 자세한 스냅샷을 볼 수 있다.

이후 두 관찰 기간의 역학, 관계 및 가중치는 마치 장시간 노출의 저속 촬영 사진에서 빛이 움직이는 장면처럼 표시된다. 이 같은 해석은 혁신 시스템에서 각 도시의 역할 또는 지배력이 시간이 지나면서 어떻게 변화해 나가는지를 보여준다. 왼쪽 다이어그램(1850년까지)은 런던이 도시 혁신을 주도하는 도시(1위를 차지한 대부분의 혁신이 이 시기에 시작되었다)임을 보여주고, 파리를 포함한 약 12개 도시들이 그 뒤를 따르고 있음을 알 수 있다. 반면, 오른쪽 다이어그램은 21세기에 접어들면서 뚜렷하게 달라진 네트워크 구조를 보여준다. 이 시기에 런던은 샌프란시스코에 선도적 역할을 넘겨주었고, 1위 혁신을 시범적으로 도입하고 채택하는 도시가 훨씬 많아졌다. 이는 도시 혁신을 위한 ‘경기장’, 게임의 규칙, 전략 등이 훨씬 더 광범위하고 개방적이 되었음을 의미한다[Thompson, 2018].

‘도시 혁신 패턴 언어’의 개념 - 혁신 도시의 ‘DNA’는 무엇일까?

장기간에 걸쳐 도시 혁신을 성공적으로 창출하거나 도입하는 데 있어 중요한 기본 패턴을 어떻게 알 수 있을까? 현대 지식 사회에서 지식 체계를 개발하는 데 있어 패턴과 패턴 언어로 생각하는 기법은 비교적 최근에 도입되었다. 이 개념은 ‘로마 클럽’[Club of Rome](#)(인류와 지구의 미래에 대해 연구하는 비영리 연구기관, 앞에서 언급한 《성장의 한계》를 발표하면서 널리 알려졌음-역주)의 연구 활동, 현대 시스템 과학, 홀어스 카탈로그[Whole Earth Catalogue](#)(1970년대 실리콘밸리 히피 세대들을 중심으로 반문화를 추구한 잡지-역주)와 거의 같은 시대에 등장했다[Turner, 2008].

패턴 언어의 접근 방식은 초기 디지털화 맥락에서 지식을 구조화하는 동시에 개방적 구성을 지향하며, 다양한 학문 간의 소통을 위한 기반을 형성하는 데에도 기여했다[Leitner, 2015]. 오늘날 다양한 엔지니어링 및 기술 분야에서 사용되는 ‘디자인 패턴’이라는 용어는 원래 1970년대에 건축가 크리스토프 알렉산더[Christopher Alexander](#)가 주택 건설 및 도시 계획 분야에서 처음 사용했다[Buschmann et al, 2000]. 그에 따르면, 패턴이란 특정 맥락에서 추상적인 형태로 자주 발생하는 문제에 대한 입증된 해결책으로서, 패턴이 나타날 때 개념적 지식, ‘노하우’, ‘모범 사례’들이 일반화될 수 있다고 한다.

도시 시스템 분석에서 각 시스템의 확산 과정을 이론적으로 코딩한 방법에 따르면, 약 25개의 도시 혁신 패턴에 대한 긍정적인 영향을 확인할 수 있었다. 각 패턴(표 1 참조)은 다양한 도시 혁신 확산 사례로 나타났으며, 가장 많이 등장한 패턴은 ‘도시 생활의 질’[Urban Life Quality, ULQ](#)로, 40건의 사례(전체 UI 사례의 29.6%)가 발견되었다. 반면, ‘특별 이벤트 트리거’[Special Event Trigger, SET](#) 패턴은 9건의 사례(전체 UI 사례의 6.6%)로 가장 적게 나타났다. 이

패턴들은 데이터 분석을 통해 확인되었을 뿐만 아니라, 독일의 스마트시티 전문가 50명을 대상으로 한 설문 조사에서도 검증되었다. 조사에서 패턴의 실제 적용 가능성과 관련성이 동시에 확인되었으며, 25개의 모든 패턴에 대해 긍정적인 피드백이 나왔고, 타당성 평가 점수는 65~88%로 매우 높은 평가를 받았다.

실제 사례 하나를 들자면, 도시 혁신 패턴 DWCDon't waste a good crisis(좋은 위기를 낭비하지 말자, 2차 대전을 승리로 이끈 윈스턴 처칠이 한 말에서 인용-역주)는 외부의 위기를 도시 혁신을 위한 기회의 순간으로 다루자는 것으로, 전문가들은 향후 10년 동안 지방자치단체의 의사 결정자들에게서 이 패턴의 관련성이 10% 더 높아질 것으로 보고 있다.

이 패턴들은 그 유형, 중심성(다른 패턴들과의 관계에서), 가장 빈번하게 나타난 시대, 평균 확산 속도, 관련 도시 규모 등과 같은 서술적 지표와 속성에 의해 다시 정의된다. 그림 5는 전문가 설문 조사의 평가 검토를 바탕으로 26개의 기본 패턴(1-5 등급)과 9개의 보조 패턴(6-7 등급)에 대한 시각적 구성 체계를 일목요연하게 표시한 것이다(화학의 원소 주기율표와 유사하다). 그 목표는 형성적 성과 지표를 포함한 명확한 확인을 통해 실용성을 높이고, 스마트시티

Table 1
35개 도시 혁신 패턴을
7개 등급으로 분류한 표.
모든 패턴은 고유한
약어 표기가 있다.

1등급 조건적 패턴 [C]	2등급 공간적 패턴 [S]
<ul style="list-style-type: none"> • 특별 이벤트 트리거 <i>SET, Special Event Trigger</i> • 좋은 위기를 낭비하지 말자 <i>DWC, Don't waste a good crisis</i> • 성과지향적 규제/완화 <i>PDR, Performative De/Regulation</i> • 요충지 기회 <i>CPO, Choke Point Opportunity</i> • 작은 실험대상 <i>SMA, Small Guinea Pig</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • 뒷마당과 틈새 <i>BAN, Backyards and Niches</i> • 새로운 공간 확장 <i>NSX, New Spatial Expansion</i> • 실험실로서의 도시 <i>DAL, District as Laboratory</i> • 모듈식 마트료시카* <i>MOM, Modular Matryoshka</i> <small>* 독일 예술가가 만든 95시간짜리 필름. 자전거 타는 소년, 거리, 주택, 창고, 하늘 등 다양한 이미지로 구성되어 있음.</small> • 도시 품질 개선 <i>UQI, Urban Quality Improvement</i>

3등급 관계적 패턴 [T]

- 혁신 문화와 단체 *Innovation Culture + Agencies ICA*
- 시민 크라우드펀딩 *CIC, Citizen Crowdfunding*
- 권력은 국민에게서 나온다 *PTP, Power to the People*
- 정치적 리더십 전문성 *PLX, Political Leadership Expertise*
- 지역 과학 추진 *LSP, Local Science Push*
- 기업 혁신 추진 *EIP, Enterprise Innovation Push*

4등급 진화적 패턴 [E]

- 패러다임 전환 *PAS, Paradigm Shifting*
- 미래 기술 진화 *TEA, Technology Evolution Anticipation*
- 두 가지 기술 결합 *CTT, Combine two technologies*
- 익숙한 재해석 *FRI, Familiar Re-Interpretation*
- 낡은 유산 청산 *OLD, Old Legacy Detachment*

5등급 운영적 패턴 [O]

- 프리미엄으로 시작 *SWP, Start with Premium*
- 원 제로 오프 *OZO, One Zero Off**
* OZO: 기술적 요소를 잠시 멈추고, 도시가 본래 지향해야 할 가치와 방향에 집중하는 것
- 사용자 경험 우선 *UEF, User experience first*
- 민관 혁신 파트너십 *PPI, Public-Private Innovation Partnership*
- 전 시민 무료접속 *FAA, Free Access for All*

6등급 주관적 패턴 [S]

- 도시 혁신 가속화 *UIA, Urban Innovation Acceleration*
- 런던 파워하우스 *LOP, London Powerhouse*
- 뉴욕 넥스트 *NYX, New York Next*
- 뮌헨 셔플 *MUS, Munich Shuffle*
- 샌프란시스코 갬빗 *SFG, San Francisco Gambit*

7등급 비효율적 패턴 [A]

- 부실한 법률 제도 *LFI, Legal Framework Idleness]*
- 사회적 기술에 대한 의구심 *STS, Social Technology Scepticism*
- 지속성 없는 정책 *SVP, Short Viable Product*
- 도시 인터페이스 부재 *MUI, Missing Urban Interfaces*

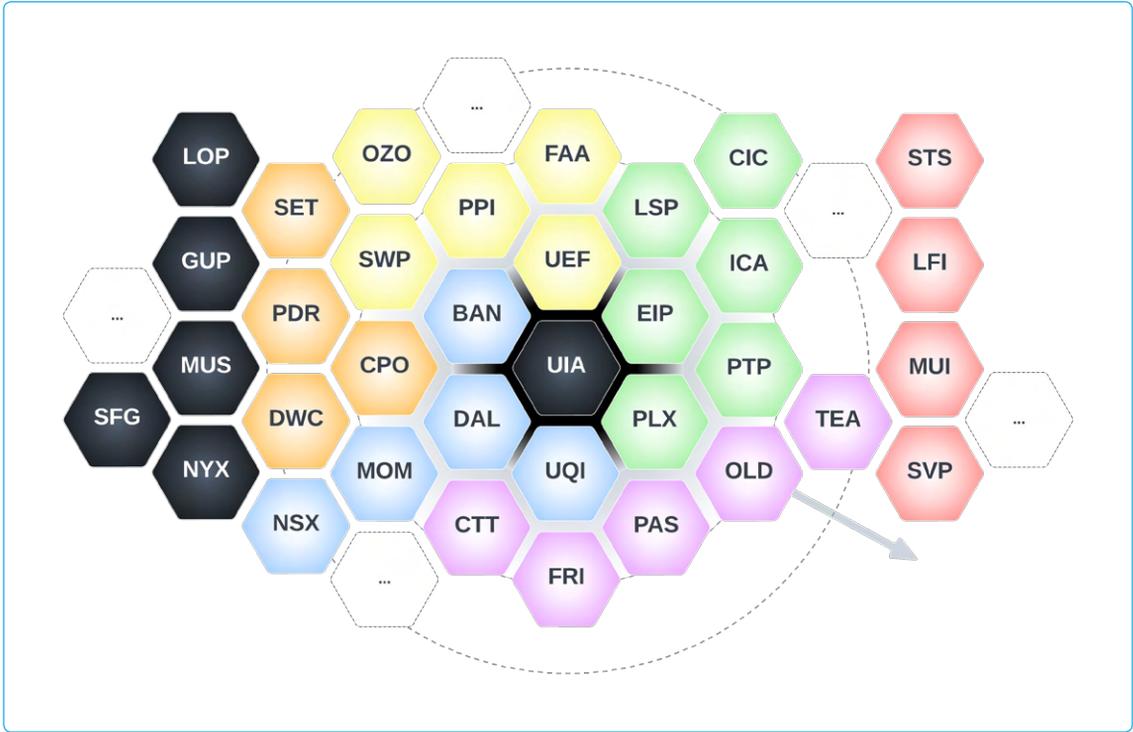


Figure 5

35개 패턴을 도시 혁신 가속(UIA)을 중심 원점으로 하는 개방형 도시 혁신 패턴 언어(ui.PL)로 배열한 모습.

