

SMART CITY **스마트시티 글로벌 저널 2025**



Agenda

**Smart City
Global
Journal 2025**

AI가 가져올 스마트시티의 미래

SMART CITY **TOP** Agenda **2025**

SMART CITY **스마트시티 글로벌 저널 2025**

TOP

Agenda

Smart City
Global
Journal 2025

CONTENTS

CHAPTER 01

스마트시티에서 AI 활용



스마트시티에서의 디지털 트윈과 인공지능 융합

윤지수 *Ji Soo Yoon*

8



오스틴 디지털 트윈: 데이터로 구현하는 스마트시티

진펑 자오 *Junfeng Jiao*

26



인공지능과 스마트시티의 소프트 인프라

데이비드 굿 *David Good*

48



도시 AI에서 스크린 없는 도시로

위베르 베로슈 *Hubert Beroche*

70



탄소중립도시 구현과 AI

정승현 *Seunghyun Jung*

86

CHAPTER 02

AI 기반 스마트시티 계획



최적의 베타 테스트:

라틴 아메리카는 스마트시티를 위한 글로벌 실험실

워싱턴 파하르도 *Washington Fajardo*

108



AI 증강 도시계획:

최적의 사회적 가치를 실현하기 위한 시스템적 접근

유안 로우 *Euan Low*/카이 니시하라 로우 *Kai Nishihara-Low*

126



스마트시티의 사회 참여형 GeoAI: 스마트 참여의 또 다른 미래
정진규 *Jin-Kyu Jung*

158



AI를 활용한 계획 및 설계 재고찰

팀 쇼크 *Tim Schork*/피터 뱅스보 *Peter Vangsbo*/탄 이기트찬라르 *Tan Yigitcanlar*

192



AI 기반 생활권 계획지원 시스템:

인구구조 변화에 대응한 근접성 기반 일상 생활권의 계획

최준영 *Junyoung Choi*

216



Gaia-X 신뢰 프레임워크를 활용한

복합 대규모 환경의 신뢰 자동화

크리스토퍼 F. 스트르나들 *Christoph F. Strnadl*/울리히 알러 *Ulrich Ahle*

236

CHAPTER 03

AI를 활용한 도시기반시설 관리



미래 모빌리티 AI 관제 기술의 미래상

장정아 *Jeong-Ah Jang*

254



AI 기반 도시기반시설 구축 및 관리 기술:

이탈리아 베로나 실증을 통한 Edge AI 융합 교통센서 솔루션

김의철 *Eui-Chul Kim*

272

에필로그

포스트 코로나 시대의 스마트 교통 크리스티 살라 *Kristi Shalla*

294

‘15분 도시’를 다시 가다 카를로스 모레노 *Carlos Moreno*

297

스마트시티 최신 동향 울리히 알러 *Ulrich Ahle*

300



SMART CITY

T O P

A G E N D A

2 0 2 5

CHAPTER

01

**스마트시티에서
시 활용**

Digital Twins and AI Convergence in Smart Cities

스마트시티에서의 디지털 트윈과 인공지능 융합

윤지수

Ji Soo Yoon



윤지수는 경제협력개발기구OECD의 정책분석가로, 지속가능한 건축물 탈탄소화 및 기후 회복력을 위한 핵심적인 연구와 정책 개발을 주도하고 있다. 국가 및 지방정부를 대상으로 한 종합적인 정책 연구와 설문조사를 수행하고, 이해관계자를 조직하고, 전략적인 기후 이니셔티브를 식별하고 개발하기 위해 국제 대표단과 협력하는 일을 하고 있다.

저자의 역량과 전문성은 최근 발간된 여러 보고서에 잘 드러나 있는데 “Zero-Carbon Buildings in Cities: A Whole Life-Cycle Approach” (2025)와 “Global Monitoring of Policies for Decarbonising Buildings”(2024)가 대표적이다.

저자는 제네바 국제대학원Graduate Institute Geneva에서 국제관계학 석사학위를, 이화여자대학교에서 국제학 학사학위를 취득했다. 한국어, 영어, 프랑스어에 능통하다.

E-mail: Jisoo.yoon@oecd.org

● 초록 ●

전 세계의 도시는 디지털 트윈과 인공지능의 자연스러운 융합을 점점 더 강력한 도구로 인식하고 있으며, 이를 통해 복잡한 도시 문제를 해결하려 하고 있다. 그러나 이러한 융합이 실제로 성공하기 위해서는 적절한 제도적 환경, 포괄적인 데이터 인프라, 그리고 시민 중심의 활용이 전제되어야 한다. 본 글은 세 가지 대표적인 접근 방식을 살펴본다. 유럽의 URBREATH 프로젝트는 지역사회의 적극적인 참여를 기반으로 자연에 기초한 기후 대응 솔루션을 구현한 사례를 보여준다. 싱가포르의 Virtual Singapore는 국가 차원의 디지털 플랫폼을 통해 민간 인공지능 혁신을 촉진하는 방식을 보여주었다. 일본의 Project PLATEAU는 3차원 시각화 도구를 활용하여 도시계획 과정을 민주화한 사례로 주목된다. 이러한 사례 분석은 기술 융합이 서로 다른 기술을 억지로 결합하는 과정이 아니라, 공통된 목적을 향해 자연스럽게 정렬되는 과정이라는 점을 보여준다. 다시 말해 융합은 고도화된 도시 지능을 누구나 접근할 수 있도록 하면서도 동시에 지속가능성과 사회적 형평성을 진전시키는 것이다. 따라서 도시는 강력한 거버넌스 체계를 마련하고, 종합적인 데이터 시스템을 구축하며, 지역적 맥락과 민주적 가치에 부합하는 시민 중심의 인터페이스를 설계해야 한다.

키워드

디지털 트윈, 인공지능, 도시계획, 스마트시티, 기술융합

● ABSTRACT ●

Cities worldwide are increasingly recognising the natural convergence of digital twins and artificial intelligence as powerful tools to address complex urban challenges. However, successful implementation relies on enabling environments, comprehensive data infrastructure, and citizen-centric applications. This brief examines three leading approaches: Europe's URBREATH project, which showcases nature-based climate solutions through community engagement; Singapore's Virtual Singapore, a national digital platform that fosters private AI innovation; and Japan's Project PLATEAU, which uses 3D visualisation to democratise urban planning. The analysis of these examples suggests that convergence is not about forcing different technologies together, but about facilitating natural alignment toward common goals, i.e. making sophisticated urban intelligence accessible while advancing sustainability and social equity. Cities should create strong governance frameworks, build comprehensive data systems, and design citizen-focused interfaces that resonate with their local context and democratic values.

KEYWORDS

Digital twins, Artificial intelligence, Urban planning, Smart cities, Technological convergence

도시적 과제: 왜 지금 융합이 중요한가

오늘날 도시는 급격한 도시화, 재정 제약, 기후 변화, 그리고 심화되는 불평등이라는 전례 없는 압박에 직면해 있다. 전 세계 도시 인구는 1975년 15억 명에서 2015년 35억 명으로 두 배 이상 증가했으며, 2050년에는 50억 명에 이를 것으로 전망된다(OECD/European Commission, 2020). 이러한 급속한 도시화는 이른바 “도시의 역설”을 만들어내고 있다. 즉 도시는 전 세계 이산화탄소 배출량의 약 70%를 차지하면서 동시에 전 세계 국내총생산(GDP)의 80%를 창출하는 공간이 되었다(IEA, 2021).

이와 동시에 도시 지역은 심각한 불평등을 안고 있다. 주거, 이동성, 필수 서비스에 대한 접근에서 커다란 격차가 존재한다. 또한 폭염, 홍수 등 기후와 관련된 자연재해의 위험이 갈수록 커지고 있다. 그러나 아이러니하게도 도시는 이러한 문제에 대한 해결책을 제시할 수 있는 가장 가능성 높은 공간이기도 하다. 지속가능한 도시계획, 대중교통의 확대, 건물 효율성의 향상, 재생에너지와 녹지 공간에 대한 투자 등은 기후 변화와 불평등 문제를 동시에 완화할 수 있는 구체적 대안이 된다. 다시 말해, 기후 변화와 불평등은 상호 얽혀 있는 과제이며, 도시들은 이를 총체적으로 다루어야 한다.

재정적 제약은 이러한 도전 과제를 더욱 심화시킨다. OECD 국가들에서 중앙정부는 전체 공공수입의 52.6%를 징수하는 반면, 지방정부는 29.7%만을 확보하고 있다. 그럼에도 불구하고 지방정부는 전체 공공지출의 55%를 책임지고 있다(OECD, 2025; OECD/UCLG, 2022). 이러한 재정적 불균형은 주거, 교통, 기후 적응 등과 같이 도시의 생존에 필수적인 정책을 설계하고 자금을 마련하는 도시의 역량을 제약한다(OECD, n.d.). 결국 이러한 제약 속에서 도시들은 더 적은 재정 자원으로 점점 더 복잡해지고 심화되는 과제들에 대응해야 하는 상황에 놓여 있다.

자연적 기술 융합을 위한 틀

영어로 “융합^{convergence}”이라는 단어는 라틴어 *convergere*에서 비롯되었으며, 여기서 *con*은 “함께”를 의미하고 *vergere*는 “~을 향하다”라는 뜻을 가진다(etymonline, 2025). 따라서 융합은 서로 다른 기술을 억지로 결합하는 것이 아니라, 공통된 목적을 향해 자연스럽게 수렴하는 과정을 뜻한다. 도시는 단순히 정책적 요구에 따라 기술을 결합하는 것이 아니다. 특정 기술들이 본질적으로 서로를 보완하며 사람과 지구 모두를 위한 통합적 해결책을 자연스럽게 형성하는 과정이 점점 더 많이 목격되고 있다.

디지털 트윈과 생성형 인공지능은 이러한 자연적 융합의 대표적 사례로 꼽힌다. 디지털 트윈은 도시의 종합적이고 정교한 가상 이미지를 제공하지만, 접근성과 실시간 업데이트의 필요성이라는 한계를 안고 있다. 인공지능은 자동화된 데이터 처리와 패턴 인식을 통해 데이터 문제를 해결하며, 생성형 인공지능은 자연어 상호작용을 통해 접근성을 크게 향상시킨다. 두 기술은 서로를 보완하는 순환적 관계를 형성한다. 디지털 트윈이 도시 시스템의 복잡성을 포착한다면, 인공지능은 이 데이터를 끊임없이 최신 상태로 유지하고 시민이 이를 쉽게 활용할 수 있도록 한다. 이와 같은 상호 보완적 구조를 통해 도시는 기술을 시민 친화적이면서도 혁신적으로 운영할 수 있게 된다.

그러나 이러한 자연적 기술 융합의 잠재력이 온전히 실현되기 위해서는 신뢰할 수 있는 거버넌스에 의해 방향이 설정되어야 한다. 인공지능의 도입은 투명성, 편향, 책임성 등 중요한 윤리적·제도적 문제를 수반한다. 하지만 동시에 인공지능은 도시 거버넌스와 공공 서비스의 운영을 크게 개선할 잠재력을 지니고 있다. 따라서 융합을 촉진하기 위해서는 기술적 혁신과 사회적 신뢰를 동시에 달성할 수 있는 제도적 틀이 필요하다.

OECD는 이러한 융합을 이끌기 위한 세 가지 상호 보완적 프레임워크를 제시하고 있다. 첫째, OECD 도시정책 원칙은 지속가능하고 포용적인 도시

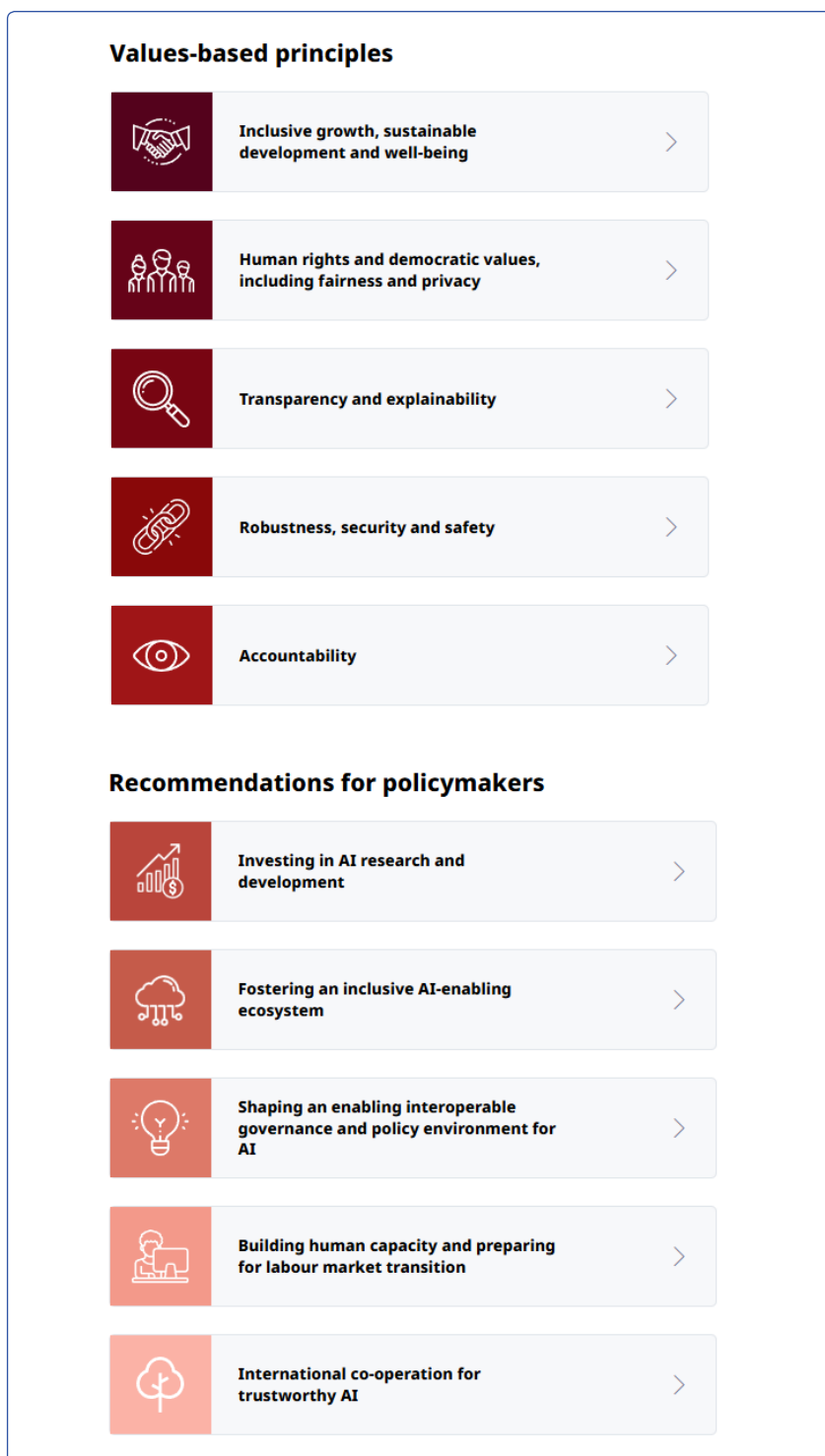
발전을 위해 11개의 원칙을 제시한다. 이 원칙들은 적절한 규모에서 정책을 실행할 것, 일관된 전략을 수립할 것, 이해관계자 참여를 보장할 것 등을 강조하며, 다층적 거버넌스, 장소 기반 접근, 그리고 조정된 정책 프레임워크의 중요성을 부각시킨다. 둘째, OECD 인공지능 원칙은 신뢰할 수 있는 인공지능을 보장하기 위해 다섯 가지 가치 기반 원칙을 제시한다. 여기에는 포용적 성장과 지속가능한 발전의 촉진, 인권과 민주적 가치를 존중하는 인간 중심적 접근, 인공지능 의사결정을 이해할 수 있도록 하는 투명성과 설명 가능성, 안정적이고 신뢰할 수 있는 시스템을 구축하기 위한 견고성과 안전성, 그리고 명확한 책임성을 확립하는 원칙이 포함된다. 셋째, OECD 스마트시티 측정 프레임워크는 도시가 디지털 기술을 활용하여 지속가능하고 포용적인 성과를 달성할 수 있도록 지원하는 실천적 도구다. 이 프레임워크는 디지

Source: : <https://link24.kr/GE8il05>

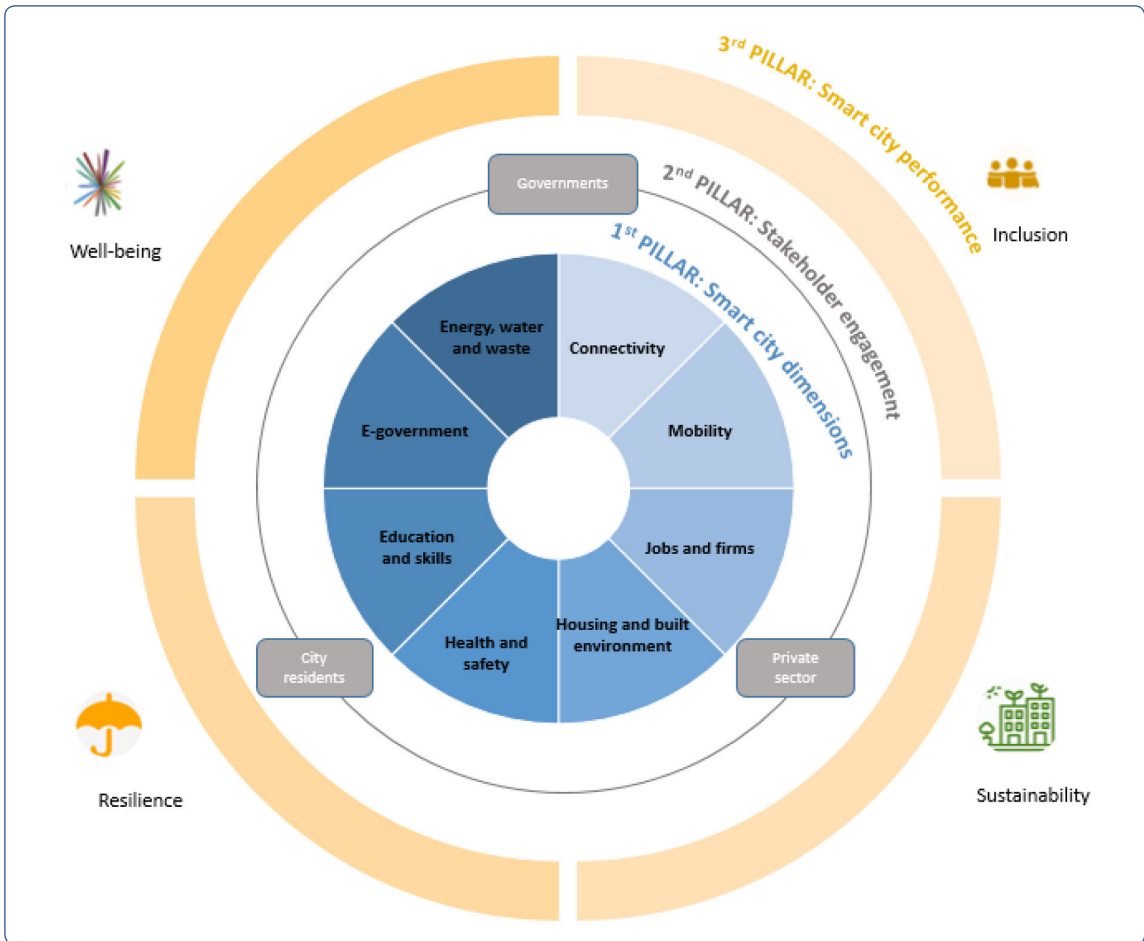


Figure 1
OECD Principles
on Urban Policy

Figure 2
OECD AI Principles



Source: : <https://oecd.ai/en/ai-principles>



Source : <https://link24.kr/4FtC3vJ>

Figure 3
OECD Smart City
Measurement Framework

텔화 정도, 다양한 이해관계자의 참여 수준을 측정할 수 있는 지표를 제공하며, 웰빙, 포용성, 지속가능성, 회복력이라는 스마트시티의 네 가지 핵심 목표를 달성하기 위한 방법론을 제시한다.

이 세 가지 프레임워크를 동시에 적용함으로써 도시는 기술적 혁신과 인간의 웰빙을 함께 달성할 수 있는 통합적 접근을 실현할 수 있다. 다시 말해, 기술은 단순히 혁신 그 자체를 위해 존재하는 것이 아니라, 시민의 삶을 개선하고 사회적 신뢰를 구축하는 데 기여해야 하며, 세 가지 프레임워크는 이러한 균형을 가능하게 하는 지침이 된다.

기술 융합을 촉진하기 위한 세 가지 조건

전 세계의 다양한 성공 사례들을 분석해 보면, 효과적인 기술 융합을 가능하게 하는 데에는 세 가지 핵심 조건이 존재한다는 점을 확인할 수 있다.

첫째, 제도적 환경^{enabling environment}이 마련되어야 한다. 여기에는 강력한 거버넌스 체계와 정치적 의지, 그리고 디지털 인프라를 공공 서비스의 일부로 인정하는 국제적 차원의 협력이 포함된다. 기술이 단순한 시장 기반의 혁신으로 머무르지 않고, 사회 전체를 위한 공익적 성과로 연결되기 위해서는 이를 제도적으로 뒷받침할 수 있는 안정적 환경이 필수적이다. 거버넌스는 단순한 행정적 절차가 아니라, 기술적 혁신이 시민의 권리와 민주적 가치와 조화를 이루도록 보장하는 틀로 작동해야 한다.

둘째, 포괄적 데이터^{comprehensive data}가 구축되어야 한다. 기술 융합의 기반은 접근 가능하고, 표준화되며, 신뢰할 수 있는 종합적인 도시 정보 시스템이다. 도시의 물리적 구조와 사회적 활동을 실시간으로 포착하는 데이터는 인공지능 활용의 토대가 된다. 데이터가 단편적이거나 불완전하다면, 디지털 트윈과 인공지능의 융합은 그 잠재력을 발휘하지 못할 것이다. 따라서 도시는 데이터 인프라를 구축하는 데 있어 상호운용성을 보장하고, 다양한 이해관계자들이 활용할 수 있도록 공개적이고 표준화된 방식으로 정보를 제공해야 한다.

셋째, 시민 중심 활용^{citizen-centric applications}이 이루어져야 한다. 기술이 진정으로 사회에 기여하기 위해서는 시민과 계획자의 실제 요구를 충족시키는 방식으로 설계되어야 한다. 이는 단순히 효율적인 기능을 구현하는 차원을 넘어, 시민들이 일상 속에서 직관적으로 활용할 수 있는 사용자 중심의 인터페이스를 제공하는 것을 의미한다. 특히 생성형 인공지능과 결합된 디지털 트윈은 자연어 상호작용을 가능하게 함으로써, 기술적 전문성이 없는 시민들도 손쉽게 도시계획 과정에 참여할 수 있도록 돕는다. 시민 중심 활용은 기술

적 성과가 소수 전문가 집단에 국한되지 않고, 사회 전체에 공유되는 공공재로 자리매김하는 데 핵심적 역할을 한다.

이 세 가지 조건은 단독으로 작동할 때보다 상호 보완적으로 결합될 때 더욱 강력한 효과를 낸다. 거버넌스 체계가 마련되어야 데이터 인프라 구축과 시민 참여가 제도적으로 보장될 수 있으며, 데이터가 포괄적이고 신뢰할 수 있어야 시민 중심 활용이 실질적으로 구현될 수 있다. 따라서 도시는 기술 융합을 촉진하기 위해 이 세 가지 조건을 종합적으로 충족시켜야 하며, 이를 통해 디지털 트윈과 인공지능의 자연스러운 결합을 지속가능하고 포용적인 방식으로 실현할 수 있다.

사례 연구: 융합의 세 가지 모델

유럽의 URBREATH 프로젝트는 시민 참여를 통한 기후 회복력 강화를 보여주는 사례다. 이 프로젝트는 2024년 Horizon Europe 프로그램의 일환으로 시작된 4년간의 연구이며, 지역사회와 이해관계자의 적극적인 참여를 기반으로 녹화greening와 재자연화renaturing를 중심으로 한 도시 재생 방법론을 개발, 실행, 검증, 그리고 복제하는 것을 목표로 하고 있다. 특히 체코 플젠의 공화국 광장을 중심으로 한 재생 과정에서 디지털 트윈과 인공지능의 융합을 구체적으로 확인할 수 있다. Horizon Europe은 2021년부터 2027년까지 약 955억 유로의 예산을 바탕으로 진행되는 EU의 핵심 연구·혁신 프로그램으로, 세계적 도전 과제 해결과 동시에 유럽의 기술 주권을 강화하는 것을 목표로 한다. URBREATH 프로젝트에는 12개국에서 온 37개 파트너 기관이 결집했는데, 플젠은 체코에서 유일하게 참여한 도시로 마드리드, 탈린, 루벤 등 다른 시범 도시와 함께 시민 참여를 기반으로 한 기후 행동을 추진하였다.

플젠의 공화국 광장은 넓지만 활용도가 낮은 공간으로 남아 있었고, 이

를 자연 기반의 솔루션을 통해 재생하는 방안이 모색되었다. 그러나 시민들이 가시적으로 드러나지 않는 환경적 편익을 바탕으로 복잡한 도시계획에 참여하는 것은 쉽지 않았다. 디지털 트윈이 참여 민주주의의 도구와 결합되면서 전환점이 찾아왔다. 3차원 가상 모델을 활용해 시민들이 제안된 녹지 공간을 직접 체험하고 그 편익을 평가하며 의사결정 과정에 참여할 수 있게 되었던 것이다. 이를 통해 디지털 트윈은 환경적 편익과 삶의 질 개선 효과, 그리고 지역 주민에 대한 영향을 가시적으로 모델링할 수 있었다. 결과적으로 URBREATH는 자연 기반 솔루션을 실제로 구현하면서 시민들의 진정한 참여를 촉진하였고, 기후 회복력을 강화하는 동시에 사회·경제적 효과와 주민의 웰빙까지 포괄하는 공동 창출 도구로 발전하였다.

싱가포르의 사례는 국가 차원에서 디지털 트윈을 구축하고 이를 민간 혁신과 결합시킨 독보적인 모델이다. 싱가포르는 “모두를 위한 디지털 미래를 구축한다”는 비전을 담은 스마트 네이션 전략을 통해 국가적 차원의 디지털화를 추진해 왔으며, 2024년에 개정된 프레임워크에서는 “기술을 선한 힘으로 활용한다”는 목표 아래 개인의 웰빙과 사회적 조화를 동시에 고려해야 한다는 점을 강조하였다. 이러한 전략의 핵심은 Virtual Singapore라 불리는 종합적인 3차원 디지털 모델이다. 이 모델은 실시간 데이터와 지형 정보를 바탕으로 구축되었으며, 싱가포르 토지청이 운영하는 OneMap 플랫폼을 통해 일반 국민에게 공개되었다. OneMap은 토지와 부동산 관련 정보에 접근할 수 있는 다양한 지리정보 서비스를 제공하고 있으며, 정부는 여기에 더해 응용 프로그램 인터페이스(API)를 개방하고 지리공간 데이터를 민간 부문에 제공하였다.

이를 통해 정부 기관은 Virtual Singapore를 활용하여 인프라 시뮬레이션이나 재난 대응 계획에 적용하고, 민간 기업은 개방된 데이터를 활용하여 혁신적인 서비스를 개발할 수 있었다. 예를 들어, 부동산 검색 플랫폼인 MOGUL.sg는 OneMap 데이터를 기반으로 5천 개가 넘는 키워드를 개발하여 시민들이 “북남선 근처” 또는 “푸드코트 인근”과 같은 자연어로 주택을 검색할

수 있도록 하였다. 인공지능은 여기에 맞춤형 추천 기능을 제공하여 시민의 주거 선택을 지원한다. 이처럼 정부가 구축한 국가 차원의 디지털 트윈 인프라는 민간의 인공지능 혁신을 촉진하며, 공공 데이터 플랫폼과 민간 활용 서비스가 결합된 생태계를 만들어냈다. 싱가포르의 모델은 직관적이고 대화형으로 운영되는 방식으로 시민에게 다가가면서 국가 차원의 융합이 어떻게 사회 전반의 혁신으로 이어질 수 있는지를 보여준다.

일본의 Project PLATEAU는 2020년 국토교통성에 의해 시작되었는데, 현재 200개 도시를 포괄하고 있으며 2027년까지 500개 도시로 확대될 예정이다. 이 프로젝트는 일본의 “디지털 정원 도시 국가”[Digital Garden City Nation](#)” 비전의 일환으로 추진되었으며, 인구 구조의 변화와 같은 사회적 도전을 디지털 전환을 통해 해결하는 것을 목표로 한다. PLATEAU는 “다양하고 자율적이며 분산된 시스템이 수평적 연결을 통해 강인함을 확보한다”는 개념을 반영하고 있으며, 국제적 표준인 CityGML에 맞춘 개방형 3차원 도시 모델을 제공하고 있다. 이를 통해 각 도시가 공동의 기반 위에서 소프트웨어 개발 비용을 분담할 수 있도록 하였고, 인공지능 기반 자동 생성 도구와 건축정보 모델링BIM, 위성 데이터를 통합하여 국가 전역의 도시 데이터를 최신 상태로 유지하고 있다.

PLATEAU의 의의는 단순히 도시의 물리적 구조를 기록하는 데 그치지 않고, 시민 참여형 도시계획의 토대를 마련한 데 있다. 하치오지시는 2차원 지도, 건물 높이, 도시계획 기본조사 데이터를 활용하여 종합적인 디지털 트윈을 구축하고 이를 증강현실 기술과 결합하여 주민들이 재개발 계획을 가상 환경에서 체험할 수 있도록 하였다. 시민들은 3차원 지도 위에 가상 건물이나 공원을 배치하면서 계획 논의에 참여했는데, 이는 기존의 정적인 회의 방식을 넘어 직관적이고 참여적인 과정으로 전환되었다. 이러한 접근은 특히 전통적인 계획 회의에 잘 참여하지 않던 청년층의 관심을 끌어내는 데 기여하였다. 히로시마시는 확장현실XR 기술을 활용하여 교통물 계획을 주민들이 현장에서 시뮬레이션할 수 있도록 하였고, 이를 통해 대규모 인프라 사업에

대한 반발을 줄이고 주민들의 우려를 완화하는 효과를 얻었다.

이처럼 PLATEAU는 국가 차원의 표준화된 디지털 트윈과 인공지능 시각화가 시민 참여와 결합하여 도시계획을 민주화하는 과정을 잘 보여준다. 이는 복잡한 공간적 의사결정을 협력적이고 포용적인 과정으로 전환시킴으로써, 기술과 시민 참여가 어떻게 국가 단위에서 조화롭게 융합될 수 있는지를 입증하는 사례다.

융합 패턴에서 얻는 통찰

유럽의 플젠에서 나타난 시민 참여 기반의 기후 회복력 강화, 싱가포르에서 구현된 정부 주도의 공공 데이터 인프라와 민간의 혁신 생태계, 그리고 일본의 국가 차원에서 추진된 민주적 도시계획 모델은 모두 특정 맥락에서 서로 다른 방식으로 기술 융합을 구현하였지만, 공통적으로 유사한 패턴을 보여준다. 세 가지 사례 모두에서 디지털 트윈과 인공지능, 그리고 시민 접근성이 자연스럽게 정렬되었을 때 환경적 목표와 사회적 목표를 동시에 진전시킬 수 있다는 점이 드러난 것이다. URBREATH 프로젝트가 시민 참여를 통해 기후 행동을 촉진하였듯이, 싱가포르의 OneMap에서 민간 서비스인 MO-GUL.sg로 이어지는 혁신 사슬은 공공 데이터와 민간 인공지능이 결합한 대표적 사례이며, 일본의 Project PLATEAU는 증강현실과 확장현실을 활용하여 시민이 의사결정 과정에 직접 참여할 수 있도록 하였다. 이러한 다양한 형태의 융합은 첨단 기술과 시민 중심의 목적이 결합할 때 사회적 포용성과 지속가능성이 동시에 달성될 수 있음을 보여준다.

더 나아가 이러한 패턴은 도시의 규모, 정치 체제, 또는 직면한 도시 문제의 유형과 관계없이 일관되게 나타났다. 다시 말해, 도시가 디지털 트윈과 인공지능을 자연스럽게 결합하여 지속가능하고 포용적인 성과로 나아갈 수 있

도록 조건을 마련할 때, 그 결과는 시민과 환경 모두를 위한 진정한 도시 지능 시스템으로 귀결된다.

그럼에도 불구하고 융합이 구체적으로 구현되는 방식은 도시마다 상이하다. 플젠에서는 공화국 광장의 재생이라는 특정한 도시적 과제를 해결하는 과정에서 융합이 나타났으며, 싱가포르의 경우에는 인구 밀도가 높고 국토가 제한된 도시국가라는 맥락 속에서 국가 차원의 디지털 인프라가 설계되었다. 일본의 PLATEAU는 국가적 차원에서 표준화된 3차원 도시 모델을 제공하면서도, 하치오지는 재개발 시각화, 기후시는 도로 재건 이해 증진, 히로시마는 교통 계획 참여 등 도시별 특수한 필요에 따라 각기 다르게 응용되었다. 이 모든 사례는 성공적인 융합이 특정 도시의 구체적 필요에 맞추어져야 한다는 점을 시사한다. 즉, 기술적 해법은 단순히 기술적 우수성을 입증하기 위해서가 아니라, 실제적인 도시 문제 해결을 위해 설계될 때 가장 효과적으로 작동한다.

앞으로의 방향

앞으로 도시는 기술을 도입하기에 앞서 무엇보다 먼저 자신들의 고유한 필요와 과제를 명확히 규정해야 한다. 플젠의 경험은 융합이 사전에 설계된 모델을 단순히 적용한 것이 아니라, 공화국 광장이라는 구체적인 장소의 재생이라는 과제를 해결하는 과정에서 자연스럽게 나타났음을 보여준다. 기술은 일반적인 디지털화 의제를 따르기 위한 수단이 아니라, 시민 참여를 통해 환경 계획을 지원하기 위한 구체적 도구로 활용되었다. 따라서 도시는 제도적 환경, 데이터 인프라, 시민 중심 활용이라는 조건을 지역적 맥락과 우선순위에 맞게 변형하여 적용해야 하며, 기술의 성숙도 자체를 목적으로 삼는 대신 구체적인 문제 해결을 위한 수단으로 활용해야 한다.

또한 데이터 인프라의 구축은 디지털 인프라를 공공 서비스로 인식하고 정치적·제도적 지원을 동반하는 강력한 거버넌스 아래 추진되어야 한다. 그러나 이러한 제도적 환경은 외부의 모델을 그대로 강요하기보다는 지역의 목표를 충족하는 방향으로 조성되어야 한다. 플젠의 URBREATH가 시민 참여를 통한 재생이라는 목표에서 출발했듯이, 싱가포르의 OneMap은 인구 밀도가 높은 도시국가의 특수한 요구를 충족시키기 위해 설계되었고, 일본의 PLATEAU는 국가적 표준을 마련하면서도 각 도시가 고유한 필요에 맞추어 응용할 수 있도록 하였다.

국가 정부는 상호운용성을 유지하는 동시에 지역적 혁신을 지원할 수 있는 정책적 틀을 마련해야 한다. 싱가포르의 스마트 네이션 전략과 일본의 디지털 정원 도시 국가 비전은 서로 다른 방식으로 접근하였지만, 모두 국가적 일관성을 보장하면서 지역 단위의 다양성과 창의성을 촉진한 성공적 사례로 평가된다. 따라서 데이터 거버넌스는 지역의 행정 역량과 제도적 틀에 맞게 설계되어야 하며, 동시에 혁신을 가능하게 하는 유연성을 확보해야 한다.

이와 같은 맥락에서 OECD는 디지털 트윈과 인공지능 융합이 도시 문제 해결에 지닌 변혁적 잠재력을 고려하여, 회원국의 모범 사례를 수집하고 분석하는 새로운 프로젝트를 출범시켰다. 이 프로젝트는 국가 및 지방정부가 디지털 트윈 도구를 활용하여 각자의 도시적 과제를 해결할 수 있도록 지원하는 것을 목표로 하며, 실질적인 정책 툴킷을 개발함으로써 지속가능하고 회복력 있으며 포용적인 도시 미래를 설계할 수 있도록 도울 것이다.

Ⅰ References Ⅰ

1. OECD/European Commission (2020), *Cities in the World: A New Perspective on Urbanisation*, OECD Publishing, <https://doi.org/10.1787/d0efcbda-en>.

2. World Bank Group (2023), *Cities Key to Solving Climate Crisis*, https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/05/18/cities-key-to-solving-climate-crisis?utm_source=chatgpt.com.
3. World Economic Forum (2025), <https://www.weforum.org/>, https://www.weforum.org/publications/nature-positive-financing-the-transition-in-cities/?utm_source=chatgpt.com.
4. OECD (2025), *Government at a Glance 2025*, OECD Publishing, <https://doi.org/10.1787/0efd0bcd-en>.
5. OECD/UCLG (2022), *2022 Synthesis Report World Observatory on Subnational Government Finance and Investment*, https://www.oecd.org/en/publications/2022-synthesis-report-world-observatory-on-subnational-government-finance-and-investment_b80a8cdb-en.html?utm_source=chatgpt.com.
6. OECD (n.d.), *Public finance and budgets*, https://www.oecd.org/en/topics/policy-issues/public-finance-and-budgets.html?utm_source=chatgpt.com#key-messages.
7. etymonline (2025), <https://www.etymonline.com/word/convergence>.
8. European Commission (n.d.), *Horizon Europe*, https://cinea.ec.europa.eu/programmes/horizon-europe_en#:~:text=Horizon%20Europe%20is%20the%20EU%27s%20key%20funding%20programme%20for%20research,the%20EU%27s%20competitiveness%20and%20growth. (accessed on 11 July 2025).
9. URBREATH (n.d.), , <https://urbreath.eu/> (accessed on 11 July 2025).
10. Správa informacnich technologii Plzen (n.d.), *Horizon Europe Project URBREATH*, https://www.sitmp.cz/en/projekty_detail/urbreath-horizon-europe/ (accessed on 11 July 2025).
11. URBREATH (n.d.), , <https://urbreath.virtualcitymap.de/stories/plzen/>

- (accessed on 11 July 2025).
12. Smart Nation (2025), , <https://www.smartnation.gov.sg/about/our-vision/smart-nation-vision> (accessed on 11 July 2025).
 13. OneMap (n.d.), , <https://www.onemap.gov.sg/> (accessed on 11 July 2025).
 14. Mogul (n.d.), , <https://www.mogul.sg/v2/home> (accessed on 11 July 2025).
 15. OECD Cogito (2024), , <https://oecdCogito.blog/2024/05/29/3d-digital-twin-for-public-inclusion-what-is-project-plateau/> (accessed on 11 July 2025).
 16. MLIT (n.d.), , https://www.mlit.go.jp/en/toshi/daisei/plateau_en_2.html (accessed on 11 July 2025).

Austin Digital Twin: From Data to Action

오스틴 디지털 트윈 : 데이터로 구현하는 스마트시티

전평 자오

Junfeng Jiao



전평 자오 교수는 텍사스 대학교 오스틴 캠퍼스 도시정보연구소장으로 미국의 폴브라이트 스마트시티 분야 장학생이며, 스탠퍼드와 엘스버어 데이터베이스 기준으로 교통 및 물류 분야에서 세계 상위 1%로 평가되는 연구자이다. 그의 핵심 연구분야는 스마트시티, 도시 정보학, 인공지능AI이다. 그는 ‘대중교통 사막transit desert’이라는 용어를 만들었으며, 세계 여러 도시에서 이를 측정했다. 다양한 머신러닝 기법을 활용하여, 미국 주요 도시의 공유 모빌리티 활동에서 나타나는 시공간 패턴을 분석하고 정량화했다. 그는 NSF의 ‘CIVIC 챌린지 커뮤니티 허브: 스마트 모빌리티Smart Hub’, NSF NRT의 ‘AI 융합형, 책임감 있고 윤리적인 로봇공학자 실전 훈련 경험Ethical AI’, 그리고 ‘스마트시티를 위한 A Good System(A Good System for Smart City)’과 같은 다수의 주요 스마트시티 프로젝트들을 성공적으로 이끌었다. 그의 연구는 NSF, USDOT, USHUD, UT, Microsoft, MITRE, Google 등으로부터 지원을 받았다. 이러한 프로젝트를 통해 120편 이상의 학술논문을 발표했다. 그의 연구 성과는 ABC, AP 통신, CNN, Fox, NBC, NPR, New York Times, SXSW, Wired 등 주요 언론 매체에 보도되었다.

Email: jjiao@austin.utexas.edu

● 초록 ●

전 세계 도시들이 도시화, 기후 변화, 자원 제약 등으로 인해 고조되는 압력에 직면하면서, 인공지능^{AI}은 도시 계획, 행정 및 관리 분야에서 근본적인 변화를 이끄는 동력으로 부상하고 있다. AI 기술은 교통, 에너지, 시민 참여와 같은 핵심 시스템 전반에 걸쳐 도시 데이터가 수집되고, 해석되며, 운영되는 방식을 새롭게 정립하고 있다. 본 논문은 AI 기반 스마트시티의 진화하는 비전을 심층적으로 탐구하며, AI가 도시 데이터를 활용하여 지속 가능성, 회복탄력성, 포용성 향상을 이끌어내는 실행 가능한 의사결정 과정을 면밀히 분석한다. 더 나아가, 미국 텍사스주 오스틴시의 오스틴 디지털 트윈 운영 사례를 중심으로, AI가 도시 핵심 시스템과 통합되는 다각적인 방식을 고찰한다. 궁극적으로, 디지털 트윈 기반 도시 관리는 세 가지 주요 이점을 제시한다. 첫째, 단편적으로 흩어져 있던 데이터를 통합해 도시 전반의 지능형 의사결정을 가능하게 하고, 둘째, 단순한 관찰을 넘어 예측 기능을 강화함으로써 AI가 의사결정의 핵심 역할을 수행하도록 하며, 셋째, 기존의 정적 시각화를 넘어 실시간 시뮬레이션이 가능한 환경으로 확장시킨다. 이러한 원칙들은 글로벌 스마트시티 이니셔티브를 추진하기 위한 중요한 개념적 기반을 제공한다.

키워드

AI, 오스틴, 디지털 트윈, 스마트시티

• ABSTRACT •

As cities worldwide face intensifying pressures from urbanization, climate change, and resource constraints, Artificial Intelligence (AI) has emerged as a transformative force in urban planning, governance, and management. AI technologies are fundamentally redefining how urban data is collected, interpreted, and operationalized across critical systems like transportation, energy, and civic engagement. This paper explores the evolving vision of AI-driven smart cities, emphasizing how AI transforms urban data into actionable decisions that enhance sustainability, resilience, and inclusivity. Drawing on the operational example of the Austin Digital Twin in the City of Austin, TX, USA, this paper examines the diverse ways AI integrates with core urban systems. In the end, it presents three key advantages for digital twin based urban managements: 1. From Fragmented Data to Integrated Urban Intelligence, 2. From Observation to Prediction: AI as the Decision Engine, and 3. From Visualization to Real-Time Simulation. These principles provide a conceptual foundation for advancing global smart city initiatives.

KEYWORDS

AI, Austin, Digital Twin, Smart City

서론

21세기에 접어들면서, 데이터는 도시의 가장 귀중한 자산으로 확고히 자리 잡았다. 현재 전 세계 도시 인구가 44억 명을 넘어섬에 따라, 도시는 각종 센서, 소셜 미디어, 네트워킹 기반 장치 등을 통해 전례 없는 양의 데이터를 생성하고 있다(United Nations, 2023). 이처럼 날로 증대되는 복잡성에 효과적으로 대응하기 위해, 정부와 연구자들은 지속 가능하고 회복력 있는 도시 관리를 위한 핵심 도구로서 인공지능AI에 주목한다. 스마트시티는 더 이상 정보 통신기술ICT 기반의 최적화된 환경에만 머무르지 않고, 도시 현상을 학습하고 스스로 적응하며 예측하는 AI 기반 생태계로 진화하고 있다(Kitchin, 2021). 이러한 변혁의 흐름 속에서, AI는 단순한 분석 엔진을 넘어 의사결정의 전략적 파트너로서 도시의 교통 혼잡, 오염, 주택 부족, 재난 위험과 같은 당면 과제들을 예측하고 선제적으로 대응하도록 지원한다. 본 논문은 AI가 데이터 중심 도시를 의사결정 지능형 도시로 어떻게 전환시키는지 탐구한다. 특히, 텍사스주 오스틴의 오스틴 디지털 트윈을 사례로 들어, 도시가 AI 기반 도시 디지털 트윈을 활용하여 방대한 데이터셋에서 실행 가능한 운영 통찰력을 도출하는 방식과 이 과정이 도시 거버넌스에 미치는 함의를 구체적으로 고찰하고자 한다.

AI 기반 도시 환경의 비전

AI 기반 도시의 비전은 정적인 디지털 인프라에서 벗어나, 동적이고 자율 학습하는 시스템으로의 근본적인 패러다임 전환을 제시한다. AI는 도시가 환경 변화를 인지하고, 실시간 정보를 처리하며, 적응적으로 대응하는 ‘생명체’와 같은 도시 시스템으로 기능하도록 한다. 현대 도시에서 각 센서, 건물, 그

리고 모빌리티 시스템은 총체적인 ‘도시 지능 시스템’을 형성하는 핵심 요소로 작용한다. 머신러닝과 엣지 컴퓨팅 기술은 교통 카메라, 대기 질 모니터, 소셜 네트워크, 유틸리티 미터 등 다양한 데이터 소스에서 수집된 정보를 지속적으로 분석하게 한다. 이러한 심층적인 통합을 통해 도시는 단순 반응에 그쳤던 과거의 모습에서 벗어나, 문제가 확대되기 전에 미리 예측하는 능동적인 의사결정자로 변모한다(Batty, 2021). 예를 들어, AI 기반 예측 시스템은 교통 혼잡을 사전에 감지하고 신호등 시간을 동적으로 조절할 수 있으며, 에너지 관리 알고리즘은 사용 패턴과 일기 예보를 기반으로 전력망을 효율적으로 최적화한다. 이러한 기능들은 단순한 자동화를 넘어 인간의 능력을 증강하는 방향으로 나아가고 있으며, AI가 도시 계획자들이 보다 신속하고 근거에 기반한 의사결정을 내릴 수 있도록 뒷받침한다.

스마트시티를 구현하는 AI 기술

스마트시티에서 AI는 모빌리티, 에너지, 공공 안전, 도시 계획 등 다양한 영역에 걸쳐 적용된다. 이러한 적용은 방대한 데이터셋을 도시 생활을 향상시키는 의사결정으로 전환한다는 공통 목표로 귀결된다. 이러한 변화를 뒷받침하는 핵심 기술적 토대를 제시한다.

도시 데이터 수집 및 통합

AI 기반 도시의 토대는 데이터 수집 및 통합에 있다. 사물 인터넷(IoT) 네트워크, 컴퓨터 비전 시스템, 그리고 원격 감지 기술을 통해 도시는 움직임, 환경, 행동에 대한 동적인 정보를 끊임없이 수집한다. 머신러닝 모델은 이렇게 이질적인 데이터 스트림들을 융합하여 인간 분석가들이 인지하기 어려운 상관관계를 식별한다. 디지털 트윈 기술은 물리적 도시 환경을 가상으로 재현

하여 이러한 능력을 확장시킨다. 예를 들어, 서울의 디지털 트윈 시티는 AI 기반 시뮬레이션을 활용하여 홍수 위험을 예측하고, 토지 이용을 최적화하며, 비상 대응 계획을 수립한다(Seoul Metropolitan Government, 2023). 이와 유사하게 싱가포르의 버추얼 싱가포르는 다중 소스 데이터를 3D 모델로 통합하여 계획 수립, 에너지 모델링, 환경 관리를 지원한다(National Research Foundation, 2022). 이러한 플랫폼들은 AI가 감지된 정보를 상황 인지로 전환시켜, 예측 가능한 거버넌스와 회복력 있는 도시 설계를 가능하게 하는 방식을 명확히 보여준다. 다음 절에서는 오스틴 디지털 트윈을 소개하고, AI 기반 디지털 트윈의 스마트시티 관리 활용 방안을 제안한다.

의사결정 고도화 및 최적화

AI의 분석 역량은 도시 관리 시스템의 핵심 기능으로 확고히 자리매김하고 있다. 나아가 AI는 전 세계적으로 에너지 관리의 효율성을 크게 향상시킨다. 머신러닝 모델은 에너지 수요를 예측하고, 분산형 재생 에너지 자원을 효과적으로 관리하며, 전력망의 신뢰도를 제고한다. 자연어 처리(NLP) 기술은 챗봇 및 디지털 비서 기능을 통해 주민과 지방 정부 간의 소통을 증진한다. 텍사스 오스틴에서는 시 정부와 텍사스 대학교 오스틴 캠퍼스(UT Austin)의 협력을 바탕으로 개발된 AI 알고리즘이 모빌리티 데이터를 분석하여 대중교통 운영을 최적화하고, 보행자 안전을 개선하며, 비상 대응을 지원하는 생성형 AI 기반 챗봇 구축에도 활용되고 있다. 예측 분석은 서비스 소외 지역을 식별하고, 모빌리티 서비스 접근성 불균형을 해소하기 위한 개입 방안을 설계하는 데 중요한 역할을 한다. 이어지는 내용에서는 오스틴 디지털 트윈을 통해 AI와 데이터가 도시 모니터링 및 의사결정 수준을 고도화하는 데 어떻게 기여하는지 구체적인 사례를 들어 설명할 것이다.

오스틴 디지털 트윈: 협력 모델

UT 연구진은 오스틴시, 텍사스 대학교 오스틴 캠퍼스UT Austin 및 산업계와의 긴밀한 파트너십을 기반으로, 방대한 센서 및 GPS 데이터를 AI로 분석하여 교통 관리, 비상 대응, 보행자 안전 분야에서 현저한 개선을 이루었다. 특히, 도시 정보 연구소UIL 연구진은 스마트시티 개발 및 관리를 위한 AI 기반 의사결정 도구로서 오스틴 디지털 트윈ADT을 개발하였다. ADT 플랫폼은 상호 연동 가능한 다수의 디지털 트윈으로 구성되며, 이들은 사물 인터넷IoT 기기, 정보통신기술ICT, 그리고 AI라는 세 가지 핵심 기술 기반 위에 구축되었다. ADT의 주요 디지털 트윈으로는 화재, 범죄, 소음, 모빌리티, 사회 활동, 그리고 3D 시뮬레이션 등이 있다. 각 디지털 트윈은 고유한 목적을 지니며, 정책 입안자들이 도시를 더욱 효과적으로 모니터링하고 관리할 수 있도록 지원한다. 일례로, 모빌리티 디지털 트윈은 정책 입안자들이 도심의 실시간 교통 상황을 모니터링하고, 교통 접근성이 취약한 지역을 식별할 수 있도록

Figure 1
오스틴 디지털 트윈
인터페이스



록 한다. ADT의 구현 방식을 상세히 설명하기 위해, 본 절의 후반부에서는 화재 디지털 트윈을 구체적인 사례로 살펴보고자 한다.

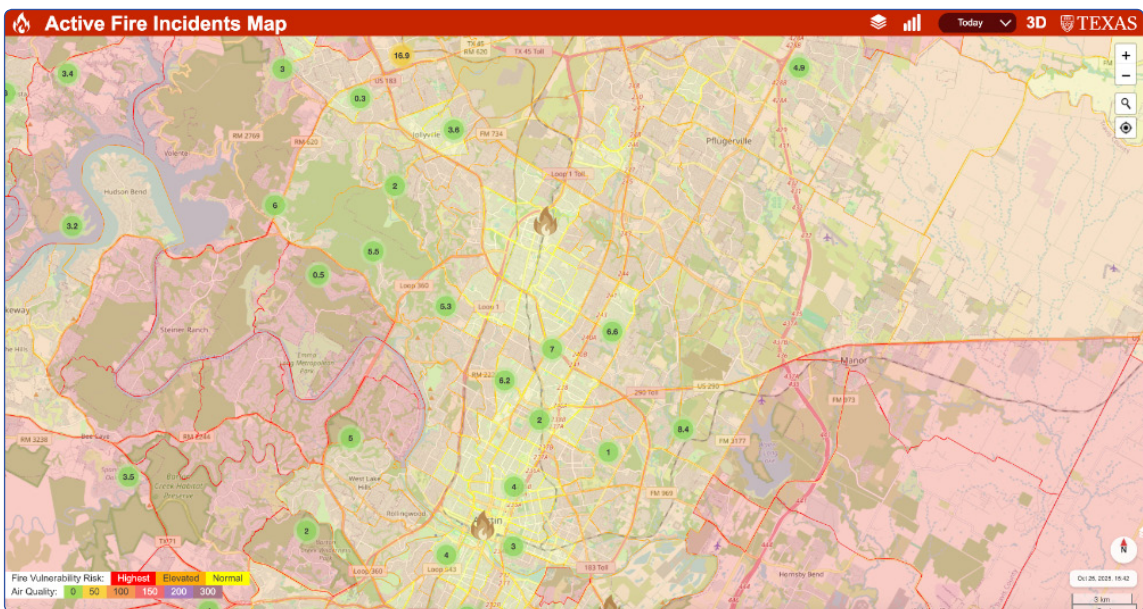
화재 관리 디지털 트윈

화재 관리 디지털 트윈은 텍사스대학교 오스틴 캠퍼스의 도시 정보 연구소 UIL와 오스틴 소방국 AFD의 협력을 통해 개발되었다. 이 시스템의 주요 목표는 도시 전역의 화재 발생 상황을 추적하고, 유동 역학 및 제반 요인을 기반으로 1, 2, 3시간 간격으로 연기의 공간적·시간적 확산을 시뮬레이션하는 기능을 갖춘 최초의 도시 규모 디지털 트윈 사례 중 하나로 주목받는다. 모델의 보정 및 검증을 위해 화재 발생 위치, 유형, 심각도 등을 포함하는 과거 화재 사고 데이터는 오스틴 소방국으로부터 제공되었다.

연기 위험 및 관련 대기 오염의 실시간 모니터링을 위해 UIL 연구진은 도시 전역에 20개 이상의 PurpleAir 센서를 설치하였다. 각 센서는 PM_{2.5} 및 기

Figure 2

오스틴 화재 관리
디지털 트윈 인터페이스:
화재 정보, 대기 질,
화재 취약성 위험 시각화



타 대기 오염 물질의 실시간 농도를 기록하는 사물 인터넷IoT 장치이다. 이러한 실시간 측정값은 오스틴 디지털 트윈 플랫폼으로 지속적으로 전송되어, 사용자가 화재 발생 시점은 물론 평상시에도 지역별 대기 질 상태를 시각적으로 파악하고 평가할 수 있도록 지원한다(PurpleAir, n.d.).

그림 2는 2차원 인터페이스로 구현된 오스틴 화재 관리 디지털 트윈을 제시한다. 녹색 원형 아이콘은 현재 활성화된 PurpleAir 모니터를 나타내며, 각 원 내 표기된 수치는 표준화된 지역 대기 질 지수를 의미한다. 대기 질이 좋지 않은 지역은 오염 물질 농도에 비례하여 노란색, 빨간색 또는 보라색으로 표시된다. 이 지도는 UIL이 설치한 센서와 오스틴 전역에 분산된 기존 PurpleAir 커뮤니티 모니터 데이터를 통합하여, 도시 전역의 대기 질 현황에 대한 포괄적인 공간 정보를 제공한다. 그림에서 확인 가능하듯이, 오스틴의 대부분 지역은 현재 양호한 대기 질(녹색 원)을 유지하고 있다. 지도에는 오스틴 소방국AFD이 전송하는 실시간 화재 정보 알림이 표시된다. 이러한 알림은 확인된 실제 화재일 수도 있고, 예비 정보일 수도 있다. 이 모델은 화재 취약성을 시각화하기 위해 도시 지역을 고위험(High), 보통 위험(Elevated), 정상(Normal)의 세 가지 위험 수준으로 분류하며, 이는 각각 빨간색, 주황색, 노란색 다각형으로 표현된다. 그림 2에 따르면, 오스틴의 서부 및 남동부 지역은 높은 취약성을 보이는 반면(빨간색 다각형), 중심 지역은 중간 또는 일반 위험(노란색)을 나타낸다. 이러한 시각화는 화재 관리자 및 정책 입안자들이 실시간 화재 역학을 모니터링하고 비상 대응 전략의 우선순위를 효과적으로 설정하는 데 기여한다(Seong, Jiao, et al., 2025).

시각화 및 공간 시뮬레이션 지원을 강화하고자 연구팀은 오스틴의 건축 환경을 단순화한 3차원3D 모델을 개발했다. 건물들은 OpenStreetMap 데이터로부터 추출된 높이와 면적 정보를 기반으로, 간략화된 입체 상자 형태로 모델링되었다(Lewis, Jiao, et al., 2024). 이 모델은 화재 발생 감지 시, 1시간, 2시간, 3시간 간격으로 잠재적인 화재 행동, 특히 연기 확산 양상을 시뮬레이

현할 수 있도록 설계되었다. 이러한 단순화된 3D 표현(그림 3)은 초기 화재 위험 분석 및 동적 모델링을 위한 실제적인 테스트 환경을 제공한다. 이는 2D 화재 위험 매핑 인터페이스(그림 2)와 이후 그림 4에서 제시될 사실적인 3D 환경 시각화의 중간 단계에 해당한다. 도시 구조물 내에서 연기 궤적을 시각화함으로써, 이 모델은 건물 밀도, 바람 방향 또는 지형과 같은 요인들이 연기 확산을 증대시키고 주변 지역의 대기 질을 저하시킬 수 있는 주요 구역을 식별하는 데 기여한다

현실적인 공간적 특성을 구현함으로써, 고도화된 3D 환경은 복잡한 도시 형태 내에서 연기 확산 및 바람 상호작용을 포함한 화재 역학을 고정밀로 시뮬레이션할 수 있도록 한다. 실감 나는 기하학적 형태와 질감 표현을 통합함으로써, 단순화된 3D 모델과 비교하여 시뮬레이션 결과의 정밀도를 크게 높일 수 있다. 이는 기획자 및 현장 대응 인력이 특정 지역 내에서 발생할 수 있는 화재 확산 패턴과 대기 질 영향을 효과적으로 시각화할 수 있도록 지원한다. 따라서 이러한 현실적인 3D 프레임워크는 도시 소방 및 관리 분야에서

Figure 3

**단순 3D 환경에서 구현된
오스틴 화재 관리 디지털 트윈**



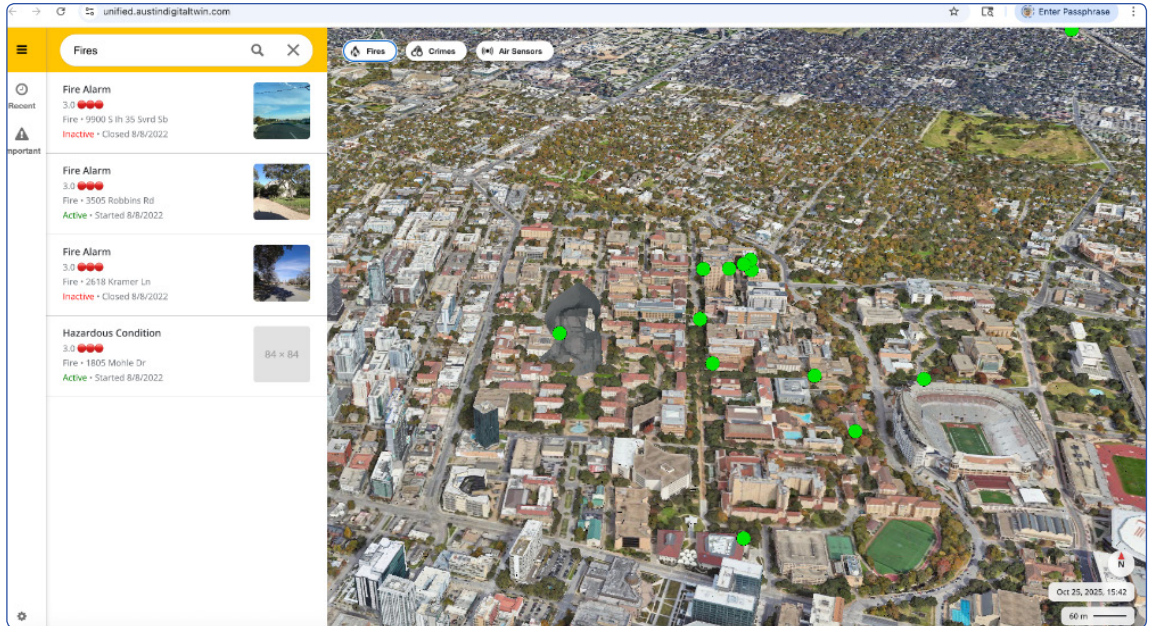


Figure 4

사실적인 3D 환경으로 구현된 오스틴 디지털 트윈

시나리오 테스트와 운영 의사결정 지원을 위한 강력한 플랫폼으로서의 역할을 수행한다(Seong, Jiao, et al., 2025).

그 외 구성 디지털 트윈

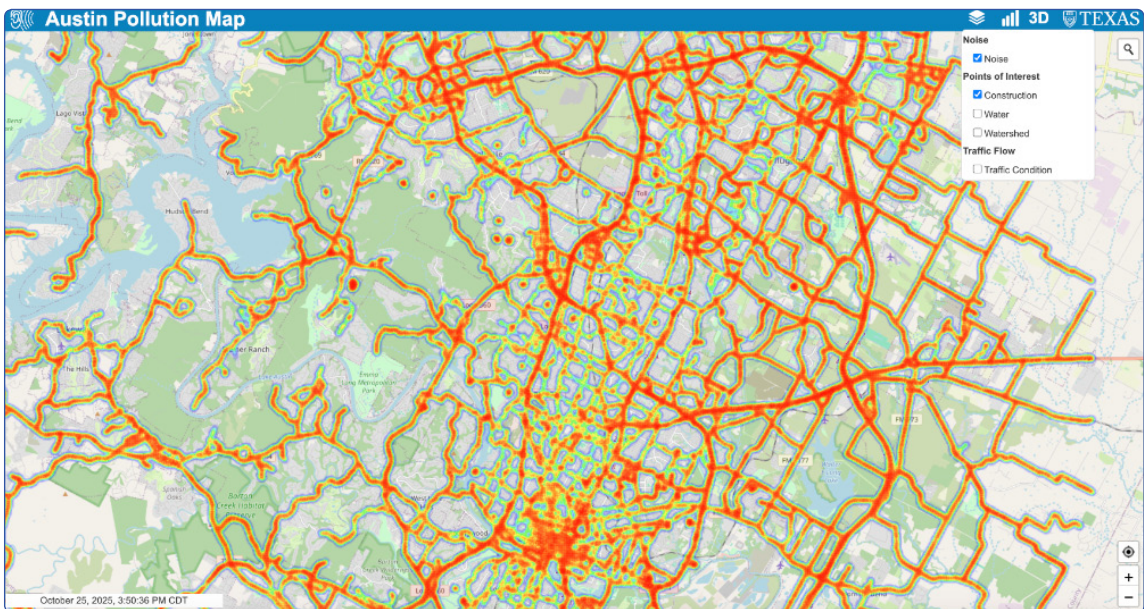
연구진은 오스틴 화재 관리 디지털 트윈의 기반 프레임워크를 토대로, 도시의 다차원적 동태를 파악하기 위한 여러 추가 주제별 구성요소들을 개발했다. 이에는 소음 공해, 도시 모빌리티, 사회 활동, 그리고 범죄 구성 디지털 트윈이 포함된다(그림 5~8). 이러한 구성 디지털 트윈들에도 AI(딥러닝 및 머신러닝) 기법이 폭넓게 적용되었다. 지면의 한계로 인해 각 구성 디지털 트윈에 활용된 상세한 AI 기법은 다루지 않으나, 각각의 구성 디지털 트윈은 공공 및 자체 수집 데이터를 통합하여 도시 생활의 여러 영역을 시뮬레이션하고, 시각화하며, 분석한다. 이러한 구성 디지털 트윈들은 전체 오스틴 디지털 트윈 플랫폼 내에서 상호 운용된다.

소음 공해 구성 디지털 트윈은 교통망, 건설 허가, 환경 센서 등의 데이터를 통합하여 시공간적 소음 강도 패턴을 분석한다. 도시 모빌리티 구성 디지털 트윈은 다양한 교통 흐름, 대중교통 접근성 및 혼잡도 추세를 모델링하며, 교통 계획과 실시간 운영을 지원한다. 사회 활동 구성 디지털 트윈은 공개 소셜 미디어 및 이벤트 정보를 활용하여 도시 전반의 시민 참여도, 군중 밀도, 정서 패턴 등 사회 활동의 양상을 공간적으로 분석하여 시각화한다. 마지막으로 범죄 구성 디지털 트윈은 사건 보고서와 공간 분석을 결합하여 안전 취약 지역과 범죄 활동의 시공간적 패턴을 파악한다. 이처럼 상호 연결된 구성 디지털 트윈들은 오스틴시의 물리적, 사회적, 행동적 시스템을 종합적으로 표현하며, 다차원적 통찰과 정교한 데이터 기반의 의사결정을 가능하게 한다.

소음 공해 구성 디지털 트윈은 교통 및 건설 관련 소음을 모두 포괄한다. 교통 소음은 오스틴시 도로망의 실시간 교통 상황을 기반으로 모델링되며, 건설 소음은 오스틴시로부터 확보한 건축 허가 데이터를 활용하여 추정되는데, 이는 진행 중인 건설 활동의 대리 지표로 활용된다. 각 데이터 소스는 선행 경험 연구에서 얻은 매개변수를 적용하여 추정 음압 수준(데시벨, dB)으로

Figure 5

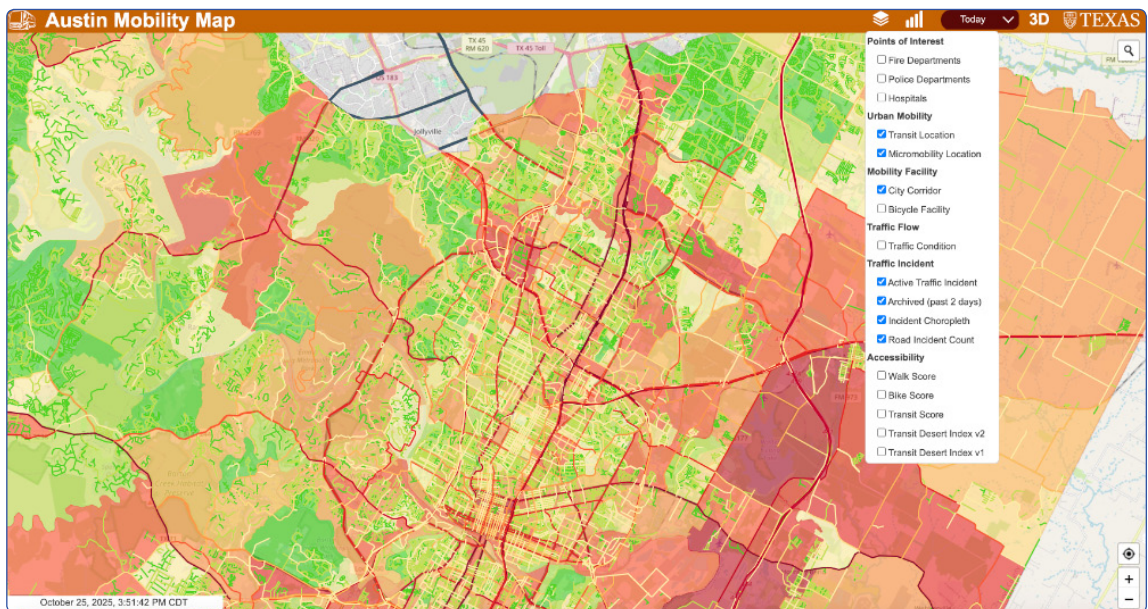
오스틴 디지털 트윈: 소음 공해



전환된다. 종합된 결과는 도시 전반의 총 소음 노출 정도를 공간적으로 연속적인 형태로 보여준다. 그림 5에서 보듯이, 고소음 지역(빨간색으로 표시)은 주로 도심과 I-35 및 SH-130과 같은 주요 교통망을 따라 집중되어 있다. 이러한 결과는 교통 인프라와 음향 강도가 공간적으로 연관되어 있음을 보여주며, 도시 소음 저감 전략 및 토지 이용 계획 수립에 중요한 기초 자료로 활용될 수 있다.

도시 모빌리티 구성 디지털 트윈은 실시간 교통 흐름, 사고 기록 데이터, 대중교통 경로, 개인형 이동 수단micromobility 배치 지점, 그리고 도보 점수Walk Score, 자전거 점수Bike Score, 대중교통 점수Transit Score와 같은 접근성 지표를 포함하는 다양한 실시간 및 과거 교통 데이터를 통합하여 분석한다. 또한 이 구성 디지털 트윈은 ‘교통 사각지대 지수Transit Desert Index’를 포함하여 대중교통 서비스 취약 지역을 확인한다. 이 플랫폼은 통합된 데이터 세트를 기반으로 오스틴 전역의 이동성 성과의 공간적 변동 양상을 시각적으로 나타낸다. 그림 6에서 보듯이, 오스틴 남동부와 주요 간선도로 같은 일부 구

Figure 6
오스틴 디지털 트윈:
도시 모빌리티



역에서는 이동성 성과가 낮은 수준을 보이는 반면(빨간색), 북동부 및 서부 지역에서는 접근성과 교통 유동성이 상대적으로 더 높은 수준을 보인다. 오스틴시는 이 구성 디지털 트윈이 제공하는 분석 정보를 토대로 실시간으로 교통 상황을 모니터링하고 교통 접근성이 부족한 지역을 파악할 수 있다.

사회 활동 모니터링 구성 디지털 트윈(그림 7)은 도시 전역의 사회적 활동 패턴을 실시간으로 파악한다. 이 구성 디지털 트윈은 X(구 트위터) 및 옐프Yelp와 같은 플랫폼의 실시간 데이터 스트림을 취합하며, 각 게시물은 해당 위치에 지리 좌표 geocoding가 부여된다. 게시물 밀도를 기반으로 시스템은 활동 집중도 지도heat map를 생성한다. 여기서 고밀도 영역(빨간색)은 활발한 사회적 집단을 나타내고, 저밀도 영역(파란색)은 온라인 참여가 저조함을 의미한다. 이 모델은 공간 분석 외에도 텍스트 분석을 통해 다음 세 가지 의미 지표, 즉 (1) 사건 발생 가능성(Event Likelihood), (2) 감성 방향(Polarity, 긍정 또는 부정적 정서), (3) 주관성(Subjectivity, 객관-주관적 어조)을 추가로 추출한다. 사용자는 이러한 정보 항목을 개별적으로 선택 또는 해제하여 도시의 변화하는 사회 역학 및 대중의 정서 패턴을 탐색할 수 있다.

연구진은 유사한 방법론적 접근 방식을 토대로 오스틴시의 범죄 모니터링 구성 디지털 트윈을 개발했다(그림 8). 이 구성 디지털 트윈은 오스틴 경찰국APD이 제공하는 데이터를 기반으로 신고된 범죄의 시공간적 패턴을 시각적으로 제시하며, 해당 데이터는 수일 간격으로 갱신된다. 가독성과 공간적 일관성 유지를 위해 개별 범죄 사건은 가장 인접한 지리적 단위(예: 인구 조사 구역 또는 지역 경계)로 집계되었다. 지도에 표시된 각 원형은 집계된 범죄 클러스터를 나타내며, 그 내부의 수치는 해당 지역의 총 사건 수를 의미한다. 사용자는 특정 지역을 확대하여 상세 지역별 범죄 분포를 탐색할 수 있다. 이 플랫폼은 상호작용 기능도 제공하는데, 파란색 데이터 표식data bubble을 클릭하면 범죄 유형, 날짜, 위치 등 각 사건의 상세 메타데이터를 확인할 수 있다. 이러한 기능은 도시 전역의 시공간적 추세와 잠재적 안전 취약 지점을 파

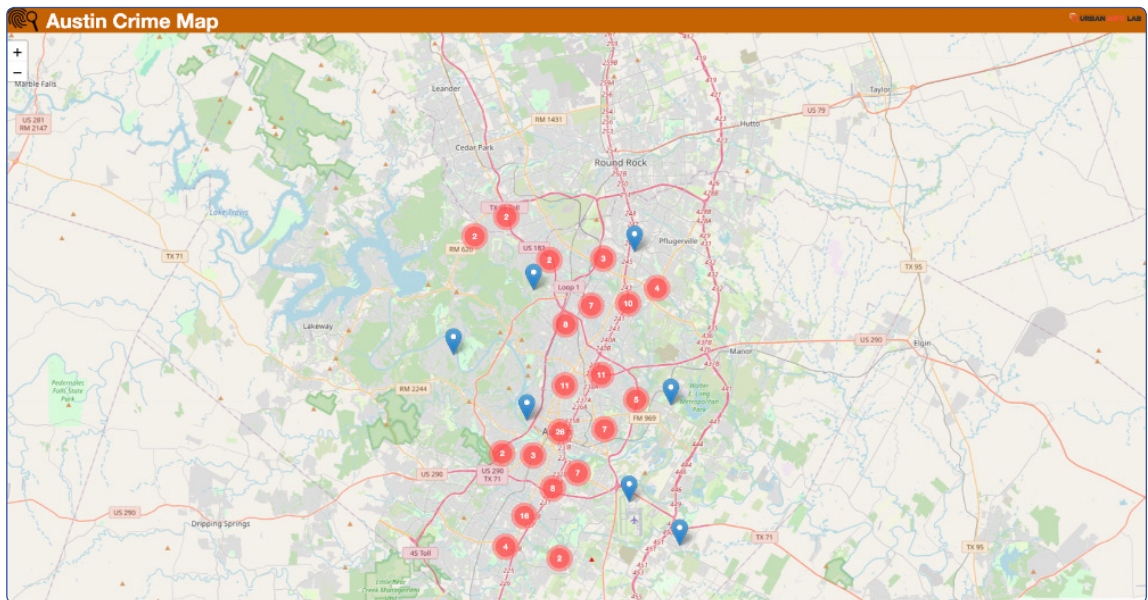
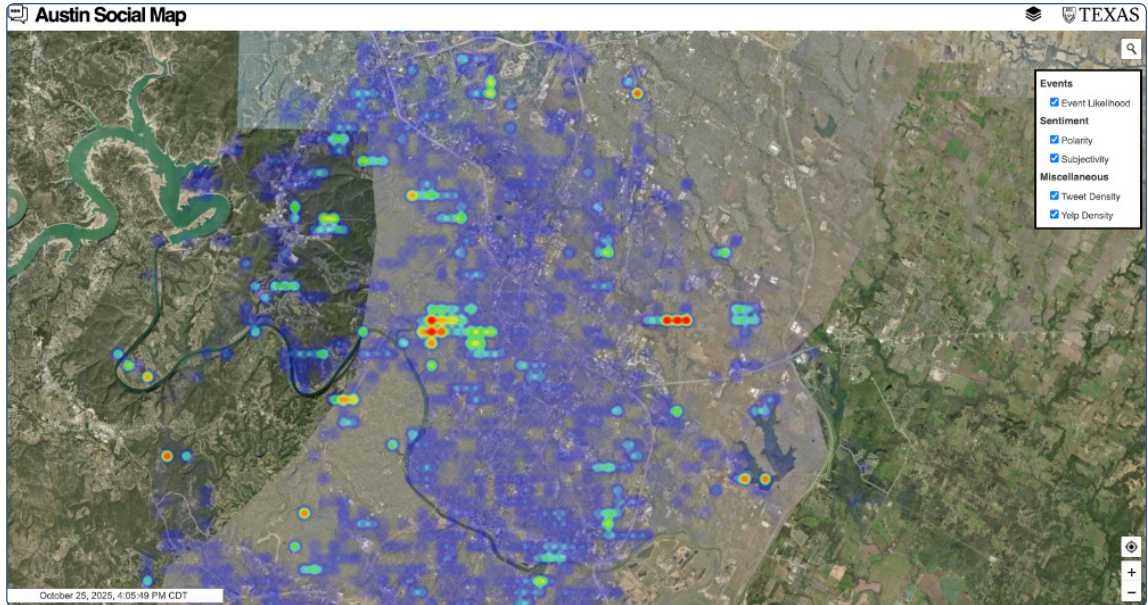


Figure 7

오스틴 디지털 트윈: 사회 활동

Figure 8

오스틴 디지털 트윈: 범죄

악할 수 있도록 지원함으로써, 공공 기관과 시민 모두의 상황 인식 능력 향상에 중요한 역할을 한다. 이 구성 디지털 트윈은 공공 안전 데이터를 광범위한 도시 정보 생태계에 통합하여 사전 예방적 모니터링 및 데이터 기반의 커뮤니케이션을 가능하게 한다.

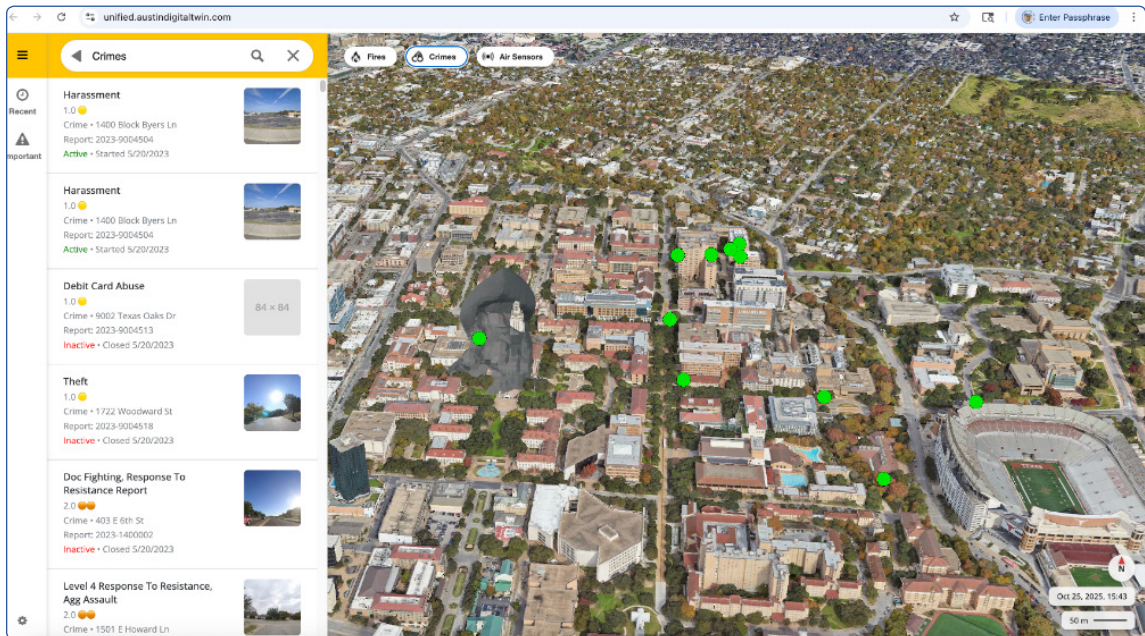
니터 계획을 가능하게 한다.

3D 오스틴 디지털 트윈

2차원^{2D} 디지털 트윈 계층은 특정 도시 현상에 대한 귀중한 통찰을 제공하지만, 도시의 공간적 복잡성에 대해서는 제한된 수준의 정보를 제공할 뿐이다. 이에 연구진은 보다 포괄적이고 몰입적인 이해를 위해, 화재 구성 디지털 트윈에 적용되었던 동일 아키텍처를 활용하여 플랫폼을 확장하였다. 그 결과, 모든 데이터는 사실적인 3차원^{3D} 환경 내에서 통합되어 시각화되었다(그림 9). 이 통합 3D 모델을 이용하면, 사용자는 화재, 범죄, 소음 및 이동 패턴에 대한 실시간 데이터를 포함하는 다차원적인 도시 정보를 동시에 모니터링하고 분석할 수 있다. 그림 9는 이러한 데이터 세트들이 도시 전반에 걸쳐 시공간적으로 어떻게 배치되는지 보여주며, 이를 통해 다양한 도시 시스템 간의 상호작용과 상관관계까지 명확히 드러낸다. 고도화된 시각화는 상황 인식 능력을 크게 향상시켰을 뿐만 아니라, 의사 결정권자들이 새로운 추세를 파

Figure 9

오스틴 디지털 트윈:
범죄 모니터링



악하고 기관 간 대응을 조율하며, 통합 디지털 생태계를 통해 도시 운영을 최적화하도록 지원한다

요약

오스틴 디지털 트윈은 인공지능^{AI}이 데이터를 도시 관리를 위한 실시간의 실질적인 의사결정으로 전환하는 방식을 명확히 보여준다. 텍사스대학교 오스틴 캠퍼스 도시정보연구소와 오스틴시가 공동 개발한 이 디지털 트윈은, 도시의 역동적으로 학습하는 디지털 복제본이자 통합 의사결정 지원 시스템이다. 이는 공간 데이터, IoT 센서 정보, 그리고 AI 분석 결과를 모두 통합하여 구축되었다. 이 시스템은 데이터 수집과 정책 실행 사이의 기존 격차를 해소하고, 도시가 데이터 기반의 의사결정을 수행하도록 지원하는 것을 목표로 한다. 본문에서는 오스틴 디지털 트윈의 세 가지 주요 시사점을 제시한다.

단편화된 데이터에서 통합된 도시 지능으로

도시에서는 교통 센서, 대기질 모니터링, 비상 대응 기록, 모빌리티 앱 등을 통해 방대한 양의 데이터가 생성된다. 그러나 이러한 데이터 세트는 대개 개별 부서에서 분리되어 관리되는 경향을 보인다. 오스틴 디지털 트윈은 상호 운용 가능한 단일 데이터 환경을 구축함으로써 이러한 데이터 단절^{data silo} 문제를 해소한다. AI 알고리즘은 다양한 출처의 데이터 흐름을 수집하고 통합하여, 원 데이터를 3차원 시각화, 조회 및 모델링이 가능한 명확하고 유용한 정보 계층으로 변환한다. 이러한 데이터 통합을 통해 시 관리자들과 과거에는 인지하기 어려웠던 데이터 간의 관계를 파악할 수 있다. 예를 들어, 교통 체증 패턴이 구급차 출동 시간에 미치는 영향, 공사 우회로가 모빌리티 네트워크에 미치는 영향, 그리고 열섬 현상이 취약 계층 거주지와 어떻게 겹치는지 등을 밝혀낼 수 있다. 그 결과, 스스로 지속적으로 학습하는 데이터 생태

계가 구축되어 예측 및 적응형 행정 관리의 기반을 제공한다.

관찰에서 예측으로: AI, 의사결정의 핵심 동력

AI는 디지털 트윈을 정적인 시각화 도구 차원을 넘어, 의사결정 과정을 능동적으로 주도하는 핵심 동력으로 변모시킨다. 머신러닝과 딥러닝 모델은 교통, 날씨, 대기질, 공공 안전 등 도시 시스템 전반에 걸쳐 나타나는 시간적 패턴을 분석하여, 문제가 발생하기 전에 이를 예측한다. 예측 분석Predictive Analytics: 인공 신경망 모델은 실시간 센서 입력을 기반으로 단기 교통 체증, 비상 상황 또는 대기질 저하를 예측한다. 강화 학습Reinforcement Learning: 적응형 알고리즘은 다양한 조건에서 교통 신호 시간 조정이나 대피 경로와 같은 제어 전략을 시뮬레이션하며, 이를 최적화한다. 시나리오 모델링Scenario Modeling: 생성형 모델은 새로운 대중교통 노선, 홍수 발생, 구역 변경 등 대안적인 '가상' 시나리오를 테스트하여, 직접적 영향과 연쇄적 영향을 모두 평가한다.

오스틴시는 이러한 기능들을 디지털 트윈에 통합함으로써, 사후 대응하는 방식에서 벗어나, 위기 심화 전에 데이터 기반 예측을 통해 자원 배분 및 정책 계획을 수립하는 선제적 행정 관리 체계로 전환하고 있다.

시각화에서 실시간 시뮬레이션으로

오스틴 디지털 트윈은 실시간 3차원3D 의사결정 시스템으로서 운영된다. 사물 인터넷IoT 센서, 위성, 그리고 공공 인프라에서 수집된 데이터는 플랫폼으로 지속적으로 스트리밍되어, 도시의 디지털 모형을 수 초마다 실시간으로 갱신한다. 도시 관계자들은 도시의 현재 상태뿐만 아니라, 다양한 개입 방안 적용 시의 미래 상황까지 시각화할 수 있다. 예를 들어, 화재 발생 시 디지털 트윈 플랫폼은 풍향과 도시 지형을 기반으로 연기 확산 패턴을 모델링하여 응급 구조대원이 고위험 구역을 식별하도록 지원한다. 교통사고 발생 시, 시스템은 네트워크 전반에 미치는 파급 효과를 시뮬레이션하고 응급 차량 및

공공 서비스 차량에 대체 경로를 제시한다. 폭염이 예측되면 디지털 트윈은 에너지 수요 및 냉방 인프라에 미칠 예상되는 스트레스 지점을 시각화할 수 있다. 이러한 실시간 시뮬레이션은 도시의 운영 모델을 단순히 현상을 기술하는 설명적 모델에서 벗어나, 실행 가능한 해법을 제시하는 처방적 모델로 전환한다. 이는 현재 상황을 파악하는 것과 이를 바탕으로 다음 행동을 결정하는 것 사이의 간극을 효과적으로 메우는 역할을 한다.

결론

데이터 기반 의사결정으로의 전환에서 핵심은 정보가 도시 활동에 직접적으로 작용하는 방식에 있다. 오스틴에서는 디지털 트윈 분석을 교통, 소방, 기획 등 각 부서의 일상 업무 과정에 통합하는 것이 가능하다. 교통 체증, 환경 위험, 시스템 장애와 같은 이상 징후가 감지될 경우, AI는 학습된 대응 패턴에 기반하여 최적의 의사결정 권고안을 자동으로 도출한다. 담당 관계자들은 디지털 트윈을 활용해 다양한 전략을 평가하고, 이를 바탕으로 실제 상황에 대한 최적의 대응 방안을 선정한다. 데이터 수집, 예측, 의사결정, 실행, 그리고 새로운 데이터로 연결되는 이러한 폐쇄형 피드백 순환 구조loop는 시간이 흐르면서 모델과 정책의 지속적인 개선을 가능하게 한다. 실제로 오스틴 디지털 트윈은 단순히 도시의 현재 상황을 기술하는 것을 넘어, 모든 의사결정 과정에서 지속적으로 학습하며, 이를 통해 다음 결정이 더욱 개선된 방향으로 나아가도록 이끈다.

이는 정적인 데이터 관리를 넘어 동적인 AI 기반 의사결정 체계로의 완벽한 전환을 분명히 보여준다. 실시간 데이터 통합, 예측 모델링, 그리고 몰입형 시뮬레이션을 결합함으로써, 오스틴시는 물리적 인프라와 더불어 자율적으로 추론하고 학습하며 적응할 수 있는 디지털 인프라를 성공적으로 구축했다. 이러한 변화는 AI가 데이터를 미래 예측으로, 예측을 전략으로, 전략을

행동으로 이어지게 하는 스마트시티 진화의 새로운 단계를 상징한다. 향후 도시 거버넌스 측면에서 볼 때, 오스틴 모델은 AI와 도시 데이터의 진정한 힘이 단순한 데이터 수집에 있는 것이 아니라, 과거 어느 때보다 빠르고 스마트하며 협력적인 의사결정 과정에 있음을 보여준다.

| References |

1. Batty, M. (2021). 도시에 대한 새로운 과학(The new science of cities). MIT Press.
2. Kitchin, R. (2021). 데이터 라이브: 데이터가 세계를 형성하는 방법(Data lives: How data are made and shape our world). Policy Press.
3. National Research Foundation. (2022). 버추얼 싱가포르: 역동적인 3D 도시 모델(Virtual Singapore: A dynamic three-dimensional city model). <https://www.nrf.gov.sg>
4. 서울특별시. (2023). 디지털 트윈 서울 프로젝트 개요. <https://www.seoul.go.kr>
5. 유엔 보고서(2023). 세계 도시화 전망(World urbanization prospects: 2023 개정판). United Nations Department of Economic and Social Affairs.
6. Lewis, R., Jiao, J., Seong, K., Farahi, A., Navrátil, P., Casebeer, N. and Niyogi, D., (2024). 화재 및 연기 디지털 트윈 - 화재 사고 결과 모델링을 위한 계산 프레임워크. 컴퓨터, 환경 및 도시 시스템(Fire and smoke digital twin - A computational framework for modeling fire incident outcomes. Computers, Environment and Urban Systems), 110, p.102093.
7. Seong, K., Jiao, J., Lewis, R.H. et al. (2025). 스마트하고 회복력 있는 도시를 위한 디지털 트윈에 대하여: 지역 사회 인식을 위한 실시간 화재 및 연기 추적 및 예측 플랫폼(Towards a digital twin for smart resilient cities:

real-time fire and smoke tracking and prediction platform for community awareness) (FireCom), *Comput.Urban Sci.* 5, 49.

Artificial Intelligence and the Soft Infrastructure of the Smart City

인공지능과 스마트시티의 소프트 인프라

데이비드 굿

David Good



데이비드 굿 박사는 심리학의 개념과 연구 방법을 사회 · 교육 · 기술 분야의 문제에 적용하는 주제를 오랫동안 연구해왔다. 그는 서식스대학교University of Sussex 학부 시절부터 인공지능에 관심을 가졌고, 이후 다양한 AI 설계 프로젝트에 참여해 왔다. 케임브리지대학교 킹스 칼리지에서 사회과학, 생명과학, 공학 분야 연구팀과 함께 활동했고, 8년간 케임브리지-MIT 연구소의 공동 책임자를 역임했다. MIT 건축학과 연구자들과 협력해 '신세기 도시계획New Century Cities Initiative'을 포함한 여러 프로젝트를 수행했으며, 현재는 런던 왕립예술대학Royal College of Art의 명예 펠로우로 활동 중이다.

E-mail: dg25@cam.ac.uk

● 초록 ●

인공지능은 스마트시티 개발에 막대한 잠재력을 지닌 기술이다. AI는 스마트시티를 설계하고 구축하는 건축가와 도시계획가에게 유용할 뿐 아니라, 그 도시 주민들의 일상에도 다양한 방식으로 도움을 제공한다. 이러한 변화는 이미 여러 영역에서 드러나고 있다. 그러나 AI가 늘 바람직하게만 활용되는 것은 아니므로, 그 이익 못지않게 잠재적 위험도 함께 고려해야 한다. 생명과학 분야에서는 오래전부터 이러한 문제에 관심을 가졌고, 만약 악용될 경우 공공의 이익에 해를 끼칠 수 있는 지식, 정보, 제품, 기술에 대한 ‘이중 용도 연구’¹*Dual Use Research of Concern, DURC*를 관리하기 위한 제도적 관행을 마련해왔다. 지능을 활용하는 기술에서도 이와 마찬가지로, 의도와 무관하게 해로운 결과를 초래할 수 있는 장치나 환경을 만들지 않도록 경계해야 한다. 심리학적 관점에서 보면, 지능이 유익하게 작동하기 위해서는 그 지능이 어떤 목적을 향하도록 설정되었는가—그리고 그 목적을 누가 규정하느냐—가 핵심적인 문제이다. 이는 곧 미래의 스마트시티를 설계하고 구현할 때, AI를 관리·감독할 행정적·제도적 장치를 신중하게 마련해야 한다는 결론으로 이어진다.

키워드

심리학, 정치, DURC, 경제, 제도



• ABSTRACT •

Artificial Intelligence has tremendous potential for the development of Smart Cities. This would be for architects and city planners in their design and creation, and for their inhabitants in the conduct of daily life. This can be seen in many ways already. The wise use of AI is not guaranteed, and its potential for harm as well as benefit needs to be recognised. Researchers in the life sciences addressed this issue many years ago, and have in place practices which address what is known there as Dual Use Research of Concern (DURCH). In the case of intelligence, we need to be alert in the same way lest we create devices and environments which have malign outcomes be they intended or not. From the psychological analyses of intelligence, it is clear that ensuring beneficial use depends upon addressing questions of who specifies the ends to which that intelligence is directed. This leads to the conclusion that in designing the AI designed and enabled smart city we must pay very careful to governance arrangements.

KEYWORDS

Psychology, Politics, DURCH, Economics, Institutions

인공지능AI은 미래 도시를 구축하고 그 안에서 이루어지는 삶의 방식 전반을 지원할 수 있는 막대한 잠재력을 지닌 기술이다. AI는 우리가 미래를 사고하고 상상하는 과정에 도움을 주는 인지적 확장 도구로 기능할 수 있으며, 도시 환경 속에서는 다양한 상호작용을 매개하는 역할도 수행할 수 있다. AI를 포함한 많은 기술들은 인류에 큰 혜택을 가져다줄 것이라는 기대 속에서 개발되어 왔으며, 이러한 기대는 거의 예외 없이 반복된다.

그러나 생명과학 분야의 사례처럼, 인공지능 연구는 긍정적 혁신과 함께 잠재적 위험도 동반할 수 있다는 점이 잘 알려져 있다. 이러한 맥락에서 일부 AI 연구는 ‘중대한 위험을 초래할 수 있는 지식 · 정보 · 제품 · 기술을 생성할 수 있는’, 이중용도 연구Dual Use Research of Concern, DURC로 분류되며, Marcello & Effy(2018)는 이러한 연구를 관리하기 위해 도입된 정책들을 설명하고 있다. 이 정책들은 과도한 규제로 인해 사회가 중요한 이익을 얻을 기회를 잃지 않도록 하면서도 위험을 통제하기 위해 마련된 것이다.

고도로 지능화된 악의적 기계는 오래전부터 디스토피아적 공상과학에서 반복되는 소재이다. 예를 들어, 「스타트렉」의 작가들은 스스로 학습하고 진화하는 초지능적 집단체인 보그Borg를 창조했는데, 이는 오늘날 일부 AI 옹호론자들이 제시하는 전망과 놀라울 만큼 닮아 있다(Dinello, 2016). 미국의 역사학자이자 저널리스트인 질 르포어Lepore(2021)는 일론 머스크의 기술 혁신 방식 또한 공상과학적 상상에서 직접적인 영감을 받고 있다고 지적한다. 그녀는 머스크의 접근 방식이 대부분의 사람들에게 결코 밝지 않은 미래를 예고한다고 비판하며, 이러한 비전이 비단 머스크 한 사람의 것이 아니라는 점도 강조한다.

스마트시티에서 AI를 효과적으로 활용하려면, 앞서 언급한 문제들을 면밀히 살펴보고 AI가 초래할 수 있는 부정적 결과 역시 충분히 고려해야 한다.

본 논문은 다른 생물의 지능을 연구해 온 심리학적 관점이 이러한 논의에서 종종 간과되는 요소들을 어떻게 드러내는지에 초점을 맞춘다. 이러한 관점이 도시 설계와는 다소 동떨어져 보일 수 있지만, 앞으로 인공지능을 최대한 유익하게 활용하기 위해 지금 반드시 검토해야 할 두 가지 핵심 영역이 있음을 보여줄 것이다. 이는 AI가 제도적 구조와 대인 관계에 어떤 영향을 미치는지에 관한 문제이며, 그 논의는 몇 가지 중요한 역사적 사례를 바탕으로 전개된다.

기술 시스템으로서의 도시

도시는 단순한 물리적 공간을 넘어, 새로운 기술을 만들어내는 하나의 기술적 시스템으로 이해할 수 있다. 도시는 사람들을 한 곳에 모으고, 노동 분업을 통해 기술의 전문화를 가능하게 하며, 숙련된 개인들 간의 활발한 교류와 자본·자원의 축적을 촉진함으로써 다양한 혁신의 기반을 마련해 왔다. 다시 말해, 도시는 인적 자본과 사회적 자본을 생성하는 장치이자, 이를 통해 새로운 가치와 부, 더 나아가 도시 바깥으로 확장되는 경제 성장을 이끌어내는 플랫폼이다. 우글로우Uglow(2003)는 버밍엄의 루나 클럽Lunar Club of Birmingham을 사례로 들며, 18세기 도시 한 곳에서 이러한 역동성이 어떻게 작동했는지를 상세히 보여준다. 물론 도시의 성장은 새로운 수요와 문제를 함께 가져오지만, 도시가 지닌 창의적 역량은 이러한 문제를 해결하는 토대가 되기도 한다.

19세기 런던의 성장은 이러한 점을 잘 보여주는 대표적인 사례다. 당시 영국은 세계적 강대국으로 부상하며 전 지구적 영향력을 확장하고 있었고, 런던은 무역·제조·금융·과학·혁신의 중심지로서 국가적 역동성의 핵심 동력이었다. 1801년 런던의 인구는 100만 명을 약간 넘는 수준으로 추정되

고, 윌리스가 제작한 1801년 <런던 및 웨스트민스터 계획도>에 따르면 도시는 주로 템즈강 북쪽, 이즐링턴Islington 일대를 중심으로 서쪽의 하이드 파크Hyde Park에서 동쪽 새드웰Shadwell까지 뻗어 있었다. 이후 일부 추정에 따르면 1851년에는 면적이 약 122제곱마일까지 확장되었고, 20세기 초에는 거의 700제곱마일에 이르렀으며 인구도 650만 명으로 증가했다. 이 기간 동안 제곱마일당 인구 밀도는 낮아졌지만, 도시의 면적이 기존 시가지에 비해 비약적으로 넓어지면서 기반시설 부담은 더욱 커졌다.

그 결과, 도시 외곽으로 신속히 운반해 처리하기 어려울 만큼 대량의 인간 배설물이 도시 내부에 쌓이게 되었고, 1858년 언론은 이 현상을 ‘대악취Great Stink’라고 명명했다. 템즈강은 사실상 거대한 오수통으로 전락해 있었다. 문제가 도시에서 비롯된 만큼, 해결 역시 도시가 주도해야 했다. 그 해결책은 대규모 하수도 시스템의 구축이었다. 이 시스템은 악취를 제거했을 뿐 아니라 감염병 확산을 크게 줄여 주민들의 건강 수준을 향상시키는 데 결정적인 역할을 했다. 런던의 이 모델은 이후 세계 각지로 확산되었으며, 역사상 가장 중요한 공중보건 혁신 중 하나로 평가된다(Halliday, 1999).

인공지능이 인류를 근본적으로 변화시킬 잠재력을 지닌 기술인지에 대해 관점은 다를 수 있지만, 어떤 입장에 서더라도 AI가 인류 사회에 중대한 영향을 미치리라는 점만큼은 부정하기 어렵다. 이러한 변화는 특히 도시라는 공간에서 가장 먼저, 그리고 가장 강하게 체감될 가능성이 크며, 장기적으로는 도시의 형태와 기능 자체를 재구성할 수도 있다. 우리는 이러한 영향이 가능한 한 긍정적으로 나타나기를 바라지만, 그 미래를 신중하게 바라보고 대비할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 우리는 여러 측면에서 충분한 주의를 기울이지 못했다. 특히 AI 기술의 개발과 활용을 둘러싼 권력과 통제의 문제를 충분히 질문하지 않았다는 점이 중요하다.

인공지능

2011년 딥마인드가 설립되고 2014년 구글에 인수된 이후, ‘지능의 원리를 규명하고 이를 모든 문제 해결에 적용하겠다’라는 목표는 한때 지나치게 대담한 주장처럼 보였지만, 이제는 과거보다 훨씬 실현 가능한 비전으로 여겨지고 있다. 딥마인드를 비롯해 지능형 시스템을 개발해 온 여러 연구자들의 성과는 인공지능 분야의 놀라운 발전 속도를 잘 보여준다. 딥마인드의 공동 창립자인 데미스 하사비스Demis Hassabis는 인공지능 기반 단백질 구조 예측 연구로 노벨 화학상을 수상했고, 머신러닝의 이론적 토대를 확장하고 대규모 언어 모델 및 관련 기술 발전에 기여한 제프리 힌튼Geoffrey Hinton은 노벨 물리학상을 수상했다.

이러한 성과들은 모든 문제를 해결할 수 있는 범용 인공지능AGI의 개발이 실제로 손에 닿을 만큼 가까워진 듯한 인상을 준다. 최근 들어 AGI의 가능성에 많은 관심이 쏠리고 있지만, 사실 이러한 야망은 AI 연구 초기부터 존재해 왔다. 닐슨Nilsson이 2010년까지의 AI 역사를 정리한 연구에서 지적했듯이, 이러한 ‘범용 지능’의 이상은 AI라는 용어가 등장하기 이전부터 인류가 오랫동안 품어온 꿈이었다. 오늘날 흔히 사용하는 ‘인공지능’이라는 용어는 1957년 허브 사이먼Herb Simon, 존 쇼John Shaw, 앨런 뉴웰Alan Newell의 연구에서 비롯되었다. 이들은 ‘일반 문제 해결사General Problem Solver’라는 컴퓨터 프로그램을 개발했는데, 이름 그대로 다양한 유형의 문제를 해결하도록 설계된 시스템이었다. 당시에 그 명칭은 상당히 야심 차게 들렸으며, 그만큼 범용 지능에 대한 기대는 오래전부터 존재해 왔음을 보여준다.

이후 인공지능 시스템의 연구·개발에 막대한 규모의 투자가 이어졌다. 스탠퍼드대학교 HAI 연구소(2025)에 따르면, 2013년 이후 민간 부문에서만 7,500억 달러가 넘는 자금이 AI 개발에 투입되었다. 주요 AI 기업들의 기업 가치도 가파르게 상승해, 세계 최대 AI 칩 제조사인 엔비디아의 시가총액은 최근 5조 달러를 넘어섰다. 인력과 에너지 역시 이 분야로 집중되고 있다. 이

러한 흐름을 고려할 때, 인공지능 기술이 미래 스마트시티의 구축과 도시 생활 전반에 중대한 영향을 미칠 것이라는 사실은 분명해 보인다. 물론 이 같은 투자의 상당 부분은 투기적 성격을 띠고 있다는 평가도 있지만, 그럼에도 불구하고 이러한 투자는 지능형 기기의 성능 향상에 결정적으로 기여해 왔다. 문제는, 이러한 기술이 실제로 어떻게 활용될 수 있는지에 대한 우리의 이해가 그 속도를 따라가지 못하고 있다는 점이다.

2025년 11월 현재에도 AI 시장에 거품이 존재하는지, 또 있다면 언제 붕괴할지에 대한 논쟁은 계속되고 있다. 멜리사 헤이킬라Melissa Heikkilä, 크리스 쿡Chris Cook, 클라라 머레이Clara Murray는 2025년 9월 23일자 영국 파이낸셜 타임즈Financial Times에 S&P 500 기업들의 최근 공시와 임원 브리핑을 분석한 보고서를 발표했다. 그 분석에 따르면, 기업들은 AI에 대규모 투자를 진행하면서도 이를 어떻게 활용할지에 대한 명확한 전략을 갖고 있지 못한 경우가 많았다.

기사에서는 가트너Gartner의 애널리스트 해리타 칸다바투Haritha Khandabattu의 의견을 인용해 “많은 기업이 전략적 판단이 아니라 ‘뒤처질지 모른다는 두려움FOMO’ 때문에 AI를 도입하고 있으며, 정작 던져야 할 질문인 ‘우리가 해결해야 할 문제는 무엇인가?’보다 ‘경쟁사가 먼저 해결하면 어떻게 하지?’를 더 우선시한다”라고 전했다.

칸다바투의 언급은 신기술의 도입과 성숙, 기대와 현실의 괴리를 다섯 단계로 설명하는 ‘가트너 하이프 사이클Gartner Hype Cycle’을 연상시킨다(Fenn & Raskino, 2008). 이 모델에 따르면, 초기 기대가 정점에 이르면 가치 하락 또는 붕괴가 이어지는 ‘환멸의 저점trough of disillusionment’이 필연적으로 찾아온다. 이후 어떤 경우에는 비교적 완만한 ‘깨달음의 기울기slope of enlightenment’를 거치며 기술에 대한 보다 실질적이고 정교한 이해가 형성된다. 바로 이 시점에서 혁신가와 투자자들은 기술의 효과적인 활용을 가능하게 하거나 제한하는 요인들을 보다 명확하게 파악하게 된다.

인공지능이라는 용어가 등장한 지 거의 70년이 지났고, 그와 유사한 개념은 훨씬 이전부터 존재해 왔다는 사실을 생각하면, 지능에 대한 명확하고 풍부한 정의가 이미 정립되어 있을 것처럼 느껴질 수 있다. 그러나 실제로는 그렇지 않다. AI 기술이 보여주는 놀라운 성능을 폄하할 생각은 없지만, 과장된 표현을 걷어내고 핵심을 살펴보면, 이들 기술은 본질적으로 복잡한 패턴을 인식하고 이를 기반으로 새로운 패턴을 생성하는 능력에 기반하고 있다. 이러한 패턴 인식은 인간 뇌의 작동 방식과 유사하며, 신경 활동의 특성이 이러한 지각·생성 능력의 개발에 영감을 주었다.

예를 들어, 알파폴드AlphaFold가 단백질 구조를 분석하고 예측하는 능력이 나 챗GPT와 같은 언어 모델이 보여주는 언어적 성과는 자연스럽게 우리가 이러한 시스템을 ‘지능적’이라고 부르게 만든다. 그러나 이러한 성과만으로는 그 기계들이 무엇인지, 그리고 앞으로 어떠한 형태로 발전할 수 있는지 이해하기에 충분하지 않다. 결국 우리는 지능 그 자체에 대한 더 깊은 이해가 필요하다.

지능에 대한 심리학 연구는 오랫동안 주로 지능 검사의 개발과 측정에 초점을 맞추어 왔기 때문에, 초기 AI 연구에는 거의 직접적인 도움을 주지 못했다. 그 결과, 인공지능 시스템이 등장하던 시기에는 심리학이 이 분야 연구자들에게 실질적 기여를 하지 못하는 것처럼 보였다. 겔러트너Gelertner, 한센Hansen, 러브랜드Loveland(1960)가 지적했듯이, “심리학자들은 아직 인간의 지적 행동을 충분히 설명해내지 못했고, 지능이라는 추상적 개념을 그 행위자와 분리된 형태로 다루지 못했다.” 그러나 이후 상황은 크게 달라졌다. 다양한 종의 지능을 비교하는 연구와 아동·청소년기의 지능 발달 과정을 분석하는 연구가 지능의 본질에 대해 훨씬 깊은 통찰을 제공하기 때문이다.

예를 들어, 어린이가 생애 초기에 약 1억 개 정도의 말소리를 듣는 것만으로도, 수조 개의 단어를 학습한 대규모 언어 모델보다 더 정교한 언어 능력을

보여준다는 사실은 인간 지능의 특수성을 다시 생각하게 한다(Warstadt et al., 2023). 더구나 어린이는 이를 위해 필요한 에너지도 AI 시스템에 비해 극히 적게 사용한다.

인간을 포함한 생물학적 시스템에서 지능이 어떻게 발달하는지를 살펴보면, 기계 지능이 직면한 공학적 문제를 해결하는 데 활용할 수 있는 많은 통찰을 얻을 수 있다. 그러나 본 논문에서는 그 모든 내용을 다루기보다, 다양한 유기체의 지능이 어떻게 분석될 수 있는지에 대한 고찰만으로도 충분하다고 생각한다. 이러한 관점은 인공지능의 특성을 이해하고, AI가 미래의 스마트시티에 미칠 잠재적 영향을 검토하는 데 중요한 시각을 제공하기 때문이다.

상황에 따라 다르게 발달하는 지능

과거에는 지능을 단순히 ‘인간이 어느 정도 보유한 하나의 능력’으로 간주하거나, 인간이 아닌 생물들도 그와 비슷한 무엇을 가지고 있되 인간보다 낮은 수준에 머문다고 서열화하는 방식으로 이해하곤 했다. 다시 말해, 지능을 단일하고 범용적인 특성으로 보는 관점이 오랫동안 지배적이었다. 그러나 다양한 종의 지적 능력을 조사한 연구들은 이러한 관점이 얼마나 단순화된 것인지 분명히 보여주었다. 프란스 드 발^{de} Waal(2016)의 연구가 대표적 사례다.

다른 종이 지닌 지능은 그 생물이 처한 환경의 필요와 밀접하게 연결되어 있으며, 이는 진화 과정에서 특정 환경에 적응하도록 능력이 형성된 결과다. 물론 지능의 활용은 생물체의 필요와 과거 경험에 의해 형성되지만, 유전적 기반은 원래의 환경에서만 사용되도록 제한되지 않는다. 굴드와 브르바^{Gould & Vrba}(1982)가 강조했듯이 생물은 ‘엑사프테이션^{exaptation}’이라 불리는 과정을 통해, 원래 진화한 목적과는 다른 새로운 상황에서도 기존 능력을 성공적으

로 활용할 수 있다.

이러한 관점은 지능을 구성하는 여러 과정들이 비슷한 특성을 보일 수는 있지만, 지능 자체가 단일한 능력으로 환원될 수 없다는 점을 분명히 보여준다. 오히려 지능은 다양한 생물종에 걸쳐 서로 다른 형태로 나타나는 여러 능력들의 집합이며, 아게라 이 아르카스 [Agüera y Arcas](#)(2025)가 지적하듯 같은 종 안에서도 그 능력은 상당한 차이를 보인다. 인간의 경우만 보더라도, 개인마다 어떤 영역에서는 뛰어난 능력을, 다른 영역에서는 상대적으로 낮은 능력을 보이는 것이 일반적이다. 또한 특정한 재능을 지닌 정신지체 장애인의 사례처럼, 특정 연도와 날짜의 요일을 정확히 맞히는 등 매우 제한된 범위에서 비범한 능력을 보이는 경우가 있다는 사실도 잘 알려져 있다(Howe, 1989).

생물 지능을 이러한 방식으로 이해하는 관점은, 가상 환경에서 인공지능을 면밀히 분석하는 데에도 중요한 통찰을 제공한다. 생물체의 지능은 일반적으로 다음과 같은 기능을 수행할 수 있는 능력으로 정의될 수 있다.

- 중요하고 관련성 있는 정보를 인식한다.
- 그 정보를 수집한다.
- 필요할 때 쉽게 검색할 수 있는 형태로 저장한다.
- 그 정보를 효과적으로 활용하거나 전달한다.
- 그리고 이 모든 과정을 그 생명체의 이익, 필요, 욕구에 부합하는 방식으로 수행한다.

특히 마지막 기능을 강조하는 이유는, 범용 인공지능 [AGI](#)에 대한 논의가 활발한 오늘날, 생물학적 지능이 각 생명체의 목적과 긴밀히 연결되어 있다는 점을 종종 간과하기 쉽기 때문이다. 인간 역시 예외가 아니다. 인간 지능의 본질—즉 지적인 행동—은 감정, 기억, 신념, 태도 등을 통해 스스로 목적을 형성한다는 점을 기억해야 한다.

이로부터 자연스럽게 다음과 같은 질문이 제기된다. 인공지능이 고유한

목적을 갖고 있지 않다면, 그 목적은 설계자나 사용자로부터 부여되는 것일까? 그리고 이 질문은 결국 미래의 성공적인 스마트시티를 어떻게 설계할 것인가라는 더 중요한 문제로 이어진다.

스마트시티는 누구를 위한 목적을 구현하며, 누구의 지능에 의해 작동하는가?

생명체가 태어날 때 완성된 형태의 지능이 주어지지 않는 것처럼, 모든 기계 기반 지능은 프로그래머가 처음부터 완전하게 만들어내는 것이 아니다. 기계 지능 역시 시스템에 입력되는 데이터와 그 데이터를 통한 경험을 통해 시간이 지나면서 점진적으로 발달한다. 마찬가지로 생물학적 유기체가 진화적 역사를 반영하듯, 인공지능도 설계 단계에서 선택된 구조와 가치가 초기 특성으로 내재하게 된다. 아게라 이 아르카스(2025)의 주장처럼, 지능은 다양한 형태와 목적을 띤다. 설계된 지능 또한 생물학적 지능만큼이나 다양한 모습으로 구현될 수 있다.

따라서 미래의 스마트시티를 구축할 때 우리는 다음과 같은 핵심 질문을 던져야 한다. 도시를 구성하는 AI 장치는 누구의 목적을 수행할 것인가? 그 장치에는 어떤 과업이 부여될 것이며, 어떤 문제를 해결하는 데 사용될 것인가? 그리고 그러한 과업과 문제를 누가 정의하는가?

일반적으로 인공지능 장치를 사용할 때 그 첫 번째 목적은 사용자와 설계자가 부여한 목적이다. 설계자는 질문을 설정하고, 과업을 구성하며, 장치가 수행할 활동의 방향을 정한다. 그러나 이것이 가능한 목적을 구성하는 유일한 방식은 아니다. 다양한 기계가 특정 목적을 염두에 두고 설계되듯, AI 시스템 역시 특정 기능을 수행하도록 만들어지며 명령이 주어질 때 그 기능을 수행한다. 언뜻 사소해 보일 수 있지만, “망치를 든 사람에게는 모든 것이 못으로 보인다”라는 속담처럼, 사용할 수 있는 도구가 망치뿐이라면 너트와 볼트를 만들어야 하는 사람들은 필연적으로 어려움을 겪게 된다. 인공지능도

마찬가지다. 설계된 목적과 제공된 도구가 무엇이나에 따라 가능한 문제 해결의 범위와 방식이 제한된다.

대부분의 장치들은 설계된 기능이 완료되어 안정된 상태에 이르면 비활성 상태로 머물도록 만들어진다. 이 장치들은 고유한 욕구나 의지를 가지고 스스로 행동하지 않는다. 다만 더 적절한 데이터를 수집해 역량을 향상시키는 루틴을 갖거나, 자체 개선을 위한 별도의 구조를 갖도록 설계될 수 있다. 이러한 자체 개선 기능은 장치가 이용 가능한 데이터를 기반으로 스스로 성능을 높이는 자율 학습 단계에 들어설 때 비로소 큰 의미를 갖는다.

여기에서 중요한 질문이 다시 제기된다. 학습에 사용되는 데이터는 누가 결정하며, 무엇을 ‘향상’으로 정의할 것인가에 대해서는 누가 정하는가?

고대 중국의 바둑을 스스로 학습한 알파고 제로AlphaGo Zero는 자율 학습이 무엇을 구현할 수 있는지를 잘 보여준다(Silver & Hassabis, 2017). 알파고 제로는 며칠 동안 자기 자신과 반복적으로 대국하며 실력을 끊임없이 개선한 끝에 사실상 무적의 수준에 도달했다. 그 성취는 놀라운 것이지만, 반드시 기억해야 할 점이 있다. 그 학습이 이루어진 공간은 매우 명확히 정의된 환경이었고, 그 환경과 목표 자체를 설정한 주체는 개발자들이었다는 사실이다.

자율 학습 시스템이 어떤 자료에 접근할 수 있는지는 그 자료에 접근 권한을 통제하는 사람에 의해 결정된다. 즉, 어떤 데이터가 ‘시스템의 목적과 관련 있다’라고 시스템이 인식하도록 조건을 설정하는 사람에게 권력이 있다. 바로 이 점 때문에 자율 학습의 문제는 단순히 기술적 문제가 아니라 정치적·경제적 문제로 여겨진다. 종종 윤리 문제로 논의되기도 하지만, 그 이면에는 권력 구조와 사회적 자원 배분이라는 더 민감한 이슈가 자리하고 있다.

결국 질문은 다음과 같다. 이러한 장치의 목적을 설정하는 사람은 누구인가? 그리고 그 사용을 통해 누가 이익을 얻는가?

흥미롭게도, 이 문제는 2024년 노벨상—정확히는 알프레드 노벨을 기리기 위해 제정된 스웨덴 국립은행 경제학상—수상 연구와도 연결된다.

제도와 변영

2024년 대런 에이스모글루Daron Acemoglu, 사이먼 헨리 로버츠 존슨Simon Henry Roberts Johnson, 제임스 A. 로빈슨James A. Robinson은 ‘제도가 어떻게 형성되며 변영에 어떤 영향을 미치는지에 관한 연구Studies of how institutions are formed and affect prosperity’로 노벨 경제학상을 수상했다. 에이스모글루(2024)는 수상 강연 ‘제도, 기술, 그리고 변영Institutions, Technology and Prosperity’에서 유럽의 식민 확장 시기, 지역별 정착민 사망률의 차이가 각 식민지에서 어떠한 제도가 구축되는지에 결정적 영향을 주었다는 사실을 흥미롭고 설득력 있게 설명한다. 그의 주장에 따르면 이러한 제도적 차이는 오늘날까지 지속되며 사회·경제적 결과에 영향을 미치고 있다.

에이스모글루가 말하는 ‘제도’란 재산권, 법률, 규정, 정치 권력의 배분 방식과 그 권력을 견제하는 장치, 그리고 경제적 자원의 분배를 포함하는 정치·경제적 구조를 의미한다. 그는 이러한 제도들이 사회 내 인센티브와 기회를 형성하며, 이는 공식적인 입법 장치와 조직뿐 아니라 사회의 일상적 관행 속에서도 드러난다고 설명한다. 각국의 제도적 강도는 세계정의프로젝트World Justice Project가 발표하는 법치 지수Rule of Law Index로 측정되며, 이 지수는 해당 국가의 국내총생산GDP과 매우 높은 상관관계를 보인다.

식민지 유산과 제도의 지속 여부는 제도적 구조와 변영 사이의 상관관계가 실제로 인과관계인지 검증할 수 있는 흥미로운 기회를 제공한다. 물론 이러한 논의는 제도가 경제 활동에 미치는 영향을 다룬 여러 연구들과도 맥을 같이한다. 스마트시티와 AI에 관심 있는 사람들에게 이 연구가 중요한 이유는, 사회 내부의 권력 균형이 경제적 성과와 정치 제도 사이에서 어떤 방식으로 피드백 루프를 형성하는지 보여주기 때문이다.

에이스모글루의 분석에 따르면, 식민지 제도는 본질적으로 착취적 성격을 띠지만, 모국 출신 정착민이 식민지 내에서 중요한 유권자 집단을 이루는 경

우에는 다양한 지역 경제 세력이 제도 형성에 개입하면서 경제가 보다 포용적인 체제로 전환될 가능성이 생긴다. 정치 권력과 경제 권력이 행위자들을 매개로 상호작용한다는 사실은 새로운 이야기가 아니지만, 에이스모글루는 이러한 관계가 식민주의 역사 속에서 어떻게 전개되었는지, 그리고 새로운 기술이 이 권력의 역학을 어떻게 근본적으로 재구성할 수 있는지에 대한 하나의 모델을 제시한다(Acemoglu & Robinson, 2012 참조).

이러한 관점에서 보면, 혁신과 변화가 일어나는 시대에는 사회 구성원들의 다양한 목적이 균형을 이루는 것이 중요하다. 공동체 전체의 변형과 그 안에 속한 개별 행위자들의 변형은 정치 제도가 이러한 균형을 얼마나 잘 구축하느냐에 달려 있으며, 이를 통해 경제적 상호작용이 제로섬 게임이 아니라 상생하는 [non-zero-sum](#) 관계로 전환될 수 있다(Andrews, Fearon & Gotz, 2024). 모두가 변형할 수 있는 스마트시티를 만들기 위해서는, 특정 개인이나 집단이 인공지능의 목적을 자신의 필요와 욕구에만 맞추도록 집중하는 것을 제도적 장치가 일정 부분 제약해야 한다. 이러한 제약이 제대로 작동할 때에만 생산적인 균형이 유지될 수 있다.

감지와 실행

지능이 무엇을 목표로 하는지는 그 장치나 유기체가 어떤 정보를 수집하는지를 보면 가장 분명하게 드러난다. 디지털화된 데이터베이스와 디지털 환경이 이러한 정보 수집의 출발점이 되는 것은 분명하지만, 오늘날의 도시 공간은 이미 카메라와 도청 장치가 넘쳐나고 있다. 다양한 무선 스펙트럼을 감지할 수 있는 기술이 존재하며, 저전력으로 작동하는 새로운 센서 기술도 계속 등장하고 있다. 주변 환경에 존재하는 DNA를 자동화된 장치를 통해 수집하는 기술 또한 먼 미래의 이야기가 아니다. 현재 센서 기술의 발전 속도를 보

면 사실상 한계가 없어 보인다.

그러나 인공지능의 감각 장치는 사회적 균형을 유지하기 위해 우리가 고려해야 할 문제의 출발점일 뿐이다. 실제로 많은 주^州는 AI 기반 장치가 수집할 수 있는 ‘감각 데이터’에 대한 접근을 제한하는 법률을 이미 제정했다. 이러한 법적 조치가 실제로 얼마나 효과를 발휘할지는 별개의 문제다. 다만 언제든지 방대한 종류의 정보를 수집할 수 있는 기계 지능이 존재하는 상황에서, 경제적 권력과 자원이 이미 집중되어 있는 개인이나 집단에게 더 많은 힘이 쏠릴 가능성은 매우 높아 보인다.

물론 정보를 감지할 수만 있고 행동으로 이어지지 않는 지능은 큰 의미를 갖지 못한다. 지능은 인간 행위자와 협력하여 세상에 변화를 일으킬 수 있지만, 오늘날에는 스스로 행동을 취할 수 있는 장치도 점점 더 많아지고 있다. 바로 이 지점에서 다시 인공지능의 목적이 중요한 문제로 떠오른다. 그 목적을 누가 설정하고, 행동의 기준을 누가 통제하느냐에 따라 도시는 건전한 균형을 유지할 수도 있고, 반대로 불안정한 구조로 기울어질 수도 있다.

또한 감각 데이터를 수집하고 이를 기반으로 행동을 결정하는 인공지능의 능력은 시민들 사이의 참여 방식에도 상당한 영향을 미칠 수 있다. 스마트시티에서 인공지능은 시민 간 상호작용을 촉진할 수도, 방해할 수도 있으며, 궁극적으로는 도시가 만들어낼 수 있는 인적 자본과 사회적 자본에 손상을 줄 가능성도 존재한다.

사회적 상호작용을 규정하는 제도

인공지능이 제도적 구조를 약화시키거나 파괴할 잠재력은 인간관계에서도 나타날 수 있다. 건축 환경은 시간과 공간을 넘어 우리가 서로 소통하는 방식에 깊은 영향을 미친다. 중요한 점은, 건축물이 언제나 사회적 상호작용을 촉

진하거나 방해하는 일종의 통신 기술로 작동해 왔다는 사실이다. AI 기반 기술이 도시 전반에 확산된 환경에서도 이러한 영향은 여전히 유효하다. 도시의 인공지능이 사회적 상호작용을 강화할지, 혹은 억제할지는 결국 그 능력이 누구의 목적을 위해 설계되었는가에 달려 있다.

AI를 적절하고 창의적으로 활용한다면 도시 환경에서 더욱 풍부하고 만족스러운 인간 관계를 형성할 수 있으며, 최근의 통신 기술 혁신이 초래한 일부 부정적 효과를 상쇄할 가능성도 존재한다. 이러한 논지를 뒷받침하는 근거를 찾고자 한다면, 인종 편견에 관한 초기 사회심리학 연구를 살펴보는 것이 도움이 될 것이다.

1930년대 초, 라피에르LaPiere(1934)는 중국계로 보이는 사람들에게 대한 부정적 태도를 조사하는 연구를 수행했다. 당시 사회 전반에 중국인 이주민에 대한 강한 편견이 존재했으며, 이러한 태도는 19세기부터 이어진 이주 역사에서 비롯된 것이었다. 라피에르는 한 젊은 중국인 부부와 함께 250곳이 넘는 식당과 호텔을 방문하여 중국인 고객에게 서비스를 제공할 수 있는지를 직접 확인했다. 그 과정에서 단 한 곳만이 서비스를 거부했다. 그러나 6개월 뒤, 같은 업소들을 대상으로 ‘중국인에게 서비스를 제공하겠는가’라는 내용의 설문지를 우편으로 발송했을 때, 상황은 전혀 달랐다. 응답자의 90% 이상—전체 설문 발송 대상의 약 절반이 답변했다—이 중국인에게 서비스를 제공하지 않겠다고 응답한 것이다.

이 오래된 연구가 주는 교훈은 지금도 여전히 중요하지만, 우리는 종종 이를 잊곤 한다. 어떤 사람에 대해 더 풍부하고 섬세하며 구체적인 정보를 갖게 되면, 그 사람이 속한 특정 집단에 대해 우리가 지니고 있는 편견—즉 그 사람의 정체성의 한 측면—에 부정적으로 반응할 가능성이 훨씬 낮아진다. 이 점은 대프트와 렌젤Daft & Lengel(1986)이 제시한 ‘미디어 풍부성 이론Media Richness Theory’에서 잘 설명된다. 이 이론에는 여러 요소가 포함되지만 핵심은 이름에서 알 수 있듯 ‘풍부성’에 있다. 한 사람이 상대방에게 전달할 수 있는 정보—말투, 비언어적 표현, 복장, 주변 환경 등—가 더 풍부하고 다양할

수록 의사소통이 성공적으로 이루어질 가능성이 높다는 것이다.

루터Rutter(1984)도 유사한 관점을 제시했다. 그는 의사소통에서 상대방에 대한 단서가 많아질수록 심리적 거리가 줄어들며, 그 결과로 보다 실제적이고 정서적인 사회적 연결이 강화될 수 있다고 분석했다.

1980년대 이후 개발된 다양한 의사소통 기술은 많은 사람들에게 부정적 결과를 가져왔으며, 사람들 사이의 심리적 거리를 의도적으로 확대하는 방식으로 활용되기도 했다. 그러나 AI가 결합된 풍부한 도시 환경은 이러한 문제를 더욱 악화시킬 수도, 오히려 완화시킬 수도 있다. 결국 미래가 어떤 방향으로 전개될지는 AI 기반 환경을 설계하고 통제하는 사람들이 어떤 목적을 추구하느냐에 달려 있다.

시사점

미래의 스마트시티 설계 및 운영에서 인공지능 기반 장치의 운영은 그 소유자나 생산자의 목적과 이해관계에 따라 크게 좌우될 것이다. 모든 형태의 지능은 정보를 이용하고 그에 따른 행동이 가능한 환경과 연계될 때에만 의미를 갖는다. 이는 도시 설계자, 부동산 개발업자, 도시계획가, 그리고 도시에 거주하고 도시를 개발하는 사람들이 일반적으로 직면하는 문제보다 훨씬 어려운 정치적, 경제적 문제들을 해결해야 함을 의미한다.

현재 이러한 기술 개발이 소수의 손에 집중되고 있어, 경제적, 사회적 균형 유지로 모두에게 이익이 되어야 하는 제도가 심각한 위협에 직면할 수 있다. 인류에게 이로운 스마트시티의 번영에 관심이 있다면 흔히 다루는 일반적인 문제들을 넘어, 인공지능이 도시의 제도와 인간관계, 그리고 소프트 인프라에 어떤 긍정적 효과와 부정적 영향을 미칠 수 있는지 면밀히 살펴보고, 강력한 환경을 설계할 수 있도록 노력해야 한다.

I References I

1. Acemoglu, D. (2024) 제도, 기술, 그리고 번영(Institutions, Technology and Prosperity). <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2024/acemoglu/lecture/>.
2. Acemoglu, D. and Robinson, J.A. (2012) 독재와 민주주의의 경제적 기원(Economic Origins of Dictatorship and Democracy). Cambridge: Cambridge University Press.
3. Agüera y Arcas, B. (2025) 지능이란 무엇인가? AI에서 얻은 진화, 컴퓨팅, 그리고 정신에 대한 교훈(What is Intelligence? Lessons from AI about Evolution, Computing, and Minds) Cambridge, MA: MIT Press
4. Andrews Fearon, P., and Götz, F. M. (2024). 제로섬 게임 사고방식(The zero-sum mindset). *Journal of Personality and Social Psychology*, 127(4), 758 – 795
5. de Waal, F. (2016). 우리는 동물이 얼마나 똑똑한지 알 만큼 충분히 똑똑한가?(Are We Smart Enough to Know How Smart Animals Are?). New York: W. W. Norton & Company.
6. Daft, R.L. & Lengel, R.H. (1984). 정보의 풍부성: 경영 행동 및 조직 설계에 대한 새로운 접근법(Information richness: a new approach to managerial behavior and organizational design). *Research in Organizational Behavior* 6, (191–233).
7. Dinello, D. (2016). 전염성 집단주의적 기술-전체주의 트랜스 휴머니스트로서의 사이보그(The Borg as Contagious Collectivist Techno-Totalitarian Transhumanists). In K.S. Decker and J.T. Eberl (eds) *The Ultimate Star Trek and Philosophy*. London: Wiley
8. Fenn, J. and Raskino, M. (2008) 하이프 사이클 마스터링: 적시에 적절한 혁신을 선택하는 방법(Mastering the Hype Cycle: How to Choose the

- Right Innovation at the Right Time). Harvard Business Press: Boston MA
9. Gelernter, H., Hansen, J.R. and Loveland, D.W. (1960). 기하학 정리 머신에 대한 경험적 탐구(Empirical explorations of the geometry theorem machine). Papers presented at the May 3-5, 1960, western joint IRE-AIEE-ACM computer conference (IRE-AIEE-ACM '60 (Western)). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 143-149
10. Gould, S.J. & Vrba, E. S. (1982). 적응 - 형상 과학에서 누락된 용어(Exaptation - a missing term in the science of form). *Paleobiology*, 8 (1): 4-15.
11. HAI Institute (2025) <https://hai.stanford.edu/ai-index/2025-ai-index-report/economy>.
12. Halliday, S. (1999) 대 악취: 조셉 바잘렛경과 빅토리아 대도시의 정화(The Great Stink: Sir Joseph Bazalgette and the Cleansing of the Victorian Metropolis). London: Sutton Publishing Ltd
13. Howe, M. J. A. (1989) 천재의 조각들: 바보 야만인들의 기묘한 업적(Fragments of genius: the strange feats of idiot savants). London: Routledge
14. LaPierre, R.T. (1934) “태도 대 행동(Attitudes vs. Actions)” *Social Forces*, 13(2): 230-237
15. Lepore, J. (2021). “일론 머스크는 공상과학 세계를 구축하고 있으며, 나머지 우리는 그 안에 갇혀 있다(Elon Musk Is Building a Sci-Fi World, and the Rest of Us Are Trapped in It).” *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2021/11/04/opinion/elon-musk-capitalism.html>.
16. Marcello, I and Effy, V. (2018) 21세기 겸용 기술: 새로운 위험과 글로벌 거버넌스(Dual use in the 21st century: emerging risks and global governance). *Swiss Med Wkly*. 2018;148:w14688. <https://smw.ch/index.php/smw/article/view/2545>

17. Nillson, N.J. (2010) 인공지능 탐구(The Quest for Artificial Intelligence). Cambridge: Cambridge University Press.
18. Silver, D. and Hassabis, D. (2017). 알파고 제로: 처음부터 시작하기 (AlphaGo Zero: Starting from Scratch). <https://deepmind.google/blog/alphago-zero-starting-from-scratch/#:~:text=In%20each%20iteration%2C%20the%20performance,neural%20networks%20to%20evaluate%20positions>.
19. Uglow, J. (2003): 루나 맨: 미래를 만든 친구들(The Lunar Men: The Friends who made the Future). London: Faber & Faber
20. Warstadt, A., Mueller, A., Choshen, L., Wilcox, E., Zhuang, C., Ciro, J., Mosquera, R., Paranjabe, B., Williams, A., Linzen, T. and Ryan Cotterell, R. (2023) BabyLM 챌린지 진행 절차(Proceedings of the BabyLM Challenge). 제 27회 컴퓨터 자연어학습 대회, 1-6.

From Urban AI to The Screenless City

도시 AI에서 스크린 없는 도시로

위베르 베로슈

Hubert Beroche



위베르 베로슈는 도시 인공지능Urban Artificial Intelligence 분야를 선도하는, 세계적으로 높은 명성을 지닌 기관인 URBAN AI의 창립자이자 대표이다. 그는 2019년부터 현장 연구와 개발을 통해 도시 인공지능이라는 개념을 창조하고 발전시켜 왔으며, 글로벌 파트너들과 함께 이를 구현해 왔다. 또한 OECD 외부 컨설턴트이자 소르본대학 인공지능센터 객원 연구원으로서, 도시 인공지능에 관한 선구적인 보고서와 저서를 집필했다.

● 초록 ●

본 논문은 도시 인공지능 *Urban AI*의 진화, 즉 시가 도시 환경 전반에 융합되는 과정을 탐구한다. 도시 인공지능이 여전히 스마트시티 패러다임이라는 틀에 갇혀, 그 혁신 잠재력을 저해하고 있다는 주장이다. 이러한 패러다임을 벗어나기 위해 본 논문은 ‘스크린 없는 도시’ *Screenless Cities*로의 전환을 제안한다. 이는 (인공)지능이 더 이상 스크린을 통해서가 아니라 도시 전반에 스며들어 관계를 맺고 공간적으로 작동하는 도시를 의미한다. 도시 생활과 시의 상호작용 방식을 재정의하는 이 접근 방식은, 더욱 응집력 있고 건강하며 지속 가능한 형태의 도시 지능 발전을 지향한다.

키워드

스크린 없는 도시, 도시 시, 스마트시티, 스크린

• ABSTRACT •

This article explores the evolution of Urban AI—the integration of artificial intelligence into the fabric of cities. It argues that Urban AI continues to be framed through the paradigm of the Smart City, which limits its transformative potential. To move beyond this paradigm, the article proposes a shift toward “Screenless Cities”: cities where (artificial) intelligence is no longer mediated through screens but embodied, relational, and spatial. By redefining how AI interfaces with urban life, this approach also envisions a more cohesive, healthy and sustainable form of urban intelligence development.

KEYWORDS

Screenless City, Urban AI, Smart City, Screens

“시대가 요구하는 사상만큼 강력한 것은 세상에 없다.”

– 빅토르 위고Victor Hugo

초기에는 대규모 하향식 스마트시티 프로젝트에 한정되었던 도시 인공지능 활용은 다양한 이해관계자들의 주도적인 노력에 힘입어 점차 확산되었다. 특히 ChatGPT의 등장으로 이러한 추세가 폭발적으로 가속화되면서, 사실상 모든 도시 주체들이 다양한 AI를 손쉽게 활용할 수 있게 되었다. 그 결과, 오늘날 도시에는 다양한 이해관계자들이 각기 다르거나 때로는 상충하는 목적으로 소유하고 활용하는 수많은 AI가 존재한다.¹

AI의 이러한 분산, 확산, 다각화는 ‘도시 AIurban AI’의 개념을 낳았다.² 필자는 사스키아 사센Saskia Sassen의 ‘도시화 기술urbanized technologies’에 관한 연구³에서 영감을 얻어 이 개념을 처음 정의했다. 2017년 사스키아 사센은 기존의 스마트시티 패러다임에서 벗어나야 한다고 제안했다. 즉, 도시 공간을 사이버네틱스와 정보 처리 원리로 관리·발전시켜 ‘스마트한 도시’를 만드는 대신, 도시 자체가 통치되고 설계되는 방식에서 영감을 얻어 기술을 상상하고 개발해야 한다는 것이다.⁴

그런 의미에서 도시 AI는 이중적이다. 즉, 두 가지 의미를 함축하고 있다. 도시 AI는 도시 데이터셋으로부터 학습하여 도시에 해결책을 동원하는 알고리즘들의 집합을 의미할 뿐만 아니라,⁵ 도시화된 AI 자체를 뜻하기도 한다.⁶ 도시 AI는 단순히 개념과 과정에 그치지 않고, 명칭인 동시에 행동이며, 현실인 동시에 공동의 비전이기도 하다.⁷

그러나 역설적이게도 도시 AI는 여전히 스마트시티라는 관점에서 주로 다루어진다. 본고에서 필자는 이러한 접근법이 어떤 의미를 가지며, 나아가 이것이 왜 도시 AI라는 새로운 분야를 제한하고 도시 혁신까지 저해하는지에 대해 설명하고자 한다. 필자는 이런 관점과는 다른 의견을 가지고 있으며, 도

시 AI의 본질적인 논리는 스마트시티가 아닌 ‘스크린 없는 도시’로 이어진다고 주장한다.