전문가가 이를 실용화하도록 하는 것이다.

지금까지 설명한 도시 혁신 패턴에서 패턴 언어의 여러 가지 특징이 분명히 드러난 것을 볼 수 있다. 앞에서 언급했듯이, 패턴 언어는 패턴 간에 관계가 있을 때 존재하기 때문에 각 패턴들은 차별화된 방식으로 고려해야 한다. 이런 개방적인 접근 방식을 사용하면 앞의 분류에 따라 이후에 더 많은 패턴을 추가할 수 있다.

앞으로의 전망: 미래 도시에서 시민의 삶을 위한 혁신

도시 혁신 패턴은 미래의 스마트 도시에서 살게 될 시민의 삶과 어떤 관련이 있을까? 돌이켜보면, 새로운 기술 혁신의 주체 또는 채택자로서 도시는 현실과 동떨어진 비밀 연구실이나 여론에서 벗어나서 혁신을 창출한 적이 없다. 도시는 항상 공공의 공간에서 기술 발전을 공동으로 창출했고 그 과정에서 대중과 많은 상호 작용을 했다. 도시 혁신의 성공적인 시범 사업과 확장에 있어서 사용자인 시민이 기술을 어떻게 받아들이느냐는 매우 중요한 문제다. 실제로 역사상 수많은 도시 혁신이 회의주의에 시달렸으며, 때로는 부정적인 언론이나 기득권에 의해 부당하게 취급되었다. 경험적 증거에 기반하여 패턴에 반대하는 STS(사회적 기술에 대한 의구심)가 기득권 세력 사이에 깊이 뿌리박혀 있기 때문이다.

또 다른 보편적인 혁신 패턴은 DAL(실험실로서의 도시)로, 이는 기본적으로 새로 생겨나거나 재개발되는 이웃 도시가 주변 도시 전체와 도시 사회를 위한 실험실 역할을 한다는 것을 의미한다. 이른바 파르스 프로 토토Pars pro toto(以偏例全, 부분을 통해 전체를 본다는 뜻의 라틴어-역주)에서 유래한 것이다. 이 원칙은 산업 시대부터 전 세계의 최신 스마트시티 개발에 이르기까지 도시 혁신과 개발의 역사를 통틀어 많은 도시에서 반복적으로 찾아볼 수 있다. 2022년부터 프라운호퍼 혁신 네트워크인 ‘모르겐슈타트: 미래 도시 동맹’ Morgenstadt: Future District Alliance은 응용 연구를 통해 독일 전역의 도시에서 수많은 혁신 지향적 도시 및 캠퍼스 개발을 지원했으며, 그중 일부는 10~20년에 걸쳐 개발되고 있다. 이 프로젝트들의 공통점은 미래 지향적인 이웃 도시 개발에 대한 새로운 접근 방식을 개발하고 테스트하기 위한 선구자이자 실험실이 되고자 하는 야망이다. 현재의 과제인 사회적·인구 통계적 변화와 기후 후 중립적이며 지속 가능한 이웃 도시 구조의 설계와 같은 문제에 대한 새롭

고 미래 지향적인 솔루션 개발에 초점을 맞추고 있다[Braun, 2024b].

이를 위해 패턴 ‘권력은 국민에게서 나온다’[Power Comes from the People; PTP](#)는 아주 초기 단계에서부터 시민을 참여시키거나 사회에서 직접 혁신이 이루어지게 하거나 촉진하는 전략을 추구한다. 이 접근 방식은 종종 특정 지구나 도시 지역에서 ‘적용’ 또는 실험 단계가 선행되는데, 이 단계에서 일정 기간 동안 사회적 또는 기술적 혁신을 허용하거나 테스트해 보는 것이다. 이 단계가 끝나면 긍정적인 경험을 분석하고 다음 단계로 장기적인 확장이 이루어지게 된다. 2013년 한국에서 열린 수원 생태교통 축제[Suwon Ecomobility Festival](#)는 이 패턴의 뛰어난 사례인데, 5,000명 이상의 사람들이 한 달 동안 무공해 여행을 경험했다[ICLEI, 2018].

요약하자면, 보편적인 도시 혁신 패턴 언어의 중요성은 밀레니엄 도시 정부에서 특별히 더 두드러진다. 최소한의 필수적인 공통 원칙을 촉진하는 것만으로도, 보편적 패턴이 더 빠른 혁신 주기를 갖도록 해줄 뿐만 아니라, 솔루션, 서비스 및 데이터 위주의 스마트하고 시민 중심적이며 탄소 중립적인 도시를 위한 전체 글로벌 시장 및 협력 개발을 위한 길을 열어줄 것이다.

| References |

1. Bauer, W.; Radecki, A.; Rothfuss, F. 2012: Morgenstadt: City Insights – Joint research project on today’s cities as future markets for systems innovations towards smart and sustainable cities, Fraunhofer IAO.
2. Braun, S. 2024b: www.futuredistricts.de/de/startseite.html
3. Braun, S. 2024: Urban Innovation Pattern Language – a model language for innovation diffusion in urban systems [uiPL]. Dissertation at University of Stuttgart, ISBN: 978-3-8396-1989-6
4. Buschmann, F.; LÖckenhoff, C. 2000: Pattern-orientierte Soft-

- warearchitektur, Ein Pattern-System, 1., korr.Nachdr. München: Addison-Wesley.
5. Gibson, D.V.; Kozmetsky, G.; Smilor, R.W. 1992: The Technopolis Phenomenon: Smart Cities, Fast Systems, Global Networks.
 6. ICLEI 2018: sustainablemobility.iclei.org/ecomobility-alliance/suwon-rep-of-korea/Mobility
 7. Leitner, H. 2015: Mit Mustern arbeiten – Eine Einföhrung. www.band2.dieweltdercommons.de/essays/mitmusternarbeiten.html
 8. O’Connell, P. 2005; Korea’s High-Tech Utopia, Where Everything Is Observed, in: New York Times, www.nytimes.com/2005/10/05/technology/techspecial/05oconnell.html
 9. Popescu, A. I. 2020: Long-Term City Innovation Trajectories and Quality of Urban Life Sustainability 12,no. 24: 10587. <https://doi.org/10.3390/su122410587>
 10. Pumain, D. 2004: Scaling laws and urban systems, Santa Fe Institute. Paris SFI Working Paper: 2004-02-002. p. 9-10
 11. Smith, D. 2013: Animating Global Innovation Diffusion – Public Transport, Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, zuletzt geprüft am 22.03.16.
 12. Thompson, M. 2018: Playing with the Rules of the Game: Social Innovation for Urban Transformation, International Journal of Urban and Regional Research. doi: 10.1111/1468-2427.12663
 13. Turner, F. 2008: From Counterculture to Cyberculture: Stewart Brand, the Whole Earth Network, and the Rise of Digital Utopianism Illustrated, University of Chicago Press.
 14. United Nations 1992: AGENDA 21 – United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, June 1992 – www.un.org/depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf

Barcelona Superblock, a new life in the city for the many, not the few

바르셀로나 슈퍼블록, 소수가 아닌 다수를 위한 도시의
새로운 삶을 제공하는 도시계획 프로젝트

자넷 산즈

Janet Sanz



바르셀로나 부시장을 역임한 자넷 산즈는 8년 동안(2015~2023) 저비용의 건강한 도시라는 야심 찬 의제를 주도하고 있다. 글로벌 자본의 이익에 맞서 사회적 권리를 강력하게 옹호해온 그녀는 슈퍼블록 프로젝트를 구축하고 대형 임대업자에게 저소득층을 위한 주택을 30% 짓도록 법적 의무를 부과했다. 또한 바르셀로나에 온라인 숙박공유업체 에어비앤비(Airbnb)와 같은 디지털 플랫폼을 승인하며, 단기 임대 주택이나 관광객용 아파트 건설을 제한하고 축소한 세계 최초의 인물로 인정받고 있다. 이 밖에도 대중교통을 대폭 개선하고, 자전거도로를 확장하고, 탄소 배출을 줄이기 위한 지속 가능한 이동 수단의 발전에 착수했다. 또한 지역사회 중심의 도시 재생 프로젝트를 시작해 도시 전역에 걸쳐 오래된 주택을 개선하고 녹지 공간을 확장하고 다양한 생태계를 조성하는 데 많은 노력을 기울였다. 시민이 참여하는 예산 편성 프로세스를 구축하기 위한 노력으로 주민들이 지역의 예산 지출에 직접 의견을 제시할 수 있게 되면서, 주민들의 공동체 참여와 도시 회복력이 크게 강화되었다.

E-mail: jsanz@bcn.cat

초록

바르셀로나는 코로나 팬데믹으로 인해 가구 간 상호 연결, 건강, 기후 위기가 악화됨으로써 도시가 변화의 중요한 순간에 처해 있음을 인식하게 되었다. 슈퍼블록 계획에 구현된 도시의 대응 목표는 보행자 이동성과 지속 가능성을 우선시하는 도시 공간의 급진적 재구성을 통해 이러한 과제를 해결하는 것이다. 슈퍼블록 모델은 특히 소외 계층을 위한 지역사회적 요구와 사회적 형평성을 강조하는 도시 공간을 회복하고자 한다. 이 모델은 역사적으로 남성이 주도하던 도시 계획 패러다임에 과감히 이의를 제기하며 모든 사람을 위한 도시 설계를 지향한다. 2016년에 시작된 슈퍼블록은 차량 통행량을 줄이고, 녹지 공간을 늘리며, 공중 보건을 강화하여 오염을 크게 줄이고 생활 조건을 개선하는 데 기여하도록 설계되었다. 이 계획이 전 세계 도시에 영감을 줌으로써 바르셀로나는 생태-사회적 도시 전략 *eco-social urban strategies*의 벤치마크 대상으로 자리매김하게 되었다. 이 계획은 기후 비상사태를 대비해 집단 회복력을 증진하고 구조적 불평등에 맞서는 등의 포괄적인 도시 의제를 장려하였다.

바르셀로나의 슈퍼블록은 단순히 도시를 아름답게 변화시키는 것 이상이다. 지속 가능한 도시 생활에 대한 약속이며, 지역사회의 유대감을 강화하면서 긴급한 사회-환경적 문제를 해결하고자 한다. 거리를 보행자 친화적인 공간으로 전환함으로써, 시민에게 권한을 부여하고 도시를 더 살기 좋고 공평하며 활기찬 곳으로 만들고자 한다. 슈퍼블록은 미래 지향적인 도시 비전을 보여주는 도시 계획 모델이자 현재에 대응하고 지속 가능한 미래를 위한 토대를 마련하기 위한 것이다. 이는 배려, 상호 의존, 사회 정의를 우선시하라는 요구이며, 더 나은 도시 생활로 가는 길은 집단적 행동과 혁신적인 정책을 통해 가능하다는 것을 보여준다. 본질적으로, 슈퍼블록 바르셀로나는 우리를 압박하는 세계적 도전에 맞서 생명과 희망을 구체적으로 드러내 보인다.