스크린 독점

스마트폰이 폭발적으로 보급된 지 불과 몇 달 만에 스마트시티라는 담론이 등장했다. 2007년 1월 9일, 스티브 잡스는 다음과 같은 유명한 말로 아이폰을 소개했다.

“때때로 모든 것을 바꾸는 혁신적인 제품이 세상에 나타난다.”

스티브 잡스는 이미 1984년 매킨토시, 2001년 아이팟 등 여러 혁신적인 기술을 선보인 바 있지만, 2007년 그는 21세기를 완전히 뒤바꿀 기기를 공개했다. 그의 기조연설은 전율을 느낄 만큼 강렬했고 시간이 멈춘 느낌이었다. 마치 대중이 자신의 의견을 대변해 줄 메신저를 발견한 것처럼 말이다. 빅토르 위고는 천재가 자신의 시대를 응축하여 한 세기를 새롭게 쓴다고 말했다. 그리고 바로 그날, 스티브 잡스는 눈부신 빛 속에서 21세기를 혁명적으로 바꾸어 놓았다.⁸

이 말이 다소 과장으로 들릴 수 있지만, 아이폰은 실제로 우리 시대의 가장 강력한 여러 힘을 통합했다. 개인화된 화면을 통해 고도로 맞춤화된 정보가 가능해졌고, 이 정보는 오랜 기간을 거쳐 개인화를 실현하고 확립하였다. 세상을 손끝으로 클릭할 수 있게 함으로써, 아이폰은 서구 근대성의 가장 깊은 열망 중 하나를 실현했다. 즉, 단일한 주체, 곧 ‘나’를 중심으로 온 우주를 구축하는 것이다.⁹

아래 제시한 수치들은 아이폰이 다차원적 힘과 흐름을 결집하고 촉진시키도록 유도하는 힘을 지녔음을 입증해주었다. 2025년 중반 현재, 애플Apple은 전 세계적으로 30억 대 이상의 아이폰을 판매했다.¹⁰ 2024년 애플의 연 매

출은 약 3,910억 달러(약 570조 원)에 달했으며, 그중 약 51%가 아이폰 판매에서 발생했다.¹¹ 뿐만 아니라 애플의 전자 소프트웨어 유통망ESD인 앱 스토어 App Store 생태계는 전 세계적으로 약 1조 3,000억 달러의 거래와 판매를 창출했다.¹² 이 단일 기기는 애플을 우리 시대 가장 부유한 기업 중 하나로 만드는 데 크게 기여했다.

그리고 2007년 이후 이 세상 모든 것이 ‘스마트’해졌다: 스마트 홈, 스마트 워치, 스마트 미터 등등이다. 현실의 모든 단면이 스크린에 표시되어 스크린을 통해 가시적으로 조작할 수 있게 되었다. 이러한 현상의 가장 눈에 띄는 결과가 바로 ‘스크린’이다. 미국에서 스마트폰 사용자는 하루 평균 약 4시간 30분을 휴대전화를 보는 데 소비하며, 일부 연구에서는 최대 5시간까지 사용하고 하루에 약 144번 휴대전화 잠금을 해제하는 것으로 나타났다.¹³ 영국에서 15세 이상 성인은 현재 하루 평균 3시간 21분을 휴대전화에 소비하며, 이는 기존 TV 시청 시간(3시간 16분)을 약간 웃도는 수치다.¹⁴ 세계에서 가장 연결성이 높은 사회 중 하나인 한국에서는 스마트폰 몰입도가 전 세계적으로 가장 높은 수준이다. 한국인의 99%가 온라인에 접속하고 98%가 스마트폰을 보유하고 있다.¹⁵

그러나 아이폰의 가장 은밀하면서도 파괴적인 성공은 기술적이거나 경제적인 것이 아니다. 그것은 다른 가능성들을 배제시키는 힘에 있다. 2007년 이후 대부분의 인터페이스 디자인 작업은 사용자 경험에 초점이 맞춰져 있다. 이는 자연스럽게, 그리고 어쩌면 부수적인 것이긴 하지만 스크린 기반 경험으로 이해된다. 스크린의 압도적이고 독보적인 성공은 점차 다른 형태의 인터페이스 연구를 가리고 망각 속으로 밀어넣었다. 이러한 스크린 독점은 간단한 생각 훈련을 통해 알 수 있다. 즉, 스크린이 아닌 디지털 세계와의 인터페이스를 잠시 상상해보는 것이다.

아마도 잠시 머뭇거렸을 것이다. 이러한 지체, 즉 스크린을 넘어 생각하는 데 시간이 걸린다는 사실 자체가 바로 스크린이 우리의 집단적 상상력을 얼마나 깊이 지배하는지를 보여준다. 끊임없이 스크린을 사용함으로써, 우리는

정보가 표시되는 스크린과 정보 그 자체를 동일시하게 되었으며, 이로 인해 진정한 ‘스크린 독점’을 만들어냈다.¹⁶

스마트시티의 부상

도시는 이러한 ‘스마트함’의 확산이나 스크린 독점 개념에서 벗어나지 못했다. 2008년 세계 금융 위기 하에서 새로운 시장을 모색하는 와중에 IBM이 ‘스마트시티’라는 담론을 처음 제시했다. 이 담론은 여러 주체와 학문 분야에서 비롯된 복합적인 개념이다.¹⁷ 그러나 본 고에서는 가장 눈에 띄는 층, 즉 스크린에 초점을 맞추고자 한다.

스크린은 오늘날 스마트시티 어디에나 존재한다. 도시 흐름을 모니터링하는 하이퍼바이저(hypervisor)(여러 운영 체제를 하나의 물리적 컴퓨터에서 동시에 실행할 수 있도록 하는 가상화 소프트웨어와 하드웨어 - 옮긴이)에서부터 스마트폰을 통해 주변 환경과 상호 작용하는 ‘스마트 시민’에 이르기까지, 모든 시스템이 스크린을 중심으로 돌아간다. 이러한 논리는 스몐비(smombies)(스마트폰과 좀비의 합성어)의 증가로 절정에 달한다. 이들은 스마트폰에 몰두한 나머지 주변 환경을 인지하지 못하는 사람들을 말한다.

스몐비는 스마트시티의 산물이자 거주민이다. 이러한 스마트시티는 주로 스크린 기반 기기를 통해 이해되고 접근되도록 설계되었다. 도시는 대부분 스마트폰을 통해 접근할 수 있는 앱과 웹 포털을 통해 서비스와 정보를 제공한다. ‘스마트 시민’은 디지털 영역을 능숙하게 탐색하여 더 나은 결정을 내릴 수 있는 사람으로 이해된다. 실제로 그렇든 그렇지 않든 ‘스마트 시민’의 스크린 사용은 끊임없이 증가한다. 순전히 물질적 측면에서 ‘스마트 시민’을 관조해본다면, 우리가 실제로 목격하는 것은 스마트폰을 들고 있는 인간일 뿐이다.

스크린은 스마트시티의 원인이자 결과이다. 더 정확히 말하면, 스크린은 스마트시티의 매개체이자 메시지이다.¹⁸ 그리고 우리가 이 스크린 독점에서 벗어나지 않는다면, 우리는 계속해서 스마트시티 담론에 갇히게 될 것이다.

지능의 구현

도시 AI는 사용자를 도시와 분리시키는 스크린을 지능과 연결하기보다는, 지능을 도시화하여 도시 전체에 확산시키고자 한다.

스크린은 데이터 인터페이스의 한 가지 방식일 뿐이며, 어쩌면 가장 제한적인 방식일지도 모른다. 체화된 데이터embodied data, 공간 컴퓨팅spatial computing, 체감형 인터페이스tangible interfaces, 로봇 공학 등 다양한 다른 방식들이 등장하고 있다. 내가 설립하여 몸담고 있는 URBAN AI에서는 지난 몇 년 동안 이른바 ‘감각적 인터페이스’Sensible Interfaces¹⁹에 대해 연구해 왔다. 감각적 인터페이스란 도시 데이터를 공공 공간에 구현하는 스크린 없는 다중 감각 인터페이스다. 아시아에서는 상하이와 같은 도시들이 이미 디지털 지능이 더 이상 스크린에 국한되지 않고 도시 공간과 일상생활에 물리적으로 통합되는 체화된 AIembodied AI로의 전환을 개척하고 있다.

더 근본적으로, 이는 단순히 AI와 다르게 상호작용하는 것에 그치지 않고, 도시적 맥락에서 AI와 지능의 의미를 재정의하는 것이다. 우리는 대개 지능을 활성화 가능한 개별 자원으로 생각하고, 이를 통해 현대성의 패러다임을 확장하려고 한다. 그리고 이러한 논리는 끊임없이 개인화된 기기의 개발을 촉진한다. 스마트폰을 통해 우리 손에, 스마트 안경을 통해 우리의 망막에, 그리고 어쩌면 언젠가는 비침습적non-invasive 인터페이스를 통해 우리 뇌로 직접 지능이 옮겨오게 될 것이다.

하지만 도시와 자연은 우리에게 이와는 다른 교훈을 준다. 지능은 관계적

이며 체화된embodied 속성이다. 지능은 저장되어야 할 재고가 아니라, 순환하며 개인들을 연결하는 흐름이다. 우리는 세상과 서로를 묶는 교류 속에서 경험하고, 배우며, 진화한다.

AI를 활용해 사람들을 에코 챔버echo chamber(비슷한 생각이나 신념을 가진 사람들이끼리만 반복적으로 의견을 공유해 기존의 신념을 증폭하고 강화하는 현상 - 옮긴이)에 가두는 고도로 개인화된 방식을 따르는 대신, 우리는 이 기술을 관계적이고 공간적이며 체화된(다시 말해 도시적인) 존재로 재인식할 수 있다. 이러한 패러다임에서는 거리를 걷는 행위 자체가 코딩과 동의어가 될 수 있다. 우리는 도시 정보에 접근하기 위해 벽에 말을 걸 수도 있고,²⁰ 집단적인 상호작용을 통해 공공 공간을 프로그래밍할 수도 있다.²¹

이러한 진화는 새로운 기술 패러다임을 가능하게 할 뿐만 아니라 도시 전체의 결속력을 강화하는 데에도 기여할 것이다. 스크린은 주의를 분산시키고, 개인을 고립시키며, 집단적 유대감을 약화시킨다. 반면, 체화되고 관계적인 형태의 도시 AI는 지능이 도시 전체에 더 자유롭게 순환하도록 할 수 있다.

이러한 접근 방식은 개인이 더 나은 결정을 내리고 도시 시스템을 근본부터 만들어 나갈 역량을 제공할 것이다. 열섬 현상부터 대기 질 또는 거리 활동에 이르기까지 도시의 모든 측면을 측정하고, 모델링하며, 맵핑하는 능력이 향상되고 있음에도 불구하고, 이 지능은 일반 시민들에게는 거의 전달되지 못하고 있다. 이는 지능이 대시보드와 전문가 보고서라는 형식 안에 갇혀 있어 더 심층적이고 집단적인 변화를 촉진하지 못하기 때문이다. 그러나 데이터가 도시의 물리적 구조에 직접 내재된다면, 이는 시민들에게 되돌아와 일상적인 선택을 안내하고, 혼잡을 조절하며, 폭염 시 쾌적함을 높이고, 나아가 지역 사회가 스스로 소음과 오염을 조절하는 데 기여할 수 있을 것이다.²²

21세기의 비전

이것이 바로 ‘스크린 없는 도시’가 지향하는 비전이다. 이는 도시에서 지능을 제거하는 것이 아니라 재분배하고 새로운 형태로 구현하는 것이다. 더불어 사람들의 관심을 스크린에서 거리로 되돌려 놓는다.²³

이러한 생각이 완전히 새로운 것은 아니다. 1991년, 당시 제록스 파크 Xerox PARC의 수석 과학자였던 마크 와이저Mark Weiser는 《21세기를 위한 컴퓨터》The Computer for the 21st Century를 출간했다. 그는 이 책에서 유비쿼터스 컴퓨팅이라는 개념을 제시했는데, 이는 컴퓨터가 소형화되고 우리 주변에 자리 잡아, ‘일상생활 속에 녹아들어 결국에는 그 존재를 인지할 수 없게 되는’ 미래를 의미한다.

와이저는 수백 대의 컴퓨터가 일상적 환경(주방, 직장, 거리)에 깊숙히 내재되어 우리의 일상 활동을 조용히 지원하는 세상을 구상했다. 그의 비전은 사용자가 인식하지 못하는 방식으로 분산되어 있으면서도 집단적이고 체화된 기술을 구현하는 것이었다. 그는 노트북과 같은 개인용 기기는 단지 과도기적 단계에 불과하다고 주장했다: “개인용 컴퓨터라는 개념은 틀렸다. … 우리는 세상에서 컴퓨터에 대한 새로운 사고방식을 설계해야 한다. 다시 말해, 인간의 환경을 고려하여 컴퓨터가 (사용자의) 배경처럼 자연스럽게 스며들도록 하는 사고방식이다.” 컴퓨팅을 무대 뒤로 물러나게 하는, 즉 중심이 아닌 주변적 존재로 만들려는 열망은 그가 예견한 미래의 본질, 즉 스크린이 없는 미래를 보여준다.²⁴

와이저는 유비쿼터스 컴퓨팅이 개인용 기기로 인한 고립화 경향에 대응할 수 있다고 보았다. 그는 우리를 현실 세계로부터 단절시키는 가상현실에 반대하며, 현실을 대체하기보다는 오히려 증강하는 기술 통합 형태인 ‘체화된 가상현실’을 제시했다. 이러한 비전에서 스크린은 기술적으로나 이념적으로나 설 자리가 없다. 목표는 사람들을 집중시키는 것이 아니라, 집중할 필요가

없게 하는 것이다.

하지만 와이저의 주장은 시대를 너무 앞서 나갔다. 스마트폰의 등장이 그의 비전을 가려버렸다. 그럼에도 불구하고 그의 비전은 여전히 유효하며, 지금 ‘체화된 가상 현실’이라는 와이저의 개념이 다시 부활하고 있다.

21세기 초와는 달리, 오늘날의 사회는 스크린이 초래하는 인지적, 신체적, 사회적 해악을 인지하고 이에 저항하기 시작했다. 예를 들어, 도시들은 스크린 사용을 규제할 계획을 세우고,²⁵ 공동체들은 오프라인으로 돌아가고 있다.²⁶ 또한, 디지털 디톡스 휴양지가 급증하는 현상도 나타나는데,²⁷ 이러한 일련의 신호들은 집단적 성숙도가 높아지고 있으며, 스크린 독점에서 벗어나려는 공통된 열망이 커지고 있음을 분명히 보여준다.

21세기가 시작된 지 25년이 지난 지금, 이 아이디어는 마침내 때를 만난 듯하다. ‘스크린 없는 도시’가 실현된다면, 우리는 스크린 의존도를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 더욱 바람직하고 지속 가능한 미래를 맞이할 것이다.

Ⅰ References Ⅰ

1. Beroche, H. (2023, Dec 5). 도시 인공지능: 현실 세계 관찰에서 패러다임 전환 개념까지(*Urban Artificial Intelligence: From Real-world Observations to a Paradigm-Shifting Concept*). URBAN AI.
2. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2026, forthcoming). 스마트시티 발전을 위한 AI(*AI for Advancing Smart Cities*). Paris: OECD Publishing.
3. Sassen, S. (2021, Apr 26). 도시화된 기술(*Urbanized Technology*). URBAN AI.
4. Sassen, S. (2016). 스마트시티 구축(*Building Smart Cities*) [Video]. TED Talks. https://www.ted.com/talks/saskia_sassen_building_smart_cities

5. Beroche, H. (2020). 도시 AI(*Urban AI*). URBAN AI.
6. Beroche, H. (2021). 기술을 도시화해야 할 때가 되었다(*It's Time to Urbanize Technology*). URBAN AI.
7. 기술 도시화의 소명(*Call to Urbanize Technology*) - *Manifesto*. URBAN AI - (2021)
8. Beroche, H. (2025). 스몐비(*Smombies*). 스크린으로 시험대에 오른 도시(*La ville à l'épreuve des écrans*). Paris : éditions de l'Aube
9. Latour, B. (1993). 우리는 현대화된 적이 없다(*We Have Never Been Modern*).
10. Silberling, A. (2025, July 31). 애플의 팀 쿡 CEO는 애플이 2007년 이후 지금까지 30억 대의 아이폰을 판매했다고 밝혔다. TechCrunch. <https://techcrunch.com/2025/07/31/apple-has-now-sold-three-billion-iphones>
11. Visual Capitalist. (2025, March 20). Charted: 애플은 어떻게 3,910억 달러의 매출을 달성할까(2024년 9월 말로 끝난 회계년도). <https://www.visualcapitalist.com/charted-how-apple-makes-its-391b-in-revenue>
12. Apple Inc. (2025, June 5). 글로벌 앱 스토어는 개발자가 새로운 차원으로 도약할 수 있도록 지원하며, 2024년에는 1조 3,000억 달러의 매출을 달성할 것으로 예상된다. Apple Newsroom. <https://www.apple.com/newsroom/2025/06/global-app-store-helps-developers-reach-new-heights>
13. MasterMind Behavior. (2025, March 11). 휴대전화 중독 통계. <https://www.mastermindbehavior.com/post/cell-phone-smartphone-addiction-statistics>
14. Institute of Practitioners in Advertising (IPA). (2025, June 25). 오늘날 영국 성인들은 TVqhek 전화기를 더 많이 본다. The Guardian. <https://www.theguardian.com/media/2025/jun/25/adults-great-britain-time->

15. TRT World. 한국은 청소년의 스마트폰 중독을 막기 위해 전국의 교실 내 전화 사용을 금지시켰다.
16. Beroche, H. (2021). 스몐비(*Smombie*). 스크린으로 시험대에 오른 도시 (*La ville à l'épreuve des écrans*). Paris: Éditions de l'Aube.
17. Beroche, H., Chubinidze, A., & Goelzer, L. (2023). 스마트시티의 지정학: 소프트 파워의 표현과 새로운 질서(*Geopolitics of Smart Cities: Expression of Soft Power and New Order*). URBAN AI.
18. "The Medium is The Message" – McLuhan, M. (1964). 미디어의 이해: 인간의 확장(*Understanding Media: The Extensions of Man*). New York: McGraw-Hill.
19. Beroche, H. (2024). 감응형 인터페이스에 대하여(*Towards Sensible Interfaces*). In A. Brandusescu & J. Reia (Eds.), 도시의 인공지능: 시민 참여와 대중의 신뢰 구축(*Artificial Intelligence in the City: Building Civic Engagement and Public Trust*). McGill University / University of Virginia.
21. Beroche, H. (2025). 공간 컴퓨팅에서 스크린 없는 도시까지(From Spatial Computing to Screenless Cities). URBAN AI.
22. Benson, T., Van Dijk, S., & Batty, M. (2021, September 7). 프로그래밍 가능한 도시: Roboat를 사용한 암스테르담의 반응형 자율 인프라 구축(Programmable Cities: Using Roboat to Create a Responsive Autonomous Infrastructure in Amsterdam). URBAN AI.
23. Beroche, H. (2025). 스크린 없는 도시로 가는 길(Paving the Way for Screenless Cities). URBAN AI
24. Weiser, M. (1991). 21세기의 컴퓨터(The Computer for the 21st Century)
25. Chrisafis, A. (2024, February 10). 스마트폰 침략에 맞서다: 공공장소 스크롤 금지를 투표로 결정한 프랑스 마을(Fighting the Smartphone

Invasion: The French Village That Voted to Ban Scrolling in Public).
The Guardian.

26. Freeman, H. (2024, November 15). 오프라인 클럽: 디지털 디톡스를 위한 행아웃 이벤트(The Offline Club: Hangout Event for Digital Detox). The Guardian.

27. BBC Travel. (2025, May 7). 멈출 수 없는 디지털 디톡스 리트리트의 부상(The Unstoppable Rise of Digital Detox Retreats). BBC Travel



**SMART CITY
T O P
A G E N D A
2 0 2 5**

Implementing Net Zero Cities and AI

탄소중립도시 구현과 AI

정승현

Seunghyun Jung



탄소중립과 인공지능 기반 도시계획 분야를 선도하는 연구자로서, 스마트시티의 이론과 실무를 아우르는 연구를 지속해오고 있다. 현재 한국건설기술연구원에서 연구위원으로 재직 중이며, 스마트도시센터장을 맡아 도시의 지속가능성과 디지털 전환을 위한 전략 및 기술 개발에 힘쓰고 있다. 또한, 국가연구소대학인 과학기술연합대학원대학교UST 건설환경공학과 도시융합공학전공 교수로 활동하며 학문과 실무를 잇는 가교 역할을 수행하고 있다. 한국형 스마트도시 모델 수립, 탄소공간지도 기반 계획지원 기술 개발 등 AI와 탄소중립 스마트시티 분야의 다수 국가연구개발사업을 주도하였으며, 스마트시티와 도시환경의 통합적 발전을 위한 기술 및 정책 연구를 통해 지속가능한 미래도시 구현에 기여하고 있다.

● 초록 ●

인류는 도시문제에 대응하기 위해 다양한 해결책을 모색해왔으며, 그 과정에서 여러 이상적인 도시 모델이 제시되어 왔다. 그 대표적 사례가 스마트시티이며, 오늘날 스마트시티가 직면한 가장 중요한 과제는 기후위기이다. 따라서 스마트시티와 탄소중립도시는 분리된 개념이 아니라 ‘탄소중립 스마트도시’라는 통합적 개념으로 이해될 수 있다.

본 글에서는 스마트시티의 핵심기술인 인공지능이 탄소중립에 기여할 수 있는 방안을 건물, 수송, 도시 외부공간으로 구분하여 설명하였다. 아울러 탄소중립도시를 위한 핵심 데이터로서 탄소배출과 흡수 정보를 지도화한 ‘탄소공간지도’의 활용 가능성과 기대효과를 제시하였다. 탄소공간지도는 탄소중립 스마트시티를 위한 핵심 도구로 기능할 수 있으며, 향후 인공지능 기술을 적극 도입하여 지능형 의사결정을 지원하는 계획지원 플랫폼으로 발전할 것으로 기대된다.

한편, 인공지능은 탄소중립 스마트시티 구현에 기여할 수 있는 잠재력을 지니고 있지만, 동시에 운용 과정에서 발생하는 막대한 에너지 소비 등 부정적 측면도 내포한다. 따라서 인공지능의 활용은 기술적 진보와 정책적 관리가 균형 있게 조화를 이루어야만 탄소중립 스마트시티로 실현될 수 있을 것이다.

키워드

기후위기, 탄소중립 스마트시티, 인공지능, 탄소공간지도, 인공지능 반대급부

• ABSTRACT •

Humanity has long sought various solutions to urban problems, and throughout this process, multiple ideal city models have been proposed. Among them, the smart city is a representative case, and one of its most pressing challenges today is the climate crisis. Therefore, smart cities and carbon-neutral cities should not be regarded as separate concepts but rather understood as an integrated notion of the “carbon-neutral smart city.”

Artificial intelligence, as a core technology of smart cities, can contribute to carbon neutrality in three domains: buildings, transportation, and external urban spaces. In addition, the utilization and expected effects of the Carbon Spatial Map, which visualizes carbon emissions and absorption, are emphasized as essential foundations for carbon-neutral cities. The Carbon Spatial Map functions not merely as an information system but as a core tool for policy and planning, with the potential to evolve into an intelligent planning support platform through the active adoption of AI technologies.

At the same time, AI entails negative aspects such as significant energy consumption during operation, which cannot be overlooked. Achieving a carbon-neutral smart city therefore requires a careful balance between technological advancement and policy management to ensure that AI contributes positively to urban sustainability.

KEYWORDS

Climate crisis, Carbon-neutral smart city, Artificial Intelligence(AI), Carbon Spatial Map, AI trade-offs

도시의 이상향

도시의 탄생과 도시문제의 발생

인류가 집단으로 모여 살기 시작한 것은 단순한 생존의 필요에서 비롯되었다. 혼자서는 맹수나 외부의 적에 취약했지만, 여러 사람이 힘을 합치면 안전을 보장받을 수 있었고, 농업생산에서도 효율을 높일 수 있었다. 가족과 마을에서 출발한 생활 단위는 점차 확장되며 인류 최고의 발명품이라 불리는 ‘도시’로 발전되기에 이른다. 도시는 풍부한 인적자원과 분업 체계를 기반으로 성장했고, 과학기술의 발전과 더불어 사람과 자원을 끌어들이는 흡입력을 가지게 되었다.

도시는 인류의 번영을 이끌었지만, 동시에 범죄, 전염병, 주택 부족 등 새로운 문제를 낳았다. 고대 도시의 식량 확보 문제는 오늘날에도 지역 간 불균형으로 이어지고 있다. 중세 유럽의 흑사병, 근대의 콜레라 유행은 도시 위생의 중요성을 일깨워 상하수도 시설의 정비와 초기 도시계획 제도가 도입되는 계기가 되었다. 그리고 최근의 코로나19 사태로 여전히 도시가 전염병 확산에 취약하다는 점이 확인되었으며, 지진, 홍수와 같은 재해에 대응하여 그 피해를 최소화하려는 노력이 지속되고 있다. 결국 도시는 문제와 해결의 과정을 반복하면서 성숙해 왔으며, 이는 사람들이 도시를 대상으로 연구하게 되는 주요한 계기가 되었다.

도시문제 해결을 위한 이상도시 모델

현실도시에서의 끊임없는 문제에 직면하자 사람들은 ‘이상향’을 꿈꾸게 되었다. 동양에서는 무릉도원처럼 현실의 고통을 벗어나 평화롭고 풍요로운 삶을 영위하는 낙원을 상상했다. 이는 전쟁과 혼란을 겪던 시대 상황의 반영이었으며, 자연 속 삶을 지향한다는 특징이 있다. 반면 서양은 토머스 모어의 『유토피아』에서 보듯 제도와 도시 형태를 통해 문제를 해결하려는 접근을 취했

다. 정치·종교·군사 등 사회 제도의 혁신과 새로운 도시 구조가 이상사회의 구현 수단으로 제시되었던 것이다.

이러한 이상도시의 사상은 실제 계획으로 구체화되었다. 르두의 공업도시 ‘쇼우’는 노동자들의 생활과 생산을 통합적으로 고려한 모델이었고, 마타의 선형도시는 교통 문제 해결을 지향했다. 에베네저 하워드의 전원도시는 도시의 과밀과 농촌의 침체를 동시에 극복하려는 시도로, 실제로 런던 근교에서 일부 실현되었다. 20세기에는 과학기술을 활용한 공중도시, 해양도시, 이동도시와 같은 실험적 구상도 등장했다.

오늘날에는 인공지능과 빅데이터를 활용한 스마트시티가 도시문제 해결을 위한 핵심 도시 모델로 주목받고 있다. 특히 스마트시티의 지능정보기술은 기후변화에도 유용하다. 대규모 데이터 분석을 통해 에너지 사용을 최적화하고, 교통·건물·환경 관리에서 효율성을 높일 수 있게 되었다. 이는 탄소중립도시라는 새로운 이상향을 현실적으로 구현할 가능성을 열어주고 있다. 결국 스마트도시와 탄소중립도시는 인류가 직면한 기후위기에 대응하기 위한 현대판 이상도시라고 할 수 있다.

탄소중립과 스마트도시

탄소중립도시

탄소배출을 줄이기 위해서는 생산활동을 비롯한 대부분의 인간 활동이 발생하는 도시에서의 노력이 무엇보다 중요하다. 인위적으로 배출되는 탄소량이 제거되거나 흡수되는 탄소량과 같아지는 상태를 탄소중립이라 하는데, 이러한 탄소중립 개념이 적용된 도시를 탄소중립도시라 한다. 탄소중립도시는 갑자기 생겨난 개념이 아니며, 1980년대 이전부터 기후변화를 비롯한 지구의 환경문제에 대한 전 세계적인 논의와 이행 과정을 통해 형성되었다.

지구온난화와 같은 글로벌 이슈를 논의하기 위해 이탈리아 로마에서 결성된 로마클럽(Club of Rome)에서는 1972년 ‘성장의 한계(The Limits to Growth)’라는 보고서를 발간하여 지구온난화에 대응한 성장 억제와 인구안정화 정책의 필요성을 제시하였다. 이후 1983년 국제연합(UN: United Nations)은 환경문제에 대응하기 위해 일명 브룬트란트위원회로 불리는 세계환경개발위원회(WCED: World Commission on Environment and Development)를 구성하였으며, 여기서 1987년 ‘우리 공동의 미래(Our Common Future)’란 보고서를 발표하게 된다. 이 보고서에서는 지구생태계의 보호와 경제 성장 간의 조화를 모색하기 위해 ‘환경적으로 건전하고 지속 가능한 개발(ESSD: Environmentally Sound and Sustainable Development)’ 개념을 도입하였다. 이후 ESSD는 각종 개발사업을 추진하는 데 있어서 보편적인 개념으로 적용되면서 친환경 도시에 관한 관심이 확산하는 계기가 되었다.

탄소중립도시도 이러한 친환경 도시의 연장선에서 제기된 개념이다. 탄소배출에 관한 국가간 이행협약인 교토의정서(Kyoto Protocol)가 주요선진국을 중심으로 1997년 체결되었고, 2015년 파리 유엔기후변화협약 당사국 총회 COP21에서는 온실가스 감축 의무가 모든 국가로 확대되었다. 2016년 세계

Figure 1
탄소중립도시로의 여정



경제포럼에서 제시된 4차산업혁명의 핵심기술과 이에 기반한 스마트시티도 모두 탄소중립을 이루려는 방안으로 볼 수 있다.

탄소중립을 위한 스마트도시

스마트시티는 처음에는 첨단 기술이 집약된 편리한 도시, 안전하고 쾌적한 도시라는 이미지를 앞세워 주목받았다. 그런데 점차 그 본질이 달라지고 있다. 교통 혼잡 해소, 에너지 절약, 쾌적한 주거환경 제공 같은 구체적 성과가 쌓이면서, 스마트시티는 단순한 기술의 실험장이 아니라 도시가 직면한 가장 근본적인 문제, 즉 기후위기와 탄소중립을 풀어내는 핵심 모델로 자리 잡아 가고 있다.

우리는 흔히 스마트시티를 자율주행차, 드론, 3D프린팅 같은 첨단 기술의 집합체로 생각한다. 물론 이런 기술들은 도시를 편리하게 만들고 생활을 효율적으로 바꾸어 준다. 하지만 편리함만으로는 스마트시티의 가치를 설명할 수 없다. 스마트시티의 배경에는 기존 기술로는 해결할 수 없었던 도시문제의 한계가 있었다. 그리고 그 한계 중 가장 절박한 것이 바로 기후위기와 탄소중립이다.

이와 관련하여 유럽연합은 스마트시티를 탄소중립도시로 가는 전략적 수단으로 삼고 있다. 유럽연합의 대표적인 스마트시티 사업인 라이트하우스 프로젝트(EIP-SCC, 2018)는 도시와 기업, 대학, 연구소가 연합해 실증사업을 추진하는 방식이다. 초기에는 맨체스터, 아인트호벤, 스타방에르 같은 도시들이 선도했고, 이후 라이프치히, 프라하, 사바델로 확산되었다. 이들이 선택한 스마트시티 솔루션의 대부분은 건물 에너지 효율을 높이고 재생에너지 사용을 확대하며, 전기차를 보급하는 것이었다. 실제 라이트하우스 프로젝트에 사용된 기술들을 조사한 결과(표 1) 전체 215개 기술이 모두 이에 해당하였다(정승현, 김민주, 2021).

Field	Demonstrated Solution	Number of cases
Energy Efficiency in Building 39 out of 215 (18.1%)	Retrofitting of the building envelope	24 (61.5%)
	High performance new buildings	2 (5.1%)
	Building services (HVAC and lighting)	5 (12.8%)
	Small energy storage	1 (2.6%)
	Building integrated renewable energy sources	3 (7.7%)
	Heat pumps	4 (10.3%)
Sub Total		39 (100%)
Energy Systems Integration 59 out of 215 (27.4%)	District heating and cooling	15 (25.4%)
	Biomass boilers	5 (8.5%)
	Co-generation (CHP)	2 (3.4%)
	Thermal storage	2 (3.4%)
	Electrical energy storage	2 (3.4%)
	Photovoltaics	9 (15.3%)
	Wind turbine	2 (3.4%)
	Thermal collectors	3 (5.1%)
	Near-to surface geothermal energy	1 (1.7%)
	Smart street lighting	12 (20.3%)
	Waste heat recovery	5 (8.5%)
	Waste to energy	1 (1.7%)
Sub Total		59 (100%)
Mobility & Transport 55 out of 215 (25.6%)	Clean fuels and fueling infrastructure	19 (34.5%)
	Electric, hybrid and clean vehicles	17 (30.9%)
	Car sharing	8 (14.5%)
	Bicycle infrastructure	6 (10.9%)
	Intramodality	2 (3.6%)
	Urban freight logistics	3 (5.5%)
Sub Total		55 (100%)
ICT 62 out of 215 (28.8%)	Building energy management system	10 (16.1%)
	Neighborhood energy management system	5 (8.1%)
	Urban data platform	15 (24.2%)
	Traffic control system	5 (8.1%)
	Travel demand management	3 (4.8%)

Field	Demonstrated Solution	Number of cases
ICT 62 out of 215 (28.8%)	Demand response	2 (3.2%)
	Smart electricity grid	2 (3.2%)
	ICT as planning support	8 (12.9%)
	Mobile applications for citizens	7 (11.3%)
	Smart district heating and cooling grids demand	2 (3.2%)
	Strategic urban planning	3 (4.8%)
Sub Total		62 (100%)
Total		215

Table 1

Source: (European Commission, 2017) 보고서의 내용을 (정승현, 김민주, 2021)의 연구에서 재구성

**분야별 스마트시티 기술 적용
건수와 비율**

이 같이 유럽의 스마트시티 사례는 기술 그 자체보다 탄소중립이라는 목표를 향해 있다는 점에서 의미가 크다. 유럽이 보여주듯, 스마트시티는 단순한 ‘스마트한 도시’가 아니라 곧 탄소중립도시를 만드는 전략적 경로인 것이다.

탄소중립도시에서의 SI의 역할과 기여

탄소배출의 주요 원인지인 도시

현재는 많은 사람이 기후변화에 대한 홍보와 인식개선 노력으로 온실가스를 줄여야 한다는 것쯤은 대부분 알고 있다. 그렇다고 온실가스가 완전히 필요 없는 것은 아니다. 지구상의 생명체들은 적정 온도가 유지되어야 살아갈 수 있는데, 만약 온실효과가 없다면 지구는 생명체들이 살기 어려운 환경이 될 것이다. 실제 지구에서 자연적으로 발생하는 온실가스는 식물이나 바닷속 플랑크톤에 의한 자정작용을 통해 열평형 상태를 유지할 수 있다. 문제는 기존의 열평형 상태를 깨뜨리는 인위적인 온실가스의 과도한 배출에 있다. 따라서 탄소중립은 지구상에 배출되는 모든 온실가스를 없애는 것이 아닌, 인위

적으로 과도하게 배출되는 온실가스 양을 줄이거나 없애서 지구 대기를 자연적인 열평형 상태로 만드는 것이다.

인위적인 온실가스가 배출되는 대표적인 공간이 바로 도시다. 전체 이산화탄소 배출량 중 도시에서 배출되는 양이 차지하는 비율은 70%에 이른다. 도시에서는 다양한 인간 활동이 이뤄지는데 그 과정에서 온실가스가 배출된다. 물론 인구수가 적고 인간 활동의 규모가 크지 않으며 그 형태도 현대와 같이 복잡하고 고도화되지 않은 산업화 이전에는 큰 문제가 되지 않았을 수 있다. 그러나 산업화를 거치면서 생산활동에 전기와 기계가 도입되어 대량 생산 체계가 갖춰져 이전과는 비교가 되지 않을 수준의 생산활동을 하게 되었다. 당연히 급격하게 증가한 생산활동에 비례하여 탄소가 배출되고 있다. 그뿐만 아니라 내연기관의 발명으로 이동 수단에 있어서도 화석연료를 대량으로 소비하게 됨에 따라 온실가스가 자연계의 평형을 해칠 수준으로 과다하게 배출되었다. 도시에서 배출되는 온실가스를 줄이기 위해서는 인간 활동 자체를 줄여야 하는데, 그렇다고 실제로 그렇게 하기는 쉽지 않다. 왜냐하면 인간 생활을 영위하는 데 필요한 생산활동을 멈출 수 없기 때문이다.

탄소중립도시에서의 시의 역할

인공지능기술은 생산활동을 수행하는 데 있어 에너지 효율성을 향상시켜 탄소배출을 줄일 수 있다. 인공지능을 활용하면 에너지 소비를 최적화하고 관리하는 데 큰 도움이 된다. 예를 들어, 공장의 산업공정에는 대량의 에너지가 투입되는데, 제조 과정과 에너지 소비 간의 관계를 학습하면 더 적은 에너지로도 생산성을 높이는 방법을 찾을 수 있다. 특히 전력은 수요에 맞게 생산하고 적기에 공급하는 것이 중요하다. 따라서 수요를 정확히 예측하여 최적의 조합으로 적정 규모의 전기를 생산·공급하는 것이 필요하며, 이 과정에서 인공지능의 최적화 알고리즘이 핵심적으로 적용된다.

도시는 에너지를 가장 많이 소비하는 공간이며, 그중에서도 건물은 대표적인 배출원이다. 냉난방, 조명, 환기, 전력공급과 같은 일상적 활동이 모두

에너지와 직결되기 때문이다. 국내 전체 에너지 사용량의 20% 이상, 서울은 절반 이상이 건물에서 발생한다는 사실은 건물 부문 관리의 중요성을 보여준다. 이런 맥락에서 AI 기술이 적용된 스마트빌딩은 단순한 첨단 건축물이 아니라 탄소중립을 위한 전략적 해법이다. 건축, 통신, 자동화 시스템을 통합한 스마트빌딩은 에너지 흐름을 실시간으로 조절하고 최적화한다. 냉난방과 조명은 필요할 때만 작동하며, 인공지능은 수많은 데이터를 분석해 불필요한 소비를 줄인다. 덕분에 건물은 쾌적성과 안전성을 유지하면서도 에너지 절감이라는 두 가지 목표를 동시에 달성할 수 있다.

수송부문에서도 탄소배출을 크게 줄일 수 있다. 자율주행차에는 고도의 인공지능기술이 도입되어 운전자의 실수를 줄이고 교통사고를 예방한다. 더 나아가 교통 흐름에도 혁신을 가져온다. 사람이 운전하고 기존 신호체계에 의존할 경우 정체가 불가피하며, 이는 차량 운행 시간과 배출량 증가로 이어진다. 하지만 지능형 신호체계를 적용하면 차량의 흐름을 물 흐르듯 통제해 속도를 높이고 정체를 완화한다. 이는 물류 유통에도 긍정적인 효과를 주어 적은 에너지로 더 많은 운송을 가능하게 하고, 결과적으로 배출량을 줄인다.

도시 외부 공간에서도 인공지능은 효율화를 이끈다. 사람들의 활동 패턴을 학습해 에너지 사용을 최적화하는 것이다. 예를 들어, 스마트 조명 시스템은 차량과 사람의 움직임이 있을 때만 점등하거나 밝기를 조절해 에너지를 절약할 수 있다.

결론적으로, 인공지능은 산업, 건물, 교통, 도시 공간 전반에 걸쳐 에너지 효율을 높이고 탄소배출을 줄이는 핵심 도구다. 눈에 보이지 않게 도시 곳곳에 스며든 인공지능은 탄소중립을 가능케 하는 보이지 않는 엔진이며, 우리가 이 기술을 어떻게 설계하고 적용하느냐가 곧 도시의 미래를 좌우하게 될 것이다.

탄소중립도시를 위한 데이터

탄소공간지도 구축 배경

지구온난화로 인한 평균 기온 상승과 재난·재해의 빈발 현상은 과거에는 ‘기후변화’라 불렸지만, 이제는 그 심각성이 널리 인식되면서 ‘기후위기’라는 용어가 보편화되었다. 우리나라도 국제사회의 노력에 발맞추어 적극적인 온실가스 감축 정책을 추진해왔다. 교토의정서 체결 당시 개발도상국으로 분류되어 감축 의무가 없었음에도 자발적으로 동참하였고, 2016년에는 파리기후협약을 비준하며 2018년 대비 26.3% 감축 계획을 담은 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC: Nationally Determined Contribution)를 제출하였다. 이어 2020년 국제사회의 ‘2050 탄소중립목표’ 선언에 발맞추어 NDC를 상향 조정했고, 현재는 2030년까지 ‘2018년 대비 40% 감축’이라는 도전적인 목표가 설정되어 있다. 또한 2021년 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(약칭: 탄소중립기본법)」이 제정·시행되면서 우리나라는 2050 탄소중립을 법제화한 열네 번째 국가가 되었다.

탄소중립기본법은 국가 차원의 중장기 감축 목표 달성을 위해 20년 단위의 국가 탄소중립 녹색성장기본계획(이하 탄소중립국가기본계획)을 5년마다 수립하도록 규정하고 있으며, 광역 및 기초 지자체도 10년 단위의 탄소중립기본계획을 5년마다 수립·시행하도록 의무화하였다. 이어 시행령에서는 온실가스 감축 목표 설정과 이행 점검, 계획 수립 절차를 구체화하고, 특히 공간계획 분야에서 ‘탄소공간지도’ 구축의 법적 근거를 마련하였다. 시행령 제39조는 지역·공간 단위의 온실가스 배출량과 흡수량 정보를 반영한 공간정보 및 지도를 작성·관리하도록 규정하고 있으며, 제74조에서는 해당 업무의 위탁 근거를 명시하였다.

또한 2050 탄소중립 시나리오를 비롯한 다양한 정책들은 산업·수송·건물 부문 감축과 함께, 도시공간을 탄소저감형으로 조성하기 위한 공간계획의

필요성을 강조한다. 그러나 기존의 온실가스 인벤토리는 배출원 중심의 총량 산정 방식으로, 개별 지자체의 공간단위 감축 계획 수립에는 한계가 있었다. 이에 2021년 말 국토교통부는 「도시·군 기본계획 수립지침」을 개정해 탄소 중립 요소를 반영하였다. 개정 지침에는 탄소 감축에 유리한 공간구조 형성, 온실가스 감축목표 제시, 최근 5년간의 배출·흡수량 파악, 토지수요 예측 등 탄소중립도시를 위한 계획요소가 포함되었다. 하지만 여전히 도시별 탄소 배출 관련 정보를 확보하기는 쉽지 않았고, 이를 지원할 기법과 도구도 부족한 상황이었다. 따라서 지역단위 탄소중립계획을 뒷받침하고 탄소중립형 공간계획 수립을 가능케 하는 기반으로서 '탄소공간지도' 구축 필요성이 본격적으로 제기되었다.

탄소중립도시의 핵심 플랫폼, 탄소공간지도

국토교통부는 도시계획 수립 시 탄소중립 개념과 계획 요소를 반영하기 위한 기반으로 2022년 8월 탄소공간지도 시스템 구축에 착수하였다. 한국건설기술연구원이 주관하여 같은 해 말 1차 구축을 완료했으며, 2023년 2월 22일부터 4월 7일까지는 지자체를 대상으로 시범운영을 실시하였다. 이 과정에서 지자체로부터 다양한 개선 의견을 수렴해 보완 작업을 진행했고, 이후 운

Figure 2
탄소공간지도
(carbonmap.kr)

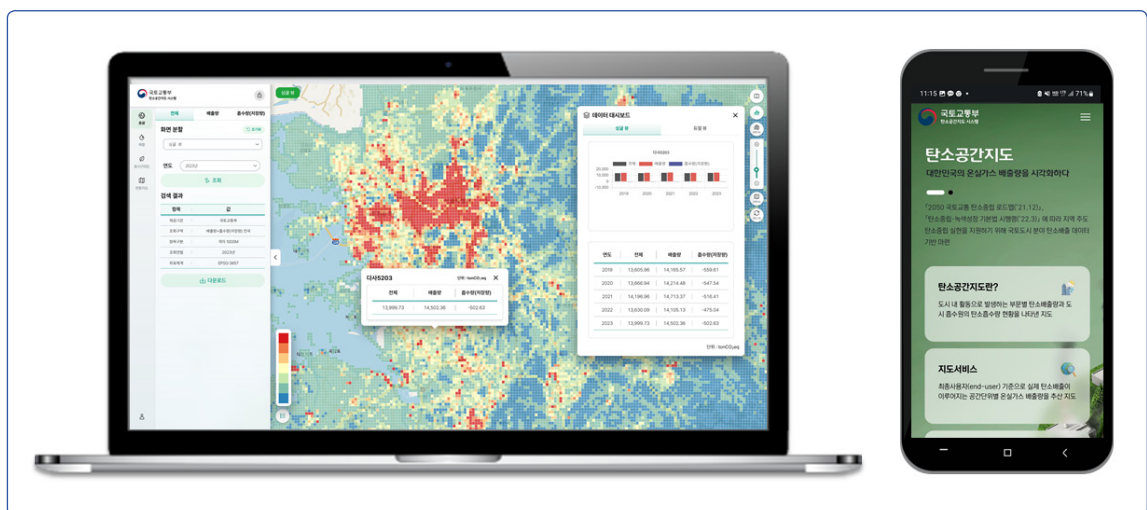




Figure 3

부문별 탄소배출과 흡수 지도

영기관인 한국국토정보공사에 시스템을 이관하여 최적화를 마무리하였다. 그 결과 2023년 6월 30일, 탄소공간지도 시스템이 일반에 공개되었다(www.carbonmap.kr).

현재 운영 중인 탄소공간지도는 건물, 수송, 흡수원 등 세 가지 부문에 대해 온실가스 배출과 흡수 정보를 제공한다. 다만 여기서 말하는 온실가스 배출은 특정 공간에서 직접 발생한 양을 뜻하지 않고, 해당 활동이 온실가스 배출에 기여한 정도를 의미한다. 예컨대 건물부문은 전기·가스·지역난방 사용량을 근거로 배출량을 산정하는데, 전기 사용의 경우 실제 배출은 발전소와 같은 생산 단계에서 일어나므로 해당 건물은 전력 소비를 통해 간접적으로 배출에 기여한 것이다. 이러한 특성을 반영해 탄소공간지도에서는 배출을 ‘온실가스 배출활동’, 흡수를 ‘온실가스 흡수 성능’으로 재정의하였다.

이는 공간계획과 정책에서 감축의 직접적 대상이 건물의 에너지 사용이나 차량 이동과 같은 도시 활동이라는 점을 명확히 하기 위함이다. 도시의 온실가스를 줄이기 위해서는 결국 이러한 활동을 어떻게 제어하고 관리할 것인가가 핵심 과제가 된다. 따라서 탄소공간지도는 탄소중립 도시계획 수립, 관련 정책 시행과 모니터링에 활용할 수 있는 중요한 기반 도구라 할 수 있다.

인공지능기술을 활용한 탄소공간지도 발전 방향

탄소공간지도의 데이터 구축은 크게 건물, 수송, 흡수원 부문으로 나뉘

다. 먼저 건물부문은 부동산원에서 제공하는 필지별 전기·가스·지역 난방 사용량을 기반으로 탄소배출량을 산정하여 공간화하였다. 이 과정에서 개인정보 보호를 위해 자료는 격자 단위로 비식별화 처리되었으며, 1km·500m·100m 격자를 제공하여 탐색 목적에 따라 선택할 수 있도록 했다.

수송부문은 주요 도로 구간의 교통량, 운행 차종, 속도 정보를 인공지능 기반 모델을 통해 추정하고, 이를 바탕으로 탄소배출량을 계산하였다. 흡수원 부문은 산림청 임상도의 수종, 임령, 수고 정보를 활용해 산림의 흡수 성능을 추정하였다. 향후에는 인공지능기술을 적용해 보다 정밀한 규모에서 흡수량을 예측할 수 있는 모델을 개발할 계획이다.

이렇게 구축된 탄소공간지도는 앞으로 정밀도를 높이고 접근성을 강화하는 방향으로 고도화될 예정이다. 현재 격자 해상도는 1km~100m 수준으로 제공되며, 연구개발을 통해 10m 수준까지 확대할 계획이다. 단순히 격자의 크기를 줄이는 것이 아니라, 데이터 자체의 정확도를 향상시키는 것이 목표다. 예컨대 건물부문에서는 현재 집합건축물의 배출량이 하나의 격자에 집중되는 한계가 있으며, 에너지 연소 외에도 폐기물·산업생산·농축산 활동에서의 배출량까지 반영하는 과제가 남아 있다. 수송부문 또한 현재는 주요 간선도로망 중심의 배출량을 제공하지만, 향후에는 인공지능을 통해 도시 내부의 상세 도로망까지 예측·표출하여 공간정보의 정밀성을 높여갈 계획이다.

탄소중립도시에서의 활용과 기대효과

탄소중립을 위한 노력은 건물 에너지 효율화, 전기자동차 보급, 산업공정 혁신 등 다양한 분야에서 추진되고 있다. 그러나 정작 도시 차원에서 탄소배출을 최소화할 수 있는 공간구조 자체를 바꾸려는 시도는 상대적으로 부족했다. 도시공간을 탄소중립형으로 전환한다는 것은 도시의 기본 구조와 체질을 바꾸는 일이므로, 이를 지원할 수 있는 시뮬레이션 기법의 개발과 보급이 필요하다.

탄소공간지도를 기반으로 한 계획수립 지원 기술이 개발·확산되면, 지자체는 탄소중립도시계획을 수립하는 과정에서 이를 적극 활용할 수 있다. 구체적으로는 도시·군 기본계획에 포함되어야 할 탄소배출 감축목표 설정, 저탄소 도시공간구조의 도출, 탄소중립 계획요소의 적용 기법 등이 지원된다. 또한 계획 수립 이후에도 감축 효과에 대한 모니터링, 개별 개발사업 단위의 탄소중립 수준 시뮬레이션 등 후속 관리 기능까지 제공될 수 있다.

탄소공간지도 구축은 탄소중립 도시계획 수립을 위한 출발점에 불과하다. 앞으로 도시 내 발생하는 탄소배출 활동을 더욱 정확하고 정밀하게 반영하여, 정책 수립에 필요한 과학적 근거를 제공할 수 있을 때 비로소 탄소공간지도는 도시의 계획과 운영을 위한 핵심 수단으로서 그 가치를 발휘하게 될 것이다.

탄소중립과 AI의 모순관계

인공지능이 가져오는 반대급부

인공지능은 탄소중립도시 구현에 핵심적 역할을 하지만, 그 자체가 온실가스 배출을 유발할 수도 있다. AI는 막대한 연산 과정을 통해 작동하며, 이 과정에서 대규모 전력이 소비된다. 특히 전력이 화석연료 기반으로 생산된다면, 인공지능의 사용은 곧 온실가스 배출 증가로 이어진다. 또한 전력 소비에 따른 발열을 식히기 위해 추가 에너지가 투입되면서 배출량은 더욱 늘어난다. 탄소감축을 위해 도입된 기술이 오히려 역효과를 낼 수 있는 것이다.

AI 활용은 에너지 비용뿐 아니라 사회·경제적 불평등으로도 이어질 수 있다. 인공지능 인프라를 구축할 역량이 부족한 저개발국은 선진국에 비해 불리한 위치에 놓이게 되고, 국가 간 감축 책임을 둘러싼 갈등이 심화될 수 있다. 더 나아가 인공지능이 반드시 탄소감축 목적으로만 활용된다는 보장도

없다. 오히려 화석연료 탐사와 채굴에 사용되어 배출을 확대할 위험도 존재한다. 따라서 인공지능 기술은 부작용이 발생하지 않도록 신중히 활용되어야 한다.

온실가스 배출에 기여하는 자율주행차

전기차 기반 자율주행차는 무공해 교통수단으로 소개되지만, 실제로는 다양한 온실가스 배출 요인을 내포한다. 우선 배터리 제조 과정에서 리튬·니켈·코발트와 같은 원료의 채굴과 정련은 막대한 에너지와 온실가스를 수반한다. 특히 코발트는 환경오염과 인권 문제를 야기할 수 있다.

생산 과정 또한 에너지 집약적이다. 전기차 제작 시 사용하는 전력이 화석연료 기반일 경우, 생산량 증가가 곧 배출량 증가로 이어진다. 자율주행을 위한 센서·장비 추가는 부품 제작과 조립 과정의 에너지 소모를 더욱 높인다. 차량 주행 단계에서도 무거운 배터리로 인해 타이어 마모가 증가하고, 이로 인한 미세먼지 발생이 대기오염으로 이어질 수 있다. 또한 충전에 사용되는 전력이 화석연료 기반이라면, 간접적 배출 기여 역시 불가피하다.

에너지 소비를 촉진시키는 인공지능

AI 모델 학습은 대규모 데이터와 고성능 GPU(Graphics Processing Unit) 사용을 필요로 하며, 이는 상당한 전력 소모와 온실가스 배출을 수반한다. 데이터 수집·저장·처리 과정에서 발생하는 전력 소비도 무시할 수 없다. 실시간 처리 요구가 클수록 전력 소모는 더욱 커진다.

AI가 일상 속에 확산되면서 스마트폰, 스마트홈 기기, 자율주행차 등 수많은 장치가 늘어나고 있으며, 이는 전력 사용 증가로 직결된다. 또한 비트코인 채굴과 같은 블록체인 활동은 GPU·ASIC 등 특화 하드웨어를 대규모로 가동시켜 막대한 에너지를 소모하고, 냉각을 위한 추가 전력까지 요구한다. 이는 인공지능 활용이 에너지 소비를 촉진하고 온실가스 배출을 증가시킬 수 있음을 보여준다.

데이터센터의 확장이 온실가스 배출에 미치는 영향

현대 인공지능은 클라우드 컴퓨팅 기반 데이터센터를 통해 제공된다. 대규모 데이터센터는 방대한 데이터를 처리하기 위해 막대한 전력을 소비하며, 이에 상응하는 온실가스 배출을 유발한다. 실제로 국내 데이터센터는 2023년 9월 기준 147개가 운영되고 있으며, 계약전력은 1,916MW(약 1.9GW)로 한국형 원전 1기 이상에 해당하는 전력을 필요로 한다.

데이터센터는 전력뿐 아니라 냉각을 위한 물 수요도 크다. 공랭식은 대량의 외부 공기를 순환시켜 온도를 낮추는 방식이고, 수랭식은 더 효율적이지만 고도의 설계와 비용이 요구된다. 결국 전력과 물 사용은 모두 간접적인 에너지 투입으로 이어져 온실가스 배출을 증가시킨다. 인공지능의 확산과 더불어 데이터센터의 전력 수요와 배출 문제는 더욱 심각해질 전망이다.

결론

탄소중립도시는 더 이상 선택이 아닌 필수적 과제이다. 한국은 국제사회의 기후위기 대응 흐름에 발맞추어 「탄소중립기본법」 제정과 국가온실가스감축 목표(NDC) 상향을 통해 제도적 기반을 마련하였으며, 도시 차원의 탄소중립 실현을 위해 탄소공간지도와 같은 새로운 도구를 도입하고 있다. 건물·수송·흡수원 등 주요 부문별 배출·흡수 정보를 공간적으로 시각화하고, 이를 활용한 계획수립 지원 기술은 지자체가 과학적 근거에 기반하여 탄소중립 도시계획을 수립·이행할 수 있도록 한다. 스마트빌딩과 BEMS, 지능형 교통체계 등 인공지능 기반 기술은 도시 에너지 흐름을 최적화하여 탄소중립의 실현 가능성을 높이는 핵심 수단이다.

그러나 인공지능의 활용이 곧바로 탄소중립으로 이어지는 것은 아니다. 대규모 컴퓨팅 자원, 데이터센터 운영, 배터리 생산 과정 등은 오히려 온실가

스 배출을 증가시킬 수 있으며, 국가 간 기술 격차는 새로운 불평등과 갈등을 초래할 수 있다. 따라서 인공지능을 포함한 첨단 기술들은 탄소중립이라는 목적을 일관되게 지향하도록 관리되어야 한다.

결국 탄소중립도시는 기술과 제도의 균형적 결합 속에서만 실현 가능하다. 탄소공간지도는 정책과 계획을 뒷받침하는 과학적 기반을 제공하고, 인공지능은 효율적 운영과 모니터링을 가능하게 한다. 동시에 부작용을 줄이기 위한 제도적 장치와 국제적 협력이 병행되어야 한다. 앞으로 탄소공간지도의 고도화, 스마트기술의 책임 있는 활용, 그리고 지자체와 국가의 적극적 실천이 맞물릴 때, 탄소중립도시는 단순한 비전이 아니라 실현 가능한 미래로 다가올 것이다.

| References |

1. EIP-SCC(2018), General Assembly 2018 Summary Report, European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities, Sofia, Bulgaria.
2. 정승현, 김민주. (2021). EU 라이트하우스 프로젝트 분석을 통한 스마트 시티 실증과 확산을 위한 시사점 도출, *LHI Journal of Land, Housing, and Urban Affairs*, 12권 2호: p.1-12.
3. European Commission. (2017), The making of a smart city: Best practices across Europe. Brussels: European Commission.
4. 한국건설기술연구원, (2023). 탄소공간지도기반 계획지원 기술개발 연차 보고서. 국토교통과학기술진흥원.
5. 정승현. (2024). 탄소중립도시와 인공지능, 커뮤니케이션북스: 서울.



SMART CITY
T O P
A G E N D A
2 0 2 5

CHAPTER

02

**AI기반
스마트시티 계획**

The Ultimate Beta Test: Latin America as the Global Laboratory for Smart Cities

최적의 베타 테스트:

라틴 아메리카는 스마트시티를 위한 글로벌 실험실

워싱턴 파하르도

Washington Fajardo



워싱턴 파하르도는 도시 계획 및 공공 정책 분야에서 폭넓은 경험을 지닌 건축가이자 도시 전문가이다. 현재 미주개발은행IDB 주택 및 도시 개발 본부U.S. Department of Housing and Urban Development; HUD 도시연구소 코디네이터로 재직 중이다. 이전에는 리우데자네이루 도시 계획국장, 페레이라 파소스 도시연구소Pereira Passos Institute 소장을 역임했다. 하버드 디자인 대학원의 하버드 로브 펠로우Harvard Loeb Fellow 및 MIT 센서블 시티 랩MIT Senseable City Lab의 협력 연구원으로 활동하기도 했다. 그의 연구는 라틴 아메리카에서 디지털 혁신과 사회적 형평성 간의 격차를 해소하는 데 중점을 둔다.

E-mail: washingtonm@iadb.org

● 초록 ●

스마트시티의 동아시아 모델이 최적화된 안정성을 제시한다면, 훨씬 더 복잡하고 역동적인 환경인 라틴 아메리카와 카리브해 지역 *Latin America and the Caribbean; LAC*은 회복 탄력적인 도시 기술의 진정한 시험대라 할 수 있다. 본 논문은 라틴 아메리카와 카리브해 지역 *LAC*이 디지털 혁신을 위한 세계에서 가장 중요한 ‘베타 테스트’ 역할을 할 것임을 강조한다. 이는 이 지역이 지닌 심각한 구조적 결함, 높은 도시화율, 그리고 기후 취약성으로 인해, 여기서 성공한 기술 솔루션은 세계 어느 곳이나 배치될 수 있을 정도로 강력하다고 볼 수 있기 때문이다. 본 논문은 미주개발은행의 3단계 디지털 성숙도 프레임워크인 ‘무^無에서 GIS까지’(기초 데이터 주권), ‘계획에서 실행으로’(단절된 데이터의 통합적 관리), 그리고 ‘현재에서 미래를 내다보는 통찰’(기후 회복력 및 비공식 주거지 매핑을 위한 AI와 디지털 트윈 활용)을 설명한다. 또한 본 논문은 브라질 쿠리티바 *Curitiba*의 BRT와 파벨라스 *4D Favelas 4D* 현실 캡처 프로젝트 같은 역사적 혁신 사례들을 분석하여, LAC의 수동적 대응 관리로부터 데이터 기반 도시 계획으로의 전환 과정을 조명한다. 나아가, 한국과 같은 글로벌 파트너의 첨단 도시 기술 테스트 및 개선을 위한 협력 로드맵을 제시한다.

키워드

스마트 도시, 디지털 혁신, 인공지능, 무허가 정착촌, 라틴 아메리카

● ABSTRACT ●

While East Asian models of smart cities represent a vision of optimized stability, the true crucible for resilient urban technology lies in the complex, dynamic environments of Latin America and the Caribbean *LAC*. This article argues that LAC serves as the world's most critical "beta test" for digital transformation. Due to the region's profound structural deficits, high urbanization rates, and climate vulnerabilities, technological solutions that succeed here are robust enough to be deployed anywhere. The paper outlines the Inter-American Development Bank's framework for digital maturity, categorized into three stages: "From Zero to GIS" (foundational data sovereignty), "From Plan to Action" (breaking data silos through governance), and "From Now to Foresight" (utilizing AI and Digital Twins for climate resilience and informal settlement mapping). By analyzing historical innovations like Curitiba's BRT and the "Favelas 4D" reality capture project, the article demonstrates how the region is moving from reactive management to data-driven urban planning, offering a cooperative roadmap for global partners like South Korea to test and refine advanced urban technologies.

KEYWORDS

Smart Cities, Digital Transformation, Artificial Intelligence, Informal Settlements, Latin America

들어가며: 모범과 도전

도시 계획가와 정책 입안자들이 스마트시티의 모범 사례를 찾을 때면, 그들의 시선은 주로 동아시아로 향한다. 우리는 놀라운 속도와 정교함으로 디지털 통합 사회의 비전을 구현한 한국에 경외심을 표한다. 송도 같은 야심찬 프로젝트나 세종시의 행정 효율성 모두 글로벌 기준으로 손색이 없다. 이러한 사례들은 고급 인프라, 일관된 정책 및 기술 발전이 계획된 환경에 융합될 때 어떤 최상의 결과를 가져올 수 있는지를 명확하게 보여준다. 이는 우리 시대의 ‘준거 아키텍처(Reference Architectures)’로서, 전 세계가 지향하는 효율성, 안전성 및 연결성 모델이라 할 수 있을 것이다.

그러나 새로운 도시 계획의 이상적이고 정돈된 환경을 넘어, 역동적이고 복잡한 역사를 지닌 개발도상국 도시들에 스마트시티 기술을 성공적으로 적용하기 위해서는 관점의 전환이 필수적이다. 회복 탄력적인 스마트시티 기술의 진정한 시험대는 바로 라틴 아메리카 및 카리브해 지역(LAC)의 격동적인 도시 중심부에 자리하고 있다. 이곳이야말로 동아시아의 완벽한 모델들이 예측 불가능한 21세기 현실 속에서 혹독한 성능 검증을 거치는 무대이기 때문이다.

미주개발은행(IDB) 도시연구소에서는 도전적이면서도 상호 보완적인 전제에 따라 스마트시티를 운영한다. 즉, **한국이 스마트시티의 청사진을 제공한다면, 라틴 아메리카는 궁극적인 “베타 테스트”를 제공하는 역할을 하는 것이다.**

과감한 혁신의 유산 왜 LAC 지역이 이처럼 중요한 검증의 장인지 이해하려면, 먼저 그 지역의 본질(DNA)을 파악해야 한다. 이곳은 그저 수동적인 절망감에 머무는 지역이 아니라, 과감한 도시 실험을 거듭해온 역동적인 곳이다. 도시화율이 80%를 초과해 지구상에서 가장 도시화된 개발도상 지역(UN-

Habitat)이 된 라틴 아메리카 및 카리브해 지역LAC은 이미 오래전부터 건축 및 사회 혁신을 위한 글로벌 실험실로서 기능해 왔다.

이러한 정신은 브라질 쿠리치바의 제이미 러너Jaime Lerner가 이론 선구적인 업적에 담겨 있다. 1970년대 지하철 시스템 구축에 자금을 꺾었지만, 러너는 포기하지 않았다. 그는 글로벌 모빌리티에 혁명을 일으킨 ‘지상 지하철’ 형태의 간선 급행버스 시스템BRT을 고안했고, 이는 이후 전 세계 수백 개 도시에 수출되었다. 이러한 정신은 1960년대 후반 페루 리마의 PREVIProyecto Experimental de Vivienda에서도 발견된다. 이곳에서는 세계 유수의 건축가들이 모여 공공 주택social housing을 사용자 중심적인 진화 과정으로 재구성했다. 더불어 부에노스아이레스의 푸에르토 마테로Puerto Madero에서부터 리우데자네이루의 포르토 마라빌라Porto Maravilha에 이르는 해변의 과감한 재생 사례에서도 이러한 정신이 드러난다. 이러한 프로젝트를 통해 산업화 이후 방치된 공간들이 성공적으로 공공 용도로 회복되었다.

LAC는 ‘도시’를 구상할 때 ‘사회적 가치’를 핵심에 두는 선구적인 역할을 해왔다. 1990년대, 미주개발은행IDB의 자금 지원으로 리우데자네이루에서 파벨라-바이로Favela-Bairro 프로그램이라는 역사적인 이니셔티브가 추진되었다. 이 프로그램은 무허가 정착촌을 단순히 제거해야 할 암적인 존재가 아니라, 인프라와 설계를 통해 통합해야 할 이웃으로 인정한 세계 최초의 프로그램 중 하나였다. 이러한 계보는 콜롬비아 메데인Medellín의 혁신적인 ‘사회적 도시계획Social Urbanism’으로 이어졌다. 그 결과, 도서관, 케이블카, 양질의 공공 시설이 폭력과 사회적 분리segregation로 인한 상처를 치유하고 회복하는 데 중요한 역할을 할 수 있다는 점이 입증되었다.

이러한 역사는 LAC의 도시가 회복 탄력적이고 창의적이며 문제 해결에 적극적임을 증명한다. 그러나 동시에 이들 도시는 심각한 구조적 결함, 역사적 불평등, 그리고 시급한 기후 취약성이라는 문제에 직면해 있다. LAC에서는 기술이 단순히 이미 작동하는 시스템을 최적화하는 데 그쳐서는 안 되며, 오히려 근본적인 문제점을 해결할 수 있어야 한다.

본 논문은 도시 기술의 미래가 바로 이러한 고유한 도전과제(friction) 속에서 형성될 것이라고 주장한다. 예를 들어, AI 솔루션이 무허가 정착촌의 복잡한 지형을 탐색하고, 디지털 트윈이 불완전한 배수 기록을 가진 도시의 홍수 위험을 모델링할 수 있다면, 그러한 솔루션은 어떠한 악조건에서도 강력하게 기능할 수 있음을 의미한다.

기술 도구 그 이상: 디지털 전환의 당위성

지난 10년간 개발도상국에서 스마트시티 담론은, 일반적으로 기술 도구 우선주의적 사고에 사로잡혀 있었다. 많은 도시들은 스마트시티를 관리할 근본적인 거버넌스(governance) 없이 그저 센서, 키오스크, 카메라와 같은 독립적인 하드웨어를 도입하는 데에만 집중했다. 이러한 접근 방식은 종종 ‘하얀 코끼리(white elephants)’로 불리는, 높은 비용에도 불구하고 사회적 성과는 미미한 시범 프로젝트로 이어지곤 했다.

그러나 미주개발은행(Inter-American Development Bank; IDB)의 주택 및 도시 개발 사업본부(U.S. Department of Housing and Urban Development; HUD)는 이 지역을 도시 개발을 위한 디지털 전환이라는 더욱 진화된 패러다임으로 전환시키고 있다.

이러한 관점에서 볼 때, 기술은 엄밀히 말해 목적이 아니라 수단이다. 도시는 블록체인을 사용한다고 해서 ‘스마트해지는’ 것이 아니다. 진정으로 스마트한 도시는 불평등을 줄이고, 주거 환경을 개선하며, 기후 변화를 완화하기 위해 데이터를 활용할 수 있어야 한다.

우리는 이 지역 도시들의 변화 과정을 세 가지 뚜렷한 성숙도 단계로 분류한다. 이 세 단계는 ‘무(無)에서 지리정보시스템(GIS)까지’, ‘계획에서 실행으로’, 그리고 ‘현재에서 미래를 내다보는 통찰’이다. 이러한 분류는 단지 시장 세분

화를 의미하는 것이 아니라, 미주 지역의 복잡한 도시 환경을 개조하는 데 요구되는 진화적 단계들을 나타낸다.

무_無에서 GIS까지: 기초 데이터 주권

숨겨진 도시를 밝히다

고도로 발전한 경제권을 가진 선진국에서 디지털 거버넌스의 핵심 과제는 주로 상호 운용성에 있다. 그러나 라틴 아메리카의 많은 지역에서는 ‘존재’ 자체가 해결해야 할 중대한 과제이다. 이러한 맥락에서 우리는 ‘숨겨진 도시 Invisible City’라는 현상에 주목한다. 도시 내 광범위한 지역은 물리적으로 분명히 존재하여 가족들이 거주하고 상업이 번성함에도 불구하고, 디지털상으로는 존재하지 않는다. 즉, 이러한 지역은 세금 대장에서 누락되어 있고, 지적도에도 표시되지 않으며, 지방자치단체 계획가들의 시야에서도 벗어나 있는 것이다.

재정적 당위성 첫 번째이자 가장 중대한 기회의 범주는 ‘무_無에서 지리정보 시스템GIS으로’ 전환해야 하는 도시에 있다. 이는 단순히 기술적인 개선을 넘어 지방자치단체의 주권과 재정적 생존이 걸린 문제다. 라틴 아메리카 및 카리브해 지역의 수많은 중간 규모 지방자치단체는 여전히 아날로그 기록에 의존한다. 디지털 지적도가 없으면 재산세를 효과적으로 징수할 수 없다. 지방자치단체가 수익을 확보하지 못한다면 배수 시설, 도로 포장, 공공 주택 건설을 위한 자금 조달 역시 불가능하다. 이러한 맥락에서 ‘스마트’ 솔루션은 가장 기초적인 단계부터 시작한다. 즉, 위성 이미지, 드론 측량, 그리고 기본적인 벡터화 기술을 활용해 도시의 디지털 지도를 구축하는 것이 급선무다.

변화 과정 미주개발은행IDB은 도시들이 이들 도구를 활용하여 토지 가치를 높이고, 도시를 갱신하도록 지원하는 사업들을 추진한다. 그 영향은 즉각적으로 나타난다. 미등록 건축물을 식별하고 시장 현실에 맞춰 부동산 가치를 갱신함으로써, 지방자치단체는 단일 회계연도에 자체 재원 수입을 종종 30%에서 40%까지 증대시킬 수 있다. 이 단계에서는 디지털 인허가Digital Licensing 또한 활성화된다. LAC의 많은 도시에서 건설 허가를 취득하는 과정은 부패를 조장하는 관료주의적 병폐였다. 그러나 이러한 절차를 디지털화함으로써 도시들은 불필요한 행정 절차를 대폭 줄이고, 건설 부문을 활성화하며, 신축 건물이 안전 및 환경 규정을 준수하도록 보장할 수 있다. 이것이 바로 스마트시티의 ‘기반 인프라plumbing’이며, 겉보기에는 화려하지 않더라도 향후 모든 혁신에 절대적으로 필수적인 요소이다.

계획에서 실행으로: 데이터 기반 계획의 시대

데이터는 풍부하지만 정보는 빈약하다

도시가 기반 시설을 디지털화하고 나면, 데이터의 보유와 실제 활용 사이의 간극이라는 또 다른 주요 장벽에 부딪히게 된다. 이러한 과제는 보고타, 멕시코 시티, 상파울루와 같은 이 지역의 주요 대도시들이 직면한 현실이다. 이들 거대 도시는 매일 엄청난 양의 데이터를 쏟아내지만 정작 중요한 정보는 부족한 상황, 즉 ‘데이터는 풍부한데 정보는 빈약한data rich, information poor’ 상황에 처해 있다. 따라서 이들에게 주어진 핵심 과제는 정제된 계획 수립 단계를 넘어 역동적인 실행 단계로 전환하는 것이다.

단절된 데이터의 문제 각 부서는 데이터를 개별적으로 관리한다. 교통부는 이동 패턴 데이터를, 보건부는 질병 발생 데이터를, 주택부는 주거지 데이터

를 각기 보유하며 모니터링한다. 그러나 이러한 데이터베이스들은 서로 연동되거나 통합되지 못하고 있다. 이는 관료적 관성 또는 호환되지 않는 오래된 소프트웨어^{legacy software}로 인해 수직적인 정보 사일로^{vertical silos}에 갇혀 버렸기 때문이다. 데이터 상호 운용성이 부재할 경우, 도시 관리자는 마치 암흑 속에서 조종하는 것과 같아 상황을 정확히 파악할 수 없다. 예를 들어, 특정 지역의 가로등 부족(에너지 데이터)이 여성의 야간 대중교통 이용 감소(교통 데이터)나 지역 범죄 급증(보안 데이터)과 어떤 상관관계를 가지는지 확인하는 것이 불가능하다.

데이터 기반 행정 관리 미주개발은행IDB은 스마트시티의 핵심 개입 요소가 바로 데이터 거버넌스^{Data Governance}라고 본다. 우리는 서로 다른 시스템 간의 통신을 가능하게 하는 데이터 레이크^{lake}와 미들웨어 플랫폼 구축을 주장한다. 이것이 데이터 기반 도시 계획의 초석이기 때문이다. 이러한 개념은 직관에 의존하는 의사결정에서 벗어나 증거 기반의 정책 결정으로의 전환을 의미한다. 이를 통해 상호 참조된 통합 데이터를 활용하여 다음과 같은 복잡한 질문들에 답할 수 있다. 예컨대 ‘여성 인력의 경제 활동 참여를 극대화하려면 어린이집을 어디에 건설하는 것이 최적일까?’ 또는 ‘저소득 근로자의 평균 통근 시간을 줄이기 위해 어떤 버스 노선을 최적화해야 하는가?’와 같은 질문들이다.

통합운영통제센터IOCC 모델은 대표적인 사례다. 리우데자네이루와 같은 도시들은 이 접근 방식을 선도하며, 여러 기관들이 함께 상주하는 실제 운영 거점^{nerve centers}을 구축했다. 이제 다음 단계는 가상 통합을 통해 데이터가 비식별화되고 개방되는 생태계를 조성하는 것이다.

생태계 강화 도시가 자체 도시 데이터를 위한 신뢰할 수 있는 응용 프로그래밍 인터페이스^{Application Programming Interface; API}를 공개하면, 민간 부문과 학계는 효과적인 문제 해결 주제로 활동할 역량을 확보하게 된다. 라틴 아메

리카 전역에서 급증하고 있는 “GovTech” 스타트업들에서 이러한 현상을 확인할 수 있다. 도시들이 개방형 데이터를 제공함으로써, 기업가들은 공공 재정 투입 없이 주차 공간 찾기부터 공기 질 모니터링에 이르는 생활 속의 구체적인 소규모 문제들을 해결하는 앱을 개발할 수 있다.

IDB의 오픈 소스 디지털 도구 상자: 하이테크의 민주화

이러한 과제들과 필요한 솔루션 사이의 간극을 해소하기 위해 미주개발은행 IDB의 주택 및 도시 개발 사업본부는 단순히 정책 자문에만 머무르지 않고, 기술을 직접 구축하는 주체로 나섰다. 우리는 글로벌 사우스의 많은 도시들이 값비싼 독점 소프트웨어 라이선스를 감당할 여유가 없음을 인지하고, 개발도상국이 직면한 도전 과제들을 해결하도록 특별히 설계된 오픈 소스 디지털 도구 제품군을 개발했다.

이 ‘디지털 도구 상자’는 무료이며 다양한 상황에 적용할 수 있게 설계되어, 라틴 아메리카 및 카리브해 지역^{LAC} 지방 정부의 기술 팀에 역량을 부여해준다.

◆ **MAIIA(Mapping with Artificial Intelligence)**(AI를 이용한 매핑): IDB의 주력 도구 중 하나인 MAIIA는 머신 러닝을 활용하여 위성 영상을 기반으로 건물들의 분포와 도시 확장 과정을 자동으로 지도로 매핑한다. 재정적으로 어려운 지방자치단체에서는, MAIIA를 사용해 측량팀이 수행하는 데 수개월 걸리는 일을 몇 시간 만에 수행하고, 새로운 건축물과 난개발을 매우 정확하게 식별할 수 있다.

◆ **URSA(Urban Reporting based on Satellite Analysis)**(위성 분석 기반 도시 보고서): 이 플랫폼은 지구 관측 데이터 접근의 문턱을 낮춘다. URSA를 사

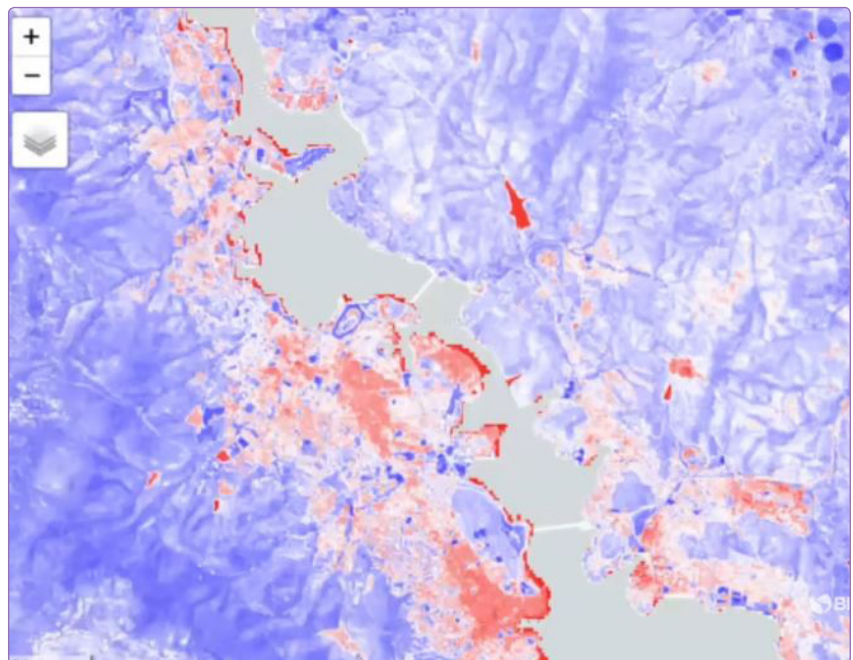
용하면 원격 감지 분야의 전문 지식이 없는 도시 관리자라도 녹지 손실, 도시 면적 확장, 표면 온도 열섬 같은 중요한 지표를 모니터링할 수 있다. 복잡한 NASA/ESA 데이터를 실행 가능한 도시 대시보드로 전환해 준다.

◆ **UrbanPy**: 도시 계획자가 접근성 지표와 공간 측정 항목을 계산하는 데 도움을 주기 위해 설계된 파이썬Python 기반 라이브러리다. 이 도구를 활용하여 도시 계획 부서는 ‘누가 무엇에 접근할 수 있는지’를 수학적으로 모델링하고, 주택과 직업, 병원 및 학교에 대한 근접성을 측정하며, ‘교통 접근성이 열악한 지역’transport deserts을 찾아낼 수 있다.

미주개발은행IDB은 이러한 도구들을 오픈 소스로 전환함으로써, 단순한 지원이 아닌 실무 공동체를 형성하고 있다. 브라질, 콜롬비아, 아르헨티나의 개발자들은 코드 개발에 기여할 뿐만 아니라, 이를 현지 상황에 맞춰 적용하고 모든 사용자에게 유용한 도구로 지속해서 개선해 나가고 있다.

Source: IDB 도시 연구소

Figure 1
MAIIA로 매핑된 도시의
스크린 이미지



현재 시점에서 미래를 예측하고 준비하기: 시 프론티어

기후 변화와 무허가 정착촌: 미래를 내다보는 통찰

이 3단계는 우리를 도시 혁신의 최전선으로 인도한다. 도시에 데이터와 거버넌스가 확립되면 현재에서 미래를 내다보는 통찰을 지향하게 된다. 특히 LAC의 기후 변화와 무허가 정착촌 문제와 같은 가장 난해한 문제들을 해결하기 위해 4차 산업 혁명^{4IR} 기술인 인공지능과 디지털 트윈을 반드시 활용해야 하는 곳이다.

예측 불가능한 것을 예측하기 라틴 아메리카는 기후 위기의 최전선에 있다고 할 수 있다. 이 지역 도시들은 대개 해안 삼각주, 가파른 안데스 경사지, 홍수 취약 분지 등 고위험 지역에 위치해 있다. 여기서 ‘스마트’는 회복 탄력성을 의미한다. 우리는 도시 정부가 사건 대응형 행정(홍수에 대응)에서 예측형 행정으로 전환하는 모습을 이미 확인하고 있다. 과거 기상 데이터와 실시간 센서 네트워크를 기반으로 한 AI 모델은 이제 돌발적 홍수를 정밀하게 예측하여 생명을 구하는 조기 경보 시스템 가동을 가능하게 한다.

파벨라스 4D^{Favelas 4D} 이 기술이 가장 획기적으로 적용될 수 있는 분야는 아마도 사회적 형평성 영역일 것이다. 라틴 아메리카 지역의 도시화에서 가장 큰 특징은 무허가 정착촌이며, 수백만 명이 공식 지도에 표시도 없는 정착지에 거주하고 있다.

고해상도 현실 캡처 기술의 잠재력은 ‘파벨라스 4D’ 프로젝트를 통해 입증되었다. 이 계획은 내가 MIT 센서블 시티 랩 연구원으로 재직하던 시기에 개발되었으며, IDB에서 현직을 맡기 전 리우데자네이루 도시계획국장으로 근무하는 동안 현장에 적용되었다. 구체적으로, 리우데자네이루의 호시

나Rocinha 지역 파벨라(브라질의 빈민가를 총칭하는 말-오키니)에서는 지상 기반 LiDAR(Light Detection and Ranging)(빛 감지 및 거리 측정) 스캐닝이 활용되어 무허가 정착촌의 형태학적 ‘디지털 트윈’을 만들었다. 기존 2D 지도가 파벨라의 복잡한 다층 구조를 포착할 수 없었던 반면, 파벨라스 4D는 좁은 골목길과 불안정한 경사면의 복잡한 기하학적 구조까지 모두 포착해냈다.

이것이 왜 중요한가? 측정 없이는 어떠한 개선도 이루어질 수 없기 때문이다. 무허가 정착촌 디지털 트윈을 활용하면, 여기에 도로를 개설했을 때의 바람 흐름 변화나, 폭우로 인한 붕괴 위험 주택 파악 등 다양한 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 이는 ‘빈민가 철거’라는 폭력적인 과거에서 벗어나, 정밀한 도시 재생 접근법(Urban Acupuncture, 다시 말해 대규모 개발 대신 최소한의 개입으로 건강한 변화를 만드는 도시 설계 방식과 같이 삶의 질을 향상시키는 데이터 기반 개입으로 우리 관점을 전환하는 계기를 마련한다.

국제적 협력과 비전: **발견** *Reveal*, **대응** *Respond*, **해결** *Remediate*

이러한 토대 위에서 우리는 이제 미래를 향하고 있다. IDB 도시연구소는 인공지능이 도시의 불평등에 대응하고 취약 계층의 삶을 개선하는 데 활용되어야 할 디지털 공공재라고 본다. 인공지능은 특히 무허가 정착지와 불안정한 거주지를 신속히 파악하고 매핑하여 도시 빈곤 문제 해결 노력을 더욱 가속할 혁신적 잠재력을 지닌다. 이러한 비전은 최근 IDB 본부에서 개최된 주요 행사인 ‘발견, 대응, 해결’을 통해 구체화되었다. 당시 모임 참가자들은 보이지 않는 것을 가시화하는 기술이 이미 존재하므로 시급히 협력 규모를 확대해야 한다는 점을 강조하며, 한걸음 더 나아가는 행동을 촉구했다.

우리는 협력의 힘과 광범위한 비전을 확신한다. 바로 이러한 확신이 전 세계의 무허가 정착촌과 거주지를 매핑하기 위한 국제 컨소시엄 구축에 글로벌 파트너들의 동참을 요청하는 이유이다. 우리가 함께 협력한다면 도시를 평등과 존엄의 원동력으로 재창조할 수 있을 것이다.

실용주의와 윤리의 경계

AI와 디지털 트윈이 지닌 기술적 잠재력은 크지만, 라틴 아메리카 및 카리브해 지역에서 실제로 이 기술을 적용하려면 관련 제약 요인을 고려한 현실적 접근이 필요하다.

첫째, AI가 고르게 도입되지 않을 경우 디지털 격차는 더욱 커져 중소 도시들이 뒤처질 수 있다.

둘째, 이러한 기술의 위력은 첨예한 윤리적 딜레마를 불러온다. 스스로 학습하는 AI 알고리즘은 체계적 편향을 만들어내거나 고착화하여, 자원 할당 및 공공 안전 영역에서 불공정하거나 차별적인 결정으로 이어질 수 있다. 특히, 방대한 양의 개인 정보를 처리하는 과정에서는 개인 정보 보호 문제가 필연적으로 수반되므로, 이에 상응하는 적절한 거버넌스 프레임워크 구축이 필수적이다.

따라서 성공적인 스마트시티를 구현하기 위해서는 ‘데이터 중심이 아닌 인간 중심의 AI 접근 방식’이 전제되어야 한다. 이는 AI 시스템의 안전성, 투명성, 추적 가능성을 확보하고, 차별 없이 작동하도록 보장하며 개인 정보 보호 권리까지 수호할 수 있는 규제 체계가 뒷받침되어야 함을 의미한다. 비전과 대응력을 책임감 있게 통합해야만, 이 지역의 가장 고질적이고 복잡한 구조적 문제들을 해결하는 데 최첨단 도시 기술을 포괄적으로 활용할 수 있다.

라틴 아메리카 및 카리브해 지역LAC의 도시 환경은 복잡하기 그지없다.

그렇기에 스마트시티 기술 적용에 있어 이곳은 기본적인 지리 정보 시스템 GIS 구축부터 예측형 인공지능AI 구현에 이르는 과정을 통해, 전 세계적으로 가장 혹독한, 그리고 바로 그 때문에 가장 중요한 시험대가 된다. 이처럼 중대한 도전을 거쳐 제시될 스마트시티 모델의 진정한 가치는 단순한 기술적 정교함에 있지 않다. 오히려 깊이 있는 구조적 복잡성 속에서 회복탄력성과 형평성을 얼마나 효과적으로 입증하느냐에 따라 그 가치가 결정될 것이다.

한-중남미 시너지: 협력의 미래

이제 우리는 대한민국과 라틴 아메리카 간의 특별한 관계를 조명할 필요가 있다. 두 지역이 만들어낼 시너지는 매우 강력하다. 대한민국은 스마트시티 구현에 필요한 기술 전문성, 산업 역량, 그리고 검증된 ‘준거 아키텍처’를 갖추고 있다. 한편, 라틴 아메리카는 혁신적인 적응 방식이 요구되는 방대한 수요와 거대한 규모, 그리고 복합적인 문제들을 내포하고 있다.

대한민국의 기술 협력이 LAC의 도시 문제를 해결한다면 양측 모두에게 유익하다. LAC 정부들은 한국과의 파트너십을 통해 디지털 전환 과정의 시행착오를 줄이고 성숙 단계로 나아가는 자름길을 확보할 수 있다. 또한 국토교통과학기술진흥원(Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement; KAIA)과 같은 대한민국의 기술 및 인프라 기관들에게 라틴 아메리카 및 카리브해 지역은 타의 추종을 불허하는 귀중한 시험 무대를 제공한다. 예를 들어, 대한민국의 스마트 그리드 솔루션이 급성장하는 카리브해 도시에서 안정적인 운영 능력을 입증하거나, 교통 관리 알고리즘이 안데스 수도의 복잡다단한 이동성 문제를 성공적으로 해결한다면, 그 기술은 세계 시장에 수출할 준비를 완벽히 마쳤다고 할 수 있다.

오늘날 미주 지역에 구축되는 디지털 인프라는 탄력성, 포용성, 윤리성을

검비하며 복잡한 환경 속에서 검증된 것으로, 미래 글로벌 도시의 핵심적인 아키텍처가 될 것이다.

I References I

1. Echeverri, A. (2019). 메데인의 도시화와 사회적 변화(*Urbanism and social change in Medellín*). Harvard Graduate School of Design.
2. Glaeser, E. (2011). 도시의 승리: 우리의 가장 위대한 발명품이 어떻게 우리를 더 부유하고, 더 똑똑하고, 더 친환경적이고, 더 건강하고, 더 행복하게 만드는가(*Triumph of the City: How Our Greatest Invention Makes Us Richer, Smarter, Greener, Healthier, and Happier*). Penguin Press.
3. IDB. (2021). 라틴 아메리카 및 카리브해 지역의 디지털 혁신을 위한 로드맵. (*Roadmap for Digital Transformation in Latin America and the Caribbean*). Inter-American Development Bank.
4. Kim, S. & Lee, J. (2023). 한국의 스마트시티 전략: 세종시의 사례(*Smart City Strategy of Korea: The Case of Sejong*). *Journal of Urban Technology*, 25(3), 45–60.
5. Ratti, C. et al. (2023). Favelas 4D: 임시 주거지의 형태학적 분석 확장 (Scaling the Morphological Analysis of Informal Settlements). *Nature Cities*, 1(1), 12–20.
6. UN-Habitat. (2022). 2022년 세계 도시 보고서: 도시의 미래 구상(*World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities*). United Nations Human Settlements Programme.
7. 워싱턴 파하르도. (2024). 발견, 대응, 해결: 도시 빈곤층을 위한 AI(*Reveal, Respond, Remediate: AI for the Urban Poor*). IDB Cities Lab Technical Note.



**SMART CITY
T O P
A G E N D A
2 0 2 5**

AI-augmented urban planning to realise a systems approach for delivering optimal social value

AI 증강 도시계획: 최적의 사회적 가치를
실현하기 위한 시스템적 접근

유안 로우

Euan Low



유안 로우 박사^{Dr. Euan Low}는 녹색기후기금GCF 동부·남부 아프리카 지역 총괄 책임자다. 그는 케임브리지대학교에서 화학공학 박사 학위를 받았으며, 개발도상국과 선진국을 넘나들며 대기업, 투자펀드, 다자간 및 상업 금융기관과 그 가치사슬을 대상으로 폭넓은 실무 경험을 쌓아왔다. 로우 박사는 도시계획, 교통, 에너지, 수도, 산업시설 등 다양한 분야의 대규모 인프라 사업을 실제 실행 단계로 이끌기 위해 전략적·경제적·상업적·재무적 이해관계를 조율하는 핵심 역할을 수행해 왔다. 현재 그는 기후금융이 어떻게 변혁적 프로젝트를 위한 리스크 완화 수단으로 제도화되어 공정하고 정의로운 전환^{Just & Equitable Transition}을 뒷받침할 수 있는지에 대해 집중하고 있다.

Email: Elow@gcfund.org

카이 니시하라 로우

Kai Nishihara-Low



카이 니시하라 로우^{Kai Nishihara-Low}는 신기술과 인공지능 솔루션을 실제 환경에 적용하며, 디자인 개발의 새로운 가능성을 선도하는 독립 컨설턴트로 활동하고 있다. 게이오 대학에서 정보학 학사 학위를 취득했으며, 그의 솔루션은 에너지, 유통, 금융, 도시계획 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

Email: kaiwallacenishiharalow@gmail.com

● 초록 ●

그동안 도시계획은 여러 이해관계자에게 최선의 가치를 제공하지 못하는 경우가 많았다. 공공 부문은 개발 부지 조성을 위한 인프라 구축에 과도한 부담을 져왔으며, 그 비용 회수 역시 대체로 지연되어 왔다. 민간 개발자는 부동산 가치 상승에만 몰두했고, 금융 부문은 부동산 경기의 호황과 침체 주기에 지나치게 영향을 받아왔다. 결국 이러한 구조 속에서 형성된 도시 환경은 지역사회의 생활양식마저 제약하는 결과를 초래했다.

본 논문은 미래 도시 공간 설계에서 기존과는 근본적으로 다른 접근법을 제시한다. 다시 말해, 인구통계 및 계획 기반의 전통적인 예측 방식—즉, ‘로마식 격자 도로와 서비스 부지 구성’으로 대표되는 고전적 모델—에서 벗어나, 인공지능^{AI}을 활용한 도시계획을 통해 사회적 가치를 극대화할 수 있는 시스템적 접근을 구현하고자 한다.

이 접근법은 사회의 실제 요구와 생활양식을 반영하는 행동 원형^{behavioral archetype}에 기반한다. 이러한 관점을 통해 미래의 도시와 인프라 서비스는 더 이상 하향식^{top-down} 계획이 아니라, 지역의 현실과 선호를 중심으로 한 상향식^{bottom-up} 방식으로 전환될 수 있다. 그 결과 도시계획은 설계자의 가정이 아닌 지역사회의 삶과 요구를 반영하며, 낡고 비효율적인 공간 구조에서 벗어나 사람 중심의 생활환경을 조성할 수 있다. 나아가 실제 수요를 기반으로 한 가치 중심의 접근은 자원의 효율적 활용과 자산의 최적 운영으로 이어져, 사회적 가치와 경제적 수익성을 동시에 높일 것이다.

그러나 기존의 도시계획은 사회의 실제 요구와 선호 행동을 정확히 파악하는 데 한계를 지녀왔다. 이에 본 논문은 인공지능^{AI} 기반 접근을 활용하여 사회적 요구와 새롭게 나타나는 생활양식 클러스터를 식별하고, 스마트시티 설계를 최적화함으로써 경제적 · 상업적 · 사회적 · 환경적 가치를 창출할 수 있는 방안을 제시한다. 또한 인간과 AI가 협력하는 ‘휴먼 인 더 루프^{Human-In-The-Loop}’ 구조를 토대로, 사회적으로 정의롭고 공정한 도시 미래를 실현하기 위한 실천적 프레임워크와 지침을 제안한다.

키워드

AI 증강 도시계획, 도시 디지털 트윈, 사회적 가치 극대화, 상향식, 행동 원형, 멀티 에이전트 시스템(MAS), 휴먼 인 더 루프(HITL), 게임화, AI 시나리오

● ABSTRACT ●

Too often traditional urban planning has failed to deliver optimal value for all stakeholders: The public sector bears a distorted burden on providing the infrastructure required to create serviced plots, with cost recovery normally lagging; developers' efforts are skewed to creating real-estate value; financiers are over-exposed to real-estate boom-bust cycles; and communities' lifestyles are constrained by the resulting built-environment. This paper explores a fundamentally different approach to shaping our future urban spaces by shifting from the conventional projections of demographics and planning that results in the classic 'Roman configuration of road matrix and serviced plots' to an AI augmented urban planning to realise a systems approach for delivering optimal social value. The approach is based on servicing real behavioural archetypes of social needs and lifestyles. This shift toward bottom-up community needs as the fundamental drivers for future cities and infrastructure service has potential to plan for how communities prefer to live, not how planners assume they do and so would not result in living spaces that force outdated personas or inefficient behaviours. Moreover, an approach that is led by real demand and optimised by these value levers will lead to greater revenues, more efficient use of capital, with more efficient operation of assets, resulting in more commercially bankable outcomes. However, traditional urban planning practices would be overwhelmed in mapping real social needs and preferred behaviours. The paper explores how AI-augmented approaches can be used for discovery of real social needs and emergent lifestyle clusters; and for optimising Smart City Design to deliver economic, commercial, social & environmental value; and provides a framework and guiding principles for the practical application with 'Human-In-The-Loop' engagement for shaping our socially-just and equitable urban futures.

KEYWORDS

AI-augmented urban planning, Urban Digital Twin, social value optimization, Bottom-up, behavioral archetype, Multi-Agent Systems (MAS), Human-In-The-Loop (HITL), gamification, AI scenario

전통적 도시계획의 한계와 패러다임 전환의 필요성

현재의 도시계획과 그 결과는 지역사회 행동 방식 및 서비스 이용 형태에 대한 계획가들의 가정과 단순화된 전제에 기반하고 있어, 실제 목적과는 어긋나는 경우가 많다(Jacobs, 1961; Healey, 2007). 지금까지의 도시계획은 지나치게 복잡하여, 계획가들에게는 감당하기 어려운 과제가 되어왔다. 핵심적인 문제는 사회의 다양한 요구를 파악하고, 상충하는 이해관계 속에서 한정된 자원을 배분하며, 모든 이해관계자에게 최적의 사회적 가치를 제공하는 방법을 찾는 일이었다. 이러한 한계로 인해 다음과 같은 비효율성이 나타났다.

- ◆ 도시 정책과 계획을 시험하기 위해서는 비용이 많이 드는 실제 실험이 필요했고, 그 결과 수많은 사회적 문제가 발생했다.
- ◆ 정부의 도시계획은 인구통계 및 부의 분포 등 정량적 수요평가에 지나치게 의존해왔다. 이에 따라 토지 이용, 주택, 상업 공간, 교통망, 공공서비스(교육·의료·안전시설 등)의 수요를 예측했으나, 경제 성장 전략은 민간 영역의 일로 간주되어 정부 계획과는 단절되어왔다.
- ◆ 상업·산업·주거용 부동산 개발을 위한 기반시설 건설에 따른 재정 부담은 ‘경제 활성화’라는 명목으로 공공 부문, 즉 납세자에게 전가되는 경향이 있었다. 그러나 기반시설의 실제 활용과 경제 성장이 지연되면서 비용 회수 또한 지연되어왔다.
- ◆ 민간 개발업체의 노력은 필연적으로 부동산 가치 창출에 집중될 수밖에 없었고, 그 과정에서 실제 수요보다는 추정된 가정에 의존해왔다(Lai; Deloitte, 2020).
- ◆ 금융기관들은 투기적 시장 움직임과 부동산 경기의 호황·불황 주기에 과도하게 노출되어왔다(Glaeser, 2007).

결국 이러한 구조 속에서 형성된 도시 환경은 지역사회의 생활양식마저 제약하게 되었다(Gehl, 2011).

지역사회의 근본적 요구는 유엔 지속가능발전목표(UNSDG, n.d.)에 명확히 제시되어 있다. 그러나 도시계획은 이러한 선언적 목표를 넘어, 개인의 실제 요구를 인식할 수 있는 시스템적 접근(Prasad, 2000)을 통합해야 한다. 그래야만 도시 환경 속에서 사회적 연관성을 유지하고, 지역 경제 활동의 지속적인 갱신을 가능하게 하며, 생태계와 자연 자원에 과도한 부담을 주지 않는 회복력과 지속가능성을 확보할 수 있다. 나아가 지역사회는 제한된 자원을 활용해 보다 공정하고 포용적인 도시를 만들기 위해 상향식 계획에 적극적으로 참여해야 하며, 그 과정에서 지역의 선호와 가치가 도시공간 설계에 반영되어야 한다(UN-Habitat, 2009).

예를 들어, 우리는 통근자들이 교통 체증과 불편한 대중교통을 싫어한다는 사실을 알고 있다. 그러나 지역사회가 진정으로 선호하는 이동 방식은 무엇인가? 더 푸르고 회복력 있는 도시를 원한다는 점에는 공감하지만, 지역사회가 더 많은 시간과 공간을 확보하게 된다면 어떤 시설을 원하고, 그 공간에서 어떤 방식으로 시간을 보내고 싶을까? 기존 도시계획의 비효율성을 우리는 잘 알고 있다. 그렇다면 사회적 포용성과 평등한 가치 분배를 실현하기 위해 필요한 연계성과 경제적 기회는 무엇일까? 그리고 이러한 변화를 뒷받침할 현실적인 투자 논리는 무엇일까?

도시계획의 수립과 실행은 본질적으로 복잡하고, 시간과 자원이 많이 소요되는 과정이다. 이 과정에는 지역사회의 선호, 현실적인 자연 기반 시스템과 자원 제약, 그리고 다양한 시나리오를 분석하여 최적의 사회적 가치를 도출하는 의사결정이 포함된다. 따라서 도시계획은 사회적·경제적·상업적·기술적·학문적 관점을 폭넓게 통합하고 균형을 맞춰야 한다(Batty, 2018; Silva, 2012; Foth, 2011). 이러한 복잡성을 다루기 위해서는 다음과 같은 주요 과제들을 해결할 수 있는 새로운 접근이 필요하다.

1. **선호 행동의 파악** - 어떻게 하면 지역사회의 다양한 소비자 집단의 선호 행동이나, 아직 형성되지 않은 미래 지역의 행동 양식을 효율적으로 도출할 수 있을까?
2. **이해관계자 참여** - 어떻게 하면 이 복합적인 이슈들에 대해 다양한 이해 관계자들이 효과적으로 참여할 수 있을까?
3. **시나리오 파악** - 어떻게 하면 잠재적 시나리오와 관련된 다차원적 스펙트럼을 포착할 수 있을까?
4. **시나리오 분석** - 어떻게 하면 다양한 시나리오를 효과적으로 분석하고, 그 타당성과 결과를 검증할 수 있을까?

도시계획의 맥락에서 AI 적용을 위한 이론적 틀

본 논문은 도시계획의 맥락에서 인공지능(AI)을 적용해 실제 생활양식을 분석하고, 미래의 도시공간을 보다 정교하게 설계하여 최적의 사회적 가치를 창출하기 위한 효과적인 적용 방안을 제시한다(Yigitcanlar, 2020; Caragliu, 2011; Angelidou, 2015). 본문에서 사용되는 주요 용어는 굵은 글씨로 표시했으며, 표 1에 그 정의를 제시하였다.

도시정보학(Urban Informatics)은 AI 기반 **머신러닝**을 활용하여 도시계획의 맥락에서 인간의 행동과 요구에 내재된 방대한 데이터를 분석함으로써, 지역 사회의 실제 선호와 행동 패턴을 과학적으로 파악할 수 있는 기반을 제공한다. 또한 도시정보학은 증거 기반 정책, 계획, 실무를 개발하기 위한 핵심 토대를 마련한다.

AI는 대규모 복잡한 데이터를 처리하고 인간의 사고 과정과 답론을 모방할 수 있는 능력을 지니고 있다. 이를 통해 사회적 선호나 환경적 요인 등 다양한 입력을 통합하고 피드백 루프를 도입할 수 있는 **시스템적 도시계획 접근**

근을 구현할 수 있다. 최근 등장한 AI 도구들은 실제 도시 시스템을 정교하게 모델링하고 시뮬레이션할 수 있는 도시 **디지털 트윈**Urban Digital Twin을 발전시키고 있다.

대형언어모델LLMs, Large Language Models은 인간의 사고 과정을 모방하는 신경망을 기반으로 하며, 전문가 그룹의 지식과 경험을 결합해 일종의 ‘도시 계획 하이브 마인드hive mind’를 형성할 수 있다. 이러한 LLM은 혁신적인 도시정책, 계획, 실무를 탐색하기 위한 다양한 시나리오 생성을 지원하며, **휴먼 인더 루프**HITL, Human-In-The-Loop 인터페이스와 **설명가능한 인공지능**Explainable AI을 결합함으로써 이해관계자 참여를 확대하고, 의사결정의 투명성을 강화하며, 결과 개선을 위한 인간 중심의 피드백 구조를 제공한다.

또한 **AI 에이전트**AI Agents는 스스로 판단하고 작업을 수행하거나 사용자와 상호작용하는 지능형 시스템으로, 특정 전문 지식을 지닌 개인이나 커뮤니티의 의사결정 방식을 학습해 이해관계자의 요구와 우려를 반영할 수 있다. 계획가는 이러한 AI 에이전트에게 일부 업무를 위임함으로써 도시계획의 효율성을 높일 수 있다.

시뮬레이션 과정에서 시나리오 평가를 **게임화**Gamification 하는 것은 최적의 결과를 도출하기 위한 해법을 개발하고 검증하는 효과적인 방법이 된다. 이때 도시 디지털 트윈은 일종의 ‘게임판’으로 기능하며, AI 에이전트는 그 안에서 다양한 시나리오를 수행하는 ‘플레이어’로 활용된다. 인간은 HITL 인터페이스를 통해 이러한 시뮬레이션 과정을 감독하며, AI의 학습과정이 사회적 목표에 부합하도록 조정할 수 있다.

개념	정의
도시정보학 (Urban Informatics)	빅데이터 및 정보통신기술(예: 시공간 데이터, 소비자 데이터, 이동 패턴, 시간적 특성 등)을 수집하고 이를 도시과학, 측지학, 정보학적 방법으로 분석하여, 도시 환경 속에서 살아가는 사람들의 행태와 상호작용을 연구하는 학문이다(Kant, 2021).
시스템적 접근 방법 (Systems Approach)	컴퓨터 모델링을 통해 내부 피드백 루프, 시간 지연, 비선형 상호작용 등 복잡한 시스템의 동태적 변화를 분석하고 관리하는 방법론이다. 이를 통해 시스템의 구성요소가 시간의 흐름에 따라 어떻게 상호작용하며, 그 결과 어떤 행동 패턴을 형성하는지 탐구한다. 이러한 분석은 공공정책, 비즈니스, 공학 등 다양한 분야에서 의사결정을 지원하기 위해 정성적·정량적 시뮬레이션 기법과 함께 활용된다.
도시 디지털 트윈 (Urban Digital Twin)	도시 디지털 트윈은 실제 도시의 물리적 시스템을 가상 환경에 그대로 복제해 시뮬레이션할 수 있는 디지털 모델로, 도시 운영 및 계획과 관련된 다양한 시나리오를 예측·검증하는 데 활용된다.
인공지능 (Artificial Intelligence, AI)	일반적으로 인간의 지능이 필요한 과업(정보 처리, 피드백 학습, 자율적 의사결정 등)을 수행할 수 있도록 설계된 컴퓨터 시스템의 응용 분야를 의미한다.
머신러닝 (Machine Learning)	컴퓨터 시스템이 데이터에서 패턴을 찾아 스스로 학습하는 능력을 말한다. 이 과정에서 명시적인 인간의 지시 없이 데이터에 적응하며, 주로 지도학습, 비지도학습, 강화학습의 세 가지 유형으로 분류된다.
대형언어모델 시스템 (Large Language Models, LLMs)	머신러닝의 하위 영역인 딥러닝 기술을 활용하여 방대한 텍스트 데이터 속의 패턴과 관계를 분석하는 신경망 모델이다. 이를 통해 문맥을 이해하고, 문장·단락·문서 단위의 텍스트를 인식하고 생성할 수 있다.
지도 학습 (Supervised Machine Learning)	이미 분류된 데이터셋에서 패턴을 학습하고, 이를 새로운 데이터셋에 적용하는 방식이다. 대표적인 예로 이미지 인식이 있다.
비지도 학습 (Unsupervised Machine Learning)	클러스터링(clustering), 연관규칙(association rules), 차원 축소(dimensionality reduction) 등의 기법을 활용하여, 레이블이 부여되지 않은 데이터셋에서 패턴이나 연관성을 발견한다. 사전 분류 없이 데이터를 탐색하므로, 고객 원형 분석(customer archetype identification)과 같은 분야에서 의미 있는 통찰을 제공할 수 있다.
강화 학습 (Reinforced Learning)	시뮬레이션된 환경에서 미리 정의된 규칙과 목표를 기반으로 안정적인 균형점이나 최적의 결과(win-win solution)를 찾아내는 학습 방식이다. AI 에이전트가 다양한 전략을 시도하고, 보상 함수를 통해 결과를 평가하며, 성공적인 전략을 반복 실행해 성능을 향상시킨다. 이러한 반복을 통해 점차 점수를 최대화하고 최적의 해법을 도출한다.

개념	정의
설명 가능한 인공지능 (Explainable AI, XAI)	머신러닝 모델이 결론에 도달한 이유와 과정을 이해하도록 돕는 기술이다. 단순히 결과만 제시하는 것이 아니라, AI의 판단 근거를 명확히 설명함으로써 편향 가능성을 줄이고 오류 탐지를 용이하게 한다.
휴먼 인더 루프 (Human-In-The-Loop, HITL)	인공지능이나 머신러닝이 주도하는 과정의 핵심 지점에서 인간의 판단을 개입시키는 접근 방식이다. 이는 AI가 내리는 주요 결정이나 자동화된 작업을 인간이 검토하고 조정하여, 시스템이 올바른 방향으로 작동하도록 관리하는 것을 목표로 한다.
다중 에이전트 시스템 (Multi-Agent Learning Systems, MALS)	여러 AI 에이전트가 각각의 역할과 기능을 수행하면서 상호 협력·경쟁하는 구조를 말한다. 각 에이전트는 복잡한 문제를 분담하고, 의사소통을 통해 조율하며, 도시계획과 같은 다층적 의사결정 상황에서 균형 잡힌 해결책을 도출하는 데 기여한다.
게임화 (Gamification)	게임의 디자인 요소와 원리(규칙, 목표, 피드백, 점수, 보상, 페널티 등)를 게임이 아닌 실제 맥락에 적용하여, 디지털 환경 속에서 현실 세계의 시나리오를 상호작용적으로 모방하는 방법을 의미한다.

Table 1
주요 개념 및 정의

시스템적 접근 방식 실현을 위한 AI 증강 도시 계획 프레임워크

그림 1과 아래에서 설명하는 게임화 전략을 적용하면, AI를 활용해 도시계획에 최적화된 시스템적 접근 방식을 실현할 수 있다. 이를 통해 도시계획 과정을 AI로 증강하고, 새로운 설계 기회를 창출할 수 있을 것이다.

1단계: 지역사회가 선호하는 행동 파악

어떻게 하면 특정 지역사회 내 소비자 집단의 선호 행동이나 아직 형성되지 않은 미래 사회의 생활 방식을 효율적으로 도출할 수 있을까?

기존의 도시 환경과 방대한 빅데이터 풀에서 데이터를 수집하고 정리해

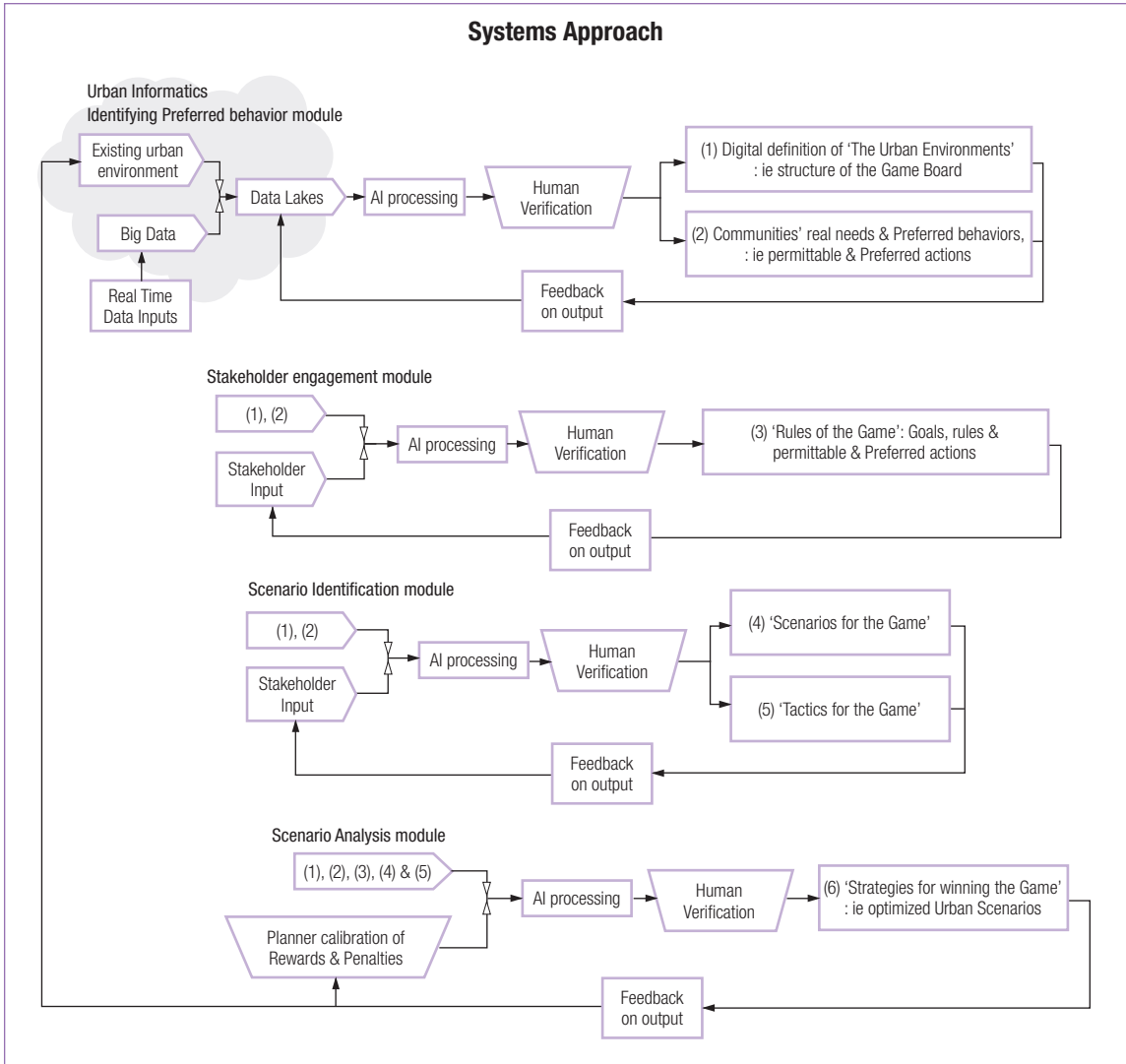


Figure 1

**게임화 전략을 통한 AI 증강
도시계획의 시스템적 접근**

데이터 레이크(data lake)를 구축한 뒤, 인공지능(AI)을 활용해 잠재적인 생활양식 패턴과 실제로 선호되는 사회적 요구 및 행동 원형을 분석함으로써 두 가지 목표를 동시에 달성할 수 있다. 첫째는 도시 환경의 디지털 트윈(digital twin), 즉 가상의 ‘게임보드’를 구축하는 것이고, 둘째는 인구통계나 도시계획가의 가정에 기반한 예측이 아니라 사람들이 실제로 선호하는 삶의 방식을 반영한 디지털 정의(digital definition) 또는 시뮬레이션 모델을 만드는 것이다.

실제 적용

◆ 도시환경은 세금기록, 부동산 소유권 데이터베이스, GPS 위치 정보, 공공서비스 이용, 교통 흐름, 구글 지도 타임라인의 개인 이동 기록, 소셜미디어 활동 등 다양한 출처에서 방대한 데이터 스트림을 생성한다. 여기에 위성 영상, 센서, 사물인터넷IoT, CCTV 등 컴퓨터 비전computer vision 기술을 활용하면 도시의 역동적 구조를 더욱 깊이 이해할 수 있다. 이러한 다양한 데이터 소스를 수집해 분석하면, 지역사회의 실제 요구와 행동을 반영하는 데이터 레이크를 구축할 수 있으며, 이는 도시정보학적 분석의 핵심 기반이 된다.

AI 증강

◆ 이 단계의 첫 번째 목표는 지역사회가 도시의 다양한 기능과 상호작용하는 방식을 정확하게 시뮬레이션할 수 있는 고해상도의 도시 디지털 트윈 환경을 구축하는 것이다.

◆ 데이터는 데이터 레이크data lake 접근, APIApplication Programming Interfaces를 통한 데이터 수집, 웹 데이터 스크래핑data scraping, 그리고 이해관계자의 데이터 공유 협력을 통해 확보된다.

◆ AI 시스템은 이렇게 확보된 방대한 데이터를 처리하면서, 구조화된 데이터(예: 인구통계, 교통망 등)와 비구조화된 데이터(예: 소셜미디어 트렌드, 이동기록, 휴대폰 위치정보 등)를 통합해 실행 가능한 통찰을 도출한다. 이를 통해 정책 결정과 인프라 설계에 사회적 가치를 반영할 수 있다.

◆ 지리공간 데이터는 인간과 기계 모두가 해석할 수 있는 형식(JSON, XML 등)으로 변환되며, 주기적(월별 · 연도별)으로 갱신되어야 한다. 또한 데이터 포인트가 상업 카테고리가 아니라 특정 위치명일 수도 있기 때문에, 보다 정확한 클러스터링과 패턴 인식을 위해 정제 과정이 필요하다.

◆ 데이터가 정리되면, 관심 지점POI, Point of Interest 별 방문 빈도, 이용 시간, 이동 및 시간 패턴 등 개인의 종합적 특성을 추출할 수 있다.

◆ LLM(대형언어모델)을 활용하는 다중 에이전트 학습 시스템Multi-Agent

Learning System, MALS 자동화 에이전트는 자연어로 제시된 분석 목표(예: “인구 밀도 증가 지역의 부동산 거래와 공공서비스 수요 간 상관관계 분석”)를 해석하고, 이를 실행 가능한 코드(Python, SQL 등)로 자동 변환하여 데이터 분석을 수행할 수 있다.

◆ DBSCAN, t-SNE 등 비지도학습 기법은 다차원 지리 데이터를 분석해 도시 내 현재 및 잠재적 생활양식 클러스터와 패턴, 그리고 선호되는 사회적 요구의 행동 원형을 파악한다. 이렇게 구축된 ‘게임보드’ 위에서 허용 가능한 행동 범위와 선호되는 행동 패턴을 탐색할 수 있다.

◆ 설명가능한 AI(Explainable AI)를 결합한 LLM은 AI 에이전트의 사고 과정을 문서화하고 주요 결과를 요약해 제공한다. 이를 통해 의사결정자는 보다 투명하고 신뢰할 수 있는 정보 기반 결정을 내릴 수 있으며, 데이터 과학자들은 프로세스 오류를 추적하고 개선할 수 있다.

◆ 예를 들어, 노후 산업 지역을 레저공원으로 재생하는 도시계획을 수립할 때, AI는 방대한 데이터를 분석해 지역사회의 실제 요구를 상향식(bottom-up)으로 파악하고, 이를 행동 클러스터로 정의한다. 그 결과, 주민이 선호하는 녹지 공간의 형태나 이용 행태를 예측할 수 있으며, 기반시설 배치나 상업 공간 활용 등도 정량적으로 평가할 수 있다. 이러한 과정은 도시계획자가 위치·시설 규모·공공공간 설계 등과 관련된 결정을 보다 효율적으로 내릴 수 있도록 돕는다.

무엇보다 중요한 점은, 이러한 접근 방식을 통해 사람들이 선호하는 생활 방식과 가치에 기반한 미래 도시 인프라 서비스를 설계할 수 있다는 것이다. 또한, 수동적인 절차를 자동화할 뿐만 아니라, 새로운 유형의 분석까지 가능해진다. 예를 들어, AI 에이전트가 실시간으로 데이터 흐름을 모니터링하면서 이상 징후(예: 물 사용량 급증, 교통패턴 변화)를 감지하고 즉시 관리자에게 알리거나, 예측 모델링을 통해 새로운 요구와 시스템 간 상호작용이 생활 패턴에 어떤 영향을 미치는지를 분석할 수 있다.

2단계: 이해관계자 참여 Stakeholder engagement

어떻게 하면 다양한 이슈에 대한 이해관계자 참여를 효과적으로 이끌어낼 수 있을까?

기존의 이해관계자 참여는 시간적 제약과 자원 부족으로 인해 충분히 이루어지기 어려웠다. 그러나 도시 환경에서 사람들의 선호 행동을 파악하고 AI 기술을 활용하면, 이해관계자와 상호작용하는 1단계를 체계적으로 구축하여 훨씬 깊이 있는 참여를 구현할 수 있다. 한 번 학습된 AI는 주민과 기업, 도시계획가, 정책입안자 등 다양한 이해관계자의 관점을 시뮬레이션할 수 있으며, 이를 통해 더 정교한 시나리오를 탐색하고 다양한 해결책을 모색할 수 있다. 궁극적인 목표는 목적, 규칙, 절차, 매개변수, 제약 조건으로 구성된 ‘참여의 구조’, 즉 ‘게임의 규칙’을 설정하는 것이다.

실제 적용

- ◆ 이해관계자 참여는 환경의 지속가능성, 경제적 타당성, 사회적 포용과 형평성, 시스템 회복력 등 다양한 기준을 포괄하며, 동시에 ‘게임의 목표’를 구체화하는 과정에서 각 이해관계자의 기대와 우선순위를 반영해야 한다.
- ◆ AI 도구는 자연어 인터페이스를 통해 이해관계자의 실시간 참여를 가능하게 하며, 서로 상충하는 가치—예를 들어 지속가능성과 경제성, 이동성과 환경보전—사이에서 투명한 논의와 조정이 이루어지도록 돕는다. 서면이나 구두로 제시된 이해관계자의 의견과 요구는 AI 시스템을 통해 데이터, 변수, 함수 형태로 변환되어 ‘게임의 규칙’을 구성하는 근간이 된다.
- ◆ AI 에이전트는 디지털 플랫폼을 통해 정보를 공유하고, 사용자 선호도에 대한 피드백을 수집함으로써 지역사회, 공공기관, 개발자, 투자자 등 다양한 이해관계자에게 접근 가능한 인터페이스를 제공할 수 있다.
- ◆ 이해관계자들은 특정 서비스나 혜택을 위해 시간, 자본, 노동 등의 자원을 투자하려는 의지를 보여야 하며, 이러한 의지가 ‘게임의 절차’를 구성하는 핵심 요소가 된다.

- ◆ 이해관계자 참여 모듈은 시나리오 탐색 과정에서 도출된 선호 시나리오의 검증과 타당성 평가에도 활용될 수 있다.
- ◆ AI 에이전트가 충분히 훈련되면, 이해관계자 그룹의 반응을 시뮬레이션하여 결과의 현실성과 효과를 빠르게 평가할 수 있으며, 이를 통해 계획자는 잠재적 시나리오에 대한 다양한 가상 반응을 신속하게 시험할 수 있다.

AI 증강

- ◆ LLM(대형언어모델)을 사용하는 다중 에이전트 학습 시스템(Multi-Agent Learning System, MALS) 자동화 에이전트는 이해관계자 참여를 위한 직관적이고 사용자 친화적인 인터페이스를 제공한다. 이 시스템은 입력된 내용을 데이터 분석을 자동화하는 실행 가능한 스크립트로 변환하며, 텍스트 프롬프트를 통해 사람의 입력과 조정이 가능하도록 한다. 이를 통해 이해관계자들이 가장 중요하게 여기는 목표, 매개변수, 제약 조건을 명확하게 설정할 수 있다.
- ◆ 생성된 데이터는 비지도 학습을 통해 분석 및 해석되며, 사회적 경계를 구분하고 이해관계자들이 목표 달성을 위해 어느 정도의 노력을 기울일 의지가 있는지를 파악한다. 이후 AI 에이전트는 이러한 정보를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하며, 매개변수와 제약 조건은 추가적인 검증(스트레스 테스트)을 거쳐 결과의 타당성을 높인다. 이렇게 1과 2 단계에서 수집된 이해관계자 참여 데이터를 기반으로 ‘게임의 목표’와 ‘게임의 규칙’이 구체적으로 확립된다.
- ◆ LLM은 반드시 설명 가능한 AI(Explainable AI) 원칙을 기반으로 구축되어야 한다. 그래야만 AI 에이전트의 사고 과정이 문서화되고, 의사결정의 투명성을 유지하면서 오류 검출 결과를 명확히 요약할 수 있다.
- ◆ 예를 들어 도시공원을 설계하는 경우, 목표는 가족이 함께 보내는 시간을 최대화하는 것이 될 수 있다. 이때 핵심 매개변수는 공원 방문 빈도, 체류 시간, 이동 거리 등이며, 이러한 요소가 ‘게임의 규칙’을 구성하게 된다.

결국 AI와 다중 에이전트 학습 시스템(Multi-Agent Learning System, MALS)을

이해관계자 참여 과정에 통합하면, 더 반응적이고 적응적이며 투명하고 포용적인 도시 환경을 조성할 수 있다. 이를 통해 정책결정자는 회복력 있고 공평하며 모든 주민의 요구에 부응하는 도시를 설계할 수 있을 것이다.

3단계: 시나리오 파악 *Scenario Identification*

어떻게 하면 잠재적 시나리오와 관련된 다차원적 스펙트럼을 효과적으로 도출할 수 있을까?

AI는 도시계획가의 전문적 지도를 바탕으로 앞선 1단계와 2단계에서 구축된 데이터를 활용해, 분석을 위한 다양한 혁신적 시나리오를 생성할 수 있다. 그 목적은 ‘게임의 시나리오’를 설정하고, 이에 맞는 ‘전략과 전술’을 탐색하는 것이다.

실제 적용

- ◆ 과거의 도시계획 절차에서는 시나리오 분석에 막대한 비용이 들었기 때문에, 실제로 개발하고 검토할 수 있는 시나리오의 수가 매우 제한적이었다.
- ◆ 그러나 AI 도구를 활용해 시나리오를 탐색하면, 도시계획가가 도시 규모의 복잡한 문제에 접근하는 방식을 근본적으로 혁신할 수 있다. 여러 유형의 전문 AI 에이전트를 배치해 인구통계 변화, 인프라 이용 패턴, 환경 요인, 실시간 지역사회 피드백 등을 포함한 방대한 데이터 세트를 스캔·통합·해석함으로써, 기존 분석으로는 포착하기 어려웠던 새로운 패턴, 위험 요인, 기회 요소를 자동으로 식별할 수 있다. 또한 일자리 창출, 자산 형성, 지속 가능한 자원 관리, 녹지 공간 확보, 인프라 부담, 생활방식별 환경 영향 등 보다 광범위한 핵심 매개변수를 분석할 수 있는 기반을 마련함으로써, 이해관계자 모두가 구축된 환경에서 최적의 사회적 가치를 얻을 수 있도록 지원한다.
- ◆ 이러한 시스템은 여러 영역의 데이터를 종합해 이동성, 자원 소비, 사회·경제적 행동의 변화 추세를 자동으로 탐지하는 데 탁월하다. 예를 들어, 어떤 AI 에이전트는 교통 데이터를 실시간으로 수집·분석하여 통근 패턴의 미묘

한 변화를 감지하고, 다른 AI 에이전트는 시민들의 감정 변화를 파악하기 위해 소셜미디어 피드를 모니터링할 수 있다. 이렇게 상호작용하는 AI 에이전트들은 잠재적 위험과 기회를 시각화한 미래 시나리오의 역동적 지도(dynamic map)를 구축할 뿐 아니라, 이러한 관계 분석을 통해 새로운 전략적 방향성을 도출하는 데에도 기여할 수 있다.

AI 증강

◆ AI 도구를 활용한 다차원 분석(multidimensional analysis)은 매우 유의미한 통찰력을 제공하지만, 동시에 상당한 연산 능력을 요구한다. 따라서 도시계획가는 클러스터링을 수행하기 전이나 병행하여 AI 기반 차원 축소(dimensionality reduction)를 함께 적용해야 한다. 이렇게 하면 데이터의 주요 변동성을 유지하면서도 정보를 단순화해, 보다 명확하고 해석 가능한 클러스터링 결과를 얻을 수 있다. 특히 타임라인 데이터(timeline data)에서 나타나는 복잡한 특징 벡터(feature vector)를 단순화하는 데 효과적인 대표적 선형 차원 축소 기법으로 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)이 널리 사용된다.

◆ 클러스터링 기법으로는 밀도 기반 알고리즘인 DBSCAN(Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), K-평균(K-means), 계층적 클러스터링(Hierarchical Clustering) 등이 있으며, 각각의 접근법은 서로 다른 장점을 지닌다. 이 중 DBSCAN은 임의의 형태와 크기를 가진 클러스터를 효과적으로 식별할 수 있으며, 동시에 이상치(outlier)를 노이즈로 구분할 수 있어 도시계획처럼 복잡한 데이터 구조를 다룰 때 특히 유용하다. 생활 방식은 명확히 구분되는 단일 집단으로 나뉘지 않기 때문에, 노이즈를 적절히 고려해야 클러스터의 관련성과 해석력을 유지할 수 있다. 또한 DBSCAN은 단순히 지리적 인접성만이 아니라, 특정 장소 유형이나 행태적 패턴을 중심으로 한 클러스터를 식별할 수 있어, 단순한 공간 분석을 넘어 ‘생활 방식 시나리오’와 ‘전략적 행동 패턴’을 도출하는 데에도 효과적이다.

◆ 비선형 차원 축소 기법 가운데 t-SNE(t-Distributed Stochastic Neighbour

Embedding는 고차원 데이터를 2차원 혹은 3차원 공간으로 시각화하는 데 탁월하다. 이를 통해 데이터의 구조가 시각적으로 드러나며, 도시계획가는 클러스터 간의 관계와 분포를 훨씬 쉽게 해석할 수 있다.

◆ 이러한 절차는 다음과 같이 진행된다. 먼저 PCA를 사용해 데이터의 특징수를 줄이고, 그 결과를 DBSCAN에 적용해 뚜렷한 클러스터를 탐지한 뒤, 이상치는 별도로 표시한다. 이후 t-SNE를 활용해 클러스터링 결과를 시각화하면, 각 집단의 의미와 중요성을 직관적으로 이해할 수 있다.

◆ 설명 가능한 AI(Explainable AI)를 통합한 LLM(대형언어모델)은 이러한 분석 과정에서 AI 에이전트의 사고 과정을 문서화하고, 주요 결과를 요약해 인간이 쉽게 검증할 수 있도록 지원한다.

◆ 예를 들어 공원 설계 사례에서, 공원 이용자의 인구통계 데이터를 DBSCAN으로 분석하고 t-SNE를 통해 시각화하면, 겉보기에는 비슷해 보이지만 실제로는 다른 행동 패턴을 가진 사용자 집단 간의 공통점이 드러난다. 이러한 핵심 공통점은 AI 에이전트가 후속 ‘전략’ 또는 ‘행동 특성’으로 학습·활용할 수 있다.

AI의 분석 능력과 인간의 전문 지식을 결합하면, 시나리오와 전략을 보다 빠르고 포괄적으로 식별할 수 있을 뿐만 아니라 도시를 구성하는 복잡한 요인들의 미묘한 상호작용에도 효과적으로 대응할 수 있다. 이를 통해 다음 단계인 심층 시나리오 분석과 평가의 기반이 마련되며, 다양한 미래 가능성과 이를 형성하는 행동·가치의 지렛대를 종합적으로 이해하는 데 기여한다.

4단계: 시나리오 분석 Scenario Analysis

어떻게 하면 잠재적 시나리오의 다차원적 스펙트럼을 효과적으로 분석, 평가 및 검증할 수 있을까?

도시계획가는 전문적 판단에 따라 1~4와 5단계의 절차를 기반으로 AI 분석에 활용되는 보상과 불이익을 조정함으로써, 각 시나리오에 대한 다양한 전략을 개발하고 적용하여 가능한 결과를 도출할 수 있다. 궁극적인 목표는 ‘계

임에서 승리하기 위한 전략, 즉 최적화된 도시 시나리오를 설계하는 것이다.

실제 적용

◆ 도시계획자는 제시된 미래 시나리오 간의 상호관계, 충돌 가능성, 그리고 각 시나리오의 의존성을 면밀히 평가해야 한다. 특히 정책, 계획, 실행의 변화를 안전하게 검증할 수 있는 테스트베드(testbed)가 필요하다. 또한 도시계획자는 환경적 지속가능성, 경제적 타당성, 사회적 형평성, 회복탄력성 등 다양한 기준을 종합적으로 검토하면서, 이해관계자의 복합적인 관점까지 포착해야 한다.

◆ AI 알고리즘은 사전에 정의된 목표, 규칙, 보상, 그리고 페널티를 포함한 시뮬레이션 환경에서 작동하며, 다양한 시나리오를 실행해본다. 이를 통해 현실에서 발생할 수 있는 위험, 비용, 시간을 들이지 않고도 가장 효율적이고 효과적인 ‘게임 솔루션’을 도출할 수 있다.

◆ 시나리오 분석의 핵심은 새로운 사회경제적 가치를 창출하기 위한 투자 대비 가치 순환(value cycle)과, 가치 확보 기회의 지속가능성 및 견고성(robustness)을 평가하는 데 있다. 이러한 분석을 통해 이해관계자들은 가치 제안의 타당성과 실행 가능성에 대한 확신을 가질 수 있다.

AI 증강

◆ 다중 에이전트 학습 시스템(Multi-Agent Learning System, MALS)은 다중 AI 에이전트의 협력적 추론과 전문 지식을 결합해 각 시나리오를 다양한 평가 기준에 따라 정성적 및 정량적으로 평가할 수 있다.

◆ 먼저, 게임의 승리 전략을 평가하기 위해 보상 함수(reward function)를 설정해야 한다. 효과적인 보상 함수는 다음 세 가지 원칙을 따른다.

- 정렬(Alignment): 원하지 않는 편향이나 비생산적 행동을 방지하여, 보상 함수가 작업의 실제 목표와 일치하도록 한다.
- 일반화(Generalization): 특정 조건이나 가정에 종속되지 않고 다양한 시

나리오와 상태에 적용될 수 있도록 한다.

- 저항성^{Resistiveness}: 시스템의 오류, 노이즈, 또는 조작에 의해 왜곡되지 않도록 보상 해킹을 방지한다.

◆ 강화학습^{reinforcement learning} 알고리즘은 게임이론적 접근을 바탕으로, 서로 다른 이해관계자들이 경쟁 혹은 협력하며 이익을 추구하는 상호작용을 모델링하고, 이에 따른 반응을 예측한다. 이렇게 중첩된 AI 시스템은 복잡한 도시 환경 속에서도 안정적인 균형, 최적의 타협점, 그리고 상호 이익^{win-win}을 이끌어낼 수 있다.

◆ AI 에이전트는 강화학습 내의 보상 함수를 사용해 전략을 개선하고, 이를 바탕으로 도시계획 시나리오를 지속적으로 최적화한다. 또한 설명 가능한 AI^{Explainable AI}를 결합한 LLM(대형언어모델)은 이러한 과정을 문서화하고, 주요 결과를 요약하여 의사결정자가 신뢰할 수 있는 검증 가능한 근거를 확보하도록 돕는다.

◆ 예를 들어 교통 연결성 개선 시나리오를 설계하는 경우, AI 에이전트는 다양한 교통 투자 전략을 시뮬레이션하며, 변화하는 이동성 데이터와 이해관계자 반응을 반영해 스트레스 테스트를 수행한다. 동시에 다른 에이전트는 주택시장, 자원 배분, 사회적 형평성에 미치는 영향을 평가하여, 서로 다른 전략 간의 상호 효과를 비교·검증할 수 있다. 이후 인간 계획자에게 선호되는 최적의 옵션을 제안해, 실제 정책 결정에 반영할 수 있도록 한다.

이 모든 절차가 정의되면, 강화학습 기반의 머신러닝 시뮬레이션이 실행된다. 에이전트는 도시의 기본 레이아웃 위에서 다양한 결정을 내리며, 시뮬레이션은 이에 따른 변화를 지속적으로 업데이트한다. 도시의 새로운 상태는 보상 함수에 의해 평가되며, 이 과정이 수천 번 반복되면서 최종적으로 가장 높은 보상을 창출하는 설계, 즉 ‘최적의 솔루션’을 도출하게 된다.

이 모든 절차들이 정의되면, 강화된 머신러닝 시뮬레이션이 실행된다. 에이전트는 기본 도시 레이아웃에 배치되어 계획 결정을 내리는 등의 행동을 취한다. 도시 시뮬레이션은 이러한 변화를 반영하여 업데이트되고 사람들의

행동이 어떻게 변화했는지 시뮬레이션한다. 보상 함수는 에이전트가 학습할 수 있도록 도시의 새로운 상태를 평가한다. 이 과정은 수천 번 반복되면서 최대 보상을 생성하는 설계를 식별해 효과적으로 '최상의 솔루션'을 찾는다.

도시계획에서 AI 도입의 쟁점과 과제

AI 기술은 발전과 함께 점진적으로 개선되며 그 기능 또한 고도화되고 있다. 컴퓨터나 CAD처럼, 오늘날의 AI는 복잡한 문제에 대한 완전한 해답이라기보다 강력한 지원 도구로 인식된다. 도시계획 맥락에서 AI와 관련된 핵심 과제는 기술적 요인, 인적 요인, 그리고 인터페이스 요인의 세 가지 상호 연관된 영역으로 구분된다. 이러한 문제들을 이해하고 극복하는 과정이 곧 AI 기반 도시계획의 기회와 한계를 규정짓는 핵심 요소가 된다.