키워드

바르셀로나, 슈퍼블록, 코로나 팬데믹, 위기, 혁신, 도시주의, 거리, 이웃, 기후, 정의, 이동성, 주택, 오염, 커뮤니티, 젠트리피케이션, 건강, 전략, 페미니즘, 불평등, 참여, 미래

• ABSTRACT •

Barcelona is at a pivotal moment in urban transformation, driven by the recognition of interlinked housing, health, and climate crises exacerbated by the pandemic. The city's response—embodied in the Superblock initiative—aims to address these challenges through a radical reimagining of urban space, prioritizing pedestrian mobility and sustainability. The Superblock model seeks to reclaim public space, emphasizing community needs and social equity, especially for marginalized groups. It challenges the historically male-dominated urban planning paradigms, advocating for a city designed for all. Initiated in 2016, Superblocks are designed to reduce vehicular traffic, increase green spaces, and enhance public health, contributing to a significant reduction in pollution and improved living conditions. The initiative has inspired cities worldwide, establishing Barcelona as a benchmark for eco-social urban strategies. It promotes an inclusive urban agenda that confronts structural inequalities and fosters collective resilience against the climate emergency.

Barcelona's Superblock is more than an aesthetic change; it is a commitment to sustainable urban living, addressing urgent socio-environmental issues while enhancing community ties. By transforming streets into pedestrian-friendly spaces, the initiative empowers citizens, making the city a more livable, equitable, and vibrant place. The Superblock model exemplifies a forward-thinking urban vision, responding to present realities while laying the groundwork for a sustainable future. It is a call to prioritize care, interdependence, and social justice, illustrating that the path to a better urban life is possible through collective action and innovative policies. In essence, Superblock Barcelona serves as a tangible assertion of life and hope in the face of pressing global challenges.

KEYWORDS

Barcelona, Superblock, pandemic, crisis, innovation, urbanism, streets, neighborhoods, climate, justice, mobility, housing, pollution, community, gentrification, health, tactics, feminism, inequality, participation, future

바르셀로나가 겪은 선형적 경험은 전 세계 여러 도시들에 선구적인 길이 되고 있다. 최근의 코로나 팬데믹은 앞으로 도시가 거대한 커뮤니티를 이룰 수록 더 큰 위험에 처할 수 있다는 사실을 보여주었다. 코로나 위기는 모든 도시에서 만성화된 주택, 건강 및 기후 위기가 별개의 것이 아니라 서로 연결된 것이라는 사실을 드러냈다. 동시에 이 위기는 모두를 위한 번영의 미래를 향한 다양한 혁신에 큰 원동력을 제공했다. 이런 위기가 없었다면 이러한 혁신들이 간과되었을 것이다.

우리 시대의 어려움을 요약하자면, 직업 선택의 기회가 일반화된 불안정성에서 벗어날 수 없을 것이라는 점이다. 게다가 주택이나 양질의 공중 보건 같은 기본권에 접근하는 데에도 큰 어려움이 있다. 또한 도시에 거주하는 대다수 사람에게 심각한 피해를 초래할 명백한 기후 비상사태가 있다.

여러 국가에서 시행된 전국 단위의 설문조사나 토론을 보면, 이러한 위기에 대응할 수 있는 변화에 대해 여전히 부정적 기류가 큰 것으로 나타났다. 그러나 일반적으로 도시들, 특히 바르셀로나는 정치적 갈망을 가지고 이 세 가지 위기에 대처해야 한다는 데에 강력한 합의를 형성했다.

시민권에 대해 강한 신념을 가진 많은 도시와 마찬가지로 바르셀로나도 사람들의 협력과 목소리, 다양한 의견, 그리고 무엇보다 많은 투쟁의 결과로 그런 합의에 도달할 수 있었다. 또한 끊임없는 적응과 변화의 과정을 거치면서, 경계를 넘나드는 대도시를 향한 갈망의 결과이기도 하다. 바르셀로나는 갈망과 혁신의 도시이다.

바르셀로나에는 정체성과 집단적 기억을 간직하고 있는 유서 깊은 마을이 많다. 도시 건물 곳곳이 도시를 건설한 사람들의 흔적이다. 또한 도시 모든 곳에서 미래에 대한 시민의 믿음을 엿볼 수 있다. 이런 증거는 구시가지에서 성벽에 이르기까지, 산업 단지에서 노동자 마을에 이르기까지, 판자촌과 빈민가에서 세르다Cerdà(19세기에 이미 격자형 구조의 도시 계획을 추진했던 지역-역주)의 촘촘하고 역동적인 도시 확장 계획Expansion Plan에 이르기까지 가시적으로 존재한다. 우리는 건설 작업을 할 때마다 아스팔트 아래에서 포장용 돌

과 도로, 벽, 관개 시스템, 농기들이 드러나는 모습을 본다.

10년 전, 사람들은 도시 계획과 민주적 결정에 있어 일종의 자동조종 모드에 의존하는 통치 방식에 반대하고 일어섰다. 40년 동안 유권자들은 그런 일에 무감각해졌고, 시 정부 또한 고비용의 도시에서 직면할 수 있는 심각한 도시 오염과 같은 중대한 문제에 직면할 위험을 감수하지 않으려는 듯했다. 과감한 조치를 하면 자신의 권력이 위협해질 수도 있었기 때문이다. 시위는 민주주의를 거울 앞에 세워 그 왜곡된 모습을 드러냈고, 우리가 직면한 도전 과제들에 대한 응답을 만들어내지 못하는 무능함을 보여주었다. 이는 기존의 정치적, 제도적 구조에 대한 강력한 거부였고, 미래에 대한 계획으로 가득한 야심 찬 운동이 새 정치 주체로 탄생하게 해주었다. 이러한 운동은 시민 자치 단체 플랫폼 '바르셀로나 엔 코무'[Barcelona en Comú](#)의 승리와 더불어 2015년 5월 아다 콜라우 [Ada Colau](#)가 바르셀로나의 첫 여성 시장으로 선출되는 중요한 성과를 거두면서 큰 도약을 이룰 수 있었다.

우리는 우리 경제의 미래가 도시의 자원을 찾아내고 지역의 가치를 바꾸는 활동, 즉 관광 산업의 발전에 달려 있음을 발견했다. 시민 투쟁은 공공 공간에서 주택에 이르기까지 도시를 회복하려고 노력했고, 사회 운동은 커뮤니티, 네트워크, 저항 공간을 끊임없이 연결하며 엮어왔다. 그러나 2015년 바르셀로나의 주류 경제 모델은 실업률이 15%라는 큰 결함을 보였으며, 이는 시민들이 가장 우려하는 문제였다. 관광 산업을 제한하지 않자 단기 임대 건물과 호텔이 도시를 잠식했다. 자동차 통행량이 공공 토지의 60%를 차지했으며, 유럽연합은 '대기질 지침'[Air Quality Directive](#)을 준수하지 않았다는 이유로 바르셀로나에 제재를 가하고 있었다. 교통 혼잡으로 인한 오염 수준은 특히 어린이, 임산부, 노인과 같은 가장 취약한 계층의 공중 보건에 위협이 될 수 있다.

기후 변화로 초래되는 결과가 처음으로 공공 의제에서 우선순위를 차지했고, 시민들 사이에 급진적인 변화를 요구하는 새로운 공동 인식이 등장하기 시작했다. 기온 상승이나 온실가스 배출에 대한 우려는 더 이상 인간의 관점

에서 이해할 수 없는 현실이라거나, 소수 환경 단체나 반체제 단체가 주장하는 과장된 생각으로 인식되지 않게 되었다. 반대로, 기후 비상사태가 일상적인 문제로 느껴지기 시작했다. 이는 아이들이 학교 창문을 열 수 있는지, 노인들의 조기 사망률이 높아지는지, 열대야가 불균형적으로 늘어날 가능성이 있는지와 관련되어 있다. 2019년 1월 바르셀로나는 자본주의가 주도하는 심각한 지구 위기 상황에 대한 종합적인 대응책으로 기후 비상사태를 선포했다. 단지 자동차 연료의 탄소 배출을 줄이거나, 지속 불가능한 도시 성장 모델에 ‘친환경eco’ 라벨을 붙이자는 제안이 아니었다.

우리 스스로 정한 목표는 매우 도전적이었다. 바르셀로나는 2030년 이전까지 ‘1인당 1제곱미터의 녹지 공간을 늘린다, 개인 자동차 사용을 20% 줄인다, 건물의 20%를 에너지 효율이 높은 구조로 개조한다, 빈곤으로 인해 전기 공급을 받지 못하는 시민이 없도록 한다, 식수 소비를 줄인다’ 등의 목표를 세웠다. 물론 2050년까지 탄소 중립을 달성한다는 목표들도 수립되었다. 목표 목록은 이보다 훨씬 더 길고 구체적이지만, 이 예시들은 기후 비상사태 선언이 단지 과학적 합의를 기관에 전달하기 위한 목적만은 아니라는 점을 강조하고 있다. 무엇보다도 이 프로젝트의 목표는 사회적 불평등이 회복될 수 없다는 사실을 보여주는 도시 모델의 생태-사회적 변혁을 위한 토대를 마련하기 위한 것이었다.

도시 모델의 변화를 달성하기 위해 우리가 사용한 기본적인 도구가 현재 로스앤젤레스, 보고타, 비엔나 등에서 벤치마킹하고 있는 슈퍼블록 바르셀로나SuperBlock Barcelona이다. 슈퍼블록 바르셀로나는 100만 제곱미터의 공공 공간을 회복하고, 보행자와 지속 가능한 이동성을 도시 디자인의 중심에 두며, 거리 3개 중 1개는 녹색 거리인 도시 구조를 만드는 것을 목표로 하는 친환경 페미니스트 도시 계획 전략eco-feminist urban planning strategy이다. 단순히 가솔린 자동차를 전기 자동차로 대체하는 것이 아니라, 모든 사람이 도시에 대한 권리를 주장함으로써 역사적으로 거리의 구성을 결정해 온 성별, 계급, 출신의 위계질서를 바꾸는 것이다. 사실 과거의 도시 모델은 자본과 가부장

제의 동맹에서 비롯된 것으로 남성, 백인, 기능적인 상류층을 위해 맞춤화되었다. 도심에서 일하고 자동차로 출퇴근하는 남성, 즉 '회색 남성'을 위한 회색 도시였다. 슈퍼블록 바르셀로나는 도시 환경의 사회적, 환경적 악화를 초래한 구조적 불평등을 개선하는 프로젝트이다.

그렇다면 슈퍼블록은 어떻게 실행될까?