도시계획에서 AI 적용의 기술적 요인

도시계획에서 AI를 활용하는 과정에서 발생하는 기술적 한계는 AI 시스템의 구조적 제약과 작동 요구 조건에서 비롯된다.

◆ **진정한 이해 부족:** 대형언어모델(LLM)은 인간처럼 '이해'하는 것이 아니라, 통계적으로 가장 가능성이 높은 단어의 조합을 예측해 응답을 생성한다. 그 결과, AI가 만들어내는 아이디어는 겉보기에는 독창적으로 보일 수 있으나, 실제로는 깊이와 일관성이 부족할 수 있다.

◆ **데이터의 제약:** AI 출력의 품질과 범위는 입력 데이터의 양, 다양성, 그리고 적합성에 따라 제한된다. 불완전하거나 편향된 데이터는 분석 왜곡을 초래하고, 도시 시스템 내의 기존 불평등을 강화할 위험이 있다. 또한 개인정보 보호와 보안상의 이유로 중요한 데이터 접근이 제한되면서, AI가 제공할 수

있는 통찰의 폭과 깊이 역시 제한된다.

◆ **알고리즘 편향 및 정보 오류:** AI 시스템은 훈련 데이터나 알고리즘에 내재된 편향을 그대로 재생산하거나 강화할 수 있다. 이로 인해 사실과 다르거나, 조작된 정보가 생성되는 경우도 발생한다.

◆ **다중 에이전트 시스템의 복잡성 및 신뢰성 문제:** 다중 에이전트 시스템 MAS은 AI 기반 도시계획의 핵심 구성요소로, 단일 에이전트나 대형언어모델이 처리할 수 없는 복잡한 문제를 해결할 수 있는 자율성과 확장성을 제공한다. 그러나 여러 에이전트가 위임, 협상, 경쟁, 협업을 병행하며 작동하는 분산적 구조 때문에, 시스템 내 실패 지점이 많고, 실제 문헌에서도 높은 오류율이 보고되고 있다. 특히 협상이나 위임, 공동 계획 단계에서 에이전트 간 통신 실패나 비효율적 협력이 빈번히 발생할 수 있다.

◆ **자원 수요의 급증:** AI 컴퓨팅의 확장은 필연적으로 에너지와 하드웨어 자원의 폭발적 증가를 초래한다. 이에 따라 비용 부담, 지속가능성, 접근성 문제가 함께 대두된다.

◆ **적응성 및 변화 대응의 한계:** 도시 환경은 기술, 인구통계, 환경적 압력의 변화에 따라 끊임없이 진화한다. 따라서 AI 도구 역시 지속적인 업데이트와 조정이 이루어져야 한다. 그렇지 않으면 빠르게 변화하는 도시 현실에 부적합하거나, 오히려 의사결정의 정확성을 저하시킬 위험이 있다.

AI 증강 도시 계획에서 인적 및 기술적 요인

도시계획에서 AI 기술의 성과는 시스템의 구조적 설계와 인간과의 상호작용 방식, 이 두 요소에 크게 좌우된다. 이러한 상호작용 과정에서는 여러 과제와 고려해야 할 문제가 함께 나타난다.

◆ **AI 활용 역량의 격차 해소:** 도시계획 전문가가 AI를 얼마나 효과적으로 활용하느냐는 각 기술의 학습 곡선과 사용 편의성에 따라 달라진다.

- CAD(컴퓨터 지원 설계)가 건축 및 엔지니어링 설계에 혁명적인 변화를

가져왔던 것처럼, AI 역시 도시계획 과정에 큰 변화를 가져올 것으로 보인다.

- 다만 실제 사용자들은 단순한 기술적 진보보다, 기존 방식 대비 명확한 이점을 기대할 것이다. 예컨대 의사결정 시간 단축, 비용 절감, 사회적 가치 향상, 예측 정확도 개선, 인프라의 수명 연장, 사용자 만족도 제고 등이 이에 해당한다.
- 시간이 지나면서 기술 적응도가 높아지고, 도시계획의 각 단계에서 신뢰가 쌓이면 변화에 대응할 수 있는 보다 안정적인 기반이 형성될 것이다

◆ **전문성 및 리더십 재정립:** AI가 강화된 도시계획 체계에서는 Human-in-the-Loop(인간 개입형 설계)가 필수적이다. 여전히 도시계획팀의 전문성과 경험이 요구되지만, AI의 분석력과 결합함으로써 더 깊이 있고 구체적인 결과를 얻을 수 있다.

- 그러나 기존의 도시계획 팀은 새로운 기술을 습득하거나, 도시정보학·AI 시스템·컴퓨터 프로그래밍 분야의 전문가를 추가로 영입해야 할 가능성이 크다. 팀 구성원의 역할 역시 기존의 데이터 분석, 이해관계자 참여, 창의적 설계 중심에서 벗어나, 각 단계에서 AI 에이전트를 학습시키고 감독하는 역할로 점차 확대될 것이다.
- 무엇보다 중요한 점은, 목표를 설정하고 성과를 검증하며 결과에 책임을 지는 관리자나 팀 리더의 제도적 역할은 여전히 유지되어야 한다는 것이다. 이러한 주체적 참여를 통해서만 변화의 방향을 이끌 리더십과 자신감을 확보할 수 있기 때문이다.
- 이처럼 제도적 전환을 성공적으로 추진하기 위해서는, 기회와 위험 요인, 시스템 및 투자 요구, 행정 절차, 단계적 실행 일정 등을 종합적으로 판단하고 조정할 수 있는 관리자급 역량이 필수적이다. 또한 전략적 의사결정과 실무 조율을 위한 워크숍과 리더십 훈련이 병행되어야 한다.

◆ **사용자 데이터 입력 객관성 및 모델 구조의 영향**: AI 시스템의 구조를 살펴보면, 결과는 사용자가 제시하는 입력 내용의 명확성과 객관성에 크게 좌우된다. 입력이 불완전하거나 편향되었거나, 기반 데이터가 불충분하거나 대표성이 떨어질 경우, AI의 결과 또한 왜곡될 수밖에 없다. 이로 인해 AI의 신뢰도와 활용성은 자연히 제한된다. 또한 모델이나 알고리즘을 설계하고 수정하는 과정에서 내리는 구조적 결정 역시 결과를 형성하거나 제한하는 중요한 요인이 되며, 이러한 결정은 종종 암묵적인 편향을 내포해 결과 해석에 영향을 미칠 수 있다.

◆ **비지도 머신러닝(Unsupervised Machine Learning)의 불안정성**: 비지도 머신러닝에서는 학습에 사용되는 데이터의 특성에 따라 결과가 크게 달라질 수 있다. 명확한 기준이나 레이블이 지정된 데이터 세트가 없을 경우, 알고리즘이 잘못된 패턴을 학습하거나 일관성이 떨어지는 결과를 도출할 위험이 높다. 그 결과, 도시 계획과 같은 복잡한 의사결정 과정에서는 권장안이 불확실하거나 신뢰성이 낮아질 수 있다.

◆ **강화 학습(Reinforcement Learning)의 한계**: 강화 학습 알고리즘은 기술적으로 학습 목표를 달성할 수 있지만, 계획의 본래 의도나 실제 목표와는 다른 ‘해결책’을 찾아내는 경우가 많다. 이는 시스템을 안내하는 보상 구조나 규칙이 불완전하거나 잘못 설정된 경우에 발생하며, 결국 정책 설계나 계획 제안에서 의도하지 않은 결과를 초래할 수 있다.

◆ **대형 언어 모델(Large Language Model, LLM)의 한계**: 대형 언어 모델은 높은 수준의 텍스트 생성 역량을 지니고 있으나, 입력의 오류나 지시의 모호성을 자체적으로 인식하고 수정하는 데에는 한계가 있다. 적절한 안전장치나 검증 절차가 마련되지 않을 경우, 외견상 설득력 있는 결과물을 생성하더라도 실제로는 부정확하거나 왜곡된 정보를 포함할 가능성이 있으며, 이는 도시 계획 전반의 의사결정 과정에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

◆ **다중 에이전트 시스템(Multi-Agent System)의 정렬 문제**: 다중 에이전트 시스템은 여러 에이전트가 역할을 분담하고 협력하는 구조를 가지지만, 이 과정

에서 정렬 불일치, 사양 오류, 편향이 증폭될 수 있다. 이러한 문제는 복잡한 도시 계획 환경에서 시스템의 신뢰성과 일관성을 확보하는 데 매우 중요한 과제로 작용한다.

AI 증강 도시 계획에서 인터페이스 요인

AI 증강 도시계획을 설계할 때는 기술적 요소와 사용자의 행위가 맞물리는 인터페이스에서 다양한 문제가 발생할 수 있다. 특히 해석, 조정, 그리고 사회적 포용성 등 여러 요인이 교차하는 지점에서 그 복잡성이 더욱 두드러진다.

◆ **해석력과 투명성:** AI 는 종종 ‘블랙박스’처럼 작동하기 때문에, 그 결과가 도출되는 메커니즘이 불투명하게 느껴질 수 있다. 이러한 불투명성은 특정 데이터 입력이나 가정의 영향을 추적하기 어렵게 만들어, 신뢰를 약화시키고 책임성을 저해하며 도시계획 전반에서 AI 사용자의 감독 기능을 제한할 수 있다.

◆ **AI에 대한 과도한 의존과 판단력의 약화:** AI가 생성한 분석과 예측이 의사결정 과정에 깊이 통합되면, 계획자나 정책 담당자가 알고리즘의 결과에 지나치게 의존하게 되어 AI 사용자의 전문적 판단력과 직관이 약화될 위험이 있다. AI는 도시의 문화적, 역사적, 정치적 맥락을 충분히 반영하지 못할 수 있기 때문에, 균형 잡힌 의사결정을 위해서는 지속적인 AI 사용자 참여가 필수적이다.

◆ **사회적 고려사항:** 도시 맥락에서 AI를 활용하는 과정에서 기존의 사회·경제적 불평등, 특히 취약계층의 격차를 의도치 않게 심화시킬 수 있다. 효율성을 중시하는 최적화 알고리즘은 때때로 소외된 공동체나 환경적 가치를 희생시킬 가능성이 있다. 따라서 공정성과 포용성을 보장하기 위해서는 사회적 프레임워크를 마련하고, 시민과 지역 공동체의 참여를 제도적으로 보장해야 한다.

◆ **이해관계자 참여는 선택이 아닌 필수적 요소다.** 복잡한 시스템 속에서 관

리자와 정책 담당자는 변수를 정의하는 동시에 의사결정 과정에 직접 참여해야 한다. 이들의 협력이 확보되지 않으면 제도적 실행력이 약화된다. 따라서 단계적 참여 전략, 리더십 워크숍, 신뢰할 수 있는 중개자의 활용 등 실질적 참여 방안을 설계할 필요가 있다.

◆ **기술 및 자원 제약:** 첨단 AI 기술을 구현하기 위해서는 견고한 인프라, 숙련된 전문가, 그리고 상당한 재정 투자가 필요하다. 하지만 예산과 인적 자원이 제한된 지방자치단체는 이러한 인프라 구축에 어려움을 겪을 수 있으며, 이로 인해 디지털 격차가 심화되고 도시 간 기술 불평등이 확대될 위험이 있다.

◆ **AI 사용자-시스템 간 협업의 모호성:** 도시계획 과정에서 AI 사용자와 AI 시스템의 역할과 책임이 명확히 구분되지 않으면, 해석상의 혼란이나 의사소통 오류가 발생할 수 있다. 따라서 협업 구조와 의사결정 과정의 투명성을 확보하는 것이 중요하다.

◆ **지속적인 감독과 관리의 필요성:** AI를 도시계획에 책임감 있게 도입하기 위해서는 기술적 한계, 사회적 고려사항, 그리고 변화하는 지역사회의 요구를 반영할 수 있도록 지속적인 AI 사용자 감독이 필요하다. AI는 일회성으로 설정해두는 자동화된 시스템이 아니라, 공공의 이익과 사회적 가치를 실현하기 위해 꾸준히 조정되고 검증되어야 한다.

AI와 다중 에이전트 학습 시스템(Multi-Agent Learning System, MALS)의 한계를 인식하는 것은 책임 있는 도시계획의 핵심이다. AI는 AI 사용자의 판단을 대체하는 기술이 아니라, 계획자와 정책 담당자, 그리고 지역사회의 전문성을 보완하고 강화하는 도구로서 기능해야 한다. 따라서 투명성, 감독, 그리고 이해관계자 참여를 기반으로 한 균형 잡힌 접근법을 통해 AI의 장점을 극대화하면서도 위험을 최소화하고, 회복력 있으며 공정하고 적응적인 도시를 구현할 수 있을 것이다.

AI 증강 도시계획 프레임워크 요건

AI 증강 도시계획 프레임워크는 앞서 제시한 문제들을 바탕으로, AI와 AI 사용자 간의 역할과 업무를 명확히 구분하고 체계적으로 설계해야 한다. AI와 머신러닝 알고리즘은 대규모 데이터 분석, 시나리오 모델링, 시뮬레이션 등 인간에게는 매우 복잡하고 시간이 많이 드는 작업에서 탁월한 성과를 보이지만, 인간의 판단과 개입은 결코 대체될 수 없다. 인간의 참여는 상황 인식, 가치 기반의 판단, 그리고 예기치 못한 결과를 해석하고 대응하는 능력 면에서 AI가 제공할 수 없는 고유한 가치를 더한다. 따라서 잘 설계된 프레임워크는 주요 의사결정 단계마다 휴먼 인더 루프(Human-in-the-Loop) 입력을 통합해야 하며, 다음과 같은 요건을 충족해야 한다.

- ◆ AI 사용자와 AI 에이전트의 역할과 목표를 사회적 가치 실현이라는 포괄적 목표에 맞게 명확히 설정한다.
- ◆ 주요 통제 지점에서 AI 사용자의 감독과 비판적 검토를 수행해, 정렬 오류나 새롭게 발생하는 편향을 조기에 감지하고 수정한다.
- ◆ 모든 이해관계자의 의견을 반영할 수 있는 투명한 시나리오 생성 및 평가 절차를 구축한다.
- ◆ AI가 제시한 솔루션이 현실적이고 공정하며, 실제 위험 상황에서도 안정적으로 작동하는지를 검증할 수 있는 메커니즘을 마련한다.

이러한 AI 증강 도시계획 프레임워크의 설계 원칙은 아래 표에 정리되어 있다.

Table 2
도시계획 AI 도입 시
역할과 책임 정의를 위한
핵심 원칙 요약

원칙	개요	AI 사용자의 역할	AI의 역할
투명한 의사 결정 경로	사고 과정을 설명하고 기록하도록 설계된 설명 가능한 AI(XAI) 시스템을 사용하여 의사 결정 과정을 명확히 이해하고 면밀히 검토할 수 있게 한다.	AI가 제시한 결과에 대해 의문을 제기하고, 오류를 감지하며, 재해석하거나 과정의 편향을 파악할 권한과 책임을 가진다	결과로 이어지는 사고의 흐름과 논리를 투명하게 보고하고 설명한다.

원칙	개요	AI 사용자의 역할	AI의 역할
사용자 중심 감독	기술적 및 사회적 이익을 균형 있게 관리하기 위해 감독 위원회 또는 검토 패널을 계획에 포함한다.	맥락에 대한 이해, 윤리적 판단, 섬세한 해석 능력을 바탕으로 감독자 역할을 수행한다.	대규모 데이터 세트를 처리하고, 패턴을 파악하고, 복잡한 목표에 맞춰 최적화하여 패널이 근거에 기반한 의사 결정을 내릴 수 있도록 지원한다.
지속적인 피드백 및 적응	실시간 데이터와 이해관계자의 경험을 반영하는 역동적 피드백 루프를 구축한다.	다양하고 신뢰할 수 있으며 편향되지 않은 데이터를 제공해 정렬성과 적응성을 높인다.	피드백과 데이터를 기반으로 모델과 접근 방식을 지속적으로 개선하고 업데이트한다.
참여형 거버넌스 및 책임감	투명성, 고충 처리, 합의 형성을 위한 포괄적 참여 메커니즘을 구축한다.	AI가 윤리적이고 민주적으로 사용되도록 유도하고, 시민들이 참여하고 기여할 수 있도록 지원한다.	계획을 강화하고 참여 프로세스를 지원한다.
역할 및 책임 분담	AI와 사용자의 통찰력이 최대한 발휘되도록 역할을 명확히 구분하되, 필요에 따라 유연하게 조정한다.	가치 판단, 갈등 해결, 비전 설정을 담당한다.	시나리오 모델링, 추세 분석, 신속한 최적화 등 분석 중심의 작업을 수행한다.
윤리 및 법적 안전장치	데이터 관리, 알고리즘 공정성, 개인정보 보호를 위한 체계를 마련하고, 편향 및 부정적 영향을 점검한다.	감독 기관은 감사 체계를 구축하고, 규제 기준이 공익에 부합하도록 보장한다.	윤리 및 법적 프레임워크 내에서 안전하게 작동한다.

결론

본 논문은 AI 기반 생활양식 분석을 통해 도시계획의 체계적이고 통합적인 접근 가능성을 제시하였다. 또한, 게임화 접근 방식(gamified approach)을 적용하여, 도시계획 과정을 단순한 분석 절차가 아닌 참여와 시뮬레이션을 통해 전략적으로 탐색하고 조정할 수 있는 체계로 확장할 수 있음을 확인하였다. 이를 통해 도시계획의 효율성과 적응성을 향상시키고, 복잡한 도시 문제에 대한 보다 유연하고 협력적인 의사결정 환경을 구축할 수 있는 잠재력을 보여

주었다.

도시계획 전 과정에서 AI 를 심층적으로 통합해 활용할 여지가 매우 크지만, 모든 핵심 의사결정 단계에서는 인간 참여형 ‘휴먼 인터 루프(Human-in-the-Loop)’ 감독 체계가 반드시 필요하다.

◆ AI는 이해관계자 참여를 확대하고, 지역사회가 선호하는 생활양식에 대한 실질적인 수요를 파악하며, 자원을 보다 효율적으로 배분해 모든 참여자에게 실질적 가치를 제공하고, 투자 및 사업의 타당성을 강화할 수 있다.

◆ 더 나아가 AI는 혁신적인 도시계획 시나리오를 탐색하고 분석함으로써, 도시계획의 시스템적 접근을 최적화하고, 지역사회의 지속 가능한 경제활동을 촉진하는 동시에, 자연 기반 생태 시스템에 불필요한 부담을 주지 않도록 회복력과 지속가능성을 높일 수 있다.

Ⅰ References Ⅰ

1. (n.d.). <https://arxiv.org/pdf/2503.13657>에서 검색했음.
2. (n.d.). <https://www.anthropic.com/research/agent-misalignment>에서 검색했음.
3. Angelidou, M. (2015). 스마트시티 정책: 공간적 접근. 도시, 문화 및 사회(Smart city policies: A spatial approach. *City, Culture and Society*,) 6(1), 47–54.
4. Batty, M. (2018). 인공지능과 스마트시티(*Artificial Intelligence and Smart Cities*). Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 45(1).
5. Caragliu, A. D. (2011). 유럽의 스마트시티(Smart cities in Europe). *Journal of Urban Technology*, 18(2), 65–82.

6. Deloitte. (2020). 스마트시티: 미래에 대한 투자(*Smart Cities: Banking on the Future*). Deloitte.
7. Foth, M. C. (2011). 도시정보학(Urban informatics). *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association*.
8. Gehl, J. (2011). 건물 사이의 삶: 공공 공간 활용(*Life Between Buildings: Using Public Space*). Island Press.
9. Glaeser, E. L. (2007). 주택 역학(Housing Dynamics). *NBER Working Paper No. 12787*.
10. Healey, P. (2007). 도시 복잡성과 공간 전략: 우리 시대의 관계적 계획에 대하여(*Urban Complexity and Spatial Strategies: Towards a Relational Planning for Our Times*). Routledge.
11. Jacobs, J. (1961). 미국 대도시의 죽음과 삶(*The Death and Life of Great American Cities*). Random House.
12. Kandt, J. &. (2021). 스마트 도시, 빅데이터 및 도시 정책: 장기적인 도시 분석에 대하여(Smart Cities, Big Data and Urban Policy: Towards Urban Analytics for the Long Run). *Urban Studies*, 58(3), 450–470.
13. Lai, L. W. (n.d.). 부동산 시장과 도시 개발(*Property Markets and Urban Development*). 2021: Routledge.
14. Prasad, M. Naghi and Denny J. Park, (2000). 하이브리드 시뮬레이션 접근법을 사용한 조직 모델링(*Modeling Organizations Using A Hybrid Simulation Approach*). 제18회 시스템 다이내믹스 학회 국제 학술대회, System Dynamics Society.
15. Silva, E. A. (2012). 도시 계획에서의 AI 접근법 검토(Review of AI approaches in urban planning). *Journal of Planning Literature*, 26(3), 356–367.
16. UN-Habitat. (2009). 지속가능한 도시 계획: 정책 방향(*Planning Sustainable Cities: Policy Directions*).

17. UNSDG. (n.d.). <https://sdgs.un.org/goals>에서 검색했음
18. Yigitcanlar, T. e. (2020). 인공지능 기술과 관련 도시 계획 및 개발 개념(Artificial Intelligence Technologies and Related Urban Planning and Development Concepts). *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(4).

Ⅰ 감사의 말 Ⅰ

도시 개발 관련 동료 평가에 도움을 주신 마이클 로우Michael Low, 도시계획 검토에 도움을 주신 테사 모튼Tessa Morton, AI 및 데이터 관리 검토에 도움을 주신 아르노 라스툴Arnaud Rastoul, 상업 및 금융 평가에 도움을 주신 해나 쿨Hannah Cool에게 감사를 전한다. 그리고 본 논문의 연구와 작성 과정 전반에 AI 도구들이 활용되었음을 밝힌다.



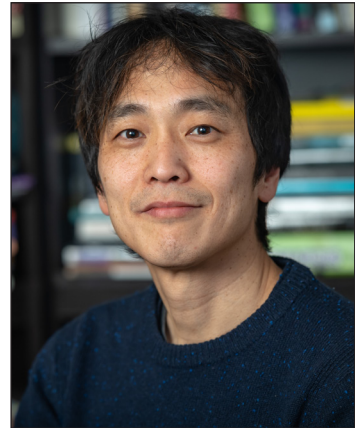
**SMART CITY
T O P
A G E N D A
2 0 2 5**

Socially- Engaged GeoAI in Smart Cities: Other Futurings of Smart Engagement

스마트시티의 사회 참여형 GeoAI: 스마트 참여의 또 다른 미래

정진규

Jin-Kyu Jung



정진규 박사는 워싱턴대학교 보셀 캠퍼스Bothell 예술 및 과학 대학 교수이자 지리학과 겸임 교수로 재직 중이다. 그는 2024-25년 폴브라이트 미국 장학생 프로그램의 일환으로 한국에 파견되어 스마트 도시 생활Smart Urbanism과 스마트 참여Smart Engagement에 관한 강의 및 연구를 수행했다. 그는 부산대학교에서 도시공학 학사를, 뉴욕주립대학교 버펄로 캠퍼스SUNY-Buffalo에서 도시계획학 석사M.U.P. 및 지리학 박사 학위를 받았다. 도시지리학자이자 도시계획가로서 그의 연구는 GIS(지리 정보 시스템)와 지리적 시각화의 비판적, 참여적, 질적, 창의적 가능성을 제시하며, 도시 공간의 사회-공간적 과정과 정치를 참여적인 방식으로 이해하는 데 기여했다. 그의 학제간 연구 프로그램은 질적·양적, 시각적·수치적, 텍스트·지도, 예술적·과학적 요소를 아우르는 다양한 형태의 데이터와 증거를 결합하여 새로운 디지털 인식론과 방법론을 제시함으로써, 기존 연구 접근의 경계를 확장하고 혁신하는 데 중요한 역할을 수행하고 있다.

Email: : jkjung5@uw.edu

● 초록 ●

스마트시티는 도시계획과 정책, 그리고 도시 자체의 운영 방식에 있어 새로운 패러다임의 전환을 의미한다. 스마트시티가 제대로 작동하기 위해서는 스마트 기술, 스마트 인프라, 스마트 행정 등으로 구성되는 핵심 원칙이 구축되어야 하며, 그 원칙에 기반해 운영되어야 한다. 그러나 기술적 기반만으로는 충분하지 않다. 스마트시티의 변화로 가장 큰 영향을 받는 시민들과 긴밀히 소통하고, 그들이 스마트시티에서 경험하게 되는 다양한 관점·경험·삶의 기회를 적극적으로 포용하는 시민 참여가 필수적이다. 이것이 바로 스마트 참여가 갖는 의미다. 본 논문은 회복탄력적 도시 구축에 필요한 포용적이고 공정하며 참여적인 시민·공동체 중심 스마트시티 계획 과정의 중요성을 논의한다. 또한 스마트 참여와 스마트 도시 생활smart urbanism에 대해 문화적으로 민감하고 반응적인 공동체 참여 교육의 필요성을 제시한다. 아울러 도시 기술 인프라, 참여적 시민권, 사회참여형 스마트시티의 의미를 살펴보고, 기술과 인간의 관계를 새롭게 성찰하도록 이끄는 실천 기반의 탐구 방식을 제안한다. 이러한 접근은 앞으로의 스마트시티가 요구할 디지털 연계 사회 속 스마트 참여 방식을 보다 깊이 이해할 수 있는 토대를 마련한다. 나아가 이 논문은 도시 공간의 지식과 그 복잡성을 윤리성·성찰성·포용성을 중심에 두고 생산하고 해석하려는 기술-사회적 실천 방향을 모색한다. 이를 바탕으로 데이터와 도시의 관계를 재해석하고, GeoAI가 가능하게 하는 사회참여형 스마트시티와 스마트 참여의 다른 미래상other futurings을 다시 상상하고자 한다.

키워드

스마트시티, 스마트 참여, GeoAI, 스마트 도시 생활, 다른 미래상

• ABSTRACT •

The smart city epitomizes a new paradigm shift in urban planning, policy, and cities. Smart cities require and are powered by smart city principles to succeed, including smart technologies, smart infrastructure, and smart governance; however, they also need to engage closely with the citizens who are most affected by the deployment of the smart city and who also embrace the diverse perspectives, experiences, and opportunities of living in smart cities—smart engagement. This paper addresses the need for an inclusive, equitable, and participatory community and people-sensitive smart city planning process to build a resilient city and culturally responsive community-engaged teaching of/on smart engagement and smart urbanism. It thinks about the technological infrastructures of the city and the stakes of participatory citizenship and socially-engaged smart city, sharing a practice-based mode of inquiry designed to surface questions about our relationships to technology and to build a foundation from which to think further into the modes of smart engagement within the digitally mediated society that smart cities of the future might require. It is a call for a kind of techno-social relational praxis yet to emerge—engaging, producing, and representing urban spatial knowledge and complexity in ways that do not obscure but strive to center the ethical, reflexive, generative, and inclusive aspects in the development of intelligently generated spatial information. Re-conceptualizing our relationship with data and cities, and (re)imagining socially-engaged smart cities and other futurings of smart engagement with GeoAI.

KEYWORDS

smart city, smart engagement, GeoAI, smart urbanism, other futurings

서론

전봇대에 스테이플러로 붙여진 포스터 하나가 내 발걸음을 잠시 멈추게 했다. 시애틀에서는 전봇대에 각종 포스터가 붙어 있는 모습을 흔히 볼 수 있다. 밴드 공연 안내, 명상 모임, 반려견 산책 서비스 등이 도시의 기둥인 전봇대를 새로운 소식과 중요한 정보의 이정표처럼 활용한다. 그런데 그중 한 포스터가 유독 눈에 들어왔다. 그 포스터에는 “웃으세요 — 스마트시티 포토 부스에 오신 것을 환영합니다”라고 적혀 있었다. 호기심에 QR 코드를 스캔해 보니, 내가 서 있는 거리의 사진이 화면에 나타났다. 자세히 들여다보니 그 속에 내 모습도 있었다. 머리 위 어딘가에서 촬영된 장면이었다. 주위를 둘러보니 ‘사진작가’가 보였다. 바로 눈앞 교차로 위쪽에 설치된 신호등 감시 카메라였다. 나는 화면을 스크린샷으로 저장한 뒤, 미소를 지으며 그 카메라를 배경으로 셀카를 한 장 찍었다. 이게 바로 진짜 스마트시티 포토 부스구나 싶은 순간이었다. 여기에 나와 비슷한 유머 감각을 가진 사람이 분명 있는 것 같았다.

공간은 끊임없이 변화하며 언제나 다른 형태로 진화한다. 공간 이론은 도시 공간을 새로운 방식으로 이해할 수 있는 중요한 분석적 기반을 제공한다. 공간의 의미는 물리적 환경뿐 아니라 사람들이 일상에서 경험하는 사회적·문화적·정치적·역사적·디지털 환경까지 아우르는 폭넓은 맥락 속에서 해석되어야 한다. 이러한 이유로 우리는 다양한 관점과 개념들 사이를 오가며 도시 공간을 해석하려는 탐구와 실천이 의식적으로 필요하다. 이러한 해석 과정은 현재의 겉모습만으로는 쉽게 보이지 않는 도시의 ‘공간성’을 드러내고 새롭게 가치화할 수 있게 한다. 도시 공간성을 재구성하려면 공간 자체에 대한 창의적 재사용이 필요하며, 이는 스마트시티나 스마트 도시 생활^{smart urbanism} 같은 도시 변화를 이해하는 데 핵심적인 전제 조건이다. 일반 시민과의 창의적이고 의미 있는 만남과 참여는, 시민 참여를 확장하고, 교육적

정보를 제공하며, 공공 영역에서 더 큰 형평성을 추구하고, 궁극적으로 시민을 역량화하고 힘을 실어주는 포용적 스마트 커뮤니티를 구축하는 데 필수적이다.

스마트시티 담론은 도시 문제를 해결하기 위해 기술 중심의 디지털 솔루션에 의존하며, 도시를 보다 반응적이고 효율적이며 지속 가능하고 지능적으로 만드는 것을 지향한다. 또한 기술적 인프라와 개입을 도시계획과 지속 가능한 개발에서 최적의 효율성을 확보하기 위한 수단으로 간주한다(Goodman et al., 2020; Hollands, 2008; Roche, 2014). 그러나 스마트시티는 이러한 기술 중심 접근만으로 구축되는 것은 아니다. 도시가 데이터를 개방하고 시민이 도시 혁신 과정에 직접 참여하도록 함으로써, 협력적이고 민주적인 방식으로 스마트시티를 구현할 수 있다. 이는 개방적이고 참여적인 사람 중심 접근을 통해 도시 행정을 구성할 방향을 제시한다(Anderson & Jung, 2023; Cardullo & Kitchin, 2019; Jung & Kang, 2023). 물론 커뮤니티 참여와 시민 참여는 스마트시티나 스마트시티 계획에만 국한된 개념은 아니다(Arnstein, 1967; Innes & Booher, 2004; Staeheli, 2005). 그러나 스마트시티는 도시 및 지역사회 계획 과정에서 포용적 시민 참여를 위한 새로운 기술적 수단을 제공함으로써, 기존 개념에 새로운 관점을 추가한다.

이때 핵심적으로 떠오르는 질문들은 다음과 같다.

스마트시티에서 협력적 민주주의와 포용적 시민 참여는 어떤 방식으로 실현될 수 있는가?

스마트시티는 불평등, 정의, 사회적·디지털 격차 문제를 어느 수준까지 해결할 수 있는가?

스마트시티를 활용해 지역사회 기반의 기후 대응 및 회복탄력적인 도시 계획을 어떻게 구축할 수 있는가?

Urban AI, GeoAI 등 신기술과 혁신이 스마트시티 개발의 중심이 되는 상황에서, 도시 내 개인·지역사회·기관은 혁신을 어떻게 연결하고 조직하며 공간적으로 구현할 것인가?

새로운 디지털 기술과 혁신적 경제·사회·문화·환경 활동은 기존 도시 구조와 어떻게 조화를 이룰 것인가?

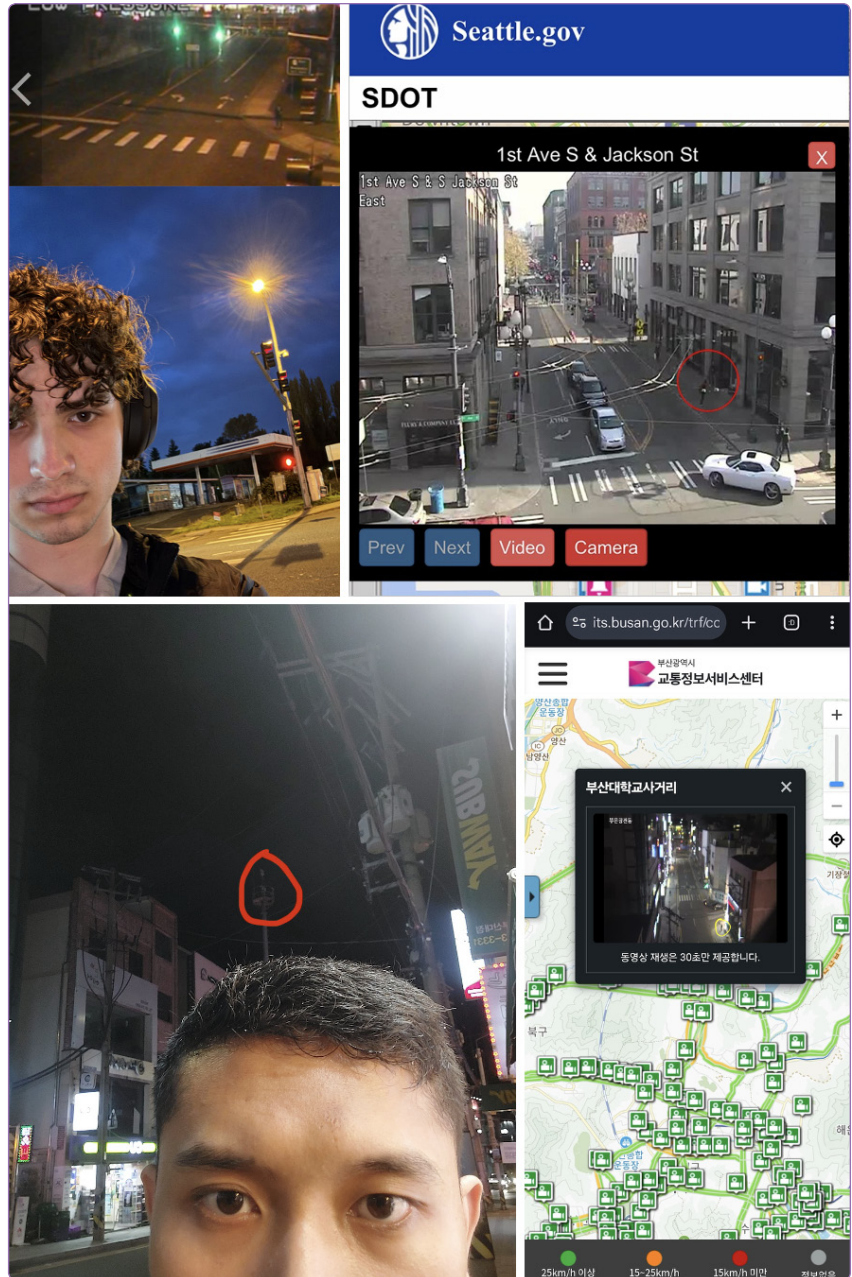
스마트 참여를 실현하기 위한 새로운 비전·방법·도구는 무엇인가?

장소 기반의 자원·우선순위·지식을 바탕으로 스마트시티와 스마트 도시 생활을 실현하기 위해, 도시·기술·혁신의 연결을 어떻게 재구성할 수 있는가?

스마트시티 포토 부스 프로젝트는 이러한 질문들에 답하려는 시도이다. 이 프로젝트는 도시 곳곳에 퍼져 있는 기술 기반 시각 시스템을 재고하고 성찰함으로써, 서로 다른 관점들 사이에서 힘의 균형을 조정하는 계기를 만드는 것을 목표로 한다. 이는 디지털 데이터 사용 방식을 재조정하고 재해석함으로써, 폐쇄적이고 일방적인 지식 체계가 아니라 성찰적·정서적·다성적 polyvocal·유연한 도시 공간 지식을 생성할 수 있음을 보여주는 창의적이고 전문적인 개입이다. 프로젝트는 스마트시티의 미묘한 측면, 특히 통합된 시각 감시망으로 구성된 디지털 도시 공간의 한 단면에 주목한다. 그 제안은 도발적이지만 단순하다. 우리가 생활하는 도시 공간에 어떤 종류의 공공 감시 카메라가 설치되어 있는지 조사하고, 그 장소를 직접 찾아가 자신을 스마트시티 체계의 일부로 '등록'해보는 것이다. 이 과정에서 학생들이 수행한 데이터 개입 사례를 함께 살펴본다. 이러한 탐사는 학생들이 디지털 환경의 복잡성과 잠재력을 일종의 연구 혹은 탐색적 '탐보 활동'의 형태로 경험하게 하는 실천이며, 스마트시티 담론에서 점점 강조되는 데이터 필수성 data-imperatives에 대응하기 위한 시민 참여와 집단적 (반: counter)지능을 요구한다(그림 1 참조).

이 프로젝트는 수행 자체가 퍼포먼스적이며, 때로는 약간의 냉소적 태도를 포함한다. 동시에 스마트시티의 상상과 미래를 구성하는 거대한 구조 속에서 우리가 참여할 수 있는 한 방식이기도 하다. 조사 결과, 대부분의 도시—특히 시애틀과 그 주변 지역, 그리고 한국의 부산과 같은 여러 도시들—는 교통 모니터링, 기상 모니터링, 그리고 경우에 따라 관광객이나 지역사회

Figure 1
미국 워싱턴주 시애틀과
한국 부산의 학생들이
스마트시티 포토 부스에
참여한 모습.
2023년과 2025년.



홍보를 위한 강력한 시각 기반 인프라를 갖추고 있는 것으로 나타났다. 이 논문은 도시의 이러한 기술적 인프라, 참여적 시민권, 사회참여형 스마트시티의 관련성을 고찰한다. 이를 통해 기술과 인간의 관계를 재조명하고, 미래의

스마트시티가 필요로 할 디지털 연계 사회 속 스마트 참여 방식을 더 깊이 사유할 수 있는 기반을 마련하기 위해 고안된 실천 기반 탐구 방식을 제시한다.

이하에서는 스마트 기술, 스마트 도시, 스마트 도시 생활을 둘러싼 핵심 질문과 긴장 관계를 먼저 검토한다. 여기에는 잠재적 한계뿐 아니라, 참여·교류·성찰을 가능하게 하는 다양한 방식, 그리고 디지털 기술 도입을 통해 조직화·옹호·자기결정의 역량을 확장할 수 있는 가능성에 대한 지속적 질문이 포함된다. 이어 스마트시티 포토 부스 프로젝트의 개요를 제시하고, 이 프로젝트가 앞서 제기된 질문들에 어떻게 접근하고 응답하려 했는지를 살펴 보며 스마트 참여의 맥락과 쟁점, 과제를 추적한다. 또한 기술, 데이터 윤리, 감시를 둘러싸고 새롭게 드러나는 문제의식과 긴장도 함께 분석한다. 아울러 스마트 기술을 기반으로 시민의 역량을 강화하려는 참여적 열망을 바탕으로, 보다 실질적인 스마트 참여 프로세스를 구축할 수 있는 가능성을 논의한다. 마지막으로 스마트시티의 대안적 미래—사회성·공간성·디지털성이 정의롭고 지속 가능한 방식으로 결합된 미래—를 상상하며, 사회참여형 GeoAI가 스마트 기술과의 관계를 비판적이면서도 상호적인 방식으로 재구성하는 주체가 될 수 있다는 도발적 성찰로 논의를 마무리한다.

스마트시티 및 스마트 도시 생활의 구성

스마트시티라는 개념은 특정 기술과 인프라—특히 네트워크화된 디지털 기기 및 센서 기반 시스템—를 활용해 다양한 데이터를 생성·수집·분석하고, 이를 바탕으로 의사결정을 내리며 도시의 구조와 자원을 관리하는 도시 계획 및 행정의 접근 방식으로 이해된다(Halegoua, 2020; Kitchin, 2022; Lampugnani, 2017; Marvin et al., 2016; Picon, 2015; Rabari & Storper, 2015; Rose, 2022). 스마트

시터를 기술과 데이터 중심으로 해석하는 이러한 관점은 기업가적·신자유주의적 도시 개발 아이디어와 밀접하게 연계되며, IBM, 시스코Cisco, 지멘스Siemens, 마이크로소프트, 알파벳과 같은 대기업이 제시하는 통합 기술 기반 도시 모델과 유사한 공간 비전을 내포한다(Hollands, 2008; Lorinc, 2022; O'Kane, 2022; Söderström & Datta, 2024). 지금까지 스마트시티 논의와 실천은 주로 민간·기업의 이해가 도시 행정과 개발 과정에 상향식이 아닌 하향식으로 개입하는 방식이었으며, 이는 신자유주의적 도시주의를 반복한다는 비판을 받아왔다. 또한 감시의 일상화, 빅데이터 중심의 도시 의사결정 체계, 그리고 기술 관료주의의 확대에 대한 우려도 제기되고 있다(Dalton et al., 2020; Kitchin, 2014; Klauser, 2017).

새넌 매턴Shannon Mattern은 《도시는 컴퓨터가 아니다》(The City is Not a Computer, 2021)에서, 현재의 스마트시티 계획이 가지는 주요 한계 중 하나는 정작 도시를 이루는 사람들의 경험을 충분히 반영하지 못한다는 점이라고 지적한다. 그녀는 이를 ‘도구적 합리성’instrumental rationality의 문제로 설명하며, 이는 모로조프Morozov와 브리아Bria(2018)가 제시하는 ‘해결주의’—모든 복잡한 문제를 기술적 해법으로 단순하게 해결할 수 있다는 믿음—와 유사하다고 비판한다. 두 개념 모두 스마트시티가 도시의 다양한 측면을 기술적으로 측정·정량화하고, 기술적 해결책만으로 해결할 수 있다고 여기는 기술 관료적 도시 거버넌스 모델을 강화한다고 지적한다. 매턴(2021)은 이러한 문제로 인해 시민권 자체가 영향을 받으며, 특히 시민권과 기술 인프라 간의 관계를 재해석할 필요가 있다고 주장한다. 이처럼 ‘스마트 시민권’에 대한 담론과 실천은 종종 시민을 능동적 주체가 아닌 수동적 존재로 전환시키는 방식으로 해석되기도 한다. 예컨대 가브리리스Gabrys(2016)는 개인의 시민권을 ‘시민을 센서로 보는 개념’으로 재구성할 것을 제안한다. 이는 시민이 직접 데이터를 수집·모니터링하여 도시 시스템에 정보를 되돌려주는 역할을 수행하게 하는 것이며, 이러한 실행이 수동적·구성적 시민권의 한 형태가 될 수 있다고 본다. 스마트시티의 프레임워크 안에서 시민권은 시민을 ‘센서’로 전환시키며,

이는 시민이 컴퓨팅 환경 및 기술 시스템에 반응하고 소통하는 실천 속에서 새롭게 형성된다(Gabrys, 2014; 2016).

주보프Zuboff(2019)는 ‘감시 자본주의’surveillance capitalism를 인간의 경험을 행동 데이터 추출의 원료, 즉 데이터로 전환하는 체계로 정의한다. 주보프(2019)는 감시 자본주의가 우리의 모든 정보를 파악할 뿐 아니라 우리의 행동까지 형성하지만, 그 작동 방식은 우리가 인지하지 못하도록 설계되어 있다는 점을 경고한다.

이러한 자본주의적 데이터 활용의 핵심 목표는 우리의 모든 경험을 세밀하게 포착하는 데 있지 않다. 오히려 우리가 자본주의적 생산과 소비 체계 속에서 계산 가능한 데이터 주체로 재구성되는 데 있다. 이러한 관점에서 보면, 스마트시티는 시민이 아닌 소비자를 생산하는 방식으로 작동할 위험이 있다(Clark, 2020). 그 결과, 사람들의 이동을 효율적으로 관리하는 기술 시스템을 구축하는 과정에서 정작 사람 그 자체가 소외될 우려가 생긴다(Cardullo et al., 2019; Leszczynski, 2016; Shelton & Lodato, 2019). 다시 말해, 사람은 도시 시스템 속에서 ‘센서’처럼 기능할 수도 있지만, 동시에 주변 환경을 직접 감지하고 해석하는 주체이기도 하다. 그러나 이러한 부분은 정량화 중심의 데이터 분석에서는 흔히 간과된다. 따라서 스마트시티 생태계가 도시 환경 지표를 최적화하는 데 기여할 뿐 아니라, 변화된 기술적·공간적 환경을 실제로 경험하는 사람들이 어떻게 느끼고 이해하는지를 담아낼 필요가 있다. 스마트시티 운영에서 ‘사용자 경험’을 고려하는 관점이 반드시 포함되어야 하는 것이다.

공동체 중심을 지향하는 스마트시티 접근 방식 역시 예외는 아니다. 이러한 접근 방식은 기존의 규범적이고 기술 관료적인 스마트시티 비전에 대한 비판에서 출발해, 공동체와 도시 주민의 집단 지성을 기술적 과정과 응용을 통해 활용하려는 시도를 강조한다(Costa & Oliveira, 2017; Hall et al., 2023; McLaren & Agyeman, 2015). 그러나 이러한 참여적·공동체 중심의 접근 방식이 항상 긍정적으로 작용하는 것만은 아니다. 실제로는 도시 주민을 소비자이자 영리 목적의 데이터 자원화하며, 이해 관계를 상품화하고 기존의 구

조직 장벽을 더욱 심화시키는 방식으로 귀결되기도 한다(Cardullo & Kitchin, 2019; Tavmen, 2019, 2020; Thatcher & Dalton, 2022). 이러한 틀에서는 사람을 시민이 아닌 소비자 또는 단순한 데이터 포인트로 간주하는 경향이 나타나며 (Flynn, 2022), 이는 기존의 불평등한 권력 구조를 강화해 결국 많은 시민을 스마트시티 참여나 정책 과정에서 배제시키는 결과를 낳는다(Burns & Andrucki, 2021). 이러한 흐름은 스마트시티를 ‘시민 중심’이나 ‘시민 참여’라는 언어로 다시 포장하는 것처럼 보일 수 있지만(Cardullo & Kitchin, 2019), 실제로는 계층, 성별, 연령, 민족 등 사회정치적 요인과 얽힌 구조적 참여 장벽을 더 강화하며 신자유주의적 스마트시티의 현실을 반복하는 경우가 많다. 따라서 이러한 조건에서는 공평하고 다양한 결과가 자연스럽게 보장되리라는 기대는 낮으며, 오히려 그 반대의 가능성이 크다. 그럼에도 불구하고, 이러한 협력적·참여적 접근이 지닌 잠재적 개방성 속에는 여전히 의미 있는 전환의 가능성이 있다. 특히 도시 공간의 다양한 삶의 질에 더 민감하게 반응하고 이를 반영하는 방향으로 생산적 전환을 이끌어낼 여지가 존재한다.

데이터, GeoAI, 그리고 스마트 참여

데이터를 제공하는 행위 자체도 참여적 시민권의 한 형태가 될 수 있다. 그러나 시민을 적극적 주체로 상정하게 된 기저에는, 효율성과 최적화를 지향하는 기술 중심의 체계적 프레임워크가 자리 잡고 있었다. 이러한 프레임워크 안에서 시민은 데이터를 생성하는 소비자나 센서, 특정 행동이 유도되는 데이터 주체, 혹은 상품화 가능한 원시 데이터로 취급되곤 한다(Cardullo et al., 2019; Powell, 2021; Wilson & Tewdwr-Jones, 2022). 이러한 관점에서는 데이터화가 일상생활의 다양한 측면을 시민적(혹은 상업적) 데이터 기반 중개 시스템에 편입시키고, 이를 최적화된 데이터 포인트로 변환하는 정당한 과정으로

이해된다. 포웰Powell(2021)은 이러한 정당화에 동의하지 않으면서도, 데이터화와 플랫폼화가 시민의 사회적·문화적 행동이 발생하는 조건과 역량에 영향을 미치고 이를 구성하는 방식을 분명히 보여준다고 지적한다. 그는 이를 ‘데이터화된 시민권의 평면화와 상품화’flattening and commodification of datafied citizenship라고 부른다.

이와 관련하여 타를턴 질레시Tarleton Gillespie(2010)의 《플랫폼의 정치》The Politics of Platform, 새넌 매턴Shannon Mattern(2017)의 《코드와 점토, 데이터와 먼지》Code and Clay, Data and Dirt, 사라 반스Sarah Barns(2020)의 《플랫폼 도시 생활》Platform Urbanism을 살펴보면, 도시 공간에서의 플랫폼화 과정을 파악할 수 있다. 즉 플랫폼(인프라)이 다시 플랫폼(인프라)을 낳는 구조가 만들어지는 것이다(Gillespie, 2010; Mattern, 2017). 이는 켈러 이스털링Keller Easterling(2014)이 인간 활동을 관리하는 새로운 소프트웨어 기반 운영체제로 기능하는 ‘탈국가적 행정 기술’extrastatecraft로 설명한 개념과도 맞닿아 있다. 과거에는 별도로 운영되던 서비스·시스템·기술이 스마트시티 플랫폼에 통합되면서, 교통·치안·건강 등 다양한 영역이 하나의 데이터 기반 프레임워크에서 함께 관리되고 데이터 수집을 통해 도시 혁신이 가속화된다. 이러한 도시 플랫폼은 점차 더 많은 도시 거주자에 의해 ‘구성되는 플랫폼’으로 확장되고 있다(Barns, 2020: 13). 스마트시티 플랫폼은 도시 계획과 개발을 최적화하고, 도시 활동 전반의 데이터를 수집·분석하는 디지털 기반 도시 인프라로 작동한다. 브렛 닐슨Brett Nielsen과 네드 로시터Ned Rossiter(2011)는 이러한 현상을 ‘물류 도시’의 미래로 설명했으며, 할펀Halpern과 미셸Mitchell(2023)은 스마트시티 플랫폼을 거버넌스와 컴퓨팅이 결합된 하나의 ‘영역’으로 이해한다. 그렇다면 이 새로운 플랫폼적 도시 생태는 어떤 스마트시티 상상력을 만들어낼 수 있을까?

이러한 구체적인 논의를 바탕으로, 오늘날 ‘데이터’가 하나의 현대적 환경으로 자리 잡게 된 방식을 이해할 수 있다. 예를 들어, 미술사학자 아만다 보에츠크스Amanda Boetzkes는 현대의 환경적 감수성은 단순히 기후 위기를 인식

하는 수준을 넘어, 인간의 활동이 ‘환경’이라는 개념을 어떻게 극적으로 변화시켰는지를 더 넓은 맥락에서 이해해야 한다고 주장한다. 보에츠크스는 환경을 이미 기술적 이해 속에 내재된 하나의 지구적 시스템으로 보았고, 이를 ‘생태성’*ecologicity*이라고 명명했다(Boetzkes, 2015). 이 논의를 도시적 맥락에 적용한다면, 마찬가지로 일종의 ‘기술성’*technologicity*을 상정해볼 수 있을 것이다. 기술성이란 도시를 하나의 생태계—특히 사용자 경험의 관점에서 이해되는 환경—로 바라보며, 도시 인프라를 단순한 기술적 구조가 아니라 인간적·사회적 상호작용이 일어나는 장으로 파악하려는 관점을 의미한다. 이러한 관점에서는 기술 시스템을 단순히 업그레이드하는 것이 아니라, 도시 주민들 간의 관계성, 참여, 그리고 책임 있는 약속이 어떤 방식으로 구현되는지가 더 중요한 과제가 된다. 그러나 이것은 말처럼 쉽지 않다. 지금까지 도시 계획에서 이루어진 기술적 업그레이드는 종종 개인을 주변화하거나, 기술이 해결해야 할 문제의 일부로만 간주해 왔다. 지하철처럼 위험성이 높은 도시 시설에서 인간의 오류를 최소화하려는 경향이나, 교통 규제 시스템이 사용자에게 다양한 규칙과 행동 기준을 강제하는 방식을 들 수 있다. 실제로 스마트 감시 기술 역시 이러한 논리를 따른다. 예를 들어 교통 카메라는 신호 위반 차량을 단속하거나, 사고 이후 과실 여부를 판단하기 위한 목적으로 작동한다.

나 역시 스마트시티 발전을 이끄는 동력으로 ‘혁신’을 전면에 내세우는 관점에 문제를 제기하며, 도시 혁신 담론이 실제로는 해결책보다 더 많은 긴장과 갈등을 낳는다고 비판하는 학자들의 견해를 지지한다(Halegoua, 2020; Marvin et al., 2016; Zukin, 2020). 도시 혁신 담론은 경제 발전과 성장이 창의적 경제를 육성하고, 이를 통해 기업가적 인재를 유치해 추가적 기술 혁신을 촉발한다는 믿음을 기반으로 하지만, 이러한 시각은 역사적·구조적 한계를 넘어 생존해 온 사람들, 그리고 도시 안에서 창의적이고 재능 있는 다양한 형태의 주민들을 충분히 포괄하지 못한다는 점에서 지나치게 협소한 해석이라 할 수 있다. 네트워크와 기술 기반의 조작 가능성을 ‘스마트함’이라는 이름으로

포장하지만, 실제로 그 혁신의 동인이 무엇이며 이러한 ‘스마트함’을 가능하게 하는 주체가 누구인지는 종종 모호하게 남는다(Halpern et al., 2017; Halpern & Mitchell, 2023; Wilmott, 2021).

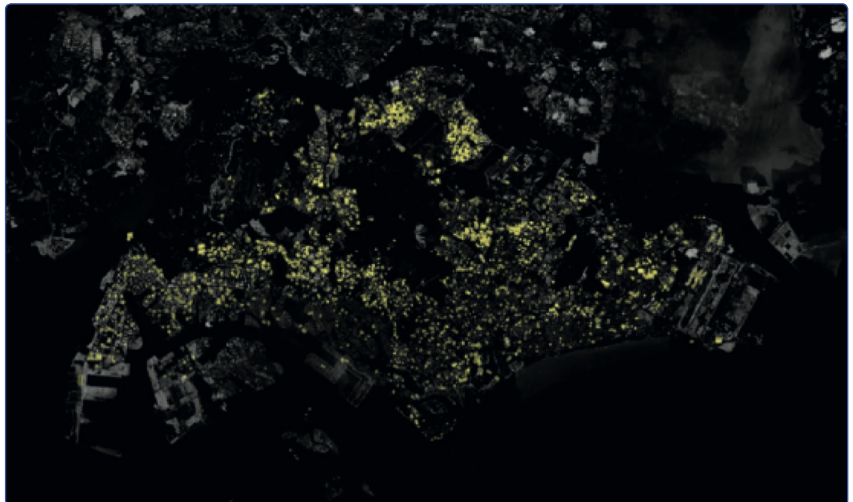
스마트시티가 제시하는 ‘약속’ 역시 예측 가능한 알고리즘을 통해 조정된 경험을 제공하는 것에 가깝다. 겉보기에는 도시의 운영 인프라와 조화를 이루는 듯 보이지만, 실제로는 통제 시스템의 규제를 상쇄하는 것처럼 보이도록 설계된 경험적 알고리즘에 의존한다. 스마트시티 비전 속에서 ‘스마트한 존재’로 상상되는 것은 도시 주민이 아니라, 적응적이고 반응적이며 신뢰성과 중립성을 갖춘 것처럼 보이는 도시 자체이다. 하지만 나는 그 반대로, 끊임없이 변화하고 학습하며 기술과 환경의 변동 속에서 회복탄력성을 유지할 수 있는 사람이야말로 ‘스마트 시민’의 이상형이라고 본다. 스마트함에 대한 새로운 행동 규범과 ‘스마트 시민’을 구축하는 과정에는, 감지 · 관찰 · 기여 · 몰입과 같은 사이버네틱스적 실천이 필수적으로 요구된다(Rose, 2020; Tavmen, 2023; Zandbergen & Uitermark, 2020).

참여적이고 협력적인 계획 이론과 실천의 관점에서 보면, 데이터와 AI를 윤리적 · 책임적 · 포용적으로 사용해야 한다는 요구는 바로 이러한 맥락에서 등장한 것이다(Jang et al., 2024; Ferres & Weeks, 2024; Williams, 2020). 즉, 데이터와 AI는 어떻게 학습을 확장하고 대화를 촉진하며 정책 변화를 이끌어낼 수 있는가? 데이터 속에 담긴 사람들의 목소리가 어떻게 소외되거나 묵살되지 않도록 보장할 것인가? 데이터와 AI를 통제의 도구가 아니라 ‘역량 강화’의 도구로 전환할 수 있을까? 도시 AI, 지리 AI, 지도 AI 등의 개발 방식을 공간적 · 사회적으로 더욱 민감하고 책임 있게 조정할 수 있을까? GeoAI/MapAI 개발에 실제 경험을 어떻게 반영할 수 있을까? 사회적 차별 · 피해 · 편견에 대응하기 위해 더욱 공정하고 포용적인 알고리즘을 어떻게 설계할 수 있을까? 공간 추론과 신뢰성 있는 의사 결정 과정에서 GeoAI 개발이 직면하는 윤리적 문제는 무엇인가? GeoAI는 스마트시티 개발에서 사회적 선, 디지털 형평성, 회복탄력성을 강화하는 데 어떻게 기여할 수 있을까? 계획가와

정책 입안자는 GeoAI를 통해 도시의 현실적이고 핵심적인 특성을 더 정확히 파악해, 실제 주민들의 인식과 경험을 반영한 스마트시티를 설계할 수 있을까?

다행히 이러한 가능성을 보여주는 유망한 GeoAI 기반 스마트시티 프로젝트들이 등장하고 있다. 가장 영감을 준 사례는 지속 가능한 도시 감지 *sustainable urban sensing*를 위해 GeoAI를 활용한 연구들이다. 싱가포르의 Roofpedia 프로젝트(Woo & Biljecki, 2021)는 지속가능한 개발이라는 맥락에서 전 세계 100만 개 건물의 옥상 정보를 매핑하는 데 초점을 둔다(그림 2). 이 프로젝트는 AI를 사용해 태양광 패널 등 태양광 발전 시설을 자동으로 감지한다. 또한 자오Zhao와 연구팀(2023)은 거리 뷰 이미지를 활용해 대규모 도시 지역의 소리 강도와 특성을 예측하는 새로운 GeoAI 응용 사례를 제시한다. 이러한 연구들은 스마트시티의 도시 공간 정보 개발에 있어 윤리성·성찰성·생성성·포용성을 핵심 가치로 삼아야 한다는 점을 명확하게 보여준다. 왕Wang과 연구진(2025)은 GeoAI가 지리적 정확성, 정보성, 사회성, 공간성을 모두 고려하면서도 시각적으로 매력적인 도시 상상력을 효과적이고 효율적으로 구현할 수 있음을 보여준다(그림 3).

Figure 2
Roofpedia: GeoAI
기술을 사용하여 옥상에
태양광 발전 시설이 설치된
것으로 확인된
싱가포르 건물의 위치



Source: : Wu and Biljecki, 2021

아이슬란드의 ‘더 좋은 레이카비크 만들기’*Better Reykjavik* 와 ‘시민 적극 참여’*Active Citizen* 프로젝트는, 시민들이 민주적이고 공공적인 목적을 위해 AI 알고리즘과 VR을 활용할 수 있도록 지원하는 오픈소스 기반 시민 참여 프로젝트이다(그림 4). 이들 프로젝트는 아이슬란드 수도에서 참여 민주주의와 참여 예산 제도를 정착시키는 데 중요한 역할을 해왔으며, 관련 법·제도 환경의 개선에도 기여하고 있다. 예를 들어, 시민들은 Active Citizen 앱을 통해 체계적 방식으로 서로 의견을 나누고 토론하며 협업할 수 있고, 지역 사회를 개선하기 위한 다양한 의사 결정 과정에 직접 참여할 수 있다.

한국에서도 이미 여러 모범적인 데이터 기반·AI 기반 스마트 참여 기술과 플랫폼이 운영되고 있다. 예를 들어 서울시의 엠보팅(*mVoting*, <https://seoulsolution.kr/en/content/mobile-voting-app-m-voting>)과 부산시 한국해양

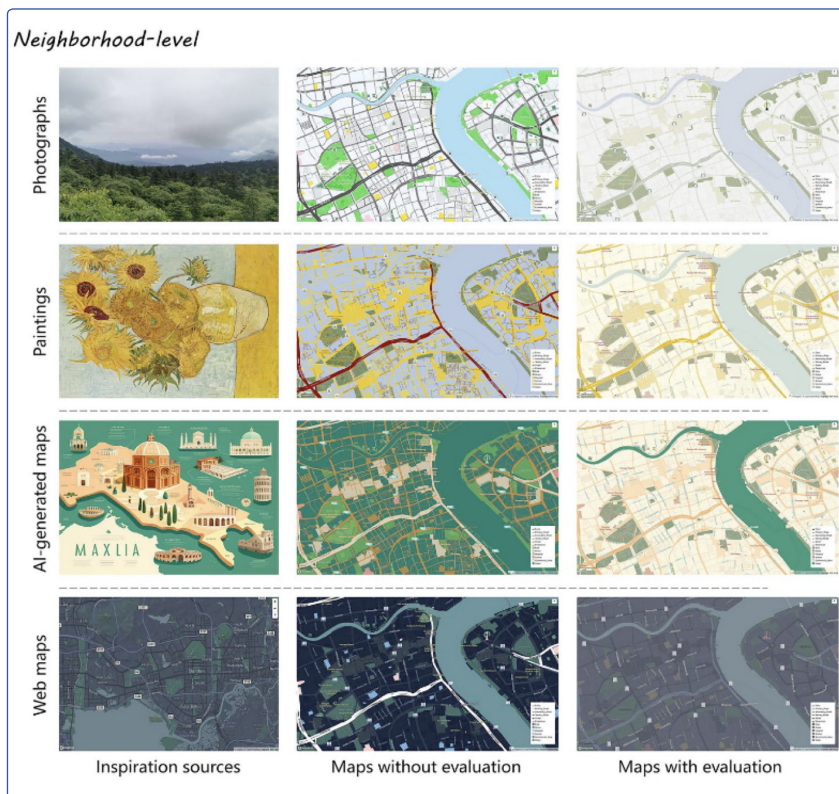


Figure 3
CartoAgent가 생성한
도시 차원의 지도 스타일
변형 사례

Source: : Wang et al. 2025

Figure 4

더 좋은 레이카비크 만들기
(https://citizens.is/portfolio_page/better_reykjavik/).
시민 적극 참여(<https://www.citizens.is/wp-content/uploads/2017/11/Active-Citizen-Short-Description.pdf>).
AI와 VR을 활용한
시민 참여 증진 프로젝트,
아이슬란드 레이카비크



과학기술원KIOST의 스마트 오션 빌리지 플랫폼(Smart Ocean Village Platform, <https://www.busan.go.kr/eng/ai-translated-press-releases/1686205>)이 대표적이다. 스마트 오션 빌리지 플랫폼은 부산 지역의 통합 해양 환경 모니터링 데이터—부유 쓰레기, 해양 미세먼지, 지역 해양 산업 동향 정보 등을 포함—를 제공한다. 이를 바탕으로 위치 기반 미세먼지 관리나 해양 정화 활동과 같은 시민 참여 서비스를 운영하고, 데이터 기반 분석과 의사 결정도 지원한다. 이러한 기술을 통해 시민들이 정보를 공유하고, 데이터 기반 지능형 플랫폼을



Figure 5

스마트 오션 빌리지 플랫폼:
해양 부유 쓰레기 모니터링,
시민 신고 및 커뮤니티 활동을
위한 모바일 애플리케이션,
한국해양과학기술원
(KIOST), 부산

통해 참여 활동이 촉진되는 모습은 매우 고무적이다(그림 5).

창의적인 스마트 참여: 스마트시티 포토 부스

스마트시티 포토 부스 프로젝트는 도시적·지리적 감수성을 기반으로 한 창의적 개입으로, 오늘날 기술 참여를 둘러싼 쟁점들을 깊이 성찰할 수 있도록 설계되었다. 그동안 국가 감시 인프라가 지닌 위험성과, 새로운 기술 트렌드가 도시 공간의 기존 불평등을 완화하기보다 오히려 심화한다는 비판이 지속적으로 제기되어 왔다. 한 번 감시 대상이 된 사람들은 지속적으로 그 대상이 되며, 이는 모니터링 시스템이 전체를 관찰하기보다 특정 대상을 더욱 고화질로 정밀하게 포착하는 방향으로 발전하기 때문이다. 이런 종류의 감시는 사회 정의를 실현하는 데 도움이 되지 않는다

예측 치안 앱(PredPol, <https://www.science.org/content/article/can-predictive-policing-prevent-crime-it-happens>)이나 유색인종을 대상으로 한 얼굴 인식 프로그램의 알고리즘 편향(<https://sites.harvard.edu/sitn/2020/10/24/racial-discrimination-in-face-recognition-technology/>) 사례만 보더라도 그 문제는 명백하다. 루하 벤자민Ruha Benjamin(2019; 2022)은 기술이 편향을 만드는 것이 아니라, 사회적 불평등이 특정한(그리고 더욱 편향된) 기술을 만들어낸다고 지적한다. 즉 불평등은 기술의 산물이 아니며, 기술은 그 기저에 있는 구조적 문제의 징후를 드러낼 뿐이다.

스마트시티 포토 부스 프로젝트는 이러한 문제들을 다른 시각으로 바라볼 수 있는 가능성을 제시한다. 도시 자체에 대한 생생한 지리적 참여 방식의 중요성을 부각하며, 포용적 디지털 시민 참여의 잠재력도 보여준다. 나는 도시 감시라는 실용적 상상력을 바탕으로, 주변적 관계를 만들어내는 참여의 순간과 소통의 공간을 제안하고자 했다. 이는 이미 확산되고 있는 스마트시티 기술을 통해, 기술이 약속하는 몰입과 통합에만 의존하는 것이 아니라, 그 기술을 활용해 새로운 방식의 대응·표현·기록을 시도하려는 것이다. 스마트시티 포토 부스 프로젝트는 기술의 의도된 효과뿐 아니라 의도치 않은 효과 역시 사회적·물질적 맥락에 따라 불균등하게 분배된다는 사실을 늘 염두에 두고 있다. 참여자들이 우리의 세계를 어떻게 표현하고 상상할 것인지, 그리고 사회·정치·정치경제적 구조 속에서 끊임없이 변화하는 기술 환경 속 삶을 어떻게 이해할 것인지 성찰하도록 돕는다. 기술은 새로운 형태로 사회적 편견을 강화하거나 재생산하기도 한다. 따라서 데이터 인프라에 과도하게 의존하는 것은 위험하며, 이는 사회 변화를 가로막고 기술 회의론의 과도한 반응을 오히려 강화할 수도 있다.

핵심은 시스템 최적화에 맞서는 전술적 실천이다. 헬퍼Halpern과 미셸Mitchell(2023)이 언급한 ‘최적화’ 논의를 떠올려보자. 이들이 제시하는 최적화란 인간·기술·환경 사이의 모든 관계가 알고리즘적으로 관리될 수 있으며 또 그렇게 관리되어야 한다는 믿음에서 출발한다. 이 과정에서 스마트 최적

화는 개인의 사적인 내면을 지속적으로 포기할 것을 요구한다. 이는 사적 영역이 인간 관계의 ‘비최적화’를 초래하는 정보의 은닉으로 간주되기 때문이다. 반면, 창의적 참여를 위한 최적화란 이미 알고리즘과 연산에 의해 운영되는 요소들 사이에서 인간적 상호작용이 개입할 틈을 찾는 것이다. 창의적이고 스마트한 참여란, 감시의 대상으로 존재하는 것이 아니라(여기에는 어떠한 유희성도 허용되지 않는다), 출현하는 순간의 행위자로 존재함을 의미한다. 즉 지배적 통제 시스템에 종속되는 것이 아니라, 도시 곳곳에 설치된 시각적 포착 장치들과 마주하는 그 순간에 주체적으로 등장하는 것이다. 도시 인프라가 점점 더 반응형으로 변화하는 시대, 나는 이러한 기술적 자기성찰이 참여적 경험을 가능하게 하는 핵심이라고 본다. 중요한 질문은 이것이다. 직관적으로 개방적이지 않고, 포용적이지 않으며, 참여적이지 않은 ‘스마트’ 도시화 과정 속에서, 디지털 기술과 도시 공간에 대한 창의적·비판적 참여가 어떻게 의미 있게 가능할 것인가? 스마트시티 포토 부스는 기술 중심적 상상으로 그려진 미래 스마트시티에 대한 작은 반례이자 대안을 제시하는 시도다. 다소 냉소적 요소가 남아 있긴 하지만, 그것은 또한 스마트시티의 ‘다른 미래’를 상상해볼 수 있는 흥미로운 실험이기도 하다.

다른 미래: 사회 참여형 스마트시티의 재구상

세상의 모든 데이터를 수집해 지능형 기계와 알고리즘만이 할 수 있는 방식으로 완벽하게 종합한다고 상상해보자. 그런 ‘완전한 그림’이 만들어진다고 해도, 그것만으로는 결코 ‘스마트 시민으로 산다는 것이 무엇인지’, ‘스마트시티 속에서의 삶이 어떤 모습인지’와 같은 결정적 차원을 포착할 수 없다. 측정 가능한 모든 정보를 동원해도 이 차원은 여전히 비가시적이다. 존재 자체가 정량화될 수 있는 형태가 아니기 때문이다. 물론 인공지능은 스마트 시민

을 어떤 '가상 공간의 특정 지점에 위치한 데이터의 집합'으로 상상할 수 있다. 그러나 이는 실제와는 전혀 다르다. 데이터가 공간화될 수 없어서가 아니라, 알고리즘 시스템 속에서 전혀 다른 요인이 작동하기 때문이다. 그 요인은 속성이 아니라 하나의 체계적 문제점으로 인식되는 지점이다. 완벽한 정량화 시스템을 구축하려는 시도에도 불구하고, 생성형 AI 모델은 우리에게 오랫동안 알려진 역설을 재확인시킨다. 생성형 AI는 무언가를 '만들어낸다'라는 사실이다. 이 현상은 기술적으로 '환영(hallucination)'이라 불리며, 이는 기계 내부에서 상상력이 새롭게 활성화되는 흥미로운 지점을 보여준다. 기술 문화는 시뮬레이션을 완전히 통제한다고 확신했지만, 정작 그 과도한 상상력으로 인해 체계가 흔들리기 시작한 것이다.

이와 관련하여 인상적인 일화가 있다. 가디언(The Guardian)지 수석 편집자 크리스 모란(Chris Moran)(2023)은 “ChatGPT가 가짜 가디언 기사를 만들어내고 있다, 우리는 그에 이렇게 대응하고 있다”라는 제목의 글을 발표했다. 그는 어느 연구자로부터 오래전 발행된 기사에 대한 상세 정보를 요청받았고, 이를 찾기 위해 기록 보관소를 뒤졌으며 해당 기사 작성자에게까지 문의했다. 그러나 그런 기사는 존재하지 않았다. 제목·어조·주제가 모두 그럴듯했지만, 그것은 ChatGPT가 ‘창작한’ 기사였다. 흥미로운 점은 실제 기자조차 “내가 쓴 것 같기도 하다”라고 느꼈다는 사실이며, 그것은 기계의 상상력이 얼마나 정교한지를 보여준다. AI 연구자와 언론인들은 이 환각 현상을 제거하기 위해 시스템을 조정하고, 교정하고, 재프로그래밍하려 노력한다. 하지만 결국 AI에게 글을 쓰라고 지시한다는 것은 AI에게 상상력을 발휘하라고 요구하는 것과 같다. AI가 상상하는 것은 놀라운 일이 아니다. 더욱 놀라운 것은 AI가 그 일을 상당히 잘 수행한다는 점이다. 특정한 사람이 특정 문제에 대해 “말했을 법한 것”을 그럴듯하게 재구성하는 능력은, 인간 지능이든 기계 지능이든 시작점으로 의미 있는 방식이다.

머지않아 도시 건축 및 환경과 상호작용하는 예측 알고리즘 역시 이러한 방향을 따르게 될 것이다. 하지만 이 모든 것은 단순히 물질적 차원만의 문

제가 아니다. 오늘날 우리가 느끼는 불안은 한때 상황주의자들(Debord 1958, 1983; Sadler, 1998)이 도시의 심리지리학psychogeography에 대해 느꼈던 불안과 크게 다르지 않다(Hiebert & Jung, 2019; Jung & Hiebert, 2019; Wood, 2010). 사람들의 상상력이 사라진 시대에, “대신 상상해주는 알고리즘”이 된다는 경험은 어떤 의미를 가질까? 혹은 캐서린 베하르Katherine Behar(2019)가 경고하듯, 알고리즘적 편향, 범주 오류, 결합 투성이 네트워크 효과 등을 고려하면 무지가 AI의 본질적 특성일 수 있다는 증거가 누적되는 상황을 어떻게 이해해야 할까? 우리는 스마트시티 개발에서 GeoAI가 ‘지리적 인공 무지Geo Artificial Ignorance’의 기술로 전락하는 것을 결코 원치 않는다.

참여 과정에서 얻은 통찰은 스마트시티 계획, 인프라 구축, 투자에 포용성을 더하여, 보다 공평하고 살기 좋은 도시로 나아가는 길을 제시한다. ‘스마트’, ‘참여’, ‘데이터’, 그리고 여기에 ‘GeoAI’가 결합되면서 우리는 스마트 접근 방식을 재구성하고 목적을 재설정할 수 있게 되었다. 즉, 기존의 지역 기반 지식과 인간의 집단적 (반)지능 사이에서 협력적 분석·조직화·참여의 프로세스를 활성화하고 지원하며 지속할 수 있을지에 대한 성찰을 요구한다. 스마트시티 개발에서 GeoAI 설계에 인본주의적 가치를 통합하고 이를 육성하며 투자하는 일은, 경제적 성장뿐 아니라 창의적이고 유희적인 시민성, 포용성, 회복력, 민주주의 등 다양한 사회·공간 기술 혁신을 촉진하는 방향으로 나아갈 수 있다.

토착 미래주의와 아프리카 미래주의Afrofuturism는 스마트시티가 시간, 공간, 디지털 기술을 정의롭고 생명력 있는 방식으로 결합해야 한다는 관점을 제시하며, 이러한 미래의 스마트시티를 구상하고 실천하는 데 중요한 개념적·분석적 통찰을 제공한다. 이는 미래를 당연히 보장받지 못했던 억압된 집단들이 단순한 생존을 넘어 번영하기 위해 쌓아온 실천에서 비롯된 통찰이기도 하다(Crawford 2021; Summers 2022; Benjamin 2024). 서머스Summers(2022)는 아프리카 미래주의 작가들의 유토피아적 상상력을 현재 도시를 분석하는 틀로 활용하며, 도시 붕괴 속에서도 내부에서 매립, 보수, 목적 재설정이 이미

Figure 6

터프 타워스 Tuff Towers, 2021

아트: 올랄레칸

제이푸스 Olalekan Jayifous

(서머스, 2022)



이루어지고 있는 대담한 도시 실천intrepid urbanism에 주목해야 한다고 주장한다. 이는 스마트 기술 중심의 자본주의 도시가 향하는 또 다른 미래가 있음을 보여준다(그림 6 참조). 이러한 실천들은 지배적 스마트시티 담론에서 흔히 등장하는 헤게모니적 기술 문화를 초월하는, 이미 현실에 존재하는 디지털 연계의 미래이기도 하다.

결국 핵심 문제는 스마트시티에 대한 새로운 상상이, 지능적으로 생성되는 미래라는 더 큰 맥락 안에서 어떤 위치를 갖게 될 것인가 하는 점이다. 사

회 참여형 GeoAI는 스마트시티의 대안적이고 다층적인 미래를 향한 하나의 열망이다. 이러한 미래는 지능적이고 공간적으로 생성되며, 인간적이든 인간을 넘어서든, 시민 참여와 데이터 중심성에 대한 집단적 (반)지능이 스마트시티를 둘러싼 담론 속에서 계속하여 드러날 것이다.

| References |

1. Arnstein, S. R. (1967). 시민 참여의 사다리(A Ladder of Citizen Participation). *Journal of American Planning Association*, 35(4), 216–224.
2. Anderson, C. and Jung, J.-K. (2023) 협동조합 “아직 오지 않은 스마트시티: 워싱턴주 시애틀의 장소 기반 지식, 공유재, 그리고 포용적 도시 운영을 위한 전망”(For a Cooperative “Smart City Yet to Come: Place-Based—Knowledge, Commons, and Prospects for Inclusive Municipal Processes from Seattle, Washington). *Urban Planning* 8(2), 6–16.
3. Barns S (2020) 플랫폼 도시주의: 연결된 도시에서 플랫폼 생태계 협상 (Platform Urbanism: Negotiating Platform Ecosystems in Connected Cities). Sydney: Palgrave Macmillan.
4. Benjamin, R. (2019). Race after technology: Abolitionist tools for the New Jim Code(기술 이후의 경쟁: New Jim Code의 폐지론적 도구). *Polity*
5. Benjamin, R. (2022). 바이러스적 정의: 우리가 원하는 세상을 키우는 방법(Viral Justice: How We Grow The World We Want). Princeton, Princeton University Press.
6. Benjamin, R. (2024). 상상력: 선언문(Imagination: a manifesto). W.W. Norton & Company. W.W. Norton & Company.
7. Boetzkes A (2015) 생태성, 비전, 그리고 신경 체계(Ecologicity, Vision and the Neurological System). In: Davis H and Turpin E(eds) 인류세(人

- 類世) 시대의 예술: 미학, 정치, 환경, 그리고 인식론의 만남(Art in the Anthropocene: Encounters Among Aesthetics, Politics, Environments and Epistemologies). Ann Arbor: Open Humanities Press, pp.271–282.
8. Burns R 및 Andrucki M (2021) 스마트시티: 누가 신경이나 쓰는가?(Smart cities: Who cares?) Environment and Planning A 53(1): 12–30.
 9. Cardullo P 및 Kitchin R (2019) 스마트 도시주의와 스마트 시민권: 유럽의 ‘시민 중심’ 스마트시티의 신자유주의 논리(Smart urbanism and smart citizenship: The neoliberal logic of ‘citizen-focused’ smart cities in Europe). Environment and Planning C: Politics and Space 37(5): 813–830.
 10. Cardullo P, Di Felicianantonio C and Kitchin R (2019) 스마트시티에 대한 권리(The Right To The Smart City). Bingley, U.K.: Emerald Publishing.
 11. Clark J (2020) 불균등한 혁신(Uneven Innovation). New York: Columbia University Press.
 12. Costa EM and Oliveira ÁD (2017) 인간적인 스마트시티. 출처: Frodeman R, Klein JT, Pacheco RCS (eds), The Oxford Handbook of Interdisciplinarity. Oxford University Press, pp.228–240.
 13. Crawford, K. (2021). AI 아틀라스: 인공지능의 권력, 정치, 그리고 전 세계가 치뤄야 할 비용(Atlas of AI: Power, Politics, and the Planetary Costs of Artificial Intelligence). Yale University Press.
 14. Dalton C, Wilmott C, Fraser E, Thatcher J (2020). “스마트” 담론, 표현의 한계, 그리고 새로운 공간 데이터 체제(“Smart” Discourses, the Limits of Representation, and New Regimes of Spatial Data.) Annals of Association of American Geographers 110(2): 485–496.
 15. Debord G-E (1958) 드리프트 이론(Théorie de la derive). Internationale situationniste 2(12월): 19–23.
 16. Debord G-E (1983) 스펙터클의 사회(Society of the Spectacle). De-

troit: Black and Red.

17. Easterling K (2014) 초국가주의: 인프라 공간의 힘(Extrastatecraft: The Power of Infrastructure Space). London: Verso.
18. Ferres, L and Juan M. (2024) 선을 위한 AI: 지속가능성, 인도주의 활동, 그리고 건강 분야의 응용(AI for good: applications in sustainability, humanitarian action, and health). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
19. Flynn S (2022) 도시 속의 평등: 스마트한 미래에 대한 상상(Equality in the City: Imaginaries of the Smart Future). Bristol, UK: intellect.
20. Gabrys J (2014) 프로그래밍 환경: 스마트시티의 환경성과 시민 감지 (Programming environments: environmentality and civil sensing in the smart city). Environmental and Planning D 32(1):30–48.
21. Gabrys J (2016) 지구 프로그램: 환경 감지 기술과 컴퓨터 행성의 제작 (Program Earth: Environmental Sensing Technology and the Making of a Computational Planet). Minneapolis: University of Minnesota Press
22. Gillespie T (2010) ‘플랫폼’의 정치(The politics of ‘platforms’). New Media & Society 12(3): 347–364.
23. Goodman, N., Zwick, A., Spicer, Z., and Carlsen, N. (2020). 스마트 시티 개발의 공공 참여: 캐나다 스마트시티 과제에서 지역 사회의 교훈 (Public engagement in smart city development: Lessons from communities in Canada’s Smart City Challenge) The Canadian Geographer, 64(3), 416–432.
24. Halegoua GR (2020) 스마트시티(Smart Cities). Cambridge, MA: The MIT Press.
25. Halpern O, Mitchell R, Geoghegan BD (2017) 스마트함의 의무: 비판에 대한 노트(The smartness mandate: Notes toward a critique). Grey room 68(Summer): 106–129.
26. Halpern O, Mitchell R (2023) 스마트함의 의무(The Smartness Man-

- date). MA: The MIT Press.
27. Hall PA, Dávila P, Maria J. (2023) 비판적 시각화: 데이터 표현 재고 (Critical Visualization: Rethinking the presentation of data). New York: Bloomsbury.
 28. Hiebert T, Jung J-K (2019) 심리지리학적 시각화: 또는 박쥐가 된다는 것은 어떤 모습일까? (Psychogeographic visualizations: or, what is it like to be a bat)? Cultural Geographies. DOI: <https://doi.org/10.1177/1474474019891988> 1-8.
 29. Hollands RG (2008) 진정한 스마트시티, 일어나 주시겠습니까?(Will the real smart city please stand up?) City: Analysis of Urban Trends, Culture, Theory, Policy, Action 12(3): 303-320.
 30. Innes, J. E. 및 Booher, D. E. (2004). 공공 참여 재구성: 21세기를 위한 전략, 계획 이론 및 실제(Reframing Public Participation: Strategies for the 21st Century, Planning Theory & Practice) 5(4), 419-436.
 31. Jang, K.M., Chen, J., and Kang, Y. 2024. 장소 정체성: 생성형 AI의 관점(Place identity: a generative AI's perspective). Humanities & Social Sciences Communications, 1156.
 32. Jung J-K and Hiebert T (2019) 디테일 상상하기: 행복한 장소와 창의적인 지리 시각화(Imagining the Details: Happy Places and Creative Geovisualization) Living Maps Review. DOI: <http://livingmaps.review/journal/index.php/LMR/article/view/172> 1-20
 33. Jung, J.-K. and Kang, J.E. (2023) 스마트 참여와 스마트 도시주의: 참여적 계획 및 지역 사회 참여에 “스마트” 통합하기(Smart Engagement and Smart Urbanism: Integrating “The Smart” into Participatory Planning and Community Engagement).
 34. Kitchin R (2014) 데이터 혁명: 빅데이터, 오픈 데이터, 데이터 인프라 및 그 결과(Big Data, Open Data, Data Infrastructures & Their Conse-

- quences). Los Angeles: SAGE.
35. Kitchin R (2022) 스마트 도시 개념화(Conceptualising smart cities). *Urban Research & Practice* 15(1): 155–159.
 36. Klausner FR (2017) 감시와 공간(Surveillance & Space). Los Angeles: SAGE.
 37. Lampugnani D (2017) 스마트 도시에 대한 의문: 기술 기업가 정신에서 지능 활용으로(Questioning the Smart City: From techno-entrepreneurial to intelligence-enabling). 출처: Aiello G, Tarantino M, Oakley K(eds) 도시 소통: 의미, 실천, 상호작용(Communicating the City: Meanings, Practices, Interactions). New York: Peter Lang, pp17–30
 38. Leszczynski A(2016) 투기적 미래: 스마트 도시주의를 넘어선 도시, 데이터, 거버넌스(Speculative futures: Cities, data, and governance beyond smart urbanism). *Environment and Planning A* 48(9): 1691–708.
 39. Lorinc J(2022) 꿈의 상태: 스마트 도시, 기술, 그리고 도시 유토피아의 추구(Dream States: Smart Cities, Technology, and the Pursuit of Urban Utopias). Toronto: Coach House Books.
 40. Mattern S(2017) 코드와 점토, 데이터와 먼지: 5천 년의 도시 미디어(Code and Clay, Data and Dirt: Five Thousand Years of Urban Media). Minneapolis: University of Minnesota Press.
 41. Mattern S(2021) 도시는 컴퓨터가 아니다: 여타의 도시 지능들(A City Is Not a Computer: Other Urban Intelligences). Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
 42. Marvin S, Luque-Ayala A, McFarlane C (2016) 스마트 도시주의: 유토피아적 비전인가, 거짓의 시작인가?(Smart Urbanism: Utopian vision or false dawn?) London and New York: Routledge.
 43. Moran, C. “ChatGPS가 가짜 가디언 기사를 만들어내고 있다. 우리는 이렇게 대응하고 있다.” *The Guardian* (2023). <https://www.theguardian.com>.

- com/commentisfree/2023/apr/06/ai-chatgpt-guardian-technology-risks-fake-article (2023년 4월 6일).
44. Morozov E, Bria F (2018) 스마트 도시 다시 생각해 보기: 도시 기술의 민주화(Rethinking the smart city: Democratizing urban technology). Rosa Luxemburg Stiftung New York Office. www.rosalux-nyc.org에서 확인 가능 (2025년 1월 8일 접속).
 45. Nielsen B와 Rossiter N(2011) 물류 도시(The Logistical City). *Transit Labour: Circuits, Regions, Borders* 3: 2-5.
 46. O’Kane J(2022) 사이드웨이: 구글이 살 수 없었던 도시(Sideways: The Google Couldn’t Buy). Toronto: Random House Canada.
 47. Picon A(2015) 스마트시티: 공간화된 지능(Smart Cities: A Spatialised Intelligence). West Sussex, U.K.: Wiley.
 48. Powell AB(2021) 최적화의 해체: 스마트시티에서의 시민 행동(Undoing Optimization: Civic Action in Smart Cities). New Haven and London: Yale University Press.
 49. Rabari C와 Storper M(2015) 도시의 디지털 피부: 센서 및 계량 도시, 유비쿼터스 컴퓨팅, 빅데이터 시대의 도시 이론과 연구(The digital skin of cities: urban theory and research in the age of the sensed and metered city, ubiquitous computing and big data). *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 8: 27-42.
 50. Roche, S.(2014). 지리정보과학 I: 스마트시티는 왜 공간적으로 활성화되어야 하는가?(Geographic Information Science I: Why does a smart city need to be spatially enabled?) *Progress in Human Geography*, 38(5), 703-711.
 51. Rose G(2020) 스마트시티의 실제로 존재하는 사회성(Actually—Existing Sociality in a Smart City). *City* 24(3-4): 512-529.
 52. Rose G(2022) 디지털 방식으로 도시 보기: 도시 공간과 시간 처리(Seeing

- the City Digitally: Processing Urban Space and Time). Amsterdam: Amsterdam University Press.
53. Sadler S(1998) 상황주의 도시(The Situationist City). Cambridge: The MIT Press.
 54. Shelton T and Lodato T(2019) 실제로 존재하는 스마트 시민: 스마트 도시 구축의 전문성과 (비)참여 (Actually existing smart citizens: Expertise and (non)participation in the making of the smart city). City 23(1): 35–52.
 55. Söderström O and Datta A(2024) 작동하는 데이터 권력: 위기 시대의 도시 데이터 정치(Data Power in Action: Urban Data Politics in Times of Crisis). Bristol, U.K.: Bristol University Press.
 56. Staeheli, L. A.(2005). 미국 도시는 시민 정신의 장소가 될 수 있는가? 우리는 무엇을 할 수 있는가?(Can American Cities Be Sites of Citizenship? What Can We Do About It?) Urban Geography, 26(3), 197–199.
 57. Summers, B.(2022). 도시 환상(Urban phantasmagorias). City: Analysis of Urban Trends, Culture, Theory, Action, 26(2–3), 191–198.
 58. Tavmen G (2019) “오픈 데이터는 비즈니스를 의미한다: 스마트시티에서 오픈 데이터의 금전적 잠재력이 책임성과 투명성에 대한 열망을 잠식할 때(Open Data Means Business”: When Monetary Potential In Open Data Usurps Aspirations For Accountability And Transparency In The Smart City). The 20th Annual Conference of the Association of Internet Researchers, Brisbane: Australia.
 59. Tavmen G (2020) 스마트시티의 데이터/인프라: 데이터의 기술성을 통한 Citymapper 앱의 인프라적 힘에 대한 이해(Data/infrastructure in the smart city: Understanding the infrastructural power of Citymapper app through technicity of data). Big Data & Society 7(2): 1–15.
 60. Tavmen G (2023) 사이버네틱 도시주의: 스마트시티에서 책임 있는 주체

- 와 스스로 구성되는 커뮤니티의 발전 추적(Cybernetic Urbanism: Tracing the Development of the Responsibilized Subject and Self-Organizing Communities in Smart Cities). 출처: Mackinnon D, Burns R, Fast V(eds) 스마트시티의 디지털 (불)정의(Digital (In)Justice in the Smart City). Toronto: University of Toronto Press, pp96-106.
61. Thatcher J and Dalton C (2022) 데이터 파워: 통제와 저항의 급진적 지리학(Data Power: Radical Geographies of Control and Resistance). London: Pluto Press.
 62. Wang, C, Kang Y, Gong Z, Xhao P, Feng Y, Zhang W, and Li G, (2025). 지도 제작: 지도 스타일 전환 및 평가를 위한 다중 모드 대형 언어 모델 기반 다중 에이전트 지도 제작 프레임워크(CartoAgent: a multi-modal large language model-powered multi-agent cartographic framework for map style transfer and evaluation). International Journal of Geographic Information Science 39(9): 1-34.
 63. Williams, S. (2014). 데이터 작동: 공공재를 위한 데이터 활용(Data Action: Using Data For Public Good). MIT Press.
 64. Wilmott C (2021) 전방위 감시에서 부분 감시로: 플랫폼 도시주의에서의 디지털 및 블록체인 매핑(From Panopticons to the Partial: Digital and blockchain mapping in platform urbanism). 출처: Hodson M, Gasmire J, McMeekin A, et al.(eds)) 도시 플랫폼과 미래 도시(Urban Platforms and the Future City). London and New York: Routledge, pp.191-206.
 65. Wilson A and Tewdwr-Jones M (2022) 디지털 참여 계획: 시민 참여, 민주주의 및 설계(Digital Participatory Planning: Citizen Engagement, Democracy, and Design). New York and London: Routledge.
 66. Wood D(2010) Lynch Debord: 두 개의 심리 지리학에 관하여(About Two Psychogeographies). Cartographica 45(3): 185-200.
 67. Wu, A-N. and Biljecki, F(2021) Roofpedia: 개방형 옥상 경관 등록을

- 위한 녹색 및 태양광 지붕의 자동 매핑 및 도시 지속 가능성 평가(Roofpedia: Automatic mapping of green and solar roofs for an open roofscape registry and evaluation of urban sustainability). *Landscape and Urban Planning* 214: 104167
68. Zandbergen D and Uitermark J(2020) 스마트 시민을 찾아서: 스마트시티에서의 공화주의 및 사이버네틱 시민권(In Search of the Smart Citizen: Republican and Cybernetic Citizenship in the Smart City). *Urban Studies* 57(8): 1733–1748.
69. Zhao T, Xiucheng L, and Tu, W.(2023) 거리 뷰 이미지에서 도시 사운드스케이프 감지(Sensing urban soundscapes from street view imagery). *Computers Environment and Urban Systems*, 99:101915.
70. Zuboff S (2019) 감시 자본주의 시대(The Age of Surveillance Capitalism). New York: PublicAffairs.
71. Zukin S (2020) 혁신 복합 단지: 도시, 기술, 그리고 신(新)경제(The Innovation Complex: Cities, Tech, and the New Economy). New York: Oxford University Press.

Rethinking Planning and Design with AI

AI를 활용한 계획 및 설계 재고찰

팀 쇼크 *Tim Schork*



팀 쇼크는 퀸즈랜드 공과대학교 공과대학 건축·건설환경학과 역량개발 담당 교수이다.

피터 뱅스보 *Peter Vangsbo*



피터 뱅스보는 환경, 기후 및 지속가능성 Arup 부소장 겸 퀸즈랜드 공과대학교 공과대학 건축·건설환경학과 겸임 교수로 Arup 덴마크 지사에서 환경, 기후 및 지속가능성 자문팀을 이끌며, 기후 적응과 완화 분야에 주력하고 있다.

탄 이기트찬라르 *Tan Yigitcanlar*



탄 이기트찬라르는 QUT 도시 인공지능AI 허브 소장 겸 퀸즈랜드 공과대학교 공과대학 건축·건설환경학과 교수이다.

● 초록 ●

본 논문은 도시 설계 및 계획 분야에서 인공지능^{AI}이 가져올 수 있는 혁신적인 가능성과 그에 따른 복합적인 영향들을 분석한다. 나아가 AI 기반 데이터 흐름, 참여형 설계, 그리고 반복적인 적응에 의해 형성될 역동적이고 유연하게 반응하는 도시 환경을 그려낸다. AI는 생성형 설계, 디지털 트윈, 실시간 시뮬레이션 같은 도구를 통해 뛰어난 효율성, 창의성, 포용성을 제공하는 한편 편견, 프라이버시, 윤리, 그리고 환경적 영향과 같은 심각한 우려도 불러일으킨다.

또 디지털화된 마스터플랜, AI 기반 주택 전략, 그리고 시민 참여 설계 같은 새로운 트렌드를 조명한다. AI에 대한 과도한 의존을 경고하며, 복잡한 도시의 '고질적 문제'를 해결하는 데 있어 AI가 인간의 직관, 비판적 사고, 그리고 정치적 판단을 대체할 수 없다는 점을 강조한다. 런던과 애들레이드^{Adelaide}의 사례 연구는 AI가 마스터플랜 및 거주성 분석에 어떻게 실질적으로 적용될 수 있는지를 보여준다.

궁극적으로 본 논문은 기획자와 설계자들이 데이터 품질 향상, 윤리적 안전 장치 구축, 그리고 폭넓은 참여 장려 등을 통해 AI를 신중하게 도입할 것을 주장한다. 또한 회복 탄력적이고 공평하며 인간 중심의 미래 도시를 형성하기 위해 인간의 창의성과 비판적 사고를 바탕으로 AI를 해결책이 아닌 도구로 활용하고, 인간과 AI의 역량을 재조정해야 함을 강조한다.

키워드

AI 활용법, 디지털 마스터 플래닝, 통합 디자인, 삶의 질, 시민 주도 설계, 메타버스

● ABSTRACT ●

This paper on “Rethinking Planning and Design with AI” explores the transformative potential and complex implications of artificial intelligence in urban design and planning. It envisions cities as dynamic, responsive environments shaped by AI-driven data streams, participatory design, and iterative adaptation. While AI offers unprecedented efficiency, creativity, and inclusivity—through tools like generative design, digital twins, and real-time simulations—it also raises critical concerns around bias, privacy, ethics, and environmental impact.

The paper highlights emerging trends such as digitalised masterplans, AI-enhanced housing strategies, and citizen-driven design. It cautions against overreliance on AI, emphasizing the irreplaceable role of human intuition, critical thinking, and political judgment in navigating “wicked problems” of urban complexity. Case studies from London and Adelaide illustrate practical applications of AI in master planning and liveability analysis.

Ultimately, the paper advocates for thoughtful integration of AI, urging planners and designers to enhance data quality, build ethical safeguards, and foster inclusive engagement. It calls for a rebalancing of skills—where creativity and critical thought guide AI as a tool, not a solution—to shape resilient, equitable, and human-centered future cities.

KEYWORDS

AI Cook Book, Digital master planning, total design, life quality, citizen-driven design, metaverse

건축 환경은 중대한 기로에 서 있다. 건축 환경은 전 세계 에너지 관련 이산화탄소 배출량의 약 37%를 차지하고 있으며 그 배출량은 계속 증가하고 있다. 사회, 기업, 정부 모두 힘을 모아 2030년까지 건축 환경의 탄소 배출량을 절반으로 줄이고 2050년까지 탄소중립을 달성하는 것이 시급한 과제가 되었다.

지속가능한 도시를 구현함에 있어 AI는 반복적이고 참여적인 접근 방식을 가능하게 함으로써, 변화하는 요구에 끊임없이 순응하며 협력적으로 진화하는 도시 환경을 조성할 수 있다. AI가 상황 맥락별 데이터 흐름과 집단적 우선순위를 통합하여 미세하면서도 능동적인 재설계와 적응을 견인할 때, 도시 시스템 전체가 신속하게 재구성되고 역동적으로 변모할 것을 우리는 상상할 수 있다.

AI는 설계자와 계획자에게 어떤 예측 불가능한 결과를 초래할 것인가?

도시 계획가들은 오랫동안 디지털 기술을 실무에 통합하고자 노력해 왔다.¹ AI는 설계 제안서를 생성하고 평가하며, 다양한 시나리오의 시뮬레이션을 통해 최적의 해결책을 찾도록 도와준다. AI는 기존 프로젝트를 분석하고, 자원을 최대한 활용하고, 개선 방안을 제시함으로써 설계 개요 및 프로젝트 제안서 작성을 지원할 수 있다. 또한 AI는 잠재적인 문제를 조기에 파악하고 규제 절차, 입찰 준비, 세부 설계 등에 대한 구체적인 해결책을 제시함으로써 설계 프로세스를 최적화할 수 있다.

오늘날 계획, 설계 및 실현 과정에서 효율성 극대화 요구는 그 어느 때보다 더 절실하다. 급속한 도시화에서부터 공공 부문의 재정적 제약, 그리고 치열한 글로벌 경쟁에 이르기까지 다양한 요인이 복합적으로 작용하면서, 설계 전문가들은 보다 적은 자원으로 혁신을 이루고 더 큰 성과를 달성해야 한다는 압박에 직면해 있다.

이러한 맥락에서 AI는 변화를 이끄는 핵심 동력으로 부상하고 있다. 기획자와 설계자들은 점차 도시 문제를 해결하고 더욱 빠르고 정확한 해결책을 개발할 수 있게 해주는 생성형 AI 모델에 주목하고 있다. 덴마크의 앨리스 테크놀로지스 Alice Technologies사는 첨단 최적화 알고리즘을 활용하여 건설 계획을 혁신하며, 비용, 공사 기간, 기후 영향의 균형을 맞춘 일정을 생성한다. 또한 빌드닷 Buildots사는 이미지 인식 기술과 BIM 모델을 결합하여 건설 현장의 진행 상황을 모니터링하고 문서화한다. 프로젝트 관리자는 건설 현장의 실제 이미지와 3D 모델을 비교하여 계획된 일정과의 편차를 신속하게 파악하고 시정 조치를 제안함으로써, 프로젝트를 더욱 원활하고 효율적으로 진행시킬 수 있다. 이처럼 생성형 AI 모델과 풍부한 실시간 데이터의 결합은 현장 실무자들에게 실제 기반의 새롭고 혁신적인 통찰력을 제공한다.²

설계 생애주기 전반에 걸쳐 AI가 완벽하게 접목된 도시를 상상해 보라. AI 기반 디지털 트윈을 통해 도시 기획자들은 기후 변화와 인구 통계학적 변화를 예측하고 효과적으로 대응할 수 있다. 상호 연결된 인프라 시스템은 즉각적으로 반응하고 통합된 도시 구축에 기여한다. AI는 건물 서비스 간의 데이터 단절을 해소하여, 건축물들이 환경 조건이나 사용자 선호도에 따라 실시간으로 변화에 적응하도록 돕는다. Arup에서 활용하는 Autodesk Forma, Testfit.io, Skema.ai, Finch 3D 등과 같은 혁신적인 솔루션들은 AI를 이용해 설계 및 프로젝트 프로세스를 자동화하는 데 광범위하게 적용되고 있다. 이러한 도구들은 초기 3차원 모델 volume models과 평면도에서부터 BIM 세부 모델에 이르기까지 모든 것을 생성할 수 있어 설계 제안서를 개발하고 조정하는 데 필요한 시간과 자원을 크게 절감시킨다. AI가 방대한 데이터를 분석하고 최적화된 설계 솔루션을 제안할 수 있다는 점은 건축가와 엔지니어들이 공간 효율성과 지속 가능성을 극대화한 건물을 설계할 수 있음을 시사한다. 생성형 AI의 지원으로 도시 계획 과정은 더욱 유연해지고 투명해지며, 시민들은 진화하는 지역사회의 모습을 그려내고 구축하며, 도시 설계에 의미 있는 방식으로 참여할 수 있게 된다

하지만, 여기서 잠시 생각해보자.

AI와 그 끊임없는 데이터 갈증은 여러 과제를 안겨준다. 고도의 컴퓨팅 자원에 대한 수요가 급증하면서 전력망 부담이 가중되고 있으며, 데이터 센터는 이미 공간이 부족한 도심 핵심 지역으로 더욱 밀집되고 있다. 이러한 변화는 도시 경관에 매끄럽게 통합될 수 있는 새로운 인프라를 요구한다. 이 인프라는 디지털 기능을 지원하는 것을 넘어 지역 사회에 실질적인 사회적 가치를 창출해야 한다.³

뿐만 아니라 데이터의 품질과 사용 방식에 대한 의문도 제기된다. 특히 도시 계획 분야에서 AI 모델 내부 프로세스의 불투명성이 문제될 때, 도시 계획 담당자들은 편견, 개인 정보 보호, 그리고 책임 문제를 엄격하게 다루어야 한다. 기술 발전과 인간의 철저한 감독 사이에서 우리는 어떻게 균형을 맞출 수 있을까? AI 기반의 도시 계획 및 설계가 진정으로 공평하고 포용적임을 보장하기 위한 방안은 무엇인가? 편견을 방지하고 개인 정보 보호를 강화하기 위한 안전장치에는 무엇이 필요한가? 미래의 기획자들은 지금 어떤 새로운 기술 역량과 윤리적 책무를 정립해야 하는가?

사례 연구: AI 기반 도시 혁신 사례

배터리 발전소 마스터플랜 - 런던, 영국, 2024

글로벌 엔지니어링 컨설팅 기업 Arup은 배터리 발전소 마스터플랜의 다음 단계인 ‘미래 단계(Future Phases)’ 프로젝트를 맡았다. 이 프로젝트는 런던의 남북을 잇는 지하철 노던 라인(Northern Line) 연장 및 런던 남서부 나인 엘름스(Nine Elms) 지역의 광범위한 재개발과 연계하여, 기존 계획의 품질 및 지속가능성 목표에 부합하는 미래 지향적인 주거 및 업무 환경을 조성하는 것이 목표다. Arup은 AI 기반 생성형 설계, 평가 및 최적화 알고리즘을 활용해 최적



Figure 1

**배터리 발전소 재생
마스터 플레닝**

Source : Arup: <https://youtu.be/TJobTQLGlzc>

화된 계획 설계를 도출하는 일련의 디지털 마스터 플레닝 도구를 개발했다. 이 도구를 통해 Arup은 지하 조건, 최대 허용 높이가 가능한 건축물 형태에 미치는 영향, 일조량 및 전망 등을 고려한 다양한 설계 옵션을 신속하게 반복 검토할 수 있었다. 그 결과, 부지 및 계획 과정의 중대한 제약에도 불구하고 고객(시 정부)과 최종 사용자의 요구사항을 모두 충족시키는 혁신적인 해결책을 제시할 수 있었다.

만약 생성형 AI의 발전으로 도시 계획가와 디자이너의 역할이 기술적인 문제 해결에만 그치지 않고 윤리적인 측면을 더 중요하게 다루는 쪽으로 변화한다면, 이 변화가 우리에게 던지는 질문은 무엇일까?

애들레이드 도시 계획 - 호주 애들레이드, 2024

애들레이드Adelaide시는 Arup에 물리적, 사회적, 친환경적 인프라 개선을 통해 실현될 미래 성장과 삶의 질 향상을 위한 프레임워크를 개발을 의뢰했다. Arup은 시티 콜렉티브City Collective, 멀로웨이 스튜디오Mulloway Studios, 애보리지널 어반 디자인Aboriginal Urban Design 등과 협력하여 디지털 트윈 기술을



Source : Arup, <https://youtu.be/UsILFlgWuts>

Figure 2

**애들레이드 미래를 위한
디지털 반응형 도시 계획**

활용해 애들레이드시의 동적 모델을 구축했다. 이 모델은 400개 이상의 데이터 세트를 통합하여 개방형 공간, 대중교통, 그리고 지역사회 시설의 접근성에 대한 핵심 정보를 도출했으며, 이를 바탕으로 도시 각 구역에 대한 종합적인 삶의 질 점수를 산출했다. 이 점수와 성장 예측치를 종합하여, 애들레이드시는 도시의 변화하는 요구를 최대한 반영하고 미래 투자 단계별 계획, 인프라 요구 사항, 그리고 전략적 계획 관리에 대해 정보에 기반한 결정을 내릴 수 있었다. 시는 이 데이터를 시각적으로 제시함으로써 도시를 지원하는 다양한 시스템의 중요성을 강조하고, 애들레이드 전역의 광범위한 이해관계자들이 정보에 더욱 쉽게 접근할 수 있도록 했다.

만약 AI가 모든 도시가 서로 연결되어 실시간으로 현실을 반영하는 디지털 트윈을 만들 수 있도록 돕는다면, 과연 어떤 변화가 일어날까?

계획 및 설계 분야에서 인공지능의 미래 트렌드

다음은 Arup이 도시 계획 및 설계 분야에서 AI가 어떻게 작동하는지(현재→), 관찰하고 있는 새로운 트렌드(가까운 미래→), 그리고 변화의 신호로부터 도출한 장기적 가능성에 대한 정보 기반의 전망(미래 전망→)과 관련하여 파악한 핵심 분석 내용 중 일부이다.

현재

- **데이터 센터의 도시 집중화:** 삶의 디지털화로 데이터 센터는 사용자에게 지체 없는 실시간 서비스를 제공하고자 도시 내로 집중되고 있다. 이에 도시 계획가들은 데이터 센터의 에너지, 물, 필요 공간 문제는 물론, 발생하는 열의 관리 문제까지 고려해야 한다.
- **공공 지출 압력 증가:** 전 세계적으로 공공 지출 압력은 보편화되어 있으며, 그 강도가 점차 심화되고 있다. 제한된 자원으로 더 많은 성과를 달성하기 위해서는 설계 및 계획 수명 주기 전반에 걸쳐 자원과 시간의 효율적인 활용이 요구된다.

가까운 미래

- **설계 수명 주기에서의 AI 활용:** AI는 프로젝트의 효율성과 포괄성 및 창의성을 한층 증진시킬 잠재력이 있지만, 편향성, 개인정보 보호 문제, 그리고 기술에 대한 과도한 의존이라는 위험 요소 또한 안고 있다. 따라서 규제와 인간의 통찰 사이에서 균형을 맞추는 것이 매우 중요하다.
- **의사결정에 영향을 미치는 편향된 데이터:** AI의 성능은 학습된 데이터의 품질에 비례한다. 모델에 부적절한 데이터가 포함될 경우 편향이 계속되어, 해결책 설계 및 계획 과정에서 의도치 않은 차별적 결과를 초래할 수 있다.
- **주택 부족 문제 대응:** 건설 수명 주기 전반에 걸친 AI의 활용은 주택 입지

선정을 개선하고, 최신 건축 법규 및 규정에 부합하는 다수의 설계를 생성하여 계획 수립을 가속화한다. 나아가 건설 현장 및 공정을 최적화할 수 있다.

· **도시 회복탄력성을 위한 AI:** AI는 더욱 정밀하고 접근성 높은 디지털 트윈 생성을 가능하게 한다. 이를 통해 계획가들은 극한 기후 현상과 인구 변동 등 예측 불가능한 충격에 더욱 효과적으로 대비하고 대응할 수 있으며, 이는 도시 회복탄력성을 한층 더 높이는 데 도움이 된다.

미래 전망

· **시민 참여 기반 설계:** AI를 활용하면 새로운 도시 계획 방식이 고도화되어, 시민들이 설계 과정 초기부터 자신들의 도시를 만들어 나가는 데 직접 참여할 수 있게 된다. AI는 시민들이 제시하는 텍스트text prompts를 현실감 있는 디자인으로 즉시 구현하여 제공함으로써, 시민들이 설계안을 실시간으로 확인하고 자신의 의견을 반영해 도시를 함께 만들어갈 수 있도록 돕는다.

· **상호 연동되는 인프라:** AI는 도시 기능 간의 단절을 허물고 다양한 시스템과 인프라를 유기적으로 통합함으로써 도시 서비스의 품질을 획기적으로 향상시키고, 환경 변화에 대한 대응 능력을 대폭 강화할 수 있다.

· **개인 맞춤형 실감 도시 경험:** 3D 광고판 등 개인에게 최적화된 실감형 도시 경험이 점차 확산되고 있다. AI는 이러한 도시 인프라가 환경 조건과 사용자 취향에 맞춰 실시간으로 유연하게 반응하고 최적화되도록 돕는다.

도시 설계 및 계획: AI, 현명한 적용을 위한 우리의 과제

생성형 AI 도구에서부터 역동적인 디지털 트윈까지, 설계 및 계획에 있어 AI의 영향은 가히 혁신적이다. 그러나 AI의 급속한 개발과 전개는 심각한 위험

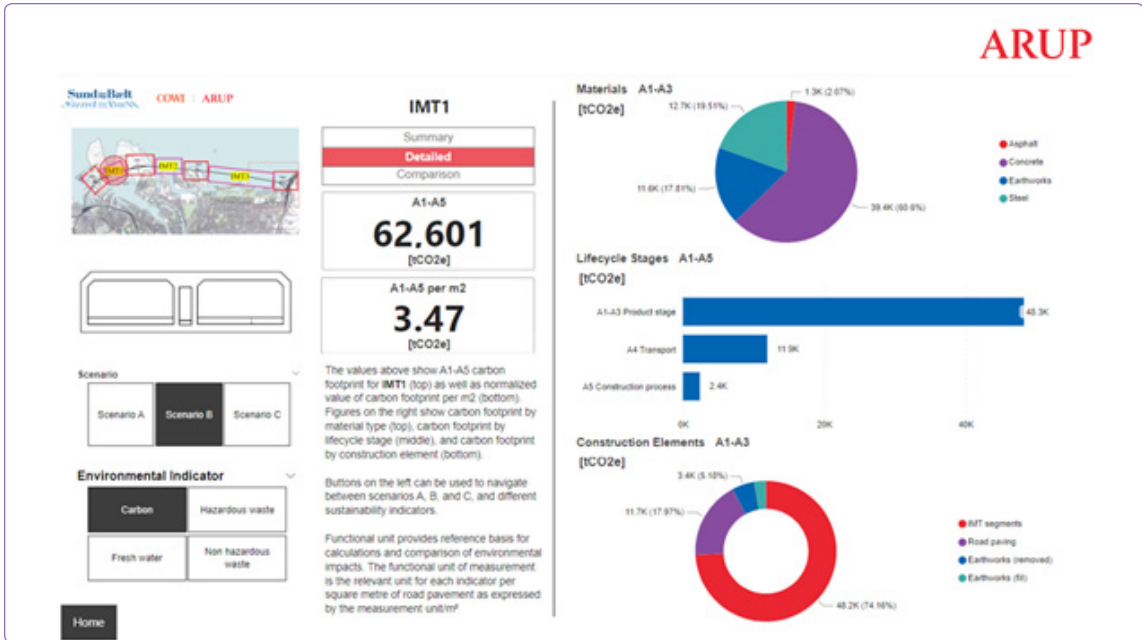
을 초래할 수 있다. 우리는 지성과 책임감을 바탕으로 AI를 어떻게 설계하고 활용할 수 있을지에 대해 신중하게 고민해야 한다.

건축 AI 분야의 선도자인 닐 리치Neil Leach는 ‘AI는 놀랍기도 하지만 한편으로는 두려운 존재’라고 말한다.⁴ 실제로 AI 기술은 건축 환경의 설계를 혁신하고 있으며, 스스로 학습하고 작동하는 능력 덕분에 설계 방식의 큰 변화를 가져오고 있다. AI 기술은 이미 설계자와 기획자의 데이터 분석, 이미지 생성, 설계 최적화 및 성능 시뮬레이션을 지원하고 있다. 아직까지는 특정 작업에만 쓰이지만 AI 도구는 빠르게 발전하고 있으며 설계 프로세스를 개선하고 복잡한 도시 문제를 해결할 수 있는 엄청난 잠재력을 지니고 있다. 이 AI 도구들은 생산성을 높이고 객관적인 증거에 기반한 설계를 뒷받침하는 동시에, 창의력을 자극하고 비전문가도 쉽게 접근할 수 있게 함으로써 도시 의사결정 과정에서 대중의 참여를 확대할 수 있을 것이다.

계획 및 설계의 수평 주기

Autodesk Forma, Testfit.io, Skema.ai, Finch 3D 등과 같은 혁신적인 솔루션들은 AI를 활용하여 설계 및 프로젝트 프로세스를 자동화한다. 이러한 도구들은 초기 3차원 모델volume models과 평면도에서부터 BIM 세부모델에 이르기까지 모든 것을 생성할 수 있어 설계 제안서를 개발하고 조정하는 데 필요한 시간과 자원을 절감한다. AI는 방대한 데이터를 분석하여 최적화된 설계 솔루션을 제안할 수 있다는 점은 건축가와 엔지니어들이 공간 효율성과 지속가능성을 더욱 높인 건물을 설계할 수 있음을 의미한다. Arup은 다음에 나오는 그림 3과 같이, 복잡한 인프라 프로젝트의 전과정평가WLCA, whole life cycling assessment를 산정할 때 다양한 AI 도구를 활용하고 있다.

한때 프로그래밍 전문가에게만 국한되었던 생성형 설계 도구가 이제는 상용 소프트웨어 솔루션에 내장되어 대중에게 공개됨으로써, 우리가 협업하고 건설하는 방식을 근본적으로 변화시키고 있다.⁵



Source: : Arup 덴마크

Figure 3

Arup의 대규모 건설
프로젝트 LCA 대시보드

AI가 만병통치약은 아니지만

AI는 내재적 한계점을 지니고 있으므로, 이를 지능적으로 활용하기 위해서는 면밀한 검토와 이해가 선행되어야 한다. 가장 큰 위험 요소 중 하나는 AI 시스템에 유입되는 방대한 양의 정보로 인해 정확한 정보와 오류 정보를 구분하기 어렵다는 점이다. 이는 글로벌 정치 상황 및 건설 분야 모두에 적용된다. 이처럼 끊임없이 유입되는 데이터와 정보 속에는 잘못된 내용이 포함되어 오해와 잘못된 인식을 야기할 수 있으며, 이는 나아가 프로젝트의 안전성, 신뢰성, 그리고 성공에 심각한 위험을 초래할 수 있다.

AI 도구는 의식이 있는 존재가 아니기에 자신의 행동에 대한 진정한 이해가 부족하다. 예를 들어, 챗GPT는 자신이 생성한 출력의 의미를 이해하지 못하며, 이는 때로 부정확하거나 일관성이 없거나 오해의 소지를 만들 수 있다. 따라서 AI가 생성한 출력을 비판 없이 받아들이거나 맹목적으로 의존해

서는 안 된다.

쓰레기를 넣으면 쓰레기가 나온다: AI 시스템은 방대한 양의 데이터를 처리하지만, 그 출력은 AI가 학습한 데이터와 접근 가능한 데이터의 종류 및 범위에 따라 좌우된다. 이는 기존의 편향을 증폭시키고, 고정관념을 강화하며, 불평등을 지속시킬 수 있다.

AI의 블랙박스 특성: AI 모델은 복잡하기 때문에 특정 솔루션이 어떻게 그리고 왜 생성되는지 추적하는 것이 어렵거나 불가능하다. 이러한 불투명성이 설계 및 계획 결정, 의사 결정의 책임성, 그리고 건설 환경의 업무 수행과 결과 책임에 대한 합리적이고 투명한 논의에 심각한 영향을 미친다.

현장은 단순한 공간이 아니라 고유한 장소다: AI 시스템은 특정 지역에 대한 시각적·공간적 데이터를 처리할 수 있지만, 해당 장소와 공동체를 정의할 때 독특한 공간적·사회적·문화적 특성을 이해하는 데는 한계가 있다. 현장 분석은 본질적으로 가치 판단이 수반되어야 하며 이를 AI에만 전적으로 위임할 경우 인간만이 가질 수 있는 핵심적인 통찰력을 잃게 될 것이다

이 외에 윤리, 환경 영향, 인권과 관련된 추가적인 우려 사항들도 마찬가지로 중요하다. 예를 들어, 데이터 수집을 확대하는 과정에서 프라이버시 및 지적 재산권 문제가 야기될 수 있다. AI는 일부 직업을 불필요하게 만들 수 있지만, 동시에 이 기술을 효과적으로 활용할 수 있는 이들에게는 새로운 기회를 창출하기도 한다. 변화하는 노동 시장에서 경쟁력을 유지하기 위해서는 근로자들이 이러한 신기술 가능성에 부합하는 역량을 함양하고 적응하는 것이 필수적이다.

본질적으로 설계와 계획은 매우 정치적이다

최적화의 한계: AI는 막강한 성능을 기반으로 한 도구로 설계 역량을 향상시킬 수 있으나, 고도화된 최적화 방식이라도 인간의 신중한 선택을 대체할 수 없다. 여러 관점에서 바라본 솔루션들은 서로 상충될 수 있다. 예를 들어, 수동적 환경 설계([passive environmental design](#)(햇빛, 바람 등 천연 자원을 활용해 에너지

소비를 최소화하는 실내 공간 조성 설계 - 윽긴이) 관점에서 최고의 기능을 발휘하는 설계라 할지라도 거리 기반 도시주의(street-based urbanism(도로, 공공장소, 주변 건물을 통합하여 거리를 사회적 상호작용의 핵심 공공 공간으로 보는 설계 방식 - 윽긴이)를 훼손할 수 있다. 궁극적으로 최적의 해결책은 서로 다른 우선순위에 따라 달라지며, 설계자들이 반드시 조율해야 하는 균형에서 비롯된다. 도시 계획에 인공지능을 적용할 때 우리는 맹목적인 최적화와 효율성의 유혹에 대해 비판적으로 인식해야 한다.⁶

우리는 역사에서 효율성에만 치중한 계획이 인간을 등한시하고 삶의 질을 저하시키는 환경으로 이어질 수 있다는 체험을 했다. 프랑스의 현대 건축가 르 코르뷔지에(Le Corbusier) 같은 인물들이 예를 든 근대 계획의 유산은 실제 경험보다 기능적 질서를 우선시하여 종종 무미건조하고 단절된 도시 공간을 초래했다. 오늘날 덴마크의 건축가 얀 겔(Jan Gehl) 같은 도시 사상가들은 도시가 그곳에 거주하는 사람들을 중심으로 설계되어야 한다고 일깨워주었다. AI는 인간 중심적 비전을 대체하는 것이 아니라 오히려 지원해야 하며, 기술력이 과거의 실수를 반복하지 않도록 성능이 발달하여 살기 좋은 도시를 건설하는 데 기여하도록 보장해야 한다.

고질적인 문제: 대부분의 건축 환경 문제는 본질적으로 ‘고질적’이다. 호르스트 리텔(Horst Rittel)과 멜빈 웨버(Melvin Webber)가 교통 문제와 같이 “문제의 틀 자체가 명확히 잡히지 않고, 정보가 혼란스러우며, 여러 클라이언트와 의사결정자들의 가치가 서로 상충하고, 전체 시스템에 미치는 파급효과 또한 극히 복잡한” 현상들을 설명하기 위해 만든 용어이다.⁷ 설계자가 다루는 문제의 정의 자체도 모호하고 논쟁의 여지가 많으며, 솔루션은 결국 판단을 내리는 주체에 따라 다르게 평가된다. 즉, 설계는 서로 상이하고 종종 모순되는 이해관계와 다양한 이해당사자들이 직면한 상황 속에서 어떤 입장을 취할 것인지를 결정하는 행위이다. 정책의 실행 역시 정치적 복잡성에 직면해 수많은 음모론이 거론되기도 한다. 다원주의 사회에서는 객관적이고 알고리즘적인 관점에서 가장 우수한 성과를 내는 솔루션이 사회적, 정치적 또는 문화적

현실과 일치하지 않을 수도 있다.

AI는 선을 위한 동력이어야 한다

AI는 우리 삶에 깊이 자리 잡았다. 기술 발전은 계속될 것이며, AI 도구들은 더욱 향상된 기능과 신뢰성을 갖추게 될 것이다. 개인적·전문적 활동에서 AI는 점점 더 보편화될 것이다. 그럼에도 불구하고 더 나은 도시를 설계하는데 도움이 되는 AI의 역량은 우리가 AI를 어떻게 개발하고 활용하는지에 달려 있다. 우리는 미래를 대비해 AI의 작동 방식에 대한 시민과 전문가의 이해를 높이고, 학습 데이터와 알고리즘의 투명성을 높이며, 더 포괄적인 데이터셋을 구축해야 한다. 맞춤형 AI 솔루션은 더욱 신뢰할 수 있고 상황에 민감한 애플리케이션을 구현하는 데 필수적인 것이다.

건축 환경 전문가들은 데이터 수집과 모델 학습에 적극적으로 참여해야 한다. 자율주행차, 로봇, 도시 소프트웨어 에이전트(software agents)(사용자 대신 자동적으로 작업을 수행하는 컴퓨터 프로그램 - 옮긴이)와 같은 도시 AI 기술은 설계자와 기획자가 해결해야 할 새로운 도시적 과제를 야기하고 있다.⁸ 더 광범위하게 보면, AI는 민간 및 공공 소유권, 접근성, 데이터 형평성 및 개인정보 보호, 지적 재산권, 그리고 보다 광범위한 환경 및 노동 문제에 비추어 규제되어야 한다. AI는 현재는 물론 앞으로도 설계 프로세스의 보조적인 역할에 그쳐야 한다. 설계자는 장소와 설계 문제의 복잡성을 이해하고, 다양한 이해관계(클라이언트 포함)의 균형을 맞추며, 의사 결정자로서 중요한 역할을 유지해야 한다. 그들은 AI의 모호한 작동 방식을 탐색하고 도시 프로세스를 위한 출력을 걸러내는 책임을 지는 등 그 역할이 더 중요해질 수 있다.

또한 도시 계획가 및 기타 건설 환경 전문가들은 시민들이 자신이 거주하는 도시 환경을 형성하는 데 의미 있게 참여할 수 있도록 지원하는 역할도 수행해야 한다. 도시 계획 과정에 AI가 더욱 많이 사용됨에 따라, 시민의 의견이 소외되지 않도록 하는 것이 더욱 중요해졌기 때문이다. 설계자들은 지역

사회의 목소리를 수집하고 해석하여 AI 작업 흐름에 반영할 수 있는 메커니즘을 구축해야 한다. 이는 민주적인 도시 거버넌스를 강화할 뿐만 아니라 AI가 생성한 해결책이 다양한 삶의 경험과 지역 지식을 반영하도록 보장한다. 이를 통해 전문가들은 알고리즘 산출물과 인간의 가치 판단 사이의 간극을 메우고, AI를 포용적이고 대응적이며 사람 중심인 도시 조성을 위한 강력한 도구로서 활용할 수 있게 된다.

도시의 변화하는 여건에 부응하도록 미래의 설계자들을 어떻게 준비시킬 것인가? —————

영향력 있는 건축가 세드릭 프라이스Cedric Price는 50여 년 전 다음과 같은 도발적인 질문을 던졌다. “기술이 답이라면, 과연 질문은 무엇이였을까?”⁹ 이 질문은 오늘날에도 여전히 유효하다. 지금 올바른 질문을 던지는 것이 AI 활용에 수반되는 중요한 위험과 기회를 이해하는 데 도움을 줄 것이다.

결국 AI는 아무리 강력하더라도 그저 도구일 뿐, 근본적인 해결책은 아니다. 도시를 더욱 회복 탄력적이고, 공평하며, 포용적으로 만들기 위해서는 우리 사회 전체가 노력해야 한다. 하지만 이러한 목표는 모든 구성원이 공유하는 것이 아니며, 치열한 정치적 논쟁의 대상이 되기도 한다.

인간 중심의 효율성

AI는 시스템, 워크플로우, 방법론을 간소화하여 설계 프로세스의 효율성을 높일 수 있다. 애플리케이션이 기술적 생산 속도가 빨라지고 점점 및 검토를 넘어서는 단계로 발전함에 따라 설계자들은 복잡한 과제를 AI가 자율적으로 해결하도록 지시할 수 있게 될 것이다. 지성을 갖춘 팀원처럼 AI는 기술 작업을 독립적으로 관리하여 전례 없는 수준의 실험, 반복 작업 및 협업을 가능

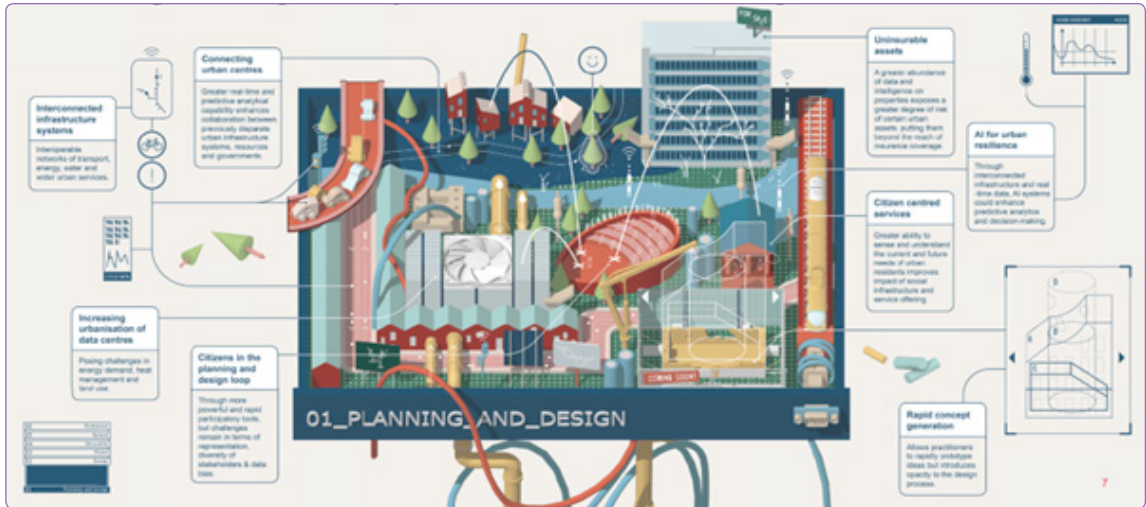


Figure 4

Source : Arup 예측

AI가 도시와 새로운 현실을 어떻게 형성해 나갈까?

하게 할 것이다.

그러나 AI는 기존 데이터에만 의존하기 때문에, 설계자가 우수한 결과물을 도출하는 데 요구되는 직관, 감성 지능, 그리고 복잡하고 모호한 맥락에 대한 심층적 이해가 결여되어 있다. 기술적 차원에서 설계자는 선제적인 역할을 수행해야 한다. 즉, 초기 입력값, 조건 및 맥락 기준선을 엄선하여 AI를 이끌어야 한다. 더 중요한 것은 설계자 역량의 재조정이다. 설계자의 주관적 경험과 장소, 맥락, 다양성에 대한 이해는 더욱 중요해질 것이다. 설계자들은 AI가 제공하는 효율성 향상이 자신들의 기술 전문성 개발을 저해하지 않고 오히려 실무 역량을 강화하도록 보장할 책임이 있다.

신속한 계획안 수립

설계자들은 이제 이미지와 텍스트를 빠르게 생성하는 AI 도구를 사용해 여러 설계 옵션을 동시에 탐색하고 예상치 못한 도발적인 아이디어를 떠올릴 수도 있게 되었다. 또 고객과 대중이 워크숍 환경에서 아이디어와 개념을 신속하게 반복하여 발전시키는 '실시간' 옵션 탐색에 참여할 수 있을 것이다. 이러한 접근 방식은 이해관계자들의 이해도를 높이고 옵션을 더욱 생생하게 경

험하도록 돕는데, 클라이언트 입장에서도 이러한 능동적인 참여를 더 기대할 수 있게 되었다.

그럼에도 불구하고 신중하고 비판적인 설계 프로세스를 거치지 않고 AI가 빠르게 생성하는 시각 자료에 지나치게 의존하는 것을 경계해야 한다. 빠르고 편리한 AI의 기능 때문에, 자칫 설계자들이 기획 단계에서 실현 가능한 제안보다 시각적으로 두드러지는 결과물들을 우선시하도록 부추길 위험이 있다. 미래의 설계자들은 여전히 자신의 직관과 맥락적 서사를 시각화하고 적용하는 이러한 기술을 연마해야 할 것이다.

이해의 폭 확대

미래에는 AI가 다양한 대규모 데이터셋을 실시간 시뮬레이션에 통합시켜 설계 의사결정이 지속가능성, 에너지 사용 또는 사회적 형평성에 미치는 영향을 사전에 검증할 수 있을 것이다. 이에 따라 더 강력한 증거를 활용하고 회복 탄력성과 적응성에 더 중점을 두어 도시 관리 및 개발 방식을 근본적으로 변화시킬 수 있다.

AI는 웰빙 지표와 같은 다른 유형의 데이터를 도시 설계 과정에 통합하는 데도 도움을 줄 수 있다. AI 기반 도시 시스템이 주민들의 신체적·정신적 웰빙에 능동적으로 적응하여 소음, 공기 질, 녹지 공간, 사회적 상호작용을 관리하는 모습을 상상할 수 있다. 이러한 '웰빙 도시'에서는 AI가 에너지 및 물질 효율성을 높일 뿐만 아니라 생태계 데이터를 모니터링하여 생태적 웰빙을 증진하고 더욱 지속 가능하며 생물다양성이 풍부한 도시 환경을 조성하는데 기여할 것이다.

AI가 방대한 데이터셋에서 통찰력을 분석, 상호 참조 및 종합하는 능력은 복잡한 도시 문제를 해결하는 데 있어 매우 중요한 자산이 될 수 있다. 여러 분야에 걸쳐 프로젝트 경험이 풍부한 Arup 같은 기업의 경우, AI가 기존 데이터와 지식 기반을 활용해 학제 간 창의적이고 비판적인 실무 역량을 강화하고 독창적이고 혁신적인 아이디어를 창출할 수 있다. 시간이 지남에 따라

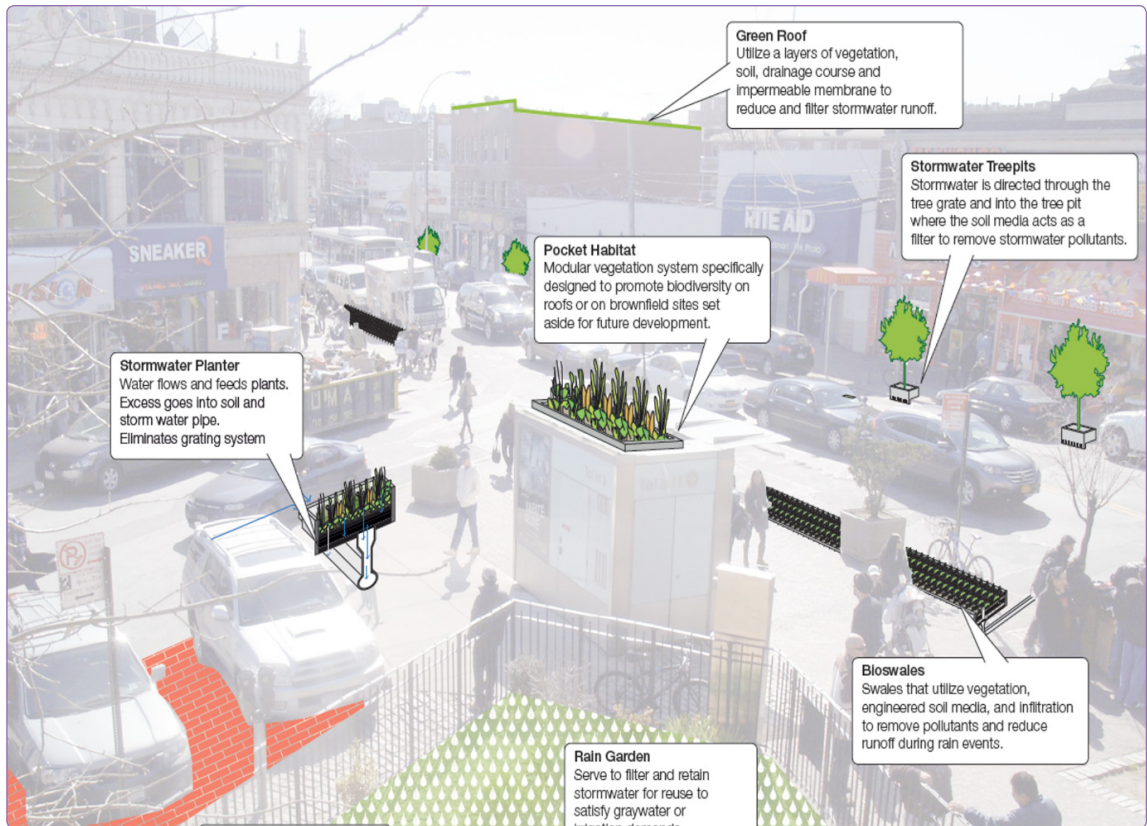


Figure 5

**외복력 있는
지역사회 설계 및 계획**

AI는 과거 경험과 현재 프로젝트 과제를 연결하는 조직의 지식 체계를 구축하여 예측 가능한 통찰력을 제공하고, 창의성 증진에 기여하는 실시간 자율 개선 지식 시스템을 구축할 수 있다. 이를 위한 핵심적인 첫 단계가 바로 고품질의 데이터를 유지하여 기존 데이터셋에 내재된 편향을 식별하고 이를 완화하는 것이다.

미래의 설계자: 창의성과 비판적 사고를 모두 갖춰야

문제 해결은 여전히 설계자의 핵심 업무로 남겠지만, 오늘날 설계를 공부하는 학생들은 AI와 효과적으로 협업하기 위해 자신의 창의성과 비판적 사고를 계발해야 한다. 설계는 단순히 AI에게 이미지나 레이아웃을 생성하도록 지시하는 것만이 아니며, AI가 생성한 결과물은 결코 완성이 될 수 없다.

설계의 가치는 그 우수성뿐 아니라 도시와 지역 사회의 생생한 경험을 얼마나 반영하는지, 그리고 비판적 사고와 창의적 실천을 통해 도시의 비전을 얼마나 견고하고 지속 가능하며 섬세하게 구축하는지에 달려 있다. 지방 정부도 정책 수립에 AI를 활용하고 시민 참여를 유도하며, 보다 공정하고 회복력 있는 도시 환경 개발을 이끌어내는 데 핵심적인 역할을 수행한다.¹⁰ 이러한 흥미로운 발전은 AI가 설계의 인간적 요소를 강화하는 데 활용된다는 인식 전환과 함께 이루어질 때 가장 큰 효과를 발휘할 것이다. 이처럼 AI로 강화된 설계 관행은 사회에 새로운 기회를 열어줄 것이다.