첫째, 여성, 어린이, 노인을 거리와 광장의 새로운 주인공으로 만드는 것, 즉, 상호 의존성을 도시 디자인의 기본 가치로 진지하게 고려하는 것이다. 거리의 주인공은 보행자이며 자동차는 단지 손님에 불과한, 더 접근하기 쉬운 단일 플랫폼의 거리를 만드는 것이다. 차량 통행의 용이성을 위해 설계된 것이 아니라, 사람들의 이동에 맞춰 조명을 조정하는 방식으로 변경된다. 아스팔트를 없애으로써 도시의 경관 자체가 지속 가능한 배수 시스템을 갖춘 스펀지처럼 작동하게 하고, 아스팔트와 시멘트를 탄소 발자국이 적은 자연석과 같은 더 흡수성 있는 재료로 바꾼다. 식물의 뿌리가 더 잘 자라고 더 많은 수풀, 꽃과 나무를 심을 수 있는 하층토로 거리의 녹색 표면을 늘리고, 그들 공간을 늘려 도시의 열섬 효과를 줄인다. 벤치, 의자, 테이블, 어린이 놀이 공간, 탁구대, 체스판 등 시민을 위한 양질의 도시 시설들을 곳곳에 배치한다.

도시화 측면에서 슈퍼블록은 모든 지역을 아우르는 전략으로 도시 규모의 도약을 가져왔다. '슈퍼블록'이라는 아이디어는 새로운 것이 아니다. 원래 개념은 1930년대로 거슬러 올라가는데, 당시 GATPAC([Group of Catalan Architects and Technicians for the Progress of Contemporary Architecture](#)) (현대 건축 구조의 발전을 위한 카탈로니아 건축가 및 기술자 그룹)는 르 코르뷔지에([Le Corbusier](#)) (인간을 위한 건축'으로 유명한 프랑스의 건축가-역주)의 정원 도시 이상을 바르셀로나의 도시 구조에 적용하고자 했다. 이들은 세르다 확장 계획([Cerdà Expansion Plan](#))의 유토피아적 정신을 되살리고자 했으며, 그 기본 아이디어는 교통을 블록 주변으로 우회시켜 차량의 통행을 차단하고, 그 공간을 보행자들을 위해 되돌려주는 것이다. 그들의 초기 아이디어는 실행되지 못했지만,

시간이 한참 흐른 1990년대에 도시 생태 기관Urban Ecology Agency이라는 단체가 다시 그들의 생각을 채택했고, 마침내 2016년에 전술적 도시 계획의 일환으로 실행되었다.

이 계획은 바다호스Badajoz, 팔라르스Pallars, 라쿠나Llacuna, 탕헤르Tánger 거리로 이루어진 지역 주변에 있는 포블레노우Poblenou 지구를 시작으로 산 안토니Sant Antoni, 호르타Horta, 호스타프랑크스Hostafrancs 등 다른 지구로 확장되는 성공을 거두었다. 특히 산 안토니는 가장 훌륭한 성공 사례로 기록되었다.

새 광장은 전술적 도시주의로 개발되기 시작했는데, 적은 비용으로 도시 모델을 급격히 바꿀 수 있음을 보여주었다. 우리는 지면을 노란색, 주황색, 파란색으로 칠하고, 큰 화분과 나무 벤치를 설치해 회복된 공공 공간의 상징으로 삼았다. 예전에는 자동차들이 지나다니거나 주차되어 있던 곳이었지만, 지금은 길 한가운데에서 아이들이 놀고, 가족들이 산책하고, 노인들이 장기를 두고, 사람들이 생일 축하 파티를 열고, 책을 읽거나 일광욕을 즐기는 장소가 되었다.

슈퍼블록은 단순히 미적 변화가 아니고, 도시에서의 여가 생활과 일상적인 활동만을 바꾼 것도 아니다. 슈퍼블록은 환경과 생활 조건에 매우 실질적인 영향을 미쳤다. 데이터에 따르면 공기 오염이 40% 감소했고, 주변 지역 전체의 교통량이 17% 감소했으며, 이에 따라 소음도 4데시벨 감소했고, 지난 5년 동안 200개 지역 상점이 문을 열었다.

이 모든 이유로 우리는 2019년에 이 모델을 도시 전체에 적용하기로 결정했다. 19세기 일테폰스 세르다 확장 계획의 중심지인 에이삼플레Eixample 지구에 21개의 녹색 축과 21개의 새 광장을 만들기로 한 것이다. 또 메리디아나 에비뉴Meridiana Avenue, 디아고날 에비뉴Diagonal Avenue, 비아 라이에타나 거리Via Laietana Street와 같은 도시 고속도로를 정비하고 마리나Marina, 몬주익산Montjuïc Mountain, 베소스강Besòs River 지역 등 오래된 산업 지역을 녹지로 둘러싸인 지역으로 바꾸기 위해 노력했다. 단기간에 이들 지역에 글로리

에스 공원Glòries Park, 칸 바트요 공원Can Batlló Park, 콜로니아 카스텔스 공원 Colònia Castells Park 등 대규모 공원들이 조성되었다.

과거에는 바르셀로나와 주변 대도시 지역 간의 대중교통에 대한 투자가 부족했다. 우리는 개인 차량의 통행 제한과 함께 오염이 가장 심한 차량의 진입을 제한했으며, 지속 가능한 대중교통을 장려하기 위한 중요한 조치들을 단행했다. 자전거 도로망을 두 배로 늘렸고 60km가 넘는 버스 전용 차선을 만들었다. 또 교통 요금을 동결하는 동시에 요금의 50%를 보조했다. 무엇보다도 바르셀로나 중심부까지 선로를 연결하여 9개 대도시가 4개 지하철 노선과 13개 버스 노선으로 연결된 광역 교통망을 구축할 수 있었다.

변화가 일어나기 시작하면서 바르셀로나는 이제 주에서 가장 큰 도시가 되었으며, 자가용을 이용해 출근하거나 등교하는 사람이 크게 줄었다. 그러나 변화의 여지는 아직도 많다. 자가용 이동의 70%가 지하철과 전차의 서비스 지역 내에서 이루어지고 있기 때문이다. 잠재력을 최대한 활용하려면 지하철, 철도, 화물 운송 네트워크를 개선하기 위한 투자를 확대하고 노력을 지속해야 한다. 좋은 소식은 최근 몇 년 동안 바르셀로나의 혁신으로 다른 공공 행정기관도 혁신 속도를 높였다는 것이다. 정기 노선과 고속열차 역을 확장하기 위한 작업을 착수하기 시작한 것이다.

그러나 거리가 평화로워지고, 차로가 줄어들고, 새로운 자전거도로가 생기는 것을 보면서, 대중교통 중심의 보다 다양하고 지속 가능한 이동성에 대한 기대감을 갖기보다는 오히려 도시가 붕괴되는 것이 아닌가 하는 두려움을 갖는 사람들도 있었다. 도시 계획가 자넷 사딕-칸Janette Sadik-Khan은 하늘을 나는 자동차에 대한 오래된 미래적 표현을 사용하여 새로운 기술적 이미지가 얼마나 개인주의적이고 비효율적인 이동 모델에 고착화되어 있으며, 이것이 현대 도시의 공간적 불평등을 지속시키는지 잘 보여주고 있다.

앞으로 슈퍼블록 모델은 새로운 도시 상식을 위한 전투를 피할 수 없을 것이다. 슈퍼블록은 긍정적 혁신의 모델로서, 변화에 대한 저항을 불러오는 동시에 도시에 대한 자부심을 불러일으키는 선구적 정책이라 할 수 있다. ‘아무

것도 가능하지 않다'거나 '모든 것이 사라졌다'라는 비관주의와는 달리, 슈퍼블록은 우리가 이미 소유하고 있는 공동의 것을 재소유하는 생태 사회주의적 정책 *eco-socialist policy of repossession*을 제안한다. 이는 행동을 촉구하는 외침이자, 동참을 위한 외침이다. 아스팔트에 생긴 틈을 뚫고 나오는 녹색 식물, 나무를 심기 위해 파 놓은 구덩이들, 도시로 돌아오는 새로운 생명체, 줄어든 도시 소음 데시벨, 더 이상 도시로 들어오지 않는 공해 발생 차량, 모든 자전거도로와 대중교통 차량이 그것이다.

슈퍼블록 바르셀로나는 미래를 지향하면서도 우리에게 더 나은 현재에 대해 말해준다. 그것은 일상의 유토피아인 동시에 붕괴와 허무주의에 대한 저항이기도 하다. 그것은 물질적 및 상징적 차원 모두에서 효과적인 전략이다. 또한 기후 비상사태에 대한 계량적 대응(배출량 감소, 소비량 감소, 에너지 효율성 개선, 도시 녹지 증가 등)을 제공한다. 이는 공공장소, 건강, 서민 주택에 대한 역사적 불평등을 바로잡고, 동시에 주민들의 삶을 더 편리하게 만들어주는 도시를 구축하고, 오늘날의 삶과 양립할 수 없는 도시 토지에 대한 신자유주의적이고 탐욕적인 약탈 시스템에 대한 대안을 제시하는 희망의 외침이다. 슈퍼블록 바르셀로나는 기후 및 사회적 비상사태에 직면하여 앞으로 가능한 대안적 미래뿐만 아니라 더 나은 현재가 있다는 사실을 보여준다.

미국의 철학자 주디스 버틀러 *Judith Butler*는 “우리 모두는 근본적으로 의존적인 상태로 태어났으며, 그것이 우리를 평등하게 만든다”라고 말했다. 슈퍼블록 바르셀로나는 모든 사람이 도시에 대한 권리를 가져야 한다고 주장하며 이에 따라 상호 의존적 연결의 질을 개선하려고 노력한다. 지금 우리에게 필요한 것은 삶과 배려를 도시 계획의 중심에 두는 한편, 이러한 의존 관계를 살기 좋은 미래를 구축하는 데 반드시 필요한 기반으로 인식하는 것이다. 성장을 위한 성장이라는 환상을 버리고, 배려가 사치스러운 정책이 아님을 이해하는 도시 계획이 필요하다.

지속 가능한 삶은 기업 책임의 한 형태가 아니라 도시 계획 설계의 원칙으

로서 공공의 조치에도 담겨 있어야 한다. 사람들의 요구에 도시 공간을 맞추어야 하는 것이지, 사람들이 공간의 조건에 맞춰져서는 안 된다. 배려를 도시 계획의 중심에 둔다는 것은 도보, 대중교통, 자전거 등의 다양한 이동 수단 이용을 활성화하거나 도시의 특정 공간을 변화시켜 더 안전하고 건강하게 만드는 것을 의미한다. 동시에 도시가 어떤 종류의 용도와 자원을 소비할지 결정하는 구조적 정책을 만드는 것을 말한다. 기후 비상사태 속에서 인류의 멸종을 피하고 싶다면 세상사를 단지 인간의 관점에서만 생각해서는 안 될 것이다.

앞서도 말했듯이 슈퍼블록 바르셀로나는 미래를 지향하면서도 우리에게 더 나은 현재에 대해 말해준다. 그것은 일상의 유토피아인 동시에 붕괴와 허무주의에 대한 저항이기도 하다. 스페인의 인류학자이자 사회주의 활동가인 야요 헤레로 Yayo Herrero가 상기시킨 것처럼, 우리가 대붕괴나 대격변을 먼 미래에 다가올 일로 생각하는 것은 기후 비상사태에 대한 매우 가부장적이고 인간 중심적인 사고방식이다. 오늘날 많은 부분에서 삶이 이미 붕괴되었기 때문이다.

많은 사람이 자연재해, 멸종, 폭염, 오염, 질병 등으로 고통받고 있다. 슈퍼블록은 이미 그러한 상황에 직면한 도시의 물리적 현실에 변화를 시도함으로써 도시를 복원하고 재생시키는 정책이다. 불확실성에 직면한 우리의 삶을 보호하기 위한 충격적인 전략이며, 우리 사회에 필요한 근본적인 변화이다.

슈퍼블록 바르셀로나는 우리 삶에 대한 권리이자, 상호 의존성을 중심에 두고 배려의 가치를 실현하는 친환경 여성주의적 eco-feminist 도시를 건설해야 한다는 주장이다. 그러나 그보다 더 중요한 것은 가능한 대안적 미래뿐만 아니라 더 나은 현재가 있다는 사실을 증명하는 것이다.

Beyond the Rationalist City of Reason, to a Smart City of Monism

이성의 합리주의 도시를 넘어, 기일원론의 스마트시티로

임기택

Lim, Kitaek



국립 부경대학교 건축학과 교수. 홍익대학교 건축공학 박사, Delft University of Technology 도시계획 석사, Het Architecten Consort Senior Architect, LH 도시재생사업단 선임연구원 역임. 현대철학과 건축이론 시리즈, 동북아 철학과 건축이론 시리즈 및 몇 편의 저서와 역서가 있다. 철학과 건축이론 및 도시이론을 연결하여 사유하는 작업을 꾸준히 지속해왔다. 쇠퇴도시 및 도시재생과 관련하여 지역 마스터 플래너로서 사회참여 및 연구를 지속하고 있다. 한편, 통제담론의 연구와 함께 교정시설에 대한 연구도 함께 진행하고 있다. 2022년 대한건축학회 소우(윤장섭) 저작상을 수상한 바 있다.

초록

스마트시티의 근본적인 목표와 중심은 기술에 있지 않고, 사람의 삶과 자연의 운행과 함께하는 삶에 있다. 스마트시티는 그러한 실행과 관련하여 자연스럽게 따라오는 개념일 뿐이다. 모든 기술은 결국 인간의 인간다운 삶과 엄정하게 운행하는 자연을 민감하게 느끼며 자연의 변화와 흐름에 맞추어 함께 살아가는 것에 초점이 맞추어지는 것이 바람직하다. 스마트시티의 기술적인 해결 방법들은 이러한 기본 목표가 설정되고 부차적으로 따라오게 만들어야 한다. 기술 그 자체의 발전과 돈벌이에 집중하기보다는 '그것을 통해 내가 인간 공동체의 삶과 행복에 어떠한 유익을 줄 수 있을 것인가?'의 근본적인 목적에 충실해야 한다. 그렇게 될 때 스마트시티는 동시대적인 가치의 기술과 접목되어 자연스럽게 드러나게 될 것이다. 스마트시티가 목적이 되어서는 안 된다는 의미이다. 스마트시티는 그러한 측면에서 단순히 대상화된 기술이 아니라 기(물질, 무의식)의 변화에 따라 유연하게 그 니즈를 만족시키고 변화할 수 있는 도시, 그것이 공동체와 기의 흐름, 그리고 근본적인 삶의 만족을 향상시킬 수 있는 구조가 되어야 할 것이다.

키워드

스마트시티, 기일원론, 공동체, 기, 기의 흐름

• ABSTRACT •

The fundamental goal and center of a smart city is not technology, but life together with people's lives and the operation (dynamics) of nature. Smart cities are just a concept that follows naturally in relation to such movements (practices). Ultimately, it is desirable for all technology to focus on human life and being sensitive to the strictly operating characteristics of nature and living together in accordance with the changes and flows of nature. Smart city technical solutions should set these basic goals and should make them follow secondary goals. Technology is bound to quickly become helpless and be eliminated in the face of advanced technology. Rather than focusing on the development of technology itself and making money, we should stick to the fundamental goal of how it can benefit the life and happiness of the human community. When that happens, smart cities should be revealed naturally by combining technologies of contemporary value. This means that smart cities should not be the goal. In that respect, a smart city is not simply an objectified technology, but a city that flexibly satisfies needs and can change according to changes in energy (material, unconscious). It is a city that is fundamental to the community, the flow of energy, and human life. It should be a structure that can improve satisfaction.

KEYWORDS

Smart City, Monism, Community, Qi, Movement of Climate

들어가며

스마트시티의 근본적인 목표와 중심은 기술에 있지 않고, 사람의 삶과 자연의 운행과 함께하는 삶에 있다. 스마트시티는 그러한 실행과 관련하여 자연스럽게 따라오는 개념일 뿐이다. 모든 기술은 결국 인간의 인간다운 삶과 엄정하게 운행하는 자연을 민감하게 느끼며 자연의 변화와 흐름에 맞추어 함께 살아가는 것에 초점이 맞추어지는 것이 바람직하다. 스마트시티의 기술적인 해결 방법들은 이러한 기본 목표가 설정되고 부차적으로 따라오게 만들어야 한다. 한때 국토부 R&D의 상당 부분을 차지했던 주제인 유비쿼터스 도시의 다양한 기술들이 스티브 잡스의 스마트폰이 나오자 일순간에 소멸하고 말았다. 기술은 앞선 기술 앞에 순식간에 무기력해지고 도태될 수밖에 없다. 기술 그 자체의 발전과 돈벌이에 집중하기보다는 ‘그것을 통해 내가 인간 공동체의 삶과 행복에 어떠한 유익을 줄 수 있을 것인가?’라는 근본적인 목적에 충실해야 한다. 그렇게 될 때 스마트시티는 동시대적인 가치의 기술과 접목되어 자연스럽게 드러나게 될 것이다. 스마트시티가 목적이 되어서는 안 된다는 의미이다. 편리한 기술이 삶을 윤택하고 행복하게 만드는 것이 아니라 오히려 억압하고 통제하는 부분에 집중된다면 기술의 발전이 인간의 행복한 삶의 실현이라는 목적과 정반대로 흘러가는 결과를 가져올 수 있다.

인공지능AI의 특성은 노자의 도道를 떠올리게 한다. 예를 들어 내비게이션으로 출퇴근 시간의 혼잡한 지역을 지나간다고 가정해보자. 실시간 도로의 상황에 맞추어 인공지능이 경로를 설정하여 배분함으로써 교통의 흐름에 있어서 전체적인 평형과 조화를 이루게 된다. ‘상선약수 上善若水’의 개념과 같이, 물이 위쪽에서 아래쪽으로 흐르는 것이 순리이자 자연법칙이므로 따르는 것이 바람직한 결과를 가져온다. 마찬가지로, 오늘날 AI는 막힌 곳을 뚫어주고 순환하게 만들며, 지나친 것은 적절하게 조절하여 전체적인 관점에서 원활하게 평형의 상태로 운행을 이루는 데 도움을 준다. 실시간 내비게이션 시

스텝을 따르면 그 교통량의 조건에서 최선의 결과를 도출할 수 있게 된다. 이것이 바로 세계 운행의 원리道가 실행되는 것이라고 할 수 있다. ‘스마트시티’의 개념 역시 이러한 특성과 유사한 면모를 보인다.

이렇게 외적 변수에 능동적으로 대응하고 회복력을 가질 수 있는 ‘조절’ 능력은 이데아적인 가치를 설정하고 추진하는 관념적 방식이라기보다는 상황에 적절하게 대응하며 최선의 평형상태의 결과를 만들어 나가는 데 중심이 되는 경험론적 관점의 철학과 연계되는 경향이 강하다. 외적 변수와 요소들의 다양한 변화와 이합집산을 상징한다. 우리는 근대적, 서구적 시각에 길들었던 방식에서 근본적으로 다른 접근방식을 생각해 보아야 한다. 이데아적인 가치와 합리적 이성의 도시에서 무의식이 자유롭게 표출되고 허용되고 화해할 수 있는 도시의 가치를 존중해야 한다. 그것은 들뢰즈적인 시각과 동북아의 기일원론氣一元論의 가치, 한국적으로는 최한기崔漢綺의 시각을 중심으로 생각해볼 필요가 있다.

들뢰즈 담론과 기일원론 가치의 접목 가능성

21세기에 들어서면서 사회적으로 가장 큰 변화 중 하나로 본격적인 디지털 시대로의 전환을 들 수 있다. 90년대 각 가정에 PC가 보급될 수 있을 정도로 성능과 가격 면에서 괄목할 만한 발전과 성장이 있었고, 광속 통신망의 설치가 일반화되어 실시간으로 전 세계가 연결되면서 소통할 수 있는 환경이 조성되었다. 사업의 주체들은 더 나은 조건에서 비교우위의 생산력을 획득하기 위해 세계의 공장을 자처하는 중국을 시작으로 제3세계로 자국의 공장들을 이전했고, 각종 통신과 운송 수단의 발전으로 인해 무역량은 비약적으로 증가했다. 세계의 자본은 통신망의 발전과 증시의 세계화와 맞물려 급속하게

확장되고 발전되었다. 이익이 될 만한 지역에 대규모 자본이 순식간에 응집했다가 이익이 실현되면 빠르게 빠져나가는 것이 자유로워졌다. 이른바 ‘글로벌 신자본주의 세계’가 출현한 것이다. 이익을 위한 이합집산의 규모와 속도가 이전 시대와는 비교할 수 없이 빠르게 재편되고 해체되는 상황이 등장했다. 이를 통해 인류는 빠르게 생멸하는 자본의 발전으로 생성되는 달콤한 열매들을 다양하게 누릴 수 있게 되었다. 이와 비례하여 자본의 급속한 집중과 개발, 과도한 소비, 환경의 파괴에 대한 폐해도 동시에 경험하게 되었다. 이른바 글로벌 신자본주의 세계의 출현과 그 특성과 폐해다.

후기 자본사회의 메커니즘, 특히 신자본주의 시대와 디지털 시대의 메커니즘을 가장 잘 설명해주는 철학사상이 바로 들뢰즈 Gilles Deleuze의 사유였다. 그의 사상은 각 요소들의 끊임없는 이합집산과 복합체의 개념을 통해 새로운 방식으로 자본의 순환 관계와 변화를 설명할 수 있게 해준다. 동시에 그것이 무의식에 의해 추동되는 부분을 잘 설명한다. 들뢰즈에게 영향을 준 대표적인 철학자는 스피노자, 니체, 베르그송이라고 할 수 있다. 들뢰즈는 하나의 사유하는 주체와 판단의 대상인 객체라는 이분법적인 구도를 벗어나는 시각을 보여준다. 그에게 ‘존재’라는 것의 주체는 ‘사건’, ‘운동’, ‘효과’ 등이다. 그는 세계를 구성하는 요소들 간의 관계가 만들어내는 사건과 효과 등의 움직임이 각 상황에서 주체를 만들어낼 뿐이라고 생각한다. 끊임없이 변화하는 세계를 사유할 때 눈에 드러나는 현상 이면의 다양한 심리적인 요소들이 서로의 관계와 욕동 慾動의 추동에 의해 화학적 반응을 일으키면서 새롭게 무언가를 생성해나간다는 것이다. 그때, 각 요소가 만나고 반응하면서 만들어지는 것은 관계의 만남이라는 ‘사건’을 통해 발생하게 되고 그것은 하나의 ‘효과’를 만들어내게 된다. 그 순간의 주체는 새롭게 생성된 주체이며 그 주체는 또 다시 다른 요소, 사건의 관계와 만남에 의해서 새로운 주체로 계속해서 리뉴얼되며 새롭게 ‘생성’된다. 다른 요소와 만나게 되면 또 다른 주체가 생성되는 식이다. 이를 통해 들뢰즈는 각 요소들의 관계에 의해서 네트워크화되는 고

구마 뿌리줄기와 같은 ‘리좀(Rhizome)’의 개념을 설파한다.