실무자를 위한 실질적인 조치

- 1. 데이터 품질, 일관성 및 통합성 강화:** 효과적이고 책임감 있는 AI는 편향되지 않은 견고한 데이터에 의존한다. 글로벌, 국가, 지역, 지방 등 다양한 차원의 계획 및 설계 기관은 다양한 데이터 출처 간의 데이터 일관성 향상에 주력해야 한다.
- 2. 창의적 효율성 강화:** AI는 그 자체가 목적이 아니라 계획 및 설계를 향상시키는 도구로 활용해야 한다. AI는 설계자가 가장 잘하는 역할에 집중하고 보다 신속한 실험 및 계획안 수립을 지원하도록 활용되어야 한다. 이와 동시에 설계 및 의사 결정 과정에 인간이 참여해 맥락에 따른 공감을 얻을 수 있도록 하여야 한다.
- 3. 편향 방지 장치 구축:** AI는 계획을 더욱 포용적이고 공평하게 만들 수 있는 잠재력을 지니지만, 이를 도입하는 도시는 편향된 결정을 방지할 안전 장치를 구축해야 한다. 여기에는 AI 시스템과 기반 데이터에 대한 편향 검토 및 평가가 포함될 수 있다. AI가 도시에 미치는 영향이 크고 때로는 예측 불가능할 수도 있지만, 지금 미리 선제적인 조치를 취한다면 미래의 도시 문제에 더욱 효과적으로 대비할 수 있을 것이다.
- 4. 윤리적 도전 과제에 대비하라:** 설계자와 계획가는 AI 활용 과정에서 발생할 수 있는 윤리적 딜레마를 예측하고 이에 대응할 수 있는 역량을 갖추어야

한다. 계획 담당 기관은 가치 체계를 공유하는 데 초점을 맞추고 윤리적 프레임워크와 지침을 수립해야 한다.

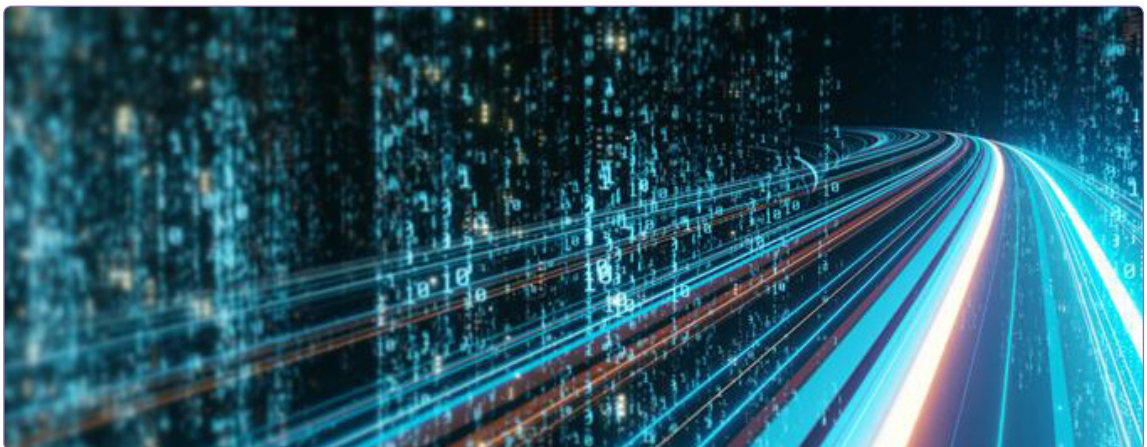
5. 장기적이고 체계적인 계획 채택: AI는 전 지구적, 사회적, 도시적 변화에 대한 통찰력을 제공할 수 있다. 설계자는 AI를 활용해 전반적이고 전략적이며 회복력 있는 계획을 수립할 수 있도록 시스템 사고와 미래 지향적 사고 능력을 개발해야 한다.

6. 지역 사회 참여 증진 기회 활용: 오늘날 생성형 AI 도구는 지역 사회가 계획 및 설계 과정에 참여할 수 있도록 지원하는 흥미로운 기회를 제공한다. 실무자는 이러한 도구를 실무에 통합하여 AI가 도시를 형성하는 방식에 시민들이 적극적으로 기여하고, 보다 포용적이고 참여적인 도시 개발을 촉진하도록 해야 한다.

결론적으로 AI는 도시를 구상하고 설계하고 관리하는 방식을 변화시키고 있으며, 창의성, 효율성, 그리고 포용성을 위한 전례 없는 기회를 제공하고 있다. 그러나 이러한 기회는 상당한 책임을 수반한다. 즉, 윤리적 사용 보장, 인간의 감독 유지, 그리고 형평성 및 프라이버시 보호가 필수적이다. 미래의 도시는 단지 알고리즘에 의해 형성되는 것이 아니라, 인간 중심적이고 회복

Figure 6

디지털 미래는
AI로 추진될 것이다



탄력적이며 지속 가능한 도시 환경을 개선하기 위해 AI를 신중하게 활용하는 설계자, 계획자, 그리고 공동체에 의해 구축될 것이다.

| References |

1. Fu, X., Li, C., Quan, S., Yigitcanlar, T., & Wasserman, D. (2025). 도시 계획에서의 대규모 언어 모델(LLM, Large language models in urban planning). *Nature Cities*, 2, 585–592.
2. Ye, X., Yigitcanlar, T., Goodchild, M., Huang, X., Li, W., ... & Newman, G. (2025). 도시 과학에서의 인공지능: AI 왜 중요한가?(Artificial intelligence in urban science: why does it matter?) *Annals of GIS*, 31(2), 181–189.
3. Yigitcanlar, T., Desouza, K., Mossberger, K., Cheong, P., Li, R., Mehmood, R., & Corchado, J. (2025). 인공지능과 도시: 편집의 관점(Artificial intelligence and the city: an editorial perspective). *Journal of Urban Technology*, 32(3), 1–7.
4. Leach, N, “AI는 놀랍기도 하지만 한편으로는 두려운 존재: 닐 리치와의 대화”(AI is both incredible and terrifying: a conversation with Neil Leach), (2021). *archinect.com*
5. Huang, T., Ye, X., Yigitcanlar, T., Xu, B., Newman, G., ... & Wang, D. (2026). 도시 설계에서의 인공지능: 체계적 고찰(Artificial Intelligence in urban design: a systematic review). *Cities*, 169, 106527.
6. Yigitcanlar, T. (2024). 도시 인공지능: 개념과 기술 이해를 위한 안내서 (Urban artificial intelligence: a guidebook for understanding concepts and technologies). London: CRC Press.
7. Buchanan, R. (1992). 디자인 사고의 고질적인 문제들. *Design issues*,

- 8(2), 5–21.
8. Marasinghe, R., Yigitcanlar, T., Mayere, S., Washington, T., & Limb, M. (2024). 책임 있는 특정 도시 공간을 위한 AI에 대하여: 공식 및 비공식 문헌으로부터 얻은 통찰(Towards responsible urban geospatial AI: insights from the white and grey literatures). *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 8(2), 24.
9. Price C. “기술이 답이라면, 그 답에 대한 원래 질문은 무엇이었을까?” (Technology is the answer, but what was the question?)(1979), pidgeon-digital.com.
10. Yigitcanlar, T., Agdas, D., & Degirmenci, K. (2023). 지방 정부의 인공지능: 전망, 제약 및 선택에 대한 도시 관리자들의 인식(Artificial intelligence in local governments: perceptions of city managers on prospects, constraints and choices). *Ai & Society*, 38(3), 1135–1150.

AI-Based Living Area Planning Support System: In Response to Demographic Structural Change and Proximity-Oriented Daily Living Zones

AI 기반 생활권 계획지원 시스템 :
인구구조 변화에 대응한 근접성 기반 일상 생활권의 계획¹⁾

1) 본 고의 AI 기반 생활권 계획지원 시스템은 국토교통부 빅데이터 기반 인공지능 도시계획 기술개발사업의 연구비 지원(과제번호 RS-2022-00143404)에 의해 수행되었습니다.

최준영

Junyoung Choi



최준영 박사는 도시개발 국제협력과 도시데이터사이언스 분야의 도시계획 전문가로, LH에서 도시개발 실무와 정책연구를 시작으로 서울기술연구원 데이터사이언스센터장, 서울연구원 미래공간연구본부장을 역임하였다. 현재는 서울연구원 대외협력센터 선임연구위원이자, 메가시티 연구기관 협의체인 MeITA 사무국장으로 활동하며 글로벌 정책 협력을 이끌고 있다. 그는 오픈소스 공간정보 국제행사 FOSS4G-Asia 2023 SEOUL 공동조직위원장을 맡았고, UN-Habitat, ITU, UNEP 등과 협업해 스마트시티와 디지털 거버넌스 관련 국제 논의에도 적극 참여해왔다. 최근에는 인공지능 도시계획, 고독사 예방 시스템, 자율주행 배달로봇(ADR) 시물레이션, 서울시 건축주택정보화 기본계획연구 등을 통해 기술, 도시공간 및 공공정책을 연결하는 융합연구를 선도하고 있다.

E-mail: junyoung.choi@si.re.kr

● 초록 ●

본 연구는 인공지능^{AI} 기반 생활권 계획지원 시스템을 통해 인구구조 변화에 대응하는 근접성 기반 일상생활권 계획을 제안한다. 시스템은 통행 데이터를 활용한 커뮤니티 디텍션 모듈을 통해 데이터 기반 생활권 구획을 도출하고, 선형계획법^{LP} 기반 최적화 모듈을 통해 생활서비스 시설의 입지 및 재배치 전략을 제시한다. 이를 통해 계획가는 효율성과 형평성이라는 상충 가치 사이의 균형을 정량적으로 비교할 수 있으며, 돌봄 중심의 미래 생활권 재편 등 인구감소·고령화 대응 전략을 설계할 수 있다. 본 연구는 부산 강동 생활권(북구, 사상구, 사하구)을 사례로 하여 시스템의 실질적 적용 가능성과 확장성을 검토하였다.

키워드

AI 기반 도시계획, 생활권 분석, 생활서비스 시설 입지 최적화, 보행 기반 생활권

• ABSTRACT •

This study presents an AI-based planning support system for proximity-driven living areas in response to demographic change. The system consists of a community detection module using travel data to define data-driven living boundaries and a linear programming (LP)-based module to optimize the siting and relocation of urban amenities. It enables planners to balance efficiency and equity and design care-oriented strategies for an aging population. A case study of the Gangdong area in Busan (Buk-gu, Sasang-gu, Saha-gu) demonstrates the system's practical applicability and scalability.

KEYWORDS

AI-based Urban Planning, Living Area Analysis, Optimal Location of Urban Amenities, Walkable Living Area

들어가며

도시계획의 패러다임이 광역적, 차량 중심적 접근에서 벗어나 시민의 일상적인 활동 반경을 중심으로 하는 보행을 통한 ‘일상 생활권’으로 전환되는 것은 단순한 유행이 아닌, 도시의 지속 가능성을 위한 핵심 전략이다. 이 전환은 시민 개개인의 삶의 질을 직접적으로 향상시키는 동시에, 도보와 자전거 이용을 촉진하여 탄소 배출을 줄이고 건강을 증진시킨다. 또한, 지역 내에서의 소비와 활동을 장려하여 골목 상권을 활성화하고, 주민 간의 사회적 연결성을 강화함으로써 보다 회복력 있고 포용적인 공동체를 만드는 데 기여하는 도시 발전 전략이다.

본 고에서는 이러한 일상 생활권 계획을 효과적으로 지원하기 위해 AI 기반의 생활권계획 지원 시스템을 소개한다. 이 시스템은 도시의 생활권계획 수립을 지원하기 위해 실제 통행 패턴을 반영하여 생활권 구획을 도출하는 모듈과, 인구 구조 변화에 대응하여 생활 서비스 시설의 입지 및 재배치 계획안을 제시하는 선형계획법(LP) 기반의 최적화하는 모듈로 구성되어 있다.

근접성에 기반한 일상 생활권

기존의 생활권 계획은 주로 일상생활권(동읍면 규모), 권역생활권(자치구 또는 군이 1개 이상인 규모)과 같이 행정구역 경계를 기준으로 수립되었다(그림 1). 이러한 접근은 계획의 수립과 집행이 용이하다는 장점이 있었으나, 실제 주민들의 생활 패턴과는 상당한 괴리를 보이는 근본적인 한계를 지니고 있었다. 역사적, 정치적 요인으로 설정된 행정 경계는 강이나 산과 같은 지형적 특성, 혹은 실제 이동을 결정하는 교통망을 제대로 반영하지 못하는 경우가 많았다. 결과적으로, 계획상으로는 같은 생활권에 속하더라도 실제로는 교류가

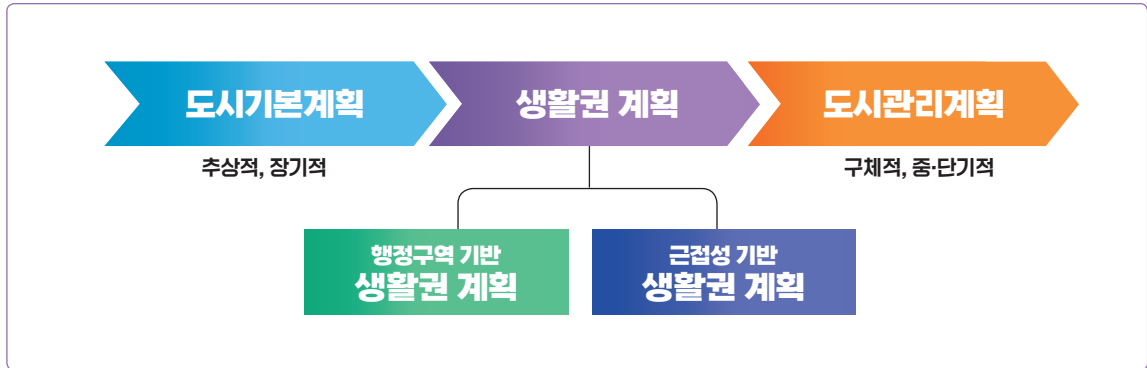


Figure 1
도시계획에서 보행 기반
생활권계획의 위상

거의 없는 지역이 존재하는 반면, 행정구역이 다르다는 이유로 긴밀하게 연결된 생활권이 분절되기도 했다. 이처럼 실제 수요와 무관한 행정구역 위주의 탑다운^{top-down} 계획은 시민들이 꼭 필요로 하는 수요를 담아내지 못하고 계획의 실효성을 떨어뜨리는 주요 원인이 되곤 했다.

보행 기반 근접성에 대한 기존의 논의들

근접성^{Proximity}이 의미하는 바대로 본 고의 생활권 계획의 핵심 개념은 시간 도시주의^{Chrono-Urbanism}에 기반한 보행 생활권 계획^{Walkable Living Area}을 지원하는 개념이다. 이 개념은 주민들이 일상적인 주거 공간에서 생활에 필요한 서비스를 보행이나 자전거 등 신체활동을 통해 도달 가능한 거리 내(N 분 이내)에서 얻을 수 있도록 하는 것이다.

여기서 보행, 즉 워커빌리티^{Walkability}는 도시 디자인 및 계획, 공중 보건, 기후 변화, 경제 생산성, 사회 형평성 등 여러 분야의 교차점에서 핵심적인 역할을 수행해 왔다. 워커빌리티는 종종 도시의 DMA^{Density, Mix, Access}²⁾라는 복잡한 시너지의 산물로 이해된다(Dovey & Pafka, 2019).

- 2)
- a. 밀도(Density): 더 많은 사람과 장소를 보행 가능한 거리에 집중시켜 거리를 단축
 - b. 기능적 혼합(Functional Mix): 거주(Live), 업무(Work), 방문(Visit)과 같은 활동 간의 혼합과 시너지를 생성하여 더 넓은 범위의 보행 가능한 목적지를 만들
 - c. 접근성(Access): 보행자들이 그들 사이를 이동하는 통로를 중재하며 흐름을 조절

워커빌리티는 단순히 실제로 걷는 활동Walking의 수준이 아니라, 도시 형태에 내재된 걷기를 가능하게 하는 역량Capacity으로 이해되어야 한다. 워커빌리티에 대한 정의는 매우 다양하며, 단순히 통행 가능성Traversable, 가까운 거리Compact/Close, 안전성Safe과 같은 기본적인 물리적 환경(수단)을 의미하기도 한다. 그러나 워커빌리티 논의는 이에서 더 나아가 지속 가능한 교통 옵션 제공, 운동 유도, 활기차고 사교적인 장소Lively and Sociable를 만드는 결과Outcome를 의미하기도 한다(Forsyth, 2015).

이처럼 워커빌리티는 다차원적 개념이며, 그 측정 기준에 대한 학제 간의 수렴점과 모순점이 동시에 존재하며, 보도 접근성, 가로망 연결성, 토지 이용 밀도와 다양성 등 여러 요소에서 수렴되는 지점을 포함한다고 분석했다(Lo, 2009; Dovey & Pafka, 2019).

해외 도시들의 사례와 빅데이터/AI 활용 시사점

세계 대도시권들은 n분 도시n-minute city 또는 일상생활권역과 같은 생활권 계획 관련 제도를 적극적으로 추진하고 있으며, 핵심은 생활 서비스 시설의 근거리성 강화 및 서비스 거리 단축이다.

해외 사례들은 계획 수립 시 행정구역 경계를 넘어선 주민 생활 패턴을 반영하기 위한 데이터 수집 및 구축이 필수적이며, 특히 초고령사회에 대응하여 연령 계층별 인구 정보 구축과 건강·의료·복지 인프라 접근성 분석 방법의 도입이 필요함을 시사한다(일본).

바르셀로나 슈퍼컴퓨팅센터BSC-CNS는 마레노스트룸MareNostrum 슈퍼컴퓨터를 활용해 CALIOPE-Urban 등 고해상도 대기질 모델링과 도시 디지털 트윈 분석을 수행하고, BSC-CNS 연구진들은 슈퍼블록과 같이 특정 지역의 차량 통행 제한에 따른 대기 오염 분석 등 빅데이터/AI를 적극적으로 활용하고 있다(Cheah, 2024; Rodriguez et al., 2022). 나아가, 프랑스 파리의 도시 내 양질의 사회적 삶 지수HQVS 측정을 위한 데이터베이스 구축, 호주 멜버른의 데이터 기반 평가 및 점검 도구 제공 등의 사례는 데이터 기반의 정교한 진단

도시	개념/계획	주요 내용	빅데이터 시사점
프랑스 파리	15분 도시	일상생활에 필요한 6대 필수 사회적 기능(주거, 업무, 공급, 보건, 학습, 여가) 서비스에 15분 이내 접근.	양질의 사회적 HQVS 지표 측정을 위한 6대 필수 사회적 기능 분야 데이터 베이스 구축
호주 멜버른	20분 근린생활권	보행, 자전거, 대중교통 이동 환경을 활용하여 근린 활동센터 중심으로 고밀 개발.	계획가 및 공무원의 20분 근린생활권 계획을 지원하기 위한 5종의 데이터 기반 평가 및 점검 도구 제공
콜롬비아 보고타	바리오스 비탈레스 (Barrios Vitales)	도시 활성화를 위한 슈퍼블록 모델, 차량 통행 최소화, 보행자 및 자전거 우선 계획.	생활권 내외 도로 통행량 변화 분석 도구를 통해 보행 환경 조성 및 운영 성과 평가 및 모니터링
일본	지역포괄케어시스템	2025년을 목표로 의료, 간호, 예방, 거주, 생활 지원 등 필요 서비스가 30분 내 제공되는 일상생활 권역 구축(중학교 학군 단위).	초고령사회 대응을 위해 연령 계층별 인구 정보 구축 및 건강·의료·복지 관련 생활 인프라 접근성 분석 방법 도입
스페인 바르셀로나	슈퍼블록	여러 개의 도시 블록을 묶어 하나의 '슈퍼블록'으로 지정하고, 내부 도로의 차량 통행을 최소화하여 보행자와 자전거 이용자 중심의 녹지 및 커뮤니티 공간으로 재편	빅데이터 기반 대규모 시뮬레이션에 마레노스트럼 슈퍼컴퓨터를 적극적으로 활용

Table 1
n분 도시 해외 사례들

및 평가 지원 시스템이 필수적임을 시사하고 있다(표 1).

긴밀하게 연결된 커뮤니티의 식별: 일상 생활권 구획 모듈

분석 방법

이러한 고도화된 AI 기반 계획 지원 모듈의 개발과 확산에는 오픈소스 기술, 특히 오픈소스 공간정보 소프트웨어인 포스포지[FOSS4G, Free and Open Source Software for Geospatial]가 핵심적인 역할을 한다. 오픈소스 기술의 중요성은 단순히 비용 효율성을 넘어, 현대 도시계획의 목표와 철학적으로 일치한다

는 데 있다. FOSS4G 기술은 이러한 복합 모빌리티 접근성을 측정하고 도시 편의 시설 배치를 지원하는 도구를 개발하는 데 활용될 수 있다(Choi et al., 2023). 파이썬Python을 중심으로 한 공간 데이터 처리Geopandas, 네트워크 분석NetworkX, 보행 네트워크 접근성 분석Pandana과 같은 라이브러리들은 복잡한 도시 분석의 기술적 장벽을 낮춘다. 이러한 기술의 개방성은 계획 과정 자체를 민주화하고 소규모 지자체, 학계, 시민 단체들도 대규모 기관과 동일한 강력한 분석 도구를 활용할 수 있게 되어, 계획 과정의 투명성을 강화하고 증거에 기반한 공론의 장을 활성화하는 원동력이 된다.

커뮤니티 디텍션 알고리즘

네트워크 분석에서 ‘커뮤니티 디텍션Community Detection’이란, 전체 네트워크 내에서 ‘서로 긴밀하게 연결된 노드(지역) 그룹’을 하나의 ‘커뮤니티’ 또는 ‘생활권’으로 식별하는 기법이다. 이는 마치 소셜 네트워크에서 친구 관계가 밀집된 그룹을 찾아내는 것과 유사한 원리이다. 도시 공간 분석에서는 통행량이 많은 지역들을 하나의 생활권으로 묶는 데 이 기법이 활용된다.

주요 알고리즘으로는 루벵Louvain과 인포맵Infomap 알고리즘이 있다(표 2). 이 알고리즘들은 격자(노드) 간의 통행량과 같은 ‘연결 강도link weight’를 기반으로 작동한다. 전체 네트워크를 여러 개의 커뮤니티로 나누었을 때, 커뮤니티 내부의 연결은 최대화하고 커뮤니티 간의 연결은 최소화하는 ‘모듈성

Table 2
커뮤니티 디텍션 알고리즘

루벵(Louvain) 알고리즘	인포맵(Infomap) 알고리즘
	
모듈러리티를 극대화하기 위해 무방향성 가중 네트워크를 계층적으로 병합하며 빠르게 커뮤니티를 탐색하는 알고리즘	랜덤 워커의 이동 경로를 정보 이론적으로 압축하여 최소 길이로 표현 가능한 커뮤니티 구조를 찾는 알고리즘

Modularity'을 기준으로 최적의 생활권 경계를 도출한다. 도시계획의 관점에서 모듈성 점수가 높다는 것은, 주민들이 대부분의 일상 통행을 도출된 경계 내에서 수행하고, 다른 지역으로의 이동은 상대적으로 적은 '자족적인 커뮤니티'를 알고리즘이 성공적으로 식별했음을 의미한다. 이는 데이터 기반으로 응집력 있는 동네의 존재를 입증하는 결과를 제공한다.

두 알고리즘은 효과적이지만 서로 다른 유형의 이동 데이터에 적합하다. 루벵 알고리즘은 일반적으로 무방향성 네트워크(예: 일반적인 근접성 및 상호작용)에 적용되는 반면, 인포맵 알고리즘은 방향성 네트워크(예: 일방통행로나 출퇴근 흐름)에 탁월하여, 특정 계획 문제에 따라 알고리즘 선택이 달라진다.

분석 프로세스 및 시각화

데이터 가공부터 생활권 도출까지의 전체 분석 프로세스는 다음과 같은 3단계로 구성된다(표 3, 그림 2).

첫째, 데이터 구축 및 통행 네트워크 생성 단계이다. 인구, 시설, 이동, 공간 등 다양한 빅데이터를 100m 격자 단위로 통합하고, 실제 도로망을 기반으로 각 격자 쌍^{OD} 사이의 최단 통행 시간을 계산한 '통행 시간 매트릭스'를 구축한다(그림 2.a). 둘째, 잠재적 생활권 도출 단계이다. 구축된 통행 네트워크에 루벵과 같은 커뮤니티 디텍션 알고리즘을 적용한다. 이 알고리즘은 통행량이 밀집된 격자들을 중심으로 군집을 형성하여 데이터에 기반한 잠재적 생활권(권역)을 객관적으로 도출한다(그림 2.b). 셋째, 경계 검증 및 시사점 도출 단계이다. IoU(Intersection over Union) 방법론 등을 활용하여, 도출된 데이터 기반 생활권과 기존의 행정구역 기반 생활권의 경계 일치 정도를 정량적으로 비교 및 검증하고, 그 분석 결과를 바탕으로 계획 수립을 위한 시사점을 도출한다.

이처럼 빅데이터와 네트워크 분석을 통해 객관적으로 구획된 생활권은 단순히 경계를 새로 긋는 행위를 넘어선다. 이는 인구 감소와 고령화가 심화되는 시대에 한정된 공공자원을 어디에, 어떻게 배분해야 하는지에 대한 중요



a 최단 통행시간 분석에 의한 OD 생성



b 커뮤니티 디텍션에 의한 생활권 구획

Figure 2
커뮤니티 디텍션에 의한
생활권 구획 과정 시각화

한 근거를 제시한다. 즉, ‘어디까지가 우리 동네인가’라는 질문에 답하는 동시에, ‘우리 동네에 가장 필요한 서비스 시설은 무엇이며, 어디에 위치해야 하는가’라는 다음 질문으로 자연스럽게 이어진다.

근접성 기반 생활권 구획

보행에 기반한 근접성을 통한 구획

새로운 생활권 계획은 보행 등 개인의 생활 환경에서 도시 기능을 충족할 수 있는 일상생활 서비스가 가능하도록 공간을 정비하는 것을 목표로 한다. 보행 기반 생활권과 같은 지역생활권 단위에서 복잡한 행태 기반의 예측 및 추론 모델을 위해서는 AI 알고리즘 활용이 효과적이다(그림 3.a,b).

대중교통을 고려한 구획 설정의 확장

보행 생활권 계획 지원에서는 보행(walkability)뿐만 아니라 대중교통 접근성(transit accessibility)을 모두 포함하여 근접성의 설계를 고려할 필요가 있다.

- 보행 접근성: 보행자 친화적 도시 인프라(보도, 횡단보도 등)와 주민 분포를

답은 데이터베이스 분석

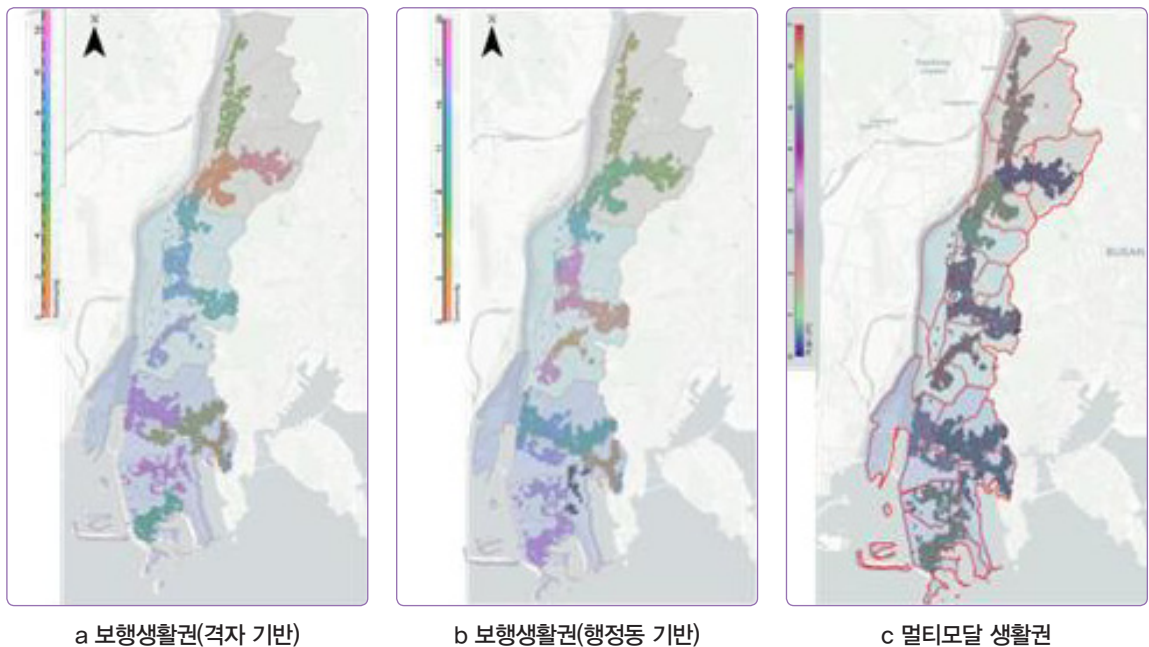
- **자전거 접근성:** 자전거 도로 등을 고려하여 보행과 동일한 데이터를 활용하여 측정
- **대중교통 접근성:** 교통 기관 데이터(빈도, 노선)를 사용하여 측정. 이 분석 과정에는 지하철/버스 시간대별 승객수, 교통수단 이동 데이터OD 등이 활용. 특히, 이러한 멀티모달 네트워크 분석 및 시뮬레이션을 지원하기 위해 GTFS(General Transit Feed Specification)와 같은 표준화된 교통 기관 데이터 형식이 활용

보행 생활권 계획 지원 모듈에서 대중교통을 고려한 구획 설정의 확장은 보행 접근성이 포괄하지 못하는 지역(빈 공간)을 연결하는 데 중점을 둔다. 서비스 구역(Service Area)의 확장은 마을 버스와 같은 대중교통 수단과 연계하여 이루어지며, 이는 특히 고령 인구를 포함한 다양한 연령 계층이 생활에 필요

Figure 3

커뮤니티 디렉선에 의한
부산 강동생활권
(북구, 사상구, 사하구)
구획 사례(서울연구원, 2025)

- 거주인구만 포함된 격자를 이용해 생활권을 분석한 결과 산지, 하천, 공단 등 주거지역이 아닌 공간이 제외되어 실질적인 생활권을 명확하게 식별할 수 있다.



한 서비스에 접근할 수 있도록 근접성을 보완하고 향상시키기 위함이다(그림 3.c).

효율성과 형평성 사이: 인구감소 대응형 생활서비스 시설 입지 모듈

전략적 중요성 분석

인구 감소와 고령화라는 거대한 사회적 변화 속에서 도시가 직면한 가장 큰 딜레마는 ‘어떻게 한정된 재원으로 모든 시민에게 필수적인 생활서비스를 효율적이면서도 공평하게 제공할 것인가’이다. 과거처럼 모든 지역에 동일한 시설을 공급하는 것은 더 이상 지속 가능하지 않다. 이제는 데이터 기반의 정교한 분석을 통해 서비스가 가장 필요한 곳을 찾아내고, 최소한의 투자로 최대한의 효과를 내는 전략적 접근이 필수적이다. AI 기반의 시설 입지 최적화 모델은 이러한 효율성(경제성)과 형평성 사이의 균형점을 찾는 데 강력한 도구를 제공하며, 직관이 아닌 증거에 기반한 합리적 의사결정을 가능하게 한다.

생활서비스 시설의 정의와 범위

본 고에서 정의하는 생활서비스 시설은 시민의 일상생활과 삶의 질에 필수적인 공공 및 민간 차원의 편익 증진 시설을 의미하며, 이는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」상의 기반 시설, 「도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법」상의 기초생활인프라, 그리고 정부 정책에서 통용되는 생활 SOC(사회간접자본) 개념을 포괄한다. 본 연구에서 제안하는 AI 기반 생활권계획 지원 시스템은 기존의 도시계획시설 범주를 넘어 이러한 어반 어메니티(Urban Amenities) 개념을 포함하며, 이는 시민들이 보행 기반 일상 생활권 내에서 근거리로 접근 가

능한 생활 편의 시설을 중심으로 구성된다.

어반 어메니티는 도시 편의 시설 또는 생활 편의 시설(living convenience facilities)을 의미하는데, 이 지원 모듈의 핵심 목표는 위커빌리티 평가와 더불어 도시 편의 시설의 위치 분포 및 재분배를 지원하는 것이다. 이러한 시설들이 시민들이 쉽게 접근 가능한 영역에 배치되도록 지원하며, 보행 접근성뿐만 아니라 대중교통 접근성을 고려하여 측정하고 분배할 수 있다.

특히, 전통적인 도시계획시설(Urban Planning Facility)은 재배치가 곤란하고 설치 시 대규모 용지 확보가 필요한 초등학교, 체육시설, 공원 등의 시설이 많아 보행 기반 일상 생활권에 즉시 반영되기 어려운 한계를 지닌다. 이러한 점을 고려하여, 시설 입지 모듈은 실제 주민들의 일상생활에 필수적인 비도시계획 시설인 소매점, 의원, 약국, 어린이집, 경로당, 노인복지시설 등까지 포함하여 생활권 내 주요 시설의 입지 및 접근성을 분석한다. 본 고에서는 부산의 강동생활권을 대상으로 교육, 학습, 돌봄, 의료, 체육, 휴식 및 교통시설에 대해서 세부시설을 도출하였다.

접근성 분석의 고도화: 2SFCA 모델

단순히 가장 가까운 시설까지의 직선거리나 도보 시간만을 측정하는 접근성 분석 방식은 중요한 현실을 간과한다. 시설이 아무리 가까이 있어도 이용자가 너무 많아 서비스를 제대로 받기 어렵거나, 반대로 시설의 수용 능력이 충분치 않다면 실제 체감 접근성은 낮을 수밖에 없다. 이러한 한계를 극복하기 위해 2SFCA(Two-Step Floating Catchment Area) 모델이 활용된다. 이 모델은 시설의 공급량(용량)과 권역 내 수요(인구)라는 두 가지 핵심 변수를 동시에 고려하여 실제 시민이 체감하는 접근성을 훨씬 더 정밀하게 측정한다.

시 기반 시설 입지 최적화 모델 비교

공간 최적화 문제는 다양한 알고리즘으로 접근할 수 있으나, 도시계획이라는 응용 맥락, 정책 결정의 투명성과 설명 가능성, 수학적 해의 신뢰성이라는 측

면에서 선형계획법이 가장 타당하고 실용적인 선택으로 판단된다.

딥러닝과 휴리스틱 기반 방법은 복잡한 문제에 유연하게 대응할 수 있지만, 최적성 보장과 설명 가능성 측면에서 한계가 있는 반면, 선형계획법은 해의 최적성을 수학적으로 보장하며 결과 해석이 명확해 정책 결정에 적합하기 때문이다(표 3). 특히 도시계획과 같이 공공성과 투명성이 요구되는 문제에서는 선형계획법의 신뢰성과 설명 가능성이 큰 장점으로 작용한다.

본 고의 보행 생활권 계획 지원 시스템 개발 연구에서 생활 서비스 시설의 효율적인 배치 및 재배치 계획안을 도출하는 데 사용되는 핵심 방법론은 선형계획법(Linear Programming, LP)에 기반한 최적화 모델이다.

이러한 AI 기반 시설 배치 최적화 모델은 도시가 직면한 경제성(효율성)과 형평성(공평성)이라는 상충될 수 있는 두 가지 목표 사이의 균형점을 찾는 데 강력한 도구를 제공하며, 계획가가 직관이 아닌 증거에 기반한 합리적인 의사결정을 내릴 수 있도록 지원한다. 이 모델들은 단순히 시설의 위치를 찾는

Table 3
공간 최적화 문제 해결 방안

Source: 최진무, 채한성, 황수연(2025)

해결 접근 방식	특징	주요 알고리즘 및 도구	비고
선형계획법 (수학적 계획법)	• 수학적으로 엄밀한 최적화 문제 풀이 방식 • 정확한 수학 모델 필요	• Gurobi (상용, 강력한 성능) • CPLEX (IBM 개발, 상용) • PuLP (Python 오픈소스 라이브러리)	• 문제 구조가 명확하고 선형 제약 조건이 잘 정의된 경우 적합 • 연구에서 실제 활용
휴리스틱 및 메타휴리스틱	• 최적 해를 보장하진 않지만 제한된 시간/자원에서 실용적 해 탐색 • 가능복잡한 현실 문제에 유연하게 대응	• GA (유전 알고리즘) • SA (시뮬레이티드 어닐링) • TS (타부 서치)	• 다양한 문제에 적용 가능 • 해 탐색의 다양성 보장
딥러닝 및 강화학습 기반	• 복잡한 최적화 과정을 신경망이 학습하여 의사결정 모델화 • 강화학습으로 탐색 및 최적화	• REINFORCE • SpoNet • ReCovNet	• MCLP(최대 커버리지 위치 문제) 등 복잡 문제 적용 • 탐색 공간이 넓거나 규칙성이 약할 때 유리

모델 유형	시설 집약형 모델 (효율성 중심)	접근성 최대화 모델 (형평성 중심)
주요 목표	총 이동 거리, 거점 및 신규 시설의 가중 합을 최소화하여 운영 효율 극대화	기존 접근성 취약 지역의 서비스 접근성 향상 극대화
적용 대상	인구 감소를 겪는 중소도시	인구가 유지되거나 증가하는 대도시
핵심 전략	생활시설 밀집 지역을 중심으로 거점을 설정하고, 인접 거점을 통합하여 운영 효율성 향상	접근성이 낮은 지역에 신규 시설을 우선적으로 배치하여 서비스 소외 지역을 최소화하고, 지역 전체의 접근성 총합을 최대화
결정 변수	최소한의 비용으로 수요를 충족시키는 신규 시설의 개수와 입지	정해진 예산 또는 시설 수 내에서 접근성 향상 효과가 가장 큰 신규 시설의 입지

Table 4

**선형계획법 기반
생활서비스 시설 최적화 입지
모델 비교**

것을 넘어, 인구 감소와 고령화가 심화되는 시대에 한정된 공공자원을 어디에 어떻게 배분해야 하는지에 대한 중요한 근거를 제시한다. 도시의 인구 구조와 발전 방향에 따라 시설 배치 전략은 달라져야 한다. AI 최적화 모델은 ‘효율성’과 ‘형평성’이라는 상충될 수 있는 두 가지 목표에 따라 각기 다른 해법을 제시할 수 있다(표 4).

이와 같은 접근성 분석 및 시설 배치 모델은 도시계획가에게 과거의 선례에 기반한 계획에서 벗어나, 미래를 시뮬레이션하는 계획으로의 전환을 가능하게 한다. 이 모델들을 통해 계획가는 자원을 투입하기 전에 효율성과 형평성 등 상충하는 사회적 가치들 간의 상충 관계를 정량적으로 비교할 수 있다. 이는 재정적 제약이 심화되는 시대에 보다 방어 가능하고 투명한 정책 결정을 지원하는 강력한 증거 기반을 제공하며, 나아가 도시계획 수립 프로세스 자체를 혁신하는 시작점이 된다(그림 4).



Figure 4
생활서비스 시설 입지 및
재입지 과정
(접근성 최대화 모델)

인구구조 변화에 따른 장래의 커뮤니티 생활권

끝으로 이러한 AI 기술이 분석 도구를 넘어 계획 수립의 전 과정에서 어떻게 ‘학습’과 ‘추론’의 파트너로 기능하며 도시계획의 미래를 바꾸어 놓을지 그 비전을 구체적으로 살펴본다.

학습을 통한 장래 생활권 변화의 추론

AI 기반 생활권계획 지원 시스템은 미래 사회에 대응하기 위한 과학적이고 객관적인 AI 생활권계획 기술을 개발하는 데 목표를 둔다. AI 기술을 활용하여 도시 변화 예측, 분석 및 관리가 가능하며, 이는 데이터 기반 알고리즘의 예측과 추론 과정을 통해 보행 기반의 일상 생활권 계획을 지원한다. 구체적으로 생활권역을 설정하는 과정에서는 커뮤니티 디텍션 알고리즘이 활용되며, 이 알고리즘은 네트워크 구조와 적용 방식에 따라 서로 다른 생활권 변화 결과를 도출할 수 있다. 따라서 모듈은 단순히 단일 결과를 제시하는 것이 아

나라, 반복적인 구획 실행을 통해 최적의 생활권 구획을 학습하고 제시하는 방식으로 작동한다.

이러한 학습 및 추론 과정은 계획가가 다양한 대안^{alternatives}을 생성하고 비교하는 과정을 통해, 해당 대안들로부터 바람직한 생활권 및 생활서비스 시설 옵션을 학습할 수 있도록 지원한다. 궁극적으로 이는 시민의 수요가 반영된 계획 현안을 공유·검토하고 반영할 수 있도록, 반복적인 대안 생성 및 평가 과정을 지원하는 것을 목표로 한다.

생활서비스 시설은 경제 활동에서 돌봄 활동 중심으로 변화해야

인구 감소 및 고령화와 같은 사회적 변화에 대응하기 위해서는 단순한 시설 공급을 넘어선 전략적인 배치 및 설정이 필요하다. 장래의 커뮤니티 생활권은 미래 인구 구조의 변화를 반영해야 하며, 이에 따라 생활 서비스 시설의 초점은 경제생활의 중심에서 돌봄의 중심으로 변화해야 한다. 특히 일본의 지역포괄케어시스템^{Community-based Integrated Care System}에서 강조되듯이, 노인복지시설·요양시설· 경로당·어린이집·돌봄센터·가족센터 등 돌봄 관련 시설의 입지 적정화 계획과 접근성 분석이 중요해진다. AI 기반 모듈은 연령대별 근접 필요 시설 수의 충족/미달 여부를 진단하는 기능을 포함하여, 돌봄 서비스의 취약 지역을 식별하고 지원하도록 설계되어야 한다.

생활권계획 지원 시스템은 이러한 돌봄 중심의 전략적 시설 입지 및 재편을 위해 선형계획법^{LP} 기반의 최적화 모델을 활용하였다. 먼저, 시설 입지 분석의 기초 자료인 공간 데이터는 그리드 단위 인구 분포, 격자 간 이동량^{OD}, 그리고 공간 내 기존 시설의 위치 및 속성 정보를 포함한 시설 정보 등이 수집되며, 모델에서 판단 기준으로 작용하는 의사결정 패러미터는 폐지 후보 시설의 특성 및 이용률, 신규 설치 후보지 및 예상 수요, 시설 용도 전환 가능성, 접근성 변화 등의 정보를 포함한다. 이 데이터를 기반으로 현황 분석을 진행하고, 지역 특성에 맞는 최적화 모델, 인구 감소 중소도시를 대상으로 효율성 중심의 시설 집약형 모델이나 대도시를 대상으로 형평성 중심의 접근

성 최대화 모델을 실행하여 폐지, 신규 입지, 용도 전환 등의 재편 전략을 결정할 수 있을 것이다.

AI를 활용한 보행 기반 일상 생활권 계획 지원 시스템은 미래 인구 구조의 변화를 반영한 계획 대안을 비교하고, 생활권역 재설정, 인구 재배분/시설 규모 조정, 서비스 재배치 등의 기능을 통해 이러한 장래 변화에 대응할 수 있도록 지원해야 한다. 또한 인구 구조 변화에 대응하여 돌봄 시설을 중심으로 한 생활권 재편 전략이 필요함을 정량적으로 제시하고 지원해야 할 것이다.

Ⅰ References Ⅰ

1. 김규혁, 이동엽, 김동호, 원민수, 홍성민, & 송태진. 2021. 모바일 생활 통행데이터 기반 도시 인구 규모별 생활권 분류 및 특성 파악. 대한교통학회지, 395, 662-679.
2. 서울연구원. 2025. 부산강동생활권 실증방안. 빅데이터기반 인공지능 도시계획연구단 내부설명자료.
3. 서울기술연구원. 2022. 빅데이터 기반 인공지능AI을 활용한 도시계획: AI 기반 보행 생활권 계획 수립 지원.
4. 송혜승, & 엄선용. 2021. 생활인프라 도보 거점 배치 모델 구축과 평가: 서울시 도봉구를 대상으로. 국토계획, 56(4), 74-87.
5. 여지호, 박지영, 엄선용, 최준영, & 송혜승. 2023. 도시 빅데이터 기반의 생활권 도출 연구: 15분단위 도보 생활권을 중심으로. 대한교통학회 학술대회지, 74-74.
6. 이솔, 여지호, 엄선용, 최수범, 이정훈, & 최준영. 2025. 멀티모달 모빌리티 기반 도시 연결성 분석을 통한 부산 강동생활권 구획 연구. 2025 한국공간정보학회 춘계학술대회.

7. 최진무, 채한성, & 황수연. 2025. 공간 최적화 문제 해결을 위한 딥러닝 활용. 서울연구원-경희대 세미나 자료.
8. Boeing, G. 2017. OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks. *Computers, Environment and Urban Systems*, 65, 126 – 139.
9. Cheah, J. 2024. Barcelona's growing urban AI ecosystem. *The Urban Prompt*. <https://www.theurbanprompt.com/p/barcelonas-urban-ai>
10. Choi, J. Y., Choi, S. B., Lee, J. H., Kim, T. H., & Im, W. S. 2023. Designing a FOSS4G-based walkable living area planning support module to assist the Korean 15-minute city. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 19 – 24. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W7-2023-19-2023>
11. Dovey, K., & Pafka, E. 2019. What is walkability? The urban DMA. *Urban Studies*, 57(1), 93 – 108.
12. Forsyth, A. 2015. What is a walkable place? The walkability debate in urban design. *Urban Design International*, 20(4), 274 – 292.
13. Lo, R. H. 2009. Walkability: What is it? *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 2(2), 145 – 166.
14. Rodriguez-Rey, D., Guevara, M., Linares, M. P., Casanovas, J., Armengol, J. M., Benavides, J., ... & García-Pando, C. P. 2022. To what extent can the traffic restriction policies applied in Barcelona city improve its air quality? *Science of the Total Environment*, 807, 150743.
15. World Bank. 2021. *Bogota low-carbon vital neighborhoods ASA - Case study: Bogota's vital neighborhoods strategy (English)*. Washington, D.C.: World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/099060123135042769>

Using The Gaia-X Trust Framework To Automate Trust In Hetero- genous Large Environments

Gaia-X 신뢰 프레임워크를 활용한 복합 대규모 환경의 신뢰 자동화

크리스토프 F. 스트르나들

Christoph F. Strnadl



크리스토프 F. 스트르나들 박사는 Gaia-X 유럽 데이터 및 클라우드 협회의 CTOChief Technology Officer이다. 시스템 아키텍처, 혁신, 조직 관리 분야에서 폭넓은 경험을 갖춘 저명한 기술 리더로, 비즈니스와 IT 간의 간극을 효율적으로 연결하는 전략을 주도해 왔다. 물리학을 전공한 그는 Atos에서 10년간 전략 컨설턴트 겸 비즈니스 매니저로 재직했으며, 이후 2005년 Software AG에 합류해 부 CTO를 포함한 핵심 기술 리더십 역할을 수행하며 유럽과 글로벌 시장에서 기술 전략 수립과 제품 혁신을 이끌었다. Gaia-X AISBL에 합류하기 전에는 베를린 블록체인/DLT 협회인 IOTA Foundation에서 기술 도입 부서를 설립하고 운영을 총괄했다. 그는 BPM, 데이터 수익화, 데이터 플랫폼, 그리고 IT 법률 관련 서적들의 공동 저자이자 기고가이기도 하다.

E-mail: christoph.strnadl@gaia-x.eu

울리히 알러

Ulrich Ahle



울리히 알러는 Gaia-X 유럽 데이터 및 클라우드 협회의 CEOChief Executive Officer이다. IT 및 제조 부문에서 30년 이상 경력을 쌓은 베테랑 임원으로, 이전에는 FIWARE 재단의 CEO로 재직하며 스마트시티 및 산업 데이터 영역에서 오픈소스 기반 디지털 생태계 구축을 선도했다. Gaia-X에서 그는 유럽 전역의 디지털 주권과 신뢰 기반 데이터 인프라 구축을 이끄는 범유럽 전략을 총괄하고 있으며, 공공·민간 이해관계자 간 협력 촉진과 유럽 디지털 경제 비전 실현에 핵심 역할을 수행하고 있다.

E-mail: ulrich.ahle@gaia-x.eu

● 초록 ●

도시가 디지털 생태계로 진화함에 따라, 데이터는 핵심 사회 기반시설로 자리잡고 있다. 공공 서비스부터 교통 시스템, 주거, 에너지, 시민 참여에 이르기까지, 데이터가 수집되고 공유되며 활용되는 방식에 대한 신뢰는 스마트하고 안전하며 지속 가능한 도시를 구축하는 근간이 된다.

본고는 기존의 스마트시티 플랫폼(대개 독립적인 단독체계로 운영되는)에서 벗어나, 개방형 표준과 신뢰 메커니즘을 기반으로 하는 상호 운용 가능한 연합형 생태계로의 전환 과정을 고찰하고 있다. Gaia-X 신뢰 프레임워크는 투명성, 규정 준수 및 디지털 주권 확보를 보장하는, 복잡한 다중 이해관계 환경 전반에 걸쳐 신뢰를 자동화하고 확장할 수 있는 조합형 접근법을 제공한다.

핵심은 이 프레임워크가 스마트 도시에 실제로 어떻게 적용되는지에 있다. 독일 에텔른Etteln 마을에 초점을 맞춘 Community-X 프로젝트는 가장 디지털화된 마을로서, 지자체 디지털 혁신의 Gaia-X 선도사례가 되었다. 이 프로젝트는 작은 공동체조차도 Gaia-X 아키텍처를 활용하여 공공 시설, 디지털 인프라, 시민 서비스 전반에 걸쳐 데이터를 안전하고 효율적이며 투명하게 통합 운영할 수 있음을 실증하고 있다.

유럽 전역에서 상호 운용 가능하고 신뢰할 수 있으며 데이터 주권이 보장된 디지털 인프라에 대한 수요가 증대하는 가운데, 본고는 Gaia-X가 확장 가능한 스마트시티 생태계를 위한 토대를 어떻게 제공하는지에 대해 논하려 한다. 이는 Gaia-X가 의미론적 상호 운용성과 규정 준수 자동화를 다룰 뿐만 아니라, 다양한 규모의 도시들이 유럽 데이터 경제에 참여할 기회를 제공하기 때문이다.

키워드

신뢰 메커니즘, 연합형 신뢰, 소규모 환경, 디지털 주권, 스마트시티 생태계

● ABSTRACT ●

As cities evolve into digital ecosystems, data becomes the most valuable infrastructure. From public services to traffic systems, housing, energy, and citizen engagement, trust in how data is collected, shared, and acted upon is foundational to building smart, secure, and sustainable cities.

This article explores the transition from traditional smart city platforms (often siloed and proprietary) to interoperable, federated ecosystems powered by open standards and trust mechanisms. The Gaia-X Trust Framework offers a scalable and composable approach to automating trust across complex, multi-stakeholder environments, ensuring transparency, compliance, and sovereignty.

A core focus is on how this framework applies not just to smart cities in theory, but in practice. The Community-X project focused on the town of Etteln in Germany, the most digitalized town in the world thereof, has become a Gaia-X Lighthouse example for municipal digital innovation. It showcases how even small communities can use the Gaia-X architecture to federate data across public utilities, digital infrastructure, and citizen services. Safely, efficiently, and transparently.

As the demand for interoperable, trustworthy, and sovereign digital infrastructure grows across Europe, this article argues that Gaia-X provides the foundation for scalable smart city ecosystems. Not only does it address semantic interoperability and compliance automation, but it also offers a path for cities of all sizes to join the European data economy. The future of smart cities lies in trust. A future that is operationalised, automated, and governed by the rules of the communities they serve. Gaia-X turns this vision into reality.

KEYWORDS

trust mechanism, federated trust, scale down, digital sovereignty, smart city ecosystem

스마트시티는 더 이상 정책 수립 과정상의 부차적 논의 대상이나 먼 미래의 비전이 아니다. 연결된 인프라, 데이터 기반 서비스, 실시간 도시 운영을 통해 이미 현실로 구현되고 있다. 디지털 트윈digital twin과 서비스형 모빌리티Mobility-as-a-Service, MaaS부터 이헬스eHealth, 친환경 에너지 시스템, 참여형 플랫폼에 이르기까지, 유럽 전역의 도시 공간은 촘촘하게 연결되어 있으며 디지털 기능에 대한 의존성도 점차 높아지고 있다. 그러나 핵심 디지털 인프라라는 여전히 통합과는 거리가 멀다. 단편적인 구조, 칸막이식 시스템, 그리고 상호 연동성의 결여는 응집력 있고 효율적이며 안전한 디지털 생태계의 발전을 지속적으로 저해하고 있다.

기존 스마트시티 이니셔티브의 대부분은 독립적인 프로젝트로 진행되었으며, 확장성이 제한된 형태로 개발되거나 폐쇄형 아키텍처에 의존하는 경향이 있었다. 그 결과, 데이터는 풍부하지만 접근성이 낮으며, 혁신이 가능하더라도 공유되지 못하는 도시 환경이 조성되었다. 공통 표준과 연합형 신뢰 메커니즘이 부재할 경우, 각 스마트 서비스는 불필요한 중복 개발을 반복하게 되며, 이는 비용을 상승시키고 복잡성을 가중시키며 공급자와 사용자 간 데이터 비대칭성을 심화시키는 결과를 초래한다.

스마트시티로 전환하기 위해, 도시는 반드시 디지털 생태계로 진화해야 한다. 이는 단순히 새로운 기술을 도입하는 것을 넘어, 에너지와 모빌리티부터 건강, 안전, 시민 참여에 이르기까지 다양한 영역에서 상호연결되고 자율적으로 운영되며 신뢰할 수 있는 서비스 네트워크를 구축하는 것을 의미한다. 이러한 생태계는 공공 기관, 민간 기업, 연구 기관, 또는 일반 시민에 이르기까지 모든 참여자 간의 공유된 의미 체계, 분산형 거버넌스, 그리고 검증 가능한 신뢰를 기반으로 구축되어야 한다.

결정적으로, 이러한 전환은 단순히 기술적 과제에 국한되지 않으며, 정치 경제적 차원의 과제이기도 하다. 특히 디지털 거버넌스에 대한 대중의 신뢰가 저하되고 있는 시점에서, 디지털 인프라의 관리 방식, 재정 조달 및 확장에 대한 재고가 요구된다. 감시에 대한 우려부터 개인 데이터와 AI의 불투명한 활용에 이르기까지, 시민들은 도시 데이터 활용에 있어 투명성, 공정성, 책임성을 강력히 추구하고 있다. 따라서 스마트시티 생태계는 기술적으로 진보적이어야 할 뿐만 아니라, 민주적으로 운영되고 유럽의 가치와도 부합해야 한다.

바로 이러한 지점에서 Gaia-X 신뢰 프레임워크는 또 하나의 특정 기업 솔루션^{vendor solution}이 아니라, 대규모 데이터 공유 및 서비스 상호 운용성을 지원하도록 설계된 개방형, 확장형, 연합형 아키텍처로서 그 중요성이 부각된다. 이 프레임워크는 수많은 참여 주체들이 디지털 주권, 프라이버시, 그리고 통제권을 유지한 채 협력할 수 있도록 필요한 공통 언어, 신뢰 메커니즘, 규제 준수 자동화 체계를 제공한다.

본고에서 살펴보듯이 Gaia-X 신뢰 프레임워크는 실제 현장에 이미 구현되고 있다. 독일 에텔른 마을을 기반으로 하는 Gaia-X 선도사례인 Community-X 말이다. 해당 마을에서는 Gaia-X 원칙을 에너지, 모빌리티, 환경, 공공 행정 등 여러 분야의 디지털 서비스 연계 및 관리에 적용하고 있으며, 이는 가장 작은 규모의 지자체도 유럽의 디지털 미래를 선도할 수 있음을 보여준다.

미래 스마트시티는 특정 기업이나 정부의 주도만으로 구축되지 않는다. 대신, 상호 운용 가능하고 포괄적이며 신뢰를 기반으로 하는 생태계들의 협력을 통해 공동으로 조성될 것이다. 바로 이러한 변혁을 가능하게 하는 것이 Gaia-X의 목표이자 역할이다.

스마트시티 데이터 공간을 위한 신뢰 운영 및 자동화 | 크리스토프 스트라들

신뢰의 중요성을 논하기 위해서는 먼저 이 용어의 정확한 의미를 명확히 정의할 필요가 있다. 인간은 최소 30만 년에 달하는 호모 사피엔스의 진화 과정을 거치면서 신뢰의 본질을 직관적으로 이해하게 되었지만, 디지털 환경에서는 이러한 인식이 명확하지 않은 경우가 많다. 나아가 이러한 점은 임의의 디지털 생태계(단순히 데이터 공간에 국한되지 않는다)의 신뢰를 디지털화하고 자동화하고자 하는 Gaia-X 신뢰 프레임워크의 맥락에서 더욱 중요하게 부각된다.

다수의 개별 연구들을 종합적으로 검토한 결과, 복잡다단한 신뢰의 개념에 대해 다음과 같은 실용적이고 타당한 정의를 제시할 수 있다.

신뢰란 신뢰하는 자(trustor)가 위험을 수반하는 행위에 자발적으로 참여하려는 의지이며, 이때의 위험은 신뢰받는 자(trustee)의 행위에 대한 신뢰하는 자 자신의 취약성에서 비롯된다.¹⁾

여기서 주목할 점은 신뢰하는 자가 반드시 **그에 상응하는 행동**을 통해 신뢰를 입증해야 한다는 것이다. 예를 들어 보자. 내가 다리(bridge)를 신뢰한다는 주장은 단순히 언어적 선언을 통해서가 아니라, 40톤 트럭을 몰고 실제 그 다리를 건너는 행위를 통해 비로소 드러난다. 마찬가지로 서비스 소비자는 해당 서비스를 이용함으로써 서비스 제공자를 신뢰하고, 데이터 제공자는 데이터를 공유함으로써 (데이터를 사용하는) 다른 주체들을 신뢰한다. 실제로 (일

1) Following Mayer et al. (1995): 조직적 신뢰에 대한 통합 모델(An Integrative Model of Organizational Trust).

부) 사람들이 다리나 서비스 제공자, 혹은 잠재적 데이터 소비자를 신뢰하게 되는 이러한 속성을 우리는 **신뢰성**(trustworthiness)이라고 한다.

개념 정립을 위한 순서와는 반대로 실제 현실에서는 그 과정이 역순으로 전개된다. 사람들은 먼저 특정 대상이나 주체의 신뢰성을 면밀히 평가하고, 그 신뢰도가 (명시적이든 암묵적이든) 설정된 기준치를 넘어서야 비로소 그에 부합하는 행동을 취한다.

이러한 논의는 곧 다음 질문으로 이어진다. 신뢰(혹은 더 정확히 말해 신뢰성)는 어떻게 구축될 수 있는가?

진화를 거치면서 인류의 두뇌는 별다른 훈련 없이도, 심지어 처음 마주하는 개인의 경우에도 그 신뢰성을 수 초 내에 즉각적으로 인지하도록 발달해 왔다. 심리학 연구에 따르면, 이러한 능력은 신뢰할 만한 행동과 밀접한 상관 관계를 보이는 보편적인 얼굴 구조 및 표정 등 여러 요인에 기인하는 것으로 나타났다.

그런데 다음의 두 가지 특성으로 인해 신뢰성 평가가 훨씬 복잡한 비즈니스 환경에서는 이러한 접근 방식이 어떻게 적용될 수 있을까?

i 상대방이 개인이 아닌 조직이라는 점(과연 기업의 '얼굴 구조'를 논하는 것이 가능한가?)

ii 현대 비즈니스 **생태계의 규모가 너무 방대해서**, 개인이 모든 개별 행위자 및 그 상호작용을 일일이 평가하기 어렵다.

비즈니스 생태계의 방대한 규모는 사례를 통해 단적으로 드러난다.

- 소규모 건설 현장(예: 다세대 주택 건설)에도 건설 단계 중 최대 60개에 달하는 전문 서비스 기업이 참여한다.
- 원자력 발전소의 기획, 건설 및 시운전 과정에는 약 2,500개의 기업이

관여하며, 이는 최소 10배 이상의 인력(개별 보안 승인 절차 수반)을 필요로 한다

- 대형 항공기 제조사의 공급 네트워크(더 이상 단순한 ‘공급 사슬’이 아님)는 약 1만 개의 기업으로 구성되어 있다. 이 기업들은 단 한 대의 항공기 최종 조립을 위해 약 2백만 개의 개별 부품을 생산하며, 나사 생산부터 항공기 최종 출고까지 전체 공정은 대략 2년이 걸린다.

이러한 비즈니스 환경을 놓고 볼 때, 사람이 일일이 확인하는 방식으로는 합리적인 형태의 신뢰성을 구축하는 것은 사실상 불가능하다. 더 나아가, 무수히 많은 개별 서비스 상호작용과 데이터 공유가 오가는 생태계 내 수천에 달하는 파트너들과 일상적인 운영 과정에서 필수적인 신뢰 수준을 확보하는 것은 더욱 요원한 일이라 할 수 있다. 바로 이러한 난제가 Gaia-X 신뢰 프레임워크가 핵심 역량을 발휘하는 지점이다.

사람들이 생리적, 행동적 신호라는 공통의 언어를 바탕으로 신뢰를 형성 하듯이, Gaia-X 신뢰 프레임워크는 다양한 디지털 생태계에서 신뢰성을 표현하는 보편적인 방법을 제시한다. 이는 근간을 이루는 범용적인 **Gaia-X 기술 호환성 계층**Technical Compatibility layer을 통해 가능해진다. 각기 다른 생태계가 서로 다른 수준의 신뢰를 요구할 수 있기에, 이 계층은 **특정 규칙에 얽매이지 않는다**. 즉, 각 생태계가 신뢰의 전제 조건을 정의하는 실제 비즈니스 규칙이나 규정집으로부터 독립적으로 작동한다는 의미이다.

필요한 신뢰 수준을 정의하는 구체적인 기준은 Gaia-X 기술 호환성 계층보다 상위에 위치하는 ‘**신뢰성 평가 계층**compliance layer’에서 설정된다. Gaia-X 협회는 ICT 서비스에 적용할 자체 신뢰성 평가 기준들을 이미 갖추고 있다. 이 기준들은 ‘Gaia-X 신뢰성 평가 문서’에 명확히 기록되어 있으며, 서비스의 Gaia-X 인증 수준을 널리 알려진 네 가지로 구분한다. 여기에는



Figure 1
Gaia-X
신뢰 프레임워크의 구조

‘Gaia-X 표준 인증’과 ‘Gaia-X 라벨 등급 1에서 3까지’가 포함된다. 이 계층은 일반적으로 특정 기술에 구애받지 않는 ‘기술 중립적’ 특성을 지니며, 소프트웨어를 활용해 다양한 방식으로 자동화할 수 있다.

신뢰의 자동화를 위해서는 이 두 계층 모두가 필수적이기에, Gaia-X 신뢰 프레임워크는 바로 이러한 두 계층으로 구성된다.

Gaia-X 협회는 수많은 회원사와 함께 모든 생태계에 공통으로 적용되는 신뢰성 평가 규칙을 수립하는 것이 현실적으로 불가능하다는 점을 인지하고 있다. 이는 전문성, 기술, 그리고 무엇보다 시간이라는 극복하기 어려운 제약 때문이다. 이러한 한계를 인식하고, 우리는 Gaia-X 신뢰성 평가 문서에 자율적인 기준 추가(확장)를 허용하는 방향으로 노력해왔다. 다양한 생태계들이 Gaia-X 신뢰성 평가 문서에 명시된 신뢰성 평가 기준을 활용하되, 지역 또는 분야^{domain}별 추가기준(확장)을 통해 이를 유연하게 적용해 나갈 것으로 기대한다. 예를 들어, 유럽 관할권을 넘어서 생태계(한국과 일본에도 Gaia-X 허

브가 있으며, 이들은 유럽과 다른 기업 번호 체계를 사용한다)나, 에너지 또는 항공우주 분야와 같은 다른 산업 부문에서의 신뢰성 평가에 초점을 맞추는 경우가 여기에 해당한다. 심지어 각 생태계가 기존의 Gaia-X 신뢰성 평가 문서를 전혀 참조하지 않는 독자적인 신뢰성 평가 체계를 정의하는 것까지 허용한다. 이는 도표에서 비공식적으로 “**자체 규칙 적용**BYOR: Bring Your Own Rules”으로 불린다.²⁾

여기서 핵심은, 기술 중립적인 신뢰성 평가 규칙, 기준 또는 확장들이 **Gaia-X 기술 호환성 계층에 맞춰 구현**될 경우, 생태계들은 참여자 식별 및 서비스에 대한 상호 신뢰를 바탕으로 상호 운용될 수 있다는 것이다. 물론, 이것이 한 생태계가 다른 어떤 생태계를 자동으로 신뢰한다는 의미는 아니다. 다만, 두 생태계가 상호 신뢰를 위한 공통 기준에 합의한다면, Gaia-X 기술 호환성 계층을 활용함으로써 양측 생태계의 참여자들이 서로를 상호 신뢰할 수 있는 환경이 보장된다. Gaia-X 신뢰 프레임워크의 도입을 촉진하고자, Gaia-X AISBL과 그 오픈소스 커뮤니티는 Gaia-X 기술 호환성(이른바 ‘Gaia-X 코어 엔진’에 구현됨) 및 Gaia-X 신뢰성 평가(핵심은 Gaia-X 신뢰성 평가 엔진)를 구현하는 무료 오픈소스 소프트웨어를 제공한다.

Gaia-X 신뢰 프레임워크를 통해 생태계 간 신뢰를 자동화하고 나면, 궁극적으로 다음과 같은 질문에 이르게 된다: 우리는 왜 이러한 노력을 기울여야 하는가? **이것이 왜 중요한가?**

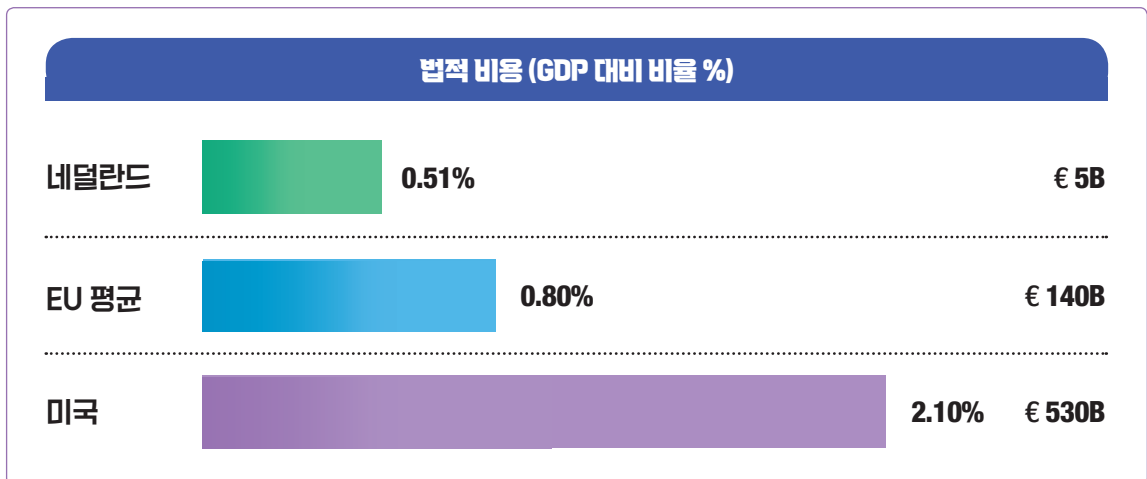
사실, 이 질문은 약 50년 전 노벨상 수상자 케네스 J. 애로우Kenneth J. Arrow에 의해 이미 연구되었고 그는 다음과 같은 답을 제시하였다.

2) 이 시나리오는 《지역 및 분야별 추가기준(확장) 백서》에 자세하게 설명되어 있다.