새로운 요소들의 관계와 만남을 통해 생성되는 사건과 효과는 새로운 의미를 만들어 낸다. 그 의미는 하나의 힘의 방향성을 가지게 되는데, 그 힘의 방향성은 각 요소들의 욕망의 힘의 추동력에 의해 결정된다. 그것은 겉으로 드러나지 않는 잠재성의 세계이자 무의식의 세계이다. 드러나며 현실화된다는 것은 이미 잠재성이 수면 아래에서 드러나기 위한 운동을 진행하고 있었음을 의미한다. 어떠한 특이지점에서 현실화되는 것이다.

각 요소들이 만나고 섞여 들어가면서 복합화되는 가운데 생성되는 일시적인 결과물은 그 요소들이 욕망하는 무의식의 추동력에 의해 욕망이 투사된, 혹은 욕망을 투사시키는 ‘기계’가 된다. 또 다른 요소가 접목되면 그 기계는 또 다른 욕망의 추동력에 의해 다른 기계가 된다. 욕망의 목적에 따라 차이가 만들어지고 다른 양태, 다른 모습으로 나타나게 된다. 전쟁을 수행하기 위한 ‘전쟁 기계’, ‘추상 기계’ 등의 개념은 신자유주의 세계에서 순식간에 자본이 집적되고 투자와 개발이 일어나며 이내 그 목적(자본의 집적)이 이루어지게 되면 순식간에 자본이 회수되고 빠지면서 빈껍데기만 남게 되는 특성을 설명하는 데 적합한 개념이 되고 있다.

도시 건축은 들뢰즈의 사유를 즉물적으로 설명하기에 용이한 분야이다. 쇠퇴한 지역의 재개발 과정을 생각해보자. 건축에 있어서 잠재성은 변화의 시점이 무르익을 때, 자본의 흐름에 따라 개발이 용이할 때까지 기다리고 있다가 본격적으로 잠재성이 현실화되어 눈에 드러나게 되면서 건축물로서 짧은 시간에 굳건하게 현실화된다. 그 건물을 현실화시키기 위해서 그 전에 물 밑에서는 개발의 이익을 기획하고 관계자가 움직이고 적절하게 상호 내용의 보안을 통해 작업이 진행되고, 이후 작업이 더 진행되면 상대적으로 짧은 시간 동안에 활발한 구축 활동이 눈앞에 발생하면서 현실화되는 것이다.

들뢰즈 이후 지젝Slavoj Žizek의 사유는 헤겔의 변증법과 정신현상학적 측면, 그리고 발전의 시간적 진보와 함께 라캉Jacques Lacan의 무의식이, 분석요소들이 잠재적으로 반응하여 정치적 현실로 드러나는 부분을 동시에 사유하고 있다. 그는 무의식이 작동하는 사이의 간극 부분에 집중하고 있다. 들뢰즈의 사유는 무의식의 욕망의 추동력에 의해 끊임없이 변화해나가는 측면에 집중하는 사유이며, 다소 무자비하게 나타나는 신자유주의적 특성을 설명하기에 적합한 철학 담론이다. 반면 지젝의 사유는 드러나는 것과 드러나지 않는 것, 드러나게 하는 무의식의 요소들이 정치, 사회적인 측면에서 어떤 방식으로 사회적 ‘주체화’를 이루게 되는지 그 ‘구조화’의 메커니즘에 집중한다. 바디우Alain Badiou의 사유 역시 후기구조주의 사유의 흐름의 연장선상에 있지만, 수학의 집합론과 같은 엄밀함을 기본으로 하여 사건 이후 그 사건이 만들어내는 사회적 반향과 그 남겨진 영향이 어떻게 지속되는지에 대한 ‘충실성’ 개념에 집중한다. 그는 세상에 큰 영향을 끼쳐 그 영향이 후세에 지속되며 변화를 일으키는 것을 ‘드문 주체’라 생각한다. ‘생성의 철학’, ‘사건의 철학’, ‘노마디즘’이라고 불리는 사유들은 모두가 프랑스 진보 계열 철학들을 칭하는 이름들이다.

동북아 기일원론의 가치와 후기구조주의의 접목 가능성

동북아 도교의 사상에서 노자의 ‘도道’ 개념은 양과 음이 조화를 이루며 순환하면서 평형(중용)을 이루어 나가며 운행하는 세계의 법칙을 의미한다. 동북아 사유의 관점에서 본다면, 절대정신으로의 여정은 도의 운행과 유사한 측면이 있다. 차이점이 있다면, 도의 운행은 자연自然이 스스로 그러한 것처럼 어떤 이유나 목적이 존재하지 않는다. 자연의 운행이 그러하고 자체의 법칙에 의해 순환할 뿐이다. 기일원론氣一元論은 리理와 기氣의 작용에 의해 세상

이 운행되는 가운데, ‘기’의 움직임으로부터 모든 세계 만물의 사물 현상이 발생하고 발전한다고 설명한다. 기일원론은 리일원론理一元論과 대립하면서 물질적인 ‘기’가 세계의 기초를 이룬다고 보았다. ‘리’는 기가 생기고 운행하면서 나타나는 것으로, ‘기’가 운행할 때 내재하는 2차적인 법칙에 지나지 않는다고 보는 것이다. 기일원론자들은 모든 것을 물질적인 ‘기’의 자기 운동으로 설명한다. 양과 음의 상호작용으로 모든 사물이 생성되고 운행되고 발전하게 된다고 본다. 그들은 우리의 지각 역시 기가 모여 인식하게 되는 것으로 보았고 영국의 경험주의와 유사하게 경험과 관찰을 중시한다. 조선시대 사단칠정 논쟁 역시 이러한 관점에서부터 시작되었다. 기의 운행과 물질이 중시되는 주기론主氣論은 기를 중심으로 세상을 바라보지만, 기 하나만으로는 운행을 설명할 수 없고 기가 운행하면서 리가 따라오는 것이므로 어떻게 보면 상호의존적이라고 할 수 있다. 이것은 어느 부분에 중점을 두고 세계의 운행을 바라보는가의 차이인데, 당파적인 관점으로 이용되기도 한다.

기일원론은 막힌 혈을 뚫듯 기의 흐름이 원활하게 흐르고 생성하는 부분을 사유한다. 그것은 요소들의 관계에 의해 생성되는 것이며, 다이어그램과 같이 다양한 힘(계열)의 연결을 통해 생성되는 양상을 사유하는 것이다. 기일원론자들은 기의 운행을 통해 리가 드러나는 것이 일종의 윤리라고 생각한다. 계열들이 사건들에 의해 관계를 생성하는 ‘구조’는 다른 힘에 의해 또다시 새롭게 생성되며 부가되고 변화되므로 생성을 사유한다는 점에서, 그리고 그것이 인간의 마음(무의식)에 의해 작동한다는 점에서 일정 부분 기일원론과 유사하다. 들뢰즈에게 잠재성은 무수하게 접혀 있는 주름이며 그것이 펼쳐지며 운동해나가며 창조되는 것이다. 들뢰즈식으로 생각하면 사건-의미의 크고 작은 특이성들의 운동이 펼쳐지는 것이다. 동북아의 ‘주역’에서 사건, 의미, 행위, 개념은 이러한 주름이 펼쳐지는 변화의 양상을 사유하는 것과 유사하며, 끊임없이 변화 생동하는 부분의 무상함을 사유하는 불교의 연기론과도 연계된다. 그것은 결국 기일원론의 계보로서 변화와 생성을 사유하는 현대적

사유와 연계될 수 있다. 근대 이후 서구의 학문이 대체적으로 분화되었지만, 후기구조주의의 사유와 동북아의 사유는 전체를 종합한다는 측면에서 중요하다.

구조 이면에는 생성된 구조를 허물어뜨리고 새로운 구조를 만들어낼 수 있는 아페이론Apeiron이 꿈틀대고 있다. 바디우는 생성의 움직임에 의해 만들어지는 사건이 주체에 의해 진리의 수준으로 격상하고자 한다면, 사건 이후 계속해서 영향을 주는 '충실성'이 담보될 수 있는 집합(대중)들의 역할이 중요하다고 한다. '드문 주체'는 그래서 충실한 접속의 실행자이다. 고정 불변하는 이데아의 실재보다는 차이의 장field에서 생성을 이루는 구조를 동반한다. 차이를 보이는 요소들이 다양체를 만들어내는 것은 최한기의 기학氣學 구조와 유사하다.

베르그송에게 의식은 순수활동성이며 바깥을 향하며 활동하는 것이다. 바깥은 하나의 장이다. 의식에 의미를 부여하는 현상학적 환원 역시 의식의 활동성이다. 그 활동성은 필연적으로 각자의 '체험'으로 귀결되고 그것은 무의식과 연계되며 환원된다. 이면의 욕동과 반응하며 만들어내는 구조는 구조주의 철학의 사유의 증점적인 주제이다.

의미를 생성하는 것은 순수기표이며 그것은 구조의 위치에 따라 결정되고 달라진다. 마음의 변화는 이러한 구조의 변화와 움직임에 따라 달라진다. 서양의 근대철학이 명백한 '주체'가 있다고 가정하는 것과는 달리, 생성의 철학과 동북아 기일원론은 선험적 주체를 해체한다는 점에서 유사한 부분을 공유하고 있다. 마음을 작동시키는 무의식은 욕망과 관련된 생성의 차원이다. 생성의 결과로 구조가 드러나고 그 구조는 무의식의 작동에 따라 또다시 변화하게 된다. 구조를 인식할 때 서양의 그 인식하는 '주체'는 이미 그 구조 바깥에서 있는 것이다. 바깥의 바깥을 스스로의 내부에 접으면서 주름으로 펼쳐

진다. 그 주름은 결국 생성과 변화의 펼쳐짐이다. 서양은 자체의 모순을 극복하기 위해 동북아의 내재성의 사유에 주목하고 변화를 실천하고 있는 것이다. 그 내재성의 사유에 노장사상으로 대표되는 동북아의 사상과 세계관이 영향을 끼치고 있다.

이제 서양은 동쪽의 동양으로 이동하고, 동양은 근대의 시기에 제국주의 열강에 의해 서양의 사상과 기술과 문화가 강제적으로 이식되어 서쪽으로 이동되었고, 이 가운데 자체적으로 진화하여 현재는 중앙에서 만나 스스로의 장점을 확대하며 경쟁하는 시대가 되었다. 동북아 사유의 단점을 극복하고 서양의 것들을 취하면서 동시에 서양이 갖지 못하는 것을 주체적인 시각으로 극복하는 방향성이 중요한 시점이다.

자연과 하나 되는 삶의 건축적 태도와 생태건축 계획 방법론

기일원론의 계보와 관련하여, ‘참 나’를 존중하는 마음으로 나, 너, 그, 우리, 우주와 세계 그 자체인 ‘자연’을 존중하는 마음의 태도를 중심으로 우리는 우주의 기(기후)와 함께 사는 법에 익숙해져야 한다. 그러한 자세가 바로 범아일여 梵我一如와 천인합일 天人合一의 정신이다. 동북아 내재성의 기의 철학의 계보는 조선시대에 이르러 이러한 가치를 ‘윤리적인 측면’으로 승화시켜 자연의 도를 올바르게 깨닫고 그것이 일상생활과 정치적 통치의 수준까지 적용되는 삶을 지향했다. 자본이 중심이 되는 오늘날의 바쁜 대도시의 삶에서 그러한 자세를 일상에까지 적용해 엄격한 윤리적 수준의 삶을 사는 것은 무리일 것이다. 그러나, 적어도 자연과 가까워지고 오랜 시간 함께하는 삶, 자연과 날씨에 민감하게 반응하며 즐기는 변화의 감각은 꼭 필요한 부분이다. 이에 대한 에코 건축의 해결 방법은 건축과 도시를 하나의 대상으로 바라보고 문제

점을 해결하고자 하는 것이 주가 되므로 서양의 대상화가 만들어온 폐해를 답습할 가능성이 있다.

이러한 인식을 바탕으로 우선 고려할 수 있는 대안적 방법으로, 계획 단계에서 자연 채광을 최대한 활용하는 에코 건축의 방법론, 미기후(微氣候)의 자연 환기를 이용하여 최대한 에너지 냉난방의 부하를 줄일 수 있는 건축적 방법론이 장려된다. 여름철의 높은 고도와 겨울철의 낮은 고도에 맞추어 선택적으로 채광을 받아들이거나 막아주는 경사지붕과 루버(louver) 및 ‘브리즈 솔레이유(brise-soleil)’의 시스템을 적용하는 것은 중요하다. 또 계획 단계에서 이중 외피의 방법론, 미기후의 조절을 위한 스카이라인의 파라펫(parapet) 디자인 등을 고려하여 최대한 패시브 형태의 계획을 할 필요가 있다. 즉, 에너지가 투입되지 않는 패시브 형태의 에너지 절약 건축 솔루션을 최대한 적용하는 계획적 방법론과 디테일들이 필요하다. 외피 및 단열재 혹은 구성 부재의 경우, 생산 및 구축 초기 단계에는 에너지 소비(탄소배출량 절약 포함)가 크지만 일단 구축하고 나면 에너지 절약(탄소배출량 포함) 효과가 큰 경우도 장려된다. 사용 내구 연한에 비하여 에너지 절약이 상대적으로 훨씬 높은 옵션을 선택해야 한다. 그러나 이러한 솔루션 자체는 하나의 대상화된 기술의 결과물일 뿐, 자연과 함께하는 삶의 태도와는 다른 에너지 절약 차원의 방법론이다. 자연과 하나가 되고자 하는 삶과 태도가 우선시되고 공동체의 삶의 가치를 향상시킬 수 있는 계획이 이루어진다면 이후 이러한 패시브 솔루션들은 자연스럽게 필요에 의해 따라올 수 있는 것들이다. 앞서 언급한 바와 같이, ‘우리는 나를 존중하는 마음과 우주와 세계 그 자체인 자연을 존중하는 태도를 가지고 우주의 기와 함께 사는 법에 익숙해져야 한다’라는 문장에서 범아일여, 천인합일이라는 삶의 태도, 동북아적 가치와 함께 우리 조상들이 추구해 왔던 삶의 지혜를 다시 떠올린다.

앞서 언급한 바와 같이, 자본의 분업화와 효율성의 가치를 중시하며 발전

해 온 대도시의 삶은 높은 밀도의 인조 환경에 둘러싸인 건축물과 조경이라는 인공 자연환경과 함께 구성된다. 효율성을 중시하고 기술적인 측면을 중시하여 구조, 설비, 외피 기술의 발전으로 만들어진 마천루의 대도시는 여러 가지 문제점을 보여왔다. 주변 자연의 파괴와 기의 흐름과 역행하는 인공적인 설비 계획들이 양산되며 자연과 유리되었다. 기존의 모더니즘 건축은 설비의 에너지 소비가 크고 열기 배출로 인한 지역 미기후의 악화가 가속되는 획일적이고 폭력적인 계획으로 문제점이 가속화되었다.

자연과 최대한 함께할 수 있는 동시대의 도시 및 건축적 솔루션은 지역의 주요 외적 변수인 기의 흐름(날씨)의 혼탁함을 줄이면서 미기후를 만들 수 있는 방법론과 연계된다. 도시 설계적인 측면에서 미기후의 생성을 위해 거주 환경을 조성할 때, 단순히 박스 형태의 기능적인 매스들로 구성하여 군대 막사와 같이 기하학적으로 배치하는 것은 바람직하지 않다. 그것보다는 다양한 레이어로 적층된 4~5층의 건축물 각 채로 둘러싸도록 계획하고 다소 불규칙적인 외부공간이 연계된 조경영역을 조성하는 것이 필요하다. 기의 흐름을 원활하게 하기 위해서는 바람이 한쪽의 낮은 곳으로 들어가서 다른 쪽의 높은 곳으로 나가는 대류현상을 적극적으로 이용하는 계획이 가장 쉽고 좋은 방법이다. 매스의 외측 돌출부와 내측 후퇴부 등을 적절하게 조합하면 공기의 순환을 자극하고 원활하게 흐르도록 할 수 있다. 돌출창, 발코니 등, 외부의 돌출·후퇴 요소들을 적절하게 활용하면 외부 자연을 조망하고 외부의 기를 느낄 수 있는 공간이 형성된다. 내부 블록의 각 영역에서는 온화한 미기후를 느낄 수 있도록 내부의 쌈지공원, 파티오patio 등을 적절하게 조합하는 것이 바람직하다. 1층 외부에는 적절하게 처마 돌출부를 적용하여 무자성無自性의 회색 공간을 만들 수 있으며, 내부와 연결되어 있는 한국식 정자 등의 요소들을 적용하여 내외부를 연계하고 자연을 즐길 수 있는 공간을 구성하는 것이 바람직하다. 이렇게 다기능의 회색 공간은 내외부가 명확하지 않은 가운데 자연의 변화를 느끼면서 내외부를 안정적으로 즐기고 필요에 따라서는

외부이지만 마치 내부의 공간처럼 쓰도록 할 수 있다는 점에서 중성적인 공간으로 활용된다는 장점이 있다. 특히 한국건축의 무자성적인 특성으로 유용하게 쓰이는 장점을 최대한 활용하는 것이 바람직하다. 내부와 외부 사이에서 직관적이고 즉각적으로 반응하는 필터로서 작용하는 이중 외피 개념의 서터 창문은 발코니와 연결될 때 반^半 외부공간, 혹은 회색 공간의 특성을 보여주는 영역으로 사용될 수 있다. 마당 공간이 내부 거실로 내부화된 현대 한국 아파트의 경우에도 이러한 발코니 영역과 적절한 가변적 창호 등을 조합하여 창조적인 회색 공간이자 자연의 외기를 온전하게 느낄 수 있는 외부 영역으로 사용할 수 있도록 하면 좋을 것이다. 그렇게 하면 외부 생활의 느낌이 내부로 확장되는 효과를 가져오며 외부의 자연이 생활과 하나 되는 감각을 주게 될 것이다. 이때 중요한 것은 이러한 창호의 사용이 직관적이면서 쉬워야 하고 관리가 용이해야 한다는 점이다. 또한 필요에 따라 개폐가 가능하면서 단열과 방음 효과 역시 우수해야 한다. 그래야 제때 편리하게 사용 가능하고 자연의 변화에 민감하게 적응하며 기의 변화의 감각을 느끼며 즐길 수 있게 된다.

또 자연 채광과 환기가 원활하게 이루어지게 하면서 조경영역과 함께 공적^{公的}, 반사적^{半-私的}, 사적^{私的} 휴식공간을 조화시켜 이웃과 좋은 관계를 유지할 수 있는 계획 방법론이 필요하다. 우리는 자연과 하나가 되기 위해 자연의 날씨, 즉 기^氣의 흐름(기후)에 감각이 민감하게 반응할 수 있고 최대한 외부 자연과 오랜 시간 함께 활동할 수 있는 건축적 계획 방법론을 정교화할 필요가 있다. 불교의 '공적영지^{空寂靈知}' 개념과 같이 이웃과 내가 심층적인 차원에서 하나라는 것과 대우주와 기의 흐름 자체가 하나라는 깨달음에 다가가기 위해서는 동북아 유, 불, 도교 사상이 중시하는 측면에 기초하여 자연과 주변 건조환경을 다시 생각해 볼 필요가 있다.

현관과 베란다, 그리고 상가 주변의 아케이드 등을 사용하면서 1층 영역

의 회색 공간을 적절하게 이용하면 사적私的, 반사적半-私的, 반공적半-公的 영역의 회색 영역, 혹은 완충공간을 만들 수 있다. 이 공간들은 소통할 수 있는 영역이 될 수 있다. 이러한 불확정적인 완충공간은 비와 눈이 오는 날씨가거나 햇빛을 피하는 공간으로 사용될 수 있고, 또한 카페 등의 외부 영역으로도 사용이 가능하다. 에너지를 소비하는 기술을 사용하는 것이 아니라, 계획 단계에서 미기후를 이용한 세밀한 계획으로 외부 활동을 증가시키고 공동체성을 증대시킬 수 있어야 한다. 그 목적은 결국, 자연과의 연계(천인합일, 범아일여)와 함께 가족과 이웃의 공동체성과 더 나아가 시민의식의 향상을 위한 것이 되어야 한다. 이것이 매우 중요한 부분이다. 이러한 공간들은 한국건축의 마당과 연계된 대청, 뒷마루 혹은 정자 등의 요소를 활용함으로써 공동체성이 확대될 수 있다. 상부층에서는 발코니 등의 창문을 열면서 내외부의 공간이 완충공간 혹은 회색 공간이 되어 자연을 즐기고 외기를 원활하게 느낄 수 있는 공간으로 변환된다. 이렇게 시시각각 변화하는 외기의 감각을 느끼기 위해서는 즉시 변환시켜서 사용이 가능해야 한다. 이 점이 중요하다. 한국건축의 들창과 창호지로 덧댄 창틀과 같이 셔터, 루버, 슬라이딩 도어, 스크린이 적절하게 조합된 동시대의 한국적 창을 활용하면 옛 선조들의 한국적 분위기의 창과 공기의 순환구조를 만들어낼 수 있을 것이다. 대도시에서는 1층과 테라스, 발코니에서 대자연을 조망하기 힘든 경우가 많다. 따라서 내부 각 층의 각 영역에 조경 공간과 휴식 공간 및 하늘을 원활하게 조망할 수 있는 방안을 제시하는 것이 바람직하다. 종합적으로 자연을 경험할 수 있게 하는 조화로운 인공 환경을 자연이라고 간주하여 안정적인 분위기에서 자연의 흐름과 변화를 느낄 수 있는 자연적 요소를 적극적으로 활용할 필요가 있다. 다양한 야외 공간과 주변의 자연적 요소의 조합은 자연과 함께 살아가는 느낌과 기(기후)의 변화에 대한 감각을 일깨워 줄 것이다.

단지의 각 층의 외부공간에는 최대한 자연적 요소들을 가져와서 조화를 이루도록 해야 한다. 먼 곳의 웅장한 산수를 보는 것이 가장 좋은 방법이겠지

만, 대도시에서는 불가능한 상황일 수 있다. 이런 때에는 수목의 녹지와 수공간(水空間)을 적절하게 사용하여 도시환경의 일부로 자연스럽게 조화를 이루도록 디자인해야 한다. 그렇게 된다면 충분히 인공의 자연으로도 조화로운 소우주를 창조할 수 있고 어느 정도는 자연과의 일체화된 삶을 누릴 수 있다. 물론, 자연과 함께하는 삶은 산과 자연을 직접적으로 느끼고 감각하도록 자연 근처에 계획하는 것이 가장 직접적인 방식이다. 자연인과 같이 산에 오르고 자연의 변화를 느끼는 삶이 가장 좋을 것이다. 기(기후)의 흐름의 패턴과 주기에 대해 적절하게 대처할 수 있는 ‘몸의 감각’이 필요하다. 원론적으로 도시 및 건축의 구성 및 형태는 친환경적이고 경제적이며 적은 자원으로 구축하고 에너지를 적게 소모할 때 바람직할 것이다. 때로는 혹독한 외기의 변수를 조절하여 주변보다 최대한 온화한 미기후를 만들어냄으로써 원활한 외부 활동을 가능하게 하여 기의 흐름을 몸의 감각으로 체화할 수 있는 삶을 필요로 한다. 거주 및 일하는 공간 및 주변 환경을 만들기 위해서는 미기후를 자연스럽게 조성할 수 있는 에워싸는 형태의 나지막한 각 채의 구성이 필요하다. 단지계획에서는 강한 바람과 태양의 노출을 줄이면서 유지보수는 적게 하는 구조, 그리고 인공적인 냉난방(액티브 계획)을 최대한 줄이는 건축계획 방법론이 필요하다. 그러나 앞서 언급한 대로 초점이 냉난방의 기술적 효율성 차원에 그치는 것이 아니라, 이를 통해 기후의 변화 감각을 일깨우고 긍정적인 공동체성을 이룰 수 있는 공간구조와 표현 및 방법론이 우선되어야 한다. 그것이 바로 미기후의 윤리적 측면이다.

각 지역의 가장 중요한 외적 변수인 풍토의 조건, 특히 외기의 조건에 있어서 각 지역마다 그 여건이 다르기 때문에 채광과 환기에 있어서 필요한 부분에 맞는 건축적 솔루션이 필요하다. 극한의 외기 조건을 완화하여 최대한 많은 시간을 외부에서 혹은 외부와 연계된 반(半) 외부, 혹은 내부에서 생활할 수 있게 하기 위한 방법론이 필요하다. 블록으로 둘러싸인 하나의 영역은 바람과 태양으로부터 어느 정도 보호되는 미기후를 형성하게 되고 이것은 주변

의 혹서, 혹한의 혹독한 기후보다 상대적으로 안정적인 상태를 유지한다. 갯벌, 은^銀, 엄폐물이 많은 공간에 상대적으로 다양한 생명체가 존재하는 것과 마찬가지로이다. 온화한 미기후에 보호되는 영역에서는 자연스럽게 인간의 외부 활동이 늘어나게 된다. 자연과 함께 보내는 시간이 늘어나게 된다는 것이다. 이를 통해 이웃과의 소통이 늘어나게 되면 공동체성이 향상될 수 있다. 한낮의 뜨거운 시간에는 외부보다 상대적으로 낮은 온도를 유지하고, 한밤의 낮은 온도보다는 높은 온도를 유지하는 미기후의 영역을 형성하게 된다. 우리 조상은 안정적인 구릉에 위치해 미기후가 온화한 '좌혈^{坐穴}'의 자리를 최우선적으로 찾아 집을 앉히려 했다. 이것도 온화한 미기후와 식수를 안정적으로 획득하기 위한 가장 기본적인 노력이었다. 마치 자궁 속의 태아가 안전하게 자리를 잡고 안온하게 잠을 자고 있는 모습과 같은 형상이다.

일반적으로 주민이 집의 외부 영역에서 지내는 시간이 많을수록, 그 외부 영역에 대한 영역성과 통제가 수월하게 이루어진다. 다만, 획일적인 격자형의 각 채들로 둘러싸인 블록보다는 일정 부분 그리드에서 벗어난 불규칙한 외부공간과 매스의 구성으로 계획하는 것이 오히려 외부영역의 활동성을 증가시키게 된다. 안정적인 미기후가 형성된다는 것이다. 이때 지붕은 경사지붕으로 하고 중앙부의 매스들은 외부보다 조금 더 낮은 매스로 배치할 때 외부의 바람이 상대적으로 온화하게 유입되고 나가게 되는 효과를 가져와서 온화한 미기후를 형성하는 데 도움이 된다. 경사진 지붕은 채광에도 유리하다. 외부의 하늘을 바라보는 데 있어 개방감을 향상시킬 수 있다. 단지 각 채의 불규칙적인 계획과 일정 부분 중앙부의 격자 그리드에서 벗어난 사선의 매스들은 미기후에 도움이 되고, 채광에 원활한 공공영역을 구성할 수 있다. 고층 매스들의 사이에는 강한 빌딩풍의 난기류가 형성되고 깊은 그림자가 드리워져 온화한 미기후 형성과 쾌적한 외부공간을 형성하는 데 방해가 된다. 외부로 열린 발코니와 그 반^半 외부 영역과 같은 쾌적한 미기후 영역에서는 미기후를 즐기며 자연과 하나가 될 가능성이 높아진다. 온화한 미기후를 형성할

수 있는 방법론을 적절하게 사용하고 공동체의 소속감을 향상시키며, 자연의 기의 변화와 함께 생활하는 것이 필요하다.

나가면서

도시와 건축의 구성과 형태는 최대한 친환경적이어야 하며 에너지 소비와 오염을 줄이고 천연자원과 자재를 절약할 수 있어야 한다는 전제에 대해서는 모두가 동의하는 바일 것이다. 그러나 자원과 에너지 절약 솔루션을 통한 윤리성의 소극적인 회복이라는 기술적 측면과는 다른 인문적, 생활 윤리적 방향성이 필요하다. 즉, 최대한 자연의 변화와 함께하고 자연의 기(기후)의 흐름에 적합하게 구축하여 원활한 공동체성을 만들어낼 수 있는 삶을 추구해야 한다. 이러한 태도는 자연스럽게 그에 맞는 방식으로 도시와 건축을 구축하게 될 것이고 그 결과 그 삶에 어울리는 도시와 건축이 뒤따르게 될 것이다. 회복탄력성 역시 자연의 변화에 따라 평형을 맞출 수 있는 유연한 능력이 요구되는 동시대의 요구상에 대응하는 개념이다. 결국, 우리를 둘러싼 건조환경의 구축은 사유와 태도가 문제인 것이다. 내면으로 침잠하는 선불교적인 특성과 그것이 전체 세계와 긴밀한 연결관계를 지닌다는 사상은 범아일여, 천인합일의 정신을 중시하는 문화로 연결되었다. 그러나 이러한 공동체성은 쉽게 전체주의적 속성으로 변질될 수 있다는 위험성을 갖고 있으며, 비균질의 관념적인 특성은 나와 관념적 세계의 연결을 강조하기 때문에 시민사회와 공동체 전체의 이익과 구성원들과의 적절한 사회적 타협을 생각하기 힘들다는 단점이 있다. 도시를 대상화시키는 근대성의 특성으로 바라보았을 때 나타났던 폐해는 그 단점을 뚜렷하게 드러낸 역사를 만들어왔다. 인류는 그를 보완하기 위한 도시와 건조환경을 만들어내기 위해 노력해 왔다. 공동체를 둘러싼 지역과 외적 변수를 고려하여 만들어진 현상학적 가치에 중심을 두는 도시공간, 근본구조를 연구하여 도시 근본구조의 인문적 가치를 녹여 현실화

시키려고 한 구조주의의 노력, 대중의 역사적 의미론적 가치를 동시대에 녹여내고자 했던 포스트모더니즘, 배제되고 억압되고 소외된 무의식의 가치를 올바르게 현실에 드러내어 화해하고자 했던 후기구조주의의 가치들은 모두가 당시의 기준으로 보았을 때 최선의 도시공간, 최선의 스마트한 공간과 도시를 만들기 위한 노력이었다. 스마트시티는 그러한 측면에서 단순히 대상화된 기술이 아니라 기(물질, 무의식)의 변화에 따라 유연하게 그 니즈를 만족시키고 변화할 수 있는 도시, 그것이 공동체와 기의 흐름, 그리고 인간의 삶에 근본적인 삶의 만족을 향상시킬 수 있는 구조가 되어야 할 것이다.

발행인 진현환, 박승기 발행일 2024. 12. 31. 발행처 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원

– 편집위원회 –

위원장 | 권진섭 · 국토교통과학기술진흥원 부원장 부위원장 | 윤영중 · 국토교통부 도시경제과 과장

위원 | (도시) 이제승 · 서울대학교 환경대학원 교수, (AI) 박동환 · ETRI 자율형 IoT 연구실 책임연구원,

(교통) 이종덕 · 교통연구원 광역 · 도시교통연구본부 연구위원,

(도시 · 환경) 채창우 · 한국건설기술연구원 연구전략기획본부 본부장, (산업) 노은희 · 서울국제개발협력단 팀장

문의처 국토교통과학기술진흥원 스마트시티산업지원센터(E-mail: initiative@kaia.re.kr)

홈페이지 www.kaia.re.kr

기획 · 디자인 · 제작 (주)디씨티, 라의눈(주)

※본 전문지는 스마트시티와 관련된 미래 이슈 및 글로벌 어젠다를 다룹니다.

전문지에 수록된 내용은 필자 개인의 견해이며,

국토교통부와 국토교통과학기술진흥원의 공식적인 견해가 아님을 밝힙니다.

스마트시티 글로벌 저널 2024

스마트시티의 미래 어젠다를 발굴하고
글로벌 리더십으로 내일의 도시를 만듭니다



14066 경기도 안양시 동안구 시민대로 286 [관양동1600] 송백빌딩 2~7F, 9F
<https://www.kaia.re.kr>