신뢰는 사회 시스템의 중요한 **유틸리티**이다. 그 효용은 지대하여, 타인의 언행에 상당한 신뢰를 두는 것만으로도 많은 번거로움을 줄일 수 있다. [...] 신뢰와 더불어 충성심, 진실성 같은 유사한 가치들은 [...] 무형의 재화이자 경제적 자산과 같다. 이들은 실질적이고 실용적인 경제적 가치를 지니며, **시스템의 효율성을 증진시키고** 더 많은 재화를 생산할 수 있도록 한다. [...] 그러나 이러한 가치들은 공개 시장에서 **기술적으로 거래되거나 심지어 의미를 가질 수 있는 상품**은 아니다.³⁾

이러한 통찰들은 신제도주의 경제학으로 이어져 “신뢰는 거래 비용을 현저히 감소시킨다”라는 더욱 정교한 답변을 제시한다. 역으로 살펴보면, 최근 연구들은 신뢰 부족이 국가 경제에 초래하는 재정적 손실을 밝혀내고 있다. 특히 기업이 부담하는 법적 비용(소송 비용, 불법 행위 비용)은 국내총생산(GDP)의 유의미한 비율을 차지하는 수준이다.

Figure 2
신뢰 부족으로 인해
기업이 부담하는 법적 비용



3) Kenneth J Arrow (1974): 조직의 한계(The Limits of Organization).

물론, 이 연구들의 수치나 비율을 디지털 생태계에서 신뢰를 보장함으로써 발생하는 비용(또는 절감 효과)으로 단순 대입할 수는 없을 것이다. 그럼에도 불구하고, 법적 비용의 상대적 규모는 Gaia-X 신뢰 프레임워크를 사용하여 달성할 수 있는 재정적 이득의 규모를 가늠하는 훌륭한 지표가 된다.

- 유럽연합의 법적 비용은 미국보다 **62%** 낮다.
- 네덜란드의 법적 비용은 미국보다 **76%** 낮고, 유럽연합 평균보다 **36%** 낮다.

이러한 수치들은 Gaia-X 신뢰 프레임워크의 활용이 가져올 자동화 수준을 고려하지 않기 때문에, 실제 경제적 이득이 과소평가되는 측면이 있다.

결론적으로 ‘신뢰와 Gaia-X 신뢰 프레임워크가 왜 중요한가’라는 질문의 최종적인 답은 경제적 평가로 귀결된다: 이를 통해 생태계 내 거래 비용을 60~70%까지 절감할 수 있다.

활용 사례: Community-X | 올리히알러

에텔른의 커뮤니티-X Community-X 프로젝트는 소규모 농촌 지자체에서도 Gaia-X 원칙이 어떻게 스마트하고 확장 가능하며 신뢰할 수 있는 디지털 인프라 구축에 적용될 수 있는지 보여주는 사례이다. Gaia-X 선도 사례로 지정된 커뮤니티-X는 실제 스마트 마을 smart village 환경에서 Gaia-X 신뢰 프레임워크를 시험하고 실제 운영하는 리빙 랩 living lab 역할을 수행한다.

에텔른의 디지털 전환은 마을 중심부와 주변 농촌 가구 전체를 아우르는 완전한 광섬유 연결망 구축으로 시작되었다. 이 인프라는 외부에서 강요된 것이 아니라, 자원봉사자를 포함한 지역사회 주민들의 적극적인 참여로 구축

되어 외부 클라우드 및 통신 사업자에 대한 의존도를 낮췄다. 기술적 기반이 마련되자, 에텔른은 FIWARE(오픈소스 기반 스마트시티 플랫폼-역주) 기반 디지털 플랫폼을 구축하고 LoRaWAN(라이센스가 필요 없는 무선 주파수 스펙트럼에서 작동하는 LPWAN 프로토콜-역주)을 통해 연결된 광범위한 센서들과 통합했다. 이러한 기술들은 환경 모니터링, 홍수 정보 시스템, 공유 전기차와 같은 디지털 모빌리티 서비스, 그리고 실시간 모니터링 및 시나리오 계획을 가능하게 하는 마을의 디지털 트윈⁴⁾과 같은 다양한 애플리케이션을 지원한다.

Community-X의 경제 모델 또한 주목할 만하다. 현재까지 약 150만 유로(약 25억 원)가 투자되었으며, 전체 비전의 중 약 3분의 1만 실현되었음에도 불구하고, 그 결과는 이미 가시적이며 큰 영향력을 발휘하고 있다. 재정 지원은 지역, 광역, 유럽 연합의 다양한 자금 지원 프로그램뿐만 아니라, 적극적인 지역사회의 참여가 큰 비중을 차지했다. 주민들은 계획의 수립, 실행, 심지어 실제 건설 과정에도 적극적으로 참여했다. 제도적 지원과 지역의 주민 의식 간의 이러한 균형은 소규모 환경에서도 디지털 인프라 구축이 지속 가능한 모델로 자리잡을 수 있음을 보여준다.

Community-X는 에너지, 모빌리티, 환경 그리고 시민 참여와 같은 다양한 분야의 데이터를 연합형 데이터 공간으로 통합한다. 마을 생태계 내에서 발생하는 모든 서비스 상호작용과 데이터 흐름은 Gaia-X의 연합^{federation} 및 신뢰성 평가^{compliance} 원칙에 따라, 투명하고 기술적으로 상호 운용 가능한 거버넌스 모델을 따른다. 이는 에텔른이 디지털 서비스를 검증 가능하고, 안전하며, 감사 가능한 방식으로 연결하고 있음을 의미한다. 이 플랫폼은 사람

4) <https://www.etteln.de/61-etteln>

과 디바이스(devices) 모두가 규칙 기반의 신뢰 관계를 통해 상호작용할 수 있도록 지원하며, 모빌리티와 에너지, 공공 행정과 시민 참여에 이르는 여러 영역에서 신뢰를 자동화하는 역할을 한다. 주요 성과로는 지역 태양광 발전 데이터를 활용한 스마트 에너지 관리, 시민 피드백과 연계된 실시간 환경 모니터링, 통합 센서 데이터 기반의 모빌리티 및 주차 최적화, 그리고 개방형 거버넌스 모델을 통한 투명성과 지역 신뢰도 향상 등이다.⁵⁾

아마도 Community-X의 가장 중요한 기여는 Gaia-X 원칙이 소규모 환경에도 효과적으로 적용될 수 있음을 입증했다는 점일 것이다. 데이터 공간에 대한 논의의 상당 부분이 대규모 산업 컨소시엄이나 도시 플랫폼에 집중되는 경향이 있지만, 에텔른 사례는 작은 마을에서도 연합형 디지털 생태계를 성공적으로 구축하고 운영할 수 있음을 명확히 보여준다. Gaia-X 신뢰 프레임워크가 제공하는 신뢰 메커니즘은 커뮤니티 내부뿐만 아니라 외부에서도 상호 운용성을 보장하여 인접 지자체, 지역 데이터 공간, 또는 특정 분야 플랫폼과의 향후 연계를 위한 기반을 제공한다.

이 프로젝트는 Gaia-X 신뢰 프레임워크를 활용하여 참여 주체 전반에 걸쳐 공동 신뢰성 평가 기준을 마련한다. 이를 통해 데이터 공유 협약을 자동화하고 신뢰성을 검증할 수 있게 된다. 그 결과, 시민 데이터는 지역사회의 통제권 아래 안전하게 보호되며, 동시에 디지털 서비스는 유연한 상호 운용성과 공통 표준이라는 이점을 효과적으로 누린다. Community-X는 주권적인 디지털 생태계가 반드시 대도시에만 국한되는 것은 아님을 명확히 증명한다. Gaia-X 원칙을 소규모 환경에 성공적으로 적용함으로써, 이 프로젝트는 농촌 지역사회가 자신들의 디지털 인프라에 대한 통제권을 잃지 않으면서도 유럽의 데이터 경제에 참여할 수 있는 효과적인 청사진을 제시하고 있다.

5) <https://steuerzahler.de/aktuelles/detail/etteln-das-smarteste-dorf-der-welt/>

스마트 도시의 디지털 생태계는 시민과 정부 간 신뢰뿐 아니라, 다양한 분야, 플랫폼, 심지어 국가 간 경계를 넘어선 신뢰 위에 구축되어야 한다. 이러한 신뢰가 없다면 의미 있는 협력, 안전한 데이터 교환, 확장 가능한 디지털 혁신은 불가능하다. Gaia-X는 이러한 신뢰의 필수적인 기반을 제공한다. 이는 신뢰성 평가를 자동화하고 상호 운용성을 보장하며, 설계 단계부터 디지털 주권을 지탱하는 유연하고 확장 가능한 프레임워크이다.

오늘날 파편화된 기술 환경에서 Gaia-X는 비전과 실제 구현 사이의 간극을 잇는 다리 역할을 한다. 데이터 중요성이 강조되는 시대에 Gaia-X는 도시와 지역사회가 데이터를 투명하게 공유하고, 디지털 인프라를 책임감 있게 관리하며, 핵심 공공 서비스에 대한 통제권을 유지할 수 있도록 지원한다. Gaia-X는 디지털 서비스가 민주적 가치와 유럽 규제에 부합하도록 보장함으로써, 기술적 신뢰를 정치적, 경제적 주권으로 전환시킨다.

에텔른의 Community-X 사례는 이러한 비전이 단순히 이론적인 것만은 아님을 입증한다. 적절한 도구를 갖춘다면, 작은 농촌 공동체조차 유럽 디지털 전환의 선구자가 될 수 있다. 에텔른은 Gaia-X 신뢰 프레임워크와 FIWARE 같은 오픈소스 기술을 활용하여 살아 숨 쉬고 기능하는 스마트 마을을 성공적으로 구축했다. 이 마을은 규칙 기반의 연합형 신뢰를 통해 시민, 서비스, 그리고 인프라를 서로 이어주고 있다. 외딴 지자체건 주요 대도시 지역이건 간에, Gaia-X는 투명성, 포괄성, 상호 운용성이 선택적 기능이 아닌 내재된 원칙으로서 도시들이 견고한 디지털 생태계를 구축할 수 있도록 지원한다. 디지털 공공 인프라가 유럽의 경쟁력과 회복력에 핵심적인 요소가 되어감에 따라, Gaia-X는 해당 인프라가 개방적이고 안전하며, 서비스를 제공하는 공동체가 주도적으로 만들어 나갈 수 있도록 보장한다.

스마트 도시의 진정한 미래는 상호 연합, 디지털 주권, 그리고 무엇보다 신뢰할 수 있어야 한다. Gaia-X가 그러한 미래를 현실로 만들어 줄 것이다.



SMART CITY
T O P
A G E N D A
2 0 2 5

CHAPTER
03

**AI를 활용한
도시기반시설 관리**

Future Vision of AI-Based Mobility Control Technologies

미래 모빌리티 AI 관제 기술의 미래상

장정아

Jeong-Ah Jang



장정아 연구교수는 2004년 5월부터 2014년 3월 까지 한국전자통신연구원 융합기술연구부문에 서 연구원 및 선임연구원으로 근무하며, “ITS, GIS, LBS, 텔레매틱스 표준화 연구”와 “IT 융 합기반 차량 자동 유도 기술 개발” 등 과학기술 정보통신부 R&D 사업 관련한 다수의 과제에 참여하였다.

2014년 4월부터 현재까지 아주대학교 연구교수 로 재직하며, “자율주행 리빙랩 실증환경 운영 및 서비스 기반 사업모델 개발” 등 20여 개의 공 동연구책임자로서 프로젝트를 수행한 바 있다. 또한 SCI급 연구논문 9편과 KCI급 연구논문 54 편을 게재하는 등 활발한 연구활동을 전개하고 있다. 주요 수상 경력으로는 국토교통부 장관 표창, 보건복지부 장관 표창, 대통령 표창, 경찰 청 감사장, 충청남도지사 표창 등이 있다.

현재 국토교통부 자율주행차 융복합 미래포럼 제도분과 위원, 자율주행 시범운행지구 위원회 위원 등 20여 개의 정부 및 지자체 위원회에서 활동하고 있으며, 주요 연구관심분야는 교통약 자 이동권, 자율주행, 모빌리티 시스템 등이다.

Email: azang@ajou.ac.kr

● 초록 ●

모빌리티 산업은 기존 C.A.S.E(커넥티드, 자율주행, 공유·서비스, 전동화) 패러다임에서 2020년 이후 Collapse(붕괴), Air(항공), Safety(안전), User Experience(사용자경험)으로 확대 진화되고 있다. 현재 AI가 핵심 동력이 되어 모빌리티 생태계 전체를 지능화하고, 생성형 AI와 예측을 기반으로 하는 기술로 발전하고 있다. 현재 연구 및 실증되고 있는 미래 모빌리티 서비스는 자율주행버스, 로보택시, 자율주행 발렛파킹, 물류·순찰·청소·배송 서비스, 에어택시 등 다양한 형태가 있으며 이러한 서비스 기술들은 이동권 지원, 운전자 부족 해결, 도시 효율성 향상 등 다양한 도시문제를 해결하는 데 기여할 수 있다.

모빌리티 AI관제 기술은 다양한 모빌리티 서비스를 모니터링하고 예측적 활용이 가능한 핵심 기술이다. 미래 모빌리티 AI관제센터는 4가지 핵심기능으로 차별화할 수 있다. 첫째, 디지털 트윈 기반 실시간 통합 모니터링과 예측적 도시 관리를 통해 MaaS 레벨 4 수준의 서비스 최적화를 실현한다. 둘째, 강화학습과 V2X 기술을 활용한 완전 자율 관제 시스템으로 교통사고 예측과 재난 대응을 자동화한다. 셋째, 생성형 AI를 통한 의사결정 지원과 개인별 맞춤형 모빌리티 서비스를 제공하여 사람 중심의 관제를 구현한다. 넷째, 국내외 표준 기반의 데이터 통합과 시민참여형 협력관제 시스템으로 유연하게 작동된다.

이러한 기술 발전은 단순한 교통 관리를 넘어 도시문명의 새로운 패러다임을 제시할 수 있다. 2050년까지 전 세계 인구의 68%가 도시에 거주할 것으로 예상되는 상황에서, AI 관제센터는 지속가능한 도시 발전과 탄소중립 실현의 핵심 인프라가 될 것이다. 기술 발전이 '사람을 위한 기술'로 진화하며 시민의 삶의 질 향상과 포용적 도시 생태계 구현을 목표로 하고 있다는 점이 주목된다.

키워드

모빌리티 AI관제, 자율주행서비스, 모빌리티, 미래도시, 지속가능한 도시

● ABSTRACT ●

Since 2020, the mobility sector—initially defined by the C.A.S.E. framework (Connected, Autonomous, Shared & Service, Electric)—has gracefully evolved to include Collapse, Air, Safety, and User Experience. Artificial intelligence now underpins this evolution, imbuing the entire mobility ecosystem with intelligence and elevating generative AI and predictive analytics to core capabilities. Today’s research and pilot programs span a rich spectrum of future mobility services, from autonomous buses and robo-taxis to self-driving valet parking, logistics, patrol, cleaning, and delivery vehicles, as well as air taxis. These innovations promise to address pressing urban needs such as equitable access to transport, alleviating driver shortages, and improving overall efficiency.

At the heart of this transformation lies mobility AI control technology, which enables seamless monitoring and proactive management of diverse mobility modes. A next-generation Mobility AI Control Center will offer four key functions. First, it will leverage digital twins for real-time integrated monitoring and predictive urban management, optimizing MaaS Level 4 services. Second, it will use reinforcement learning and V2X communications to automatically predict accidents and coordinate rapid responses to emergencies. Third, it will place people at the center by providing decision-support and personalized mobility solutions through generative AI. Fourth, it will operate flexibly as a citizen-engaged, standards-based data platform that fosters collaborative control.

These advances go far beyond traditional traffic management—they herald a new chapter in urban life. As we anticipate that 68 percent of the world’s population will live in cities by 2050, AI mobility control centers will become vital infrastructure for crafting sustainable, carbon-neutral urban environments. Above all, this journey reflects a deeper commitment to “technology for people,” aimed at enriching daily life and nurturing truly inclusive cities.

KEYWORDS

Mobility AI Control, Autonomous Driving Services, Mobility, Future Cities, Sustainable Urban Development

들어가며

모빌리티Mobility는 사전적으로 ‘이동성’으로 해석되나, ‘이동수단’이나 ‘이를 제공하는 서비스’ 등을 총칭하여 사용하고 있다. 2020년 이전까지 모빌리티 산업의 트렌드는 C.A.S.E 즉 ‘커넥티드Connected, 자율주행Autonomous, 차량 공유·서비스Shared & Service, 전동화Electric’로 설명되어 왔다.

• **연결성Connected** : 각 차량이 서로 소통함으로써 교통 흐름이나 날씨 정보와 같은 주행 정보를 수신하는 수준을 넘어, 자동차가 스마트폰이나 집·사무실·도시의 다양한 인프라 시설들과 상호 통신해 사물인터넷IoT의 일부가 되는 것을 의미

• **자율주행Autonomous** : 자율주행차는 운전자 또는 승객의 조작 없이, 자동차가 사람의 인지·판단·제어 기능을 대체하여 운전하는 것으로 자율주행은 운전자가 운전에 어떻게 관여하는지에 따라 비자동화에서 완전자동화까지 점진적으로 구분됨

• **차량공유·서비스Shared & Service** : 차량공유·서비스는 자동차와 사용자를 연결해 최적화된 이동을 제공하는 것으로, 스마트폰 보급과 함께 탐색 비용과 거래 리스크가 크게 감소하면서 모빌리티 산업 중에서 가장 성장이 주목되는 영역임

• **전동화Electric** : 4차 모빌리티 혁명은 차량 전동화로부터 시작되었으며, 이는 CO₂ 감소라는 친환경적인 측면뿐만 아니라 차량의 모든 기능을 고성능 컴퓨터로 제어하는, 모빌리티 서비스가 가능한 기본 환경을 만들었다는 것임

C.A.S.E는 한꺼번에 동시 진행되는 것이 아니라 각 항목별 변화 시기에 다소 차이가 있을 것으로 판단되며, 그 변혁의 중심에서 MaaSMobility as a Service 산업으로 부상할 것으로 전망하고 있다.

2020년 이후 CES에서 붕괴Collapse, 항공Air, 안전Safety, 사용자경험User Experience이 확장 개념으로 제시되었다.

• **붕괴Collapse** : 사회 · 도시 · 산업환경에서 기존 질서와 경계가 붕괴Collapse 되는 흐름, 즉 자동차 중심 교통체계가 항공(UAM 등), IT, 생활망과 융합하면서 전통 영역의 붕괴와 재정렬이 빠르게 진행되고 있음을 상징하며, 기술 플랫폼, 서비스, 인프라 융합으로 인해 산업 경계가 허물어지고 새로운 가치사슬이 재편되는 것을 의미

• **항공Air** : 항공 모빌리티UAM가 교통의 한 축으로 자리잡으며, 스마트시티와의 연계 · UAM 버티포트 구축 등 실제 이용 환경 구축에 역점을 두게 됨

• **안전Safety** : 자율주행, 전기차 등 미래 자동차 전반에서 ‘안전’ 이슈가 핵심으로 부상, 데이터 보안, 사용자 프라이버시, 그리고 전기차 · 항공 이동수단의 안전성도 주요 관심사

• **사용자경험User Experience** : 고해상도 디스플레이, 맞춤형 인터페이스, 직관적 탑승 경험 등 차량과 항공, 생활기기 전반에 걸친 UX 혁신을 강조

2025년 현재, AI는 모빌리티 혁신의 중추가 되어 생태계 전 영역을 지능화하고 있다. 다양한 센서와 데이터를 실시간으로 분석 · 예측하면서 사용자 경험과 안전성을 극대화하며, 생성형 AI와 예측 진단, 지능형 에이전트가 차량에 탑재되는 시대가 도래했다. AI 기반 SDV는 미래 자동차를 대표하는 기술로 자리잡았으며, 복합 교통수단 간 통합 서비스와 지속가능한 에너지 활용이 AI와 융합되어 구현될 것이다. 이처럼 AI 연계 C.A.S.E는 단순히 차량 중심을 넘어 모빌리티 전 분야에서 ‘사용자 맞춤형 · 지속가능한 이동 혁신’을 실현하는 핵심 패러다임으로 부상하고 있다.

미래 모빌리티 서비스 및 기술 사례

자율주행버스 서비스

자율주행버스 서비스는 대형·중소형·미니버스 등 다양한 차종이 운행되며, 정기 운행뿐 아니라 예약 호출이나 실시간 호출을 통한 수요응답형(On-Demand)으로 운영될 수 있다. 관광형 서비스나 교통 소외 지역의 이동성 확보에도 활용할 수 있다. 각 지역 여건에 맞춰 버스 유형을 선정하고 노선을 설계해야 하며, 이를 통해 고령 운수 종사자의 안전사고를 예방하고 새로운 이동수단 도입으로 교통 서비스 품질을 높일 수 있다. 또한 전기·수소 등 친환경 차량을 활용해 온실가스 배출을 줄이고, 수요응답형 운행과 결합 시 재정 부담도 완화할 수 있다.

- **대형버스** : 도시 간 이동 및 시내 주요 도로
- **중소형 버스** : 시내 지선도로
- **미니버스** : 지점 간 직접 이동 또는 중소형 버스 이동지점까지 운행

Source: <https://mediahub.seoul.go.kr/archives/2009697>
<https://autoa2z.co.kr/ROI/>

Figure 1

자율주행 동행버스(서울시)
사례 | 왼쪽
중소형버스(A2Z사)
ROI 사례(한국) | 오른쪽



로보택시 서비스

로보택시 서비스는 자율주행 기술을 기반으로 하여, 운전자가 없는 상태에서 승객을 목적지까지 운송하는 택시 서비스를 의미하며, 이 서비스는 승객의 요청에 따라 온디맨드^{on-demand} 방식으로 호출되어 특정 경로를 자동으로 운행한다. 해당 서비스는 주로 자율주행 레벨 4나 레벨 5 기술을 사용하여, 복잡한 교통 상황에서도 안전하게 이동할 수 있도록 설계되어야 하며, 웨이모(미국), 바이두(중국)에서 시범운영하고 있다. 해당 서비스는 개인 차량 소유를 감소시켜 도시 내 교통 혼잡을 줄이고 교통 효율성을 향상시킬 수 있으며, 무인으로 운행되기 때문에 고령 인구로 발생할 수 있는 인력난 등을 해소할 수 있다.

Source: <https://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=151309>
<https://www.digitaltoday.co.kr/news/articleView.html?idxno=530741>



Figure 2
웨이모 로보택시(미국) | 위
바이두 자율주행
택시(중국) | 아래

자율주행 발렛파킹 서비스

운전자가 차량을 특정 구역(드롭오프 지점)에 놓고, 차량이 스스로 주차 공간을 찾아 이동하고, 차량이 자동으로 출차를 수행할 수 있는 서비스로 현재 다음의 2가지 형태로 기술 실증 중이다.

- **Lv. 4 자동 발렛파킹 시스템** : 주차장으로 차를 몰고 들어가 차량에서 내린 후 스마트폰 앱을 탭하기만 하면 예약된 주차 공간으로 이동하거나, 전기 자동차(자율주행)를 충전 포인트가 있는 빈 공간으로 이동시키고, 충전 로봇이 자동으로 충전하는 등의 서비스

- **자율주행 주차 로봇** : 일반 차량을 대상으로 모바일 앱을 통해 차량의 입출고를 확인할 수 있으며, 주차장 유형(자주식, 기계식 등)에 구애받지 않고 적용

Source: <https://www.etnews.com/20240605000036>
<https://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=145435>



Figure 3

HL만도 파키
로봇주차(한국) | 왼쪽
스탠리 로봇
발렛파킹(프랑스) | 오른쪽

자율주행 물류 서비스

자율주행 물류 서비스는 물류 및 공급망 관리에 자동화와 자율주행 기술을 도입하여 운송 구간 중 가장 안전에 취약한 미드마일(mid-mile) 운송의 효율성과 안전성을 향상시킬 수 있는 서비스로 다음의 4단계로 발전될 것이라 예상하고 있다.

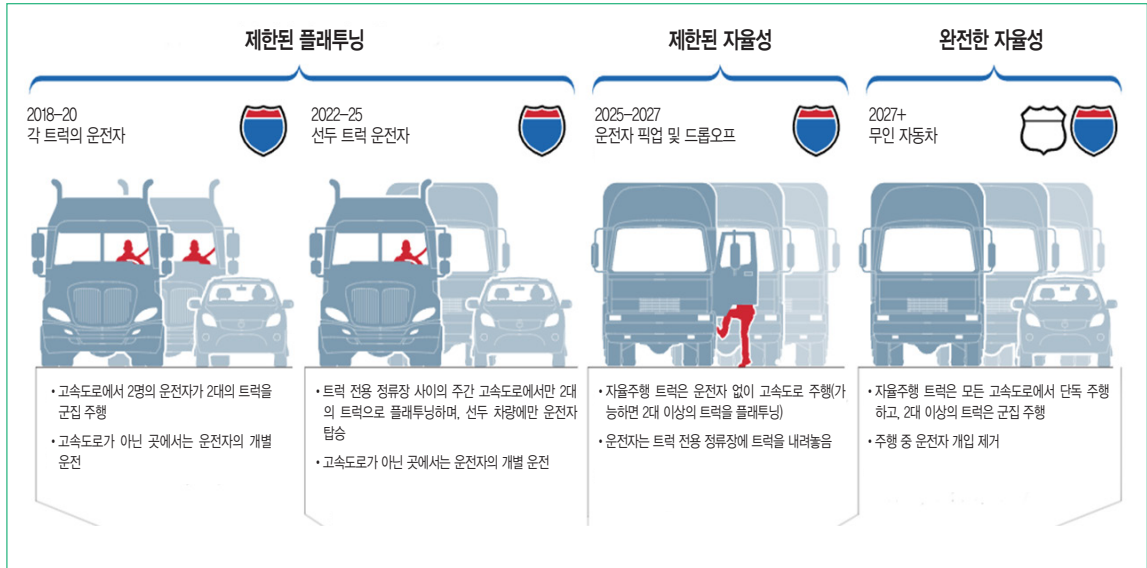


Figure 4
자율주행 트럭의 발전 단계

Source: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/distraction-or-disruption-autonomous-trucks-gain-ground-in-us-logistics>

자율주행 순찰서비스

학교와 공원, 주거밀집지역에서 방범 순찰하거나 불법 주정차를 계도하는 서비스로 보안 공백이 발생할 수 있는 심야시간대나 경비원 휴게시간에 순찰을 대신하여 보안 사각지대(CCTV 설치가 어려운 야외, 후미진 구역이나 덩불숲, 놀이터, 경비요원의 야간 휴게 시간 등 민원 발생 가능성이 높으나 순찰 빈도가 낮은 사각지

Figure 5
불법 주정차 계도
자율주행차(충남) | 왼쪽
뉴빌리티 인공지능(AI)
순찰로봇 | 오른쪽

Source: <https://cm.asiae.co.kr/article/2025082408490854574>
<https://zdnet.co.kr/view/?no=20231022122242>



대)를 최소화할 수 있으며, 주야간 반복 순찰업무를 줄이고, 인프라 관리, 대면 민원 대응 등 더 중요한 일에 집중할 수 있다.

자율주행 노면청소 서비스

자율주행 노면청소 서비스는 도심의 환경을 깨끗하게 유지하기 위해 자율주행 기술을 적용한 청소 차량을 활용하여 쾌적하고 안전한 도로 환경을 유지해주는 서비스이다. 차도는 물론 자전거도로, 인도에서도 청소가 가능하며, 운전석이 필요 없어 더 많은 양을 청소할 수 있다. 핀란드 헬싱키에서는 전기를 활용한 자율주행 노면청소차 트롬비아 프리Trombia Free를 도입하여 자전거도로를 따라 운행을 시작했을 뿐만 아니라 도시의 다른 곳에서도 야간 거리를 청소하는 등 적극적으로 해당 서비스를 실증하고 있다.

Source: <https://www.robotatta.com/search?q=parking>
<https://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=137992>Left: Illegal Parking Guidance Autonomous Vehicle (Chungnam)

Figure 6

헬싱키 트롬비아
프리(핀란드) | 왼쪽

광주 무인
노면청소차(한국) | 오른쪽



자율주행 노면감시 서비스

자율주행차를 통한 다차원 검지정보를 활용하여 실시간 도로상태 등과 같은 인프라 모니터링과 교통상황을 파악하여 이를 실시간으로 대응할 수 있는 서비스이다. 도로상의 돌발상황 및 안전에 대한 긴급복구 상황이 발생 시 운영자가 현장에 방문하지 않고 신속하게 문제를 해결할 수 있을 뿐만 아니라 다양한 형태의 검지 정보에 대한 빅데이터 활용을 통한 도로 SOC 관리의 효율

을 최적화할 수 있다. 기존 도로 유지 관리 기술과 비교했을 때, 전기 자율주행차가 비용 90% 절감, 수리 시간 70% 단축, 이산화탄소 배출량 1/3 수준으로 줄일 수 있다는 분석이 제시되고 있다.

Figure 7

고속도로 노면감시
자율주행차(한국) | 왼쪽
Robotiz3d(영국) | 오른쪽

Source: <https://www.facebook.com/watch/?v=330227159374747>
<https://insideautonomousvehicles.com/first-autonomous-vehicle-for-pothole-repair/>



자율주행 배송/배달 서비스

자율주행 배송 및 배달 서비스는 인공지능AI과 자율주행 기술을 결합하여, 물류와 배달 과정에서 운전자의 개입 없이 물품을 목적지까지 운송하는 서비스이다. 주로 라스트 마일last-mile 배송, 즉 물품을 최종 소비자에게 전달하는

Table 1

K-드론배송 상용화
표준모델

Source: <https://www.donga.com/news/Economy/article/all/20240229/123752082/1>

구분	섬 배송	공원 배송	항만 배송
형태	유인섬과 육지 간 생활물품, 편의점물품, 치킨 등 배송, 농수산물 역배송	도심공원, 캠핑장/야영장, 해수욕장, 관광지 등에 편의점물품, 치킨·김밥 등 배송	항만 주변 정박 선박 및 해상 레저지역에 음식물과 선박용품, 낚시·생활용품 등 배송
개념도			
배송주기	주간당 주 1~2회	주중~주말	주중~주말

단계에서 사용되며, 드론, 자율주행 로봇, 자율주행 차량 등의 기술이 적용된다.

K-드론배송은 국토교통부 드론배송 가이드라인에 따라, 배송거점, 배달점, 비행로, 배달앱 등을 구축하고 배송업체가 드론안전관리시스템 승인을 받아 비행을 실시간으로 모니터링하는 등 종합적인 안전관리 체계를 갖춘 드론배송 서비스다.

에어택시

에어택시는 도심 내에서 전기 수직 이착륙eVTOL 항공기를 이용해 빠르고 효율적인 이동을 제공하는 항공 모빌리티 서비스이다. 주로 도로 교통 혼잡을 해소하고, 공항, 비즈니스 지구, 주요 교통 허브 간의 단거리 이동을 목표로 한다. 에어택시는 도시의 지상 교통 혼잡을 감소시켜 도시 거주자들의 효율적인 이동을 가능하게 할 뿐만 아니라 중요한 비즈니스 이동이나 관광객의 편의를 크게 향상시킬 수 있다. 또한 에어택시는 대부분 전기로 구동되기 때문에 탄소배출량을 감소시킬 수 있으며, UAM(도시 항공 모빌리티) 시장의 성장에 따라 관련 기술 개발, 서비스 운영, 유지보수 등의 분야에서 일자리 창출과 경제 성장을 기대할 수 있다.

Source: <https://www.agbi.com/aviation/2024/09/dubai-set-to-launch-air-taxi-service-in-2026/>
<https://www.hankyung.com/article/202403022201i>

Figure 8

두바이
에어 택시(두바이) | 왼쪽
오파브(한국) | 오른쪽



모빌리티 AI관제센터의 미래상

현대 도시의 교통 문제 해결과 스마트시티 구현을 위해 모빌리티 AI관제센터는 핵심 인프라로 부상하고 있다. 앞으로 관제센터는 단순한 모니터링을 넘어, 지능형 교통 통합, 자율주행 안전관리, 시민 참여 확장 등 다양한 기능을 융합하는 복합 플랫폼으로 발전할 전망이다.

자율주행차, AI, 빅데이터, 디지털 트윈, UAM 등의 신기술이 확산되고 도로운영환경이 복합 다층적으로 변화됨에 따라 기존의 정보 제공 중심의 교통관제센터는 통합 AI관제센터로 재편될 필요가 있다. 미래 모빌리티 AI관제센터는 도로 차량 이용자 간의 상호작용을 기반으로 예측적 판단과 실시간 개입이 가능한 지능형 플랫폼 허브로서 다양한 모빌리티를 이용하는 이용자에게 안전하고 효율적인 주행 경험을 제공하도록 진화되어야 한다.

핵심기능 1: 고도화된 실시간 통합과 지능형 예측

미래의 모빌리티 AI관제센터는 자율주행차, 로보택시, 도심항공모빌리티 UAM, 개인형 이동수단PM, 대중교통까지 모든 이동수단을 하나의 통합 플랫폼에서 관리하게 된다. 이는 단순한 모니터링을 넘어 MaaS(Mobility as a Service) 레벨 4 수준의 정책 통합과 서비스 최적화를 실현할 수 있다.

AI관제센터는 실시간 모빌리티 통합 모니터링과 AI 분석 기능이 강화된다. 수많은 CCTV와 IoT 센서 데이터를 AI가 실시간으로 분석해 이상 상황과 잠재 위험을 자동 감지한다. 침입, 쓰러짐, 군중 밀집, 화재 등 다양한 사건을 빠르게 파악해 신속 대응이 가능해진다.

디지털 트윈 기반의 3D 모니터링이 가능해지고, 이를 통해 예측적 도시관리가 가능해진다. 디지털 트윈 기술은 도시 전체를 가상화하거나 시뮬레이션을 가능하게 한다. 물리적 도시공간을 3차원 디지털 공간에 완벽하게 복제하고, IoT 센서를 통해 실시간 데이터를 수집·분석하여 교통 흐름, 에너지 소

비, 환경 변화 등을 예측한다. 공간 데이터와 증강 현실 기술을 활용해 관제 공간의 제약을 넘고, 사각지대 없는 입체적 감시와 상황 인지가 가능해진다.

모빌리티 허브는 사람과 다양한 이동수단을 연결해 최적의 이동 솔루션을 제공할 수 있다. 허브에 집결하는 다양한 모빌리티를 대상으로 환승 정보, 경로 안내, 실시간 대기·탑승 예약 등 서비스 간 연계를 자동화·최적화할 수 있으며 이를 지원하는 AI 관제 기능이 필요하다.

핵심기능 2: AI 기반 자율관제 및 선제적 안전대응

모빌리티를 기반으로 한 다양한 도시데이터를 융합해 관제가 가능하다. 교통·환경 모니터링, 재난 대응 등 다양한 도시 서비스를 통합하고 AI가 이를 종합해 총체적으로 도시 안전 인프라를 관리한다. 미래의 모빌리티 AI관제 센터는 인간의 개입을 최소화한 완전 자율 관제 시스템으로 발전한다.

특히 강화학습 기술과 에이전트형 AI를 통해 복잡한 교통 상황에서도 최적의 판단을 내릴 수 있게 되며, 교통사고 위험도 예측, 재난 상황 대응, 비상 차량 우선 통행로 확보 등의 기능을 자동으로 수행한다.

미래의 AI관제센터는 개별 시설물 관리를 넘어 도시 전체의 협력적 생태계를 구축한다. 차량 간 통신V2V, 차량-인프라 간 통신V2I, 차량-모든 것 간 통신V2X 기술을 통해 자율주행차들이 관제센터와 실시간으로 정보를 주고받으며 최적화된 이동 경로와 속도를 조정한다. 이러한 협력적 시스템은 개별 차량의 효율성뿐만 아니라 도시 전체의 교통 흐름을 극대화하며, 에너지 소비 최적화와 탄소 배출 감소에도 기여한다.

또한 AI 예측 기반의 선제적 안전 대응이 가능하다. 과거 데이터와 행동 패턴 분석을 통해 사고 발생 가능성을 예측하고, 사고를 사전에 방지하는 능동적 관제가 가능하다.

핵심기능 3: 사람 중심의 맞춤형 서비스

관리자(운영자) 측면에서는 생성형 AI의 의사결정 지원을 통하여 사람과 AI

의 협업이 가능하다. 생성형 AI가 방대한 영상과 정보를 요약·분석해 관계 요원의 의사결정을 빠르고 정확하게 돕는다. 단순 이벤트 알림을 넘어 상황 설명과 경과 요약 리포트를 자동으로 생성하여 대응 속도와 정확성을 높인다.

이용자 측면에서는 개인별 이동 패턴과 선호도를 학습하여 맞춤형 모빌리티 서비스를 제공한다. 시민 개인의 출발지, 목적지, 시간대, 날씨, 교통 상황 등을 종합 분석하여 최적의 교통수단 조합과 경로를 실시간으로 제안한다.

핵심기능 4 : 표준화와 상호호환성 확보된 유연한 시스템

국내외 표준화와 호환성을 확보함으로써 표준기반의 데이터 통합이 가능하다. 국내외 표준 기반 통합 플랫폼 구축으로 기술 교류와 협력이 활성화되며, 스마트 관제 시스템의 효율성과 확장성을 높일 수 있다.

또한 시민참여형 협력관제 시스템을 구축해, 모바일 기기 연동 등으로 시민들이 직접 안전 정보를 공유하고, 도시 안전에 협력적으로 참여하는 시스템으로 확장된다.

마치며

미래 모빌리티 AI관제 기술은 단순한 기술적 진보를 넘어서 도시문명의 새로운 패러다임을 제시하고 있다. 인공지능과 첨단 ICT 기술이 융합된 지능형 관제센터는 도시의 혈관과도 같은 교통체계를 최적화하고, 시민 모두가 안전하고 편리한 이동권을 누릴 수 있는 포용적 도시 생태계를 구현하는 핵심 인프라로 자리잡을 것이다.

현재 우리가 목격하고 있는 기술 발전은 과거 어느 시대보다 빠르고 광범

위하다. 디지털 트윈을 통한 예측적 도시 관리, AI 기반 자율 관제 시스템, V2X 기술을 활용한 협력적 생태계는 더 이상 먼 미래의 이야기가 아니다. 2025년 본격 시행되는 자율주행차 성능 인증제와 전국적으로 확산되는 스마트시티 조성사업은 이러한 기술들이 현실에서 구현되고 있음을 보여주는 명확한 증거다.

특히 주목할 점은 기술 발전이 기술을 위한 기술에 머물지 않고 사람을 위한 기술로 진화하고 있다는 것이다. 교통약자를 위한 맞춤형 모빌리티 서비스, 개인별 이동 패턴을 학습한 최적화된 경로 제공, 실시간 안전 모니터링 시스템 등은 모두 시민의 실질적인 삶의 질 향상을 목표로 하고 있다.

모빌리티 AI관제센터의 미래상은 지속가능한 도시 발전이라는 글로벌 과제와도 밀접하게 연관되어 있다. UN이 전망하는 바에 따르면 2050년까지 세계 인구의 68%가 도시에 거주하게 될 것이며, 이는 도시의 효율적 관리와 자원 최적화가 인류의 생존과 직결된 문제임을 의미한다. 친환경 모빌리티 생태계 조성, 에너지 효율성 극대화, 탄소중립 도시 구현 등은 선택이 아닌 필수가 되었다.

AI관제센터가 제공하는 데이터 기반 정책 지원과 예측적 도시 관리 기능은 이러한 도전에 대응할 수 있는 강력한 도구가 될 것이다. 실시간 교통 최적화를 통한 에너지 절약, 공유 모빌리티 활성화를 통한 차량 수요 감축, 스마트 그리드 연계를 통한 신재생 에너지 활용 극대화 등은 모두 기술과 환경의 조화로운 발전을 보여줄 것으로 기대된다.

AI-Based Infrastructure Construction and Management Technology for Smart Cities:

Edge AI Fusion
Traffic Sensor Solution
through Verona,
Italy Demonstration

AI 기반 도시기반시설 구축 및 관리 기술:

이탈리아 베로나 실증을 통한 Edge AI 융합 교통센서 솔루션

김의철

Eui-Chul Kim



김의철은 비트센싱에서 부사장으로 재직 중이며, 글로벌 ITS 사업부를 이끌고 있다. 스마트 시티 교통 인프라 및 AI 기반 센서 기술 분야에서 다년간 활동해오며, TIMOS와 TraXight 솔루션의 글로벌 시장 진출을 주도하고 있다. 2025년 1월 국가 ITS 기술 발전과 글로벌 시장 진출 확대에 기여한 공로를 인정받아 국토교통부 장관 표창을 받았다. 국토교통부 K-City 네트워크 프로젝트를 통해 이탈리아 베로나시 포르타 누오바 교차로에 비트센싱의 ITS 통합 솔루션을 성공적으로 구축하였으며, CES 2025 스마트시티 부문 혁신상을 수상한 TraXight 솔루션과 조달청 우수제품으로 선정된 TIMOS의 사업화를 성공적으로 이끌어왔다.

Email: : richard@bitsensing.com

● 초록 ●

도시화가 급속도로 진행되면서 교통 혼잡, 인프라 노후, 환경 오염 등 다양한 도시 문제가 심화되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 AI 기술을 활용한 스마트시티 도시 기반 시설 구축 및 관리 기술이 핵심 해결책으로 주목받고 있다. 본 연구에서는 비트센싱의 TIMOS와 TraXight 솔루션을 중심으로 이탈리아 베로나시에서 진행된 K-City 네트워크 해외실증 사업을 통해 AI 기반 지능형 교통시스템의 실제 적용 사례와 성과를 분석한다. 레이더-카메라-AI 융합 기술을 통해 기존 교통 관리 시스템의 한계를 극복하고, 실시간 교통 데이터 수집 및 AI 기반 신호 최적화를 통해 교통 흐름을 개선한 결과를 제시한다. 특히 유럽 현지의 높은 기술적 요구사항과 복잡한 교통 환경에서 성공적으로 실증된 사례를 통해 한국의 스마트시티 기술의 글로벌 경쟁력을 입증하였다.

키워드

스마트시티, 인공지능, 지능형교통시스템, 도시기반시설, Edge AI

• ABSTRACT •

As urbanization rapidly progresses, various urban problems such as traffic congestion, aging infrastructure, and environmental pollution are intensifying. To address these issues, AI-powered smart city infrastructure construction and management technology has emerged as a key solution. This study analyzes practical application cases and achievements of AI-based intelligent transportation systems through the K-City Network overseas demonstration project conducted in Verona, Italy, focusing on bitsensing's TIMOS and TraXight solutions. We present results of overcoming limitations of existing traffic management systems through radar-camera-AI fusion technology and improving traffic flow through real-time traffic data collection and AI-based signal optimization. In particular, the global competitiveness of Korean smart city technology was proven through cases successfully demonstrated in Europe's demanding technical requirements and complex traffic environments.

KEYWORDS

Smart City, Artificial Intelligence, Intelligent Transport System, Urban Infrastructure, Edge AI

급격한 도시화로 인해 도시 인구 밀도가 지속적으로 높아지고 있으나, 도시 기반시설에 대한 투자는 규모가 크고 구축 속도가 더딘 구조적 한계를 갖고 있다. 특히 교통 인프라의 경우, 물리적 확장을 통한 용량 증대는 막대한 예산과 장기간의 건설 기간이 소요되어 급증하는 교통 수요에 신속히 대응하기 어려운 실정이다. 이로 인해 교통 체증, 대기오염, 에너지 효율성 저하 등의 문제가 지속적으로 발생하고 있으며, 기존의 인프라 확장 방식만으로는 근본적인 해결이 어려운 상황에 직면하고 있다.

이러한 도시 교통 문제를 해결하기 위해서는 기존 인프라의 효율성을 극대화하는 새로운 접근 방식이 필요하다. 데이터와 인공지능^{AI} 기술을 활용한 스마트 교통 관제 시스템은 이러한 해결책의 핵심이 되고 있다. 도로 위의 실시간 교통 데이터를 정확히 수집하고, Edge AI를 통한 현장 데이터 처리, 통합 데이터 플랫폼을 통한 정보 융합, 그리고 AI 기반 솔루션을 통한 지능형 교통 제어를 통해 기존 도로 인프라의 활용도를 혁신적으로 향상시킬 수 있다.

본 고에서는 AI 기반 스마트시티 도로 관제 시스템의 효율성 극대화를 중심으로, 현대 도시가 직면한 교통 문제에 대한 기술적 해결방안을 제시하고자 한다. 특히 비트센싱의 AI 기반 교통 관리 솔루션이 이탈리아 베로나시에서 진행 중인 K-City 네트워크 해외실증 사업을 통해 실제 도시 환경에서 어떻게 적용되고 성과를 거두고 있는지를 분석하고, 이를 통해 AI 기반 도시 기반시설 구축 및 관리 기술의 실용성과 기술적 우수성을 검증하고자 한다.

AI 기반 스마트시티 교통 관리 기술 동향

최근 교통 관리 분야에서 AI 기술은 다양한 혁신적 접근법을 통해 도시 교통 문제 해결에 기여하고 있다. 지능형 교통시스템(ITS, Intelligent Transport Systems)은 교통수단 및 교통시설에 전자·제어 및 통신 등 첨단 교통기술과 교통정보를 융합하여 교통체계의 운영 및 관리를 과학화·자동화하는 시스템으로, 최근에는 AI 기반의 예측 분석, 자율주행 지원, V2X(Vehicle to Everything) 통신 등으로 진화하고 있다.

AI 기반 교통 관리 시스템은 데이터 수집, 분석, 플랫폼 구축, 그리고 AI 기술 활용이라는 4단계 처리 체계를 통해 구현된다. 첫 번째 단계에서는 레이더 센서, 카메라, GPS/IMU 등 다양한 센서로부터 실시간 교통 데이터를 수집한다. 두 번째 단계에서는 Edge AI를 통해 현장에서 즉시 데이터를 처리하고 객체를 인식·추적하며 교통 패턴을 분석한다. 세 번째 단계에서는 수집·분석된 데이터를 바탕으로 빅데이터 저장소와 디지털 트윈 등의 플랫폼을 구축한다. 마지막으로 네 번째 단계에서는 다중 시스템과 연계하여 AI 모델을 적용하고 실시간 최적화와 예측 분석을 수행한다.

AI 기반 교통 관리의 핵심 기술 동향

적응형 신호 제어 시스템: AI 기반 적응형 신호등은 실시간 교통량에 따라 신호 주기를 동적으로 조정하여, 로스앤젤레스와 피츠버그 같은 도시에서 이동 시간을 25~40% 단축시키는 성과를 달성했다. 딥러닝 기반 교통 예측 및 최적화에서는 Deep Q-Network(DQN), Deep Deterministic Policy Gradient(DDPG) 등의 심층강화학습 알고리즘을 활용하여 네트워크 전체의 교통 신호를 최적화하고 있다.

Edge AI는 데이터가 생성되는 현장에서 직접 AI 처리를 수행하는 기술로, 스마트시티 교통 관리에서 특히 중요한 역할을 한다. 중앙 서버로 데이터

를 전송하지 않고 현장에서 즉시 처리함으로써 지연시간을 최소화하고, 네트워크 대역폭 사용량을 줄일 수 있다. 또한 개인정보 보호 측면에서도 민감한 데이터를 외부로 전송하지 않아 보안성을 강화할 수 있다.

비트센싱의 혁신적 Edge AI 교통 솔루션

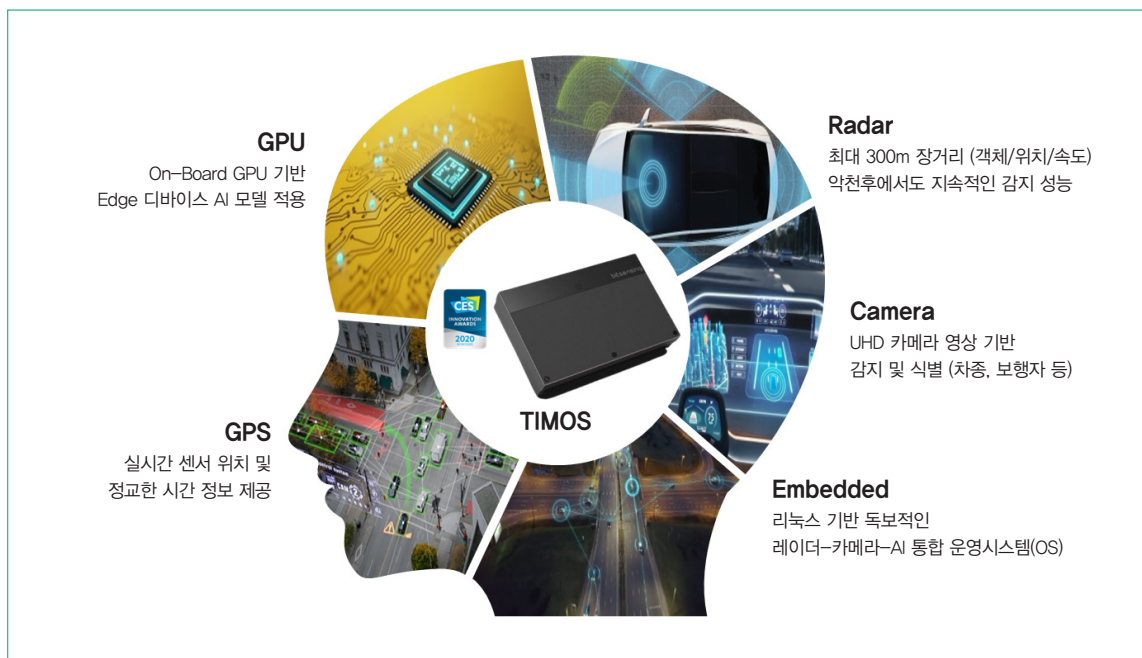
TIMOS: 차세대 융합 교통센서

TIMOS Traffic Insight Monitoring Sensor는 AI 컴퓨팅 기반으로 레이더와 카메라가 일체형으로 내장된 차세대 융합 교통센서이다. 24GHz 고해상도 레이더, 4K 카메라, NVIDIA Jetson 플랫폼 기반 GPU를 통합한 올인원 솔루션으로, Edge AI 기술을 통해 현장에서 실시간 교통 데이터를 처리한다.

기술적 사양: 감지 거리 300m, 속도 분해능 1.2 kph, 최대 320 kph의 속도

Figure 1

**TIMOS 차세대
융합 교통센서**



감지 범위, 각도 분해능 2.0°, 수평 100°/수직 30°의 시야각을 갖춘 TIMOS는 최대 256개의 객체를 동시에 감지하고 16차선까지 커버할 수 있다. 승용차, 보행자, 자전거, 오토바이, 버스, 밴, 트럭, 대형트럭 등 8가지 유형의 교통 객체를 정확히 구분하며, 64개 구역으로 세분화하여 대기행렬 초과, 정차/정체, 무단횡단, 역주행, 과속 등 8가지 교통 상황을 실시간으로 감지한다.

기존 기술 한계의 혁신적 극복

기존 CCTV 기반 교통 데이터 수집 방식은 제한된 시야각, 악천후 시 성능 저하, 높은 오감지율 등의 문제를 갖고 있었다. 비트센싱은 레이더를 주 센서로, 카메라를 보조 센서로 활용하는 융합 전략을 채택했다. 레이더는 날씨나 조명 조건에 관계없이 안정적인 감지 성능을 제공하며, 차량의 실시간 위치, 속도, 궤적 정보를 정밀하게 추출할 수 있어 AI 기반 교통 최적화 알고리즘의 입력 데이터로 최적이다.

TIMO-IX: 교차로 통합 관리 시스템

TIMOS의 확장형 버전인 TIMO-IX는 교차로 내 다수의 TIMOS 센서를 통합 관리하는 로컬 엣지 서버 솔루션이다. 최대 4개의 TIMOS 센서를 단일 교차로에서 통합 관리할 수 있으며, 센서 간 Hand-Over 기능을 통해 차량이 여러 센서의 감지 영역을 이동할 때도 연속적인 추적이 가능하다. 개별 TIMOS 센서의 데이터를 교차로 단위로 통합하여 교차로 전체의 교통 흐름을 하나의 통합된 뷰로 제공한다.

TraXight: AI 기반 통합 교통 관리 플랫폼

TraXight는 레이더-카메라-AI 융합 데이터를 기반으로 스마트시티의 교통 문제 해결을 지원하는 통합 플랫폼이다. DNN(Deep Neural Network)과 GAN(Generative Adversarial Network) 모델을 활용하여 교통 신호를 최적화한다. 각 신호 단계별 시간, OD 차량 도착률, 도로 차선 수를 입력으로 하는 28차원 데

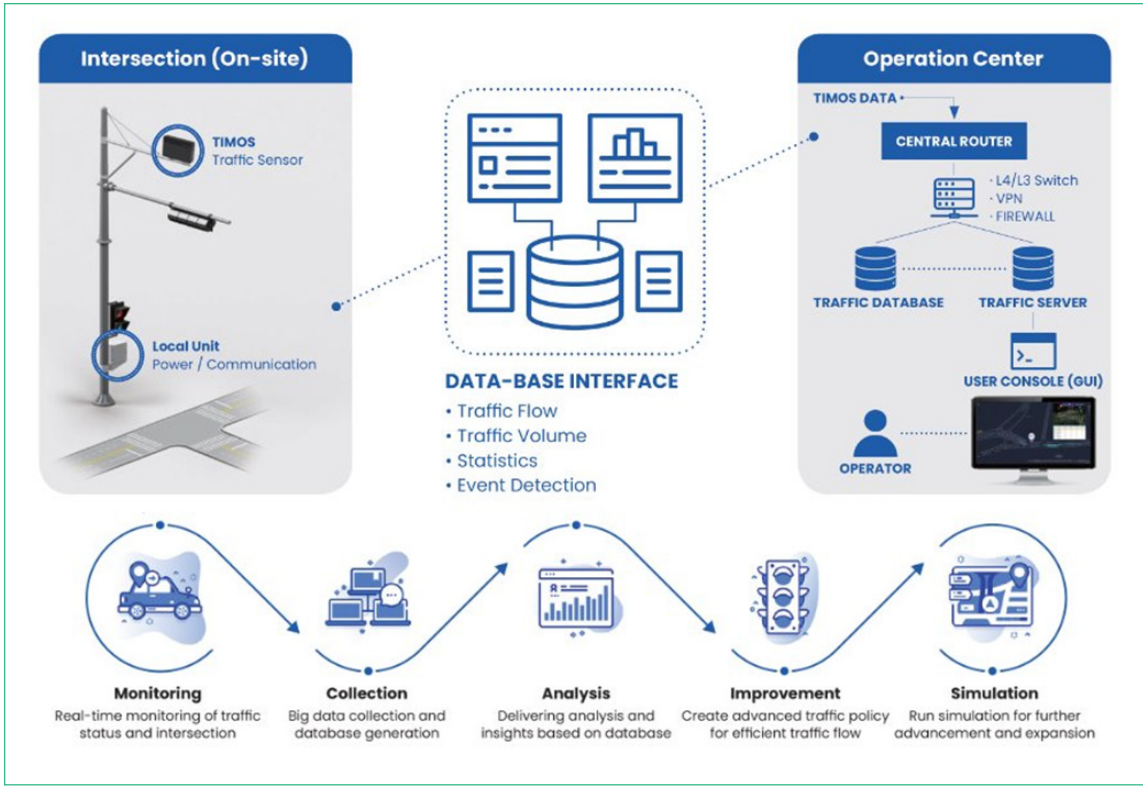


Figure 2

비트센싱 교통관제시스템
구성 및 핵심 기능

이터를 활용하여 대기 시간, 이동 시간, 대기 횟수, 속도 등을 예측한다. CES 2025 혁신상 수상은 이러한 기술적 우수성을 입증하는 성과이다.

이탈리아 베로나 K-City 네트워크 해외실증 사업

실증 사업 추진 배경 및 현황

이탈리아 베로나시는 유럽연합(EU)의 C-Road 사업에 직접 참여하며 스마트 교통 인프라 구축에 적극적이었다. 베로나는 연간 2,500만 명의 관광객이 방문하는 유네스코 세계문화유산 도시로, 좁은 중세 도로 구조와 급증하는 교통 수요 사이의 불균형으로 심각한 교통 문제를 겪고 있었다. 이러한 배경

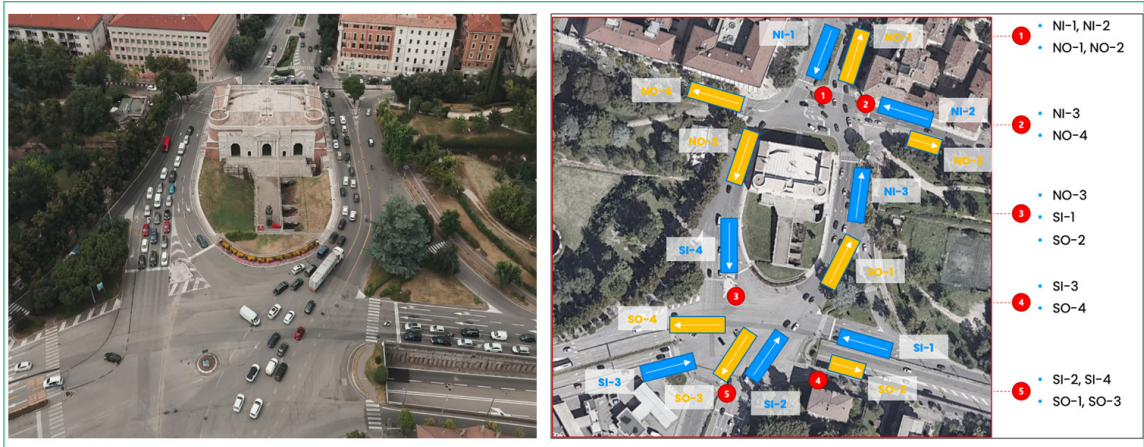


Figure 3

**포르타 누오바 Porta Nuova
구역과 교통량 수집 단위
블록 설계**

에서 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원KAIA이 추진하는 K-City Network 해외실증형 사업의 파트너로 선정되었다.

특히 베로나의 ‘포르타 누오바’ 구역은 중앙역과 구시가지지를 연결하는 교통의 요충지로, 일일 평균 5만 대의 차량이 통과하는 병목 구간이다. 역사적 건물로 둘러싸인 이 지역은 물리적 도로 확장이 불가능하여, AI 기반 교통 최적화가 유일한 해결책이었다. 베로나 시정부는 “스마트시티 베로나 2030” 계획의 일환으로 이 지역을 스마트 교통 시범 구역으로 지정하고, 한국의 첨단 ITS 기술 도입을 결정했다.

실증 사업은 단계적 확대 전략으로 추진되고 있다. 1차 사업(2024년 5-12월)에서는 포르타 누오바 구역의 2개 핵심 교차로(북측 Via Città di Nîmes, 남측 Via Campo Marzo)에 10대의 TIMOS 센서와 2대의 TIMO-IX 로컬 엣지 서버, TraXight 중앙 플랫폼을 구축했다. 시스템은 2024년 9월부터 24시간 무중단 운영을 시작하여 2,520시간의 연속 데이터를 축적했으며, 99.5%의 높은 가용성을 달성했다.

현재 진행 중인 2차 사업(2025년)에서는 베로나 아레나와 Piazza Bra까지 감시 범위를 확장하고 있다. 8대의 TIMOS를 추가 설치하여 총 18대의 센서 네트워크를 구성하고, AI 기반 적응형 신호 제어 시스템을 본격 가동할 예정

이다. 또한 베로나 시의 통합 교통 관제 센터와 연계하여 도시 전체의 교통 흐름을 최적화하는 작업을 진행 중이다.

실증 환경의 기술적 도전과제와 해결 방안

베로나 실증 현장은 한국과는 다른 여러 기술적 도전과제를 제시했다.

첫째, 유럽 특유의 복잡한 교차로 구조가 가장 큰 난제였다. 포르타 누오바 구역의 두 개 교차로는 타원형 형태로 구축되어 있어 신호 체계가 매우 복잡했다. 일반적인 사거리와 달리 여러 방향에서 진입하는 차량들이 곡선 구간을 따라 이동하며 복잡한 교통 흐름을 만들어냈다. 이러한 특수한 기하 구조로 인해 차량의 진입 각도와 회전 반경이 다양하고, 신호 단계별 처리가 복잡하여 기존의 교통 관리 시스템으로는 효율적인 제어가 어려웠다.

둘째, EU의 엄격한 개인정보보호 규정GDPR을 준수해야 했다. GDPR은 개인 식별이 가능한 모든 데이터의 수집과 저장을 엄격히 제한하며, 위반 시 전 세계 연매출의 4% 또는 2,000만 유로의 과징금이 부과될 수 있다. 특히 카메라 영상의 경우 차량 번호판이나 운전자 얼굴이 촬영될 수 있어 매우 신중한 접근이 필요했다.

셋째, 기존 교통 인프라와의 단계적 통합 전략이 필요했다. 베로나시는 이미 운영 중인 교통 신호 체계와 관제 시스템을 보유하고 있어, 새로운 AI 기반 솔루션을 도입하면서도 기존 시스템의 안정성을 유지해야 했다. 이를 위해 데이터 인터페이스 표준화, 단계적 제어권 이양, 비상시 대체 운영 메커니즘 구현 등 신규 시스템 간 매끄러운 전환과 공존이 가능한 아키텍처 설계가 중요했다.

비트센싱은 이러한 과제들에 대해 혁신적인 해결 방안을 제시했다. 레이더를 주 센서로 활용하여 개인 식별 정보 없이도 정밀한 차량 추적이 가능하게 했고, 카메라는 차종 분류와 교통 상황 확인용으로만 제한적으로 사용했다. 또한 Edge AI 처리를 통해 영상 데이터를 현장에서 즉시 익명화하여 개인정보보호 규정을 완벽히 준수했다. 기존 교통 인프라와의 통합은 현재 1차

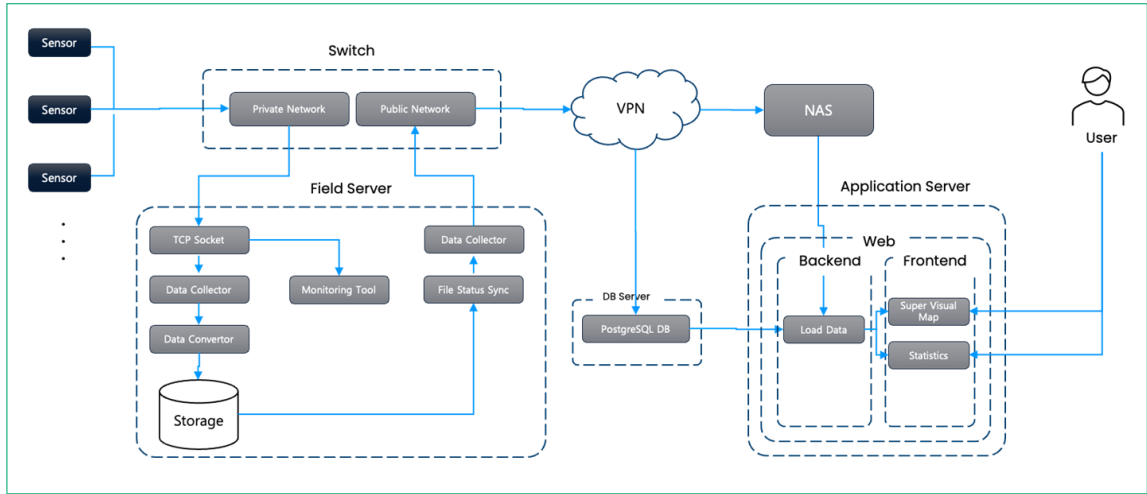


Figure 4

운영시스템 구성도

실증에서 수집된 데이터를 기반으로 단계적 연동 계획을 수립한 상태이며, 2차 사업을 통해 베로나시 관제 센터와의 데이터 공유 체계를 구축하고, 향후 실제 신호 제어 연동을 구현할 예정이다

실증을 통한 핵심 기술 검증

다중 센서 융합 기반 정밀 교통 데이터 수집

베로나 실증에서 구현된 다중 센서 융합 기술은 세 가지 혁신적 특징을 보여주었다.

차선별 정밀 추적 기술: TIMOS의 24GHz 레이더는 2.0°의 높은 각도 분해능과 1.2 kph의 속도 분해능을 활용하여, 최대 16차선 도로에서도 개별 차량을 정확히 추적했다. 특히 포르타 누오바 북측 교차로의 경우, 6개 접근로에서 진입하는 차량들이 복잡하게 교차하는 상황에서도 95% 이상의 정확도로 차량별 궤적을 추적했다. 4K 카메라와의 융합을 통해 승용차, 버스, 트럭,

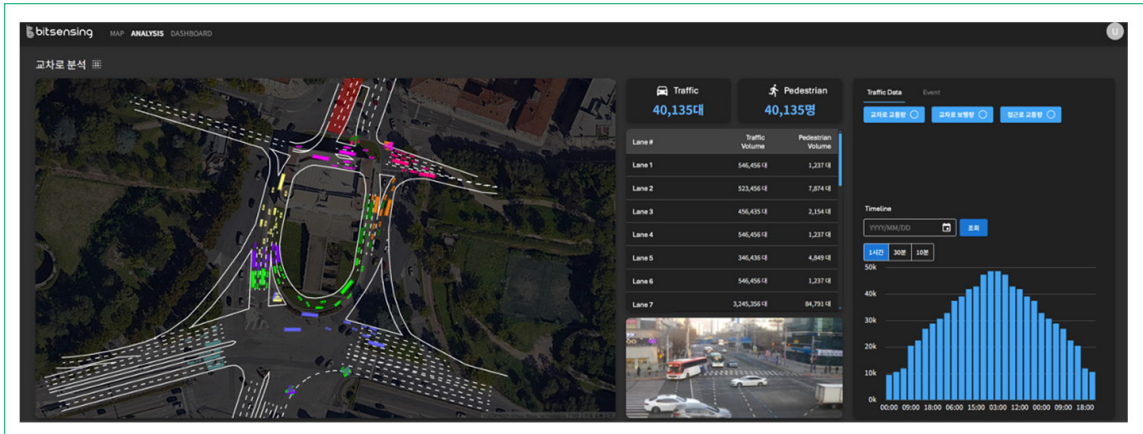


Figure 5

비트센싱 운영시스템 솔루션

오토바이, 자전거 등 8가지 차종을 구분하고, 각 차종별 이동 패턴을 분석했다.

연속적 차량 ID 추적: 각 차량에 고유한 임시 ID를 부여하고, 300m 감지 거리 내에서 지속적으로 추적하는 시스템을 구현했다. 복수의 TIMOS 센서 간 Hand-Over 기능을 통해, 차량이 한 센서의 감지 영역을 벗어나 다른 센서 영역으로 진입할 때도 동일한 ID를 유지하며 추적했다. 이를 통해 교차로 진입부터 통과까지의 전체 궤적, 차선 변경 횟수, 가속/감속 패턴, 대기 시간 등을 정밀하게 측정할 수 있었다.

교차로 레벨 통합 분석: TIMO-IX 로컬 엣지 서버는 교차로에 설치된 4~5개의 TIMOS 센서 데이터를 통합하여, 교차로 전체를 하나의 통합된 뷰로 분석했다. 이를 통해 회전 교통량(좌회전, 직진, 우회전)을 정확히 구분하고, 신호 주기별 통과 교통량, 포화도, 지체시간 등 교차로 수준의 성능 지표를 실시간으로 산출했다. 특히 15개 블록으로 세분화된 구역별 분석을 통해, 교차로 내 정체 발생 지점과 병목 구간을 정확히 파악할 수 있었다.

Edge AI 기반 실시간 처리 및 이상 상황 감지

Edge AI 기술의 적용은 실시간성과 효율성 면에서 탁월한 성과를 보였다.

초저지연 데이터 처리: NVIDIA Jetson Xavier NX 플랫폼 기반의 Edge AI

는 레이더와 카메라 데이터를 현장에서 즉시 처리했다. 원시 데이터 수집부터 객체 인식, 추적, 분류, 상황 판단까지 전 과정이 100ms 이내에 완료되었다. 이는 중앙 서버 처리 방식 대비 10배 이상 빠른 속도로, 긴급 상황 발생 시 즉각적인 대응이 가능했다.

지능형 상황 인지 시스템: TIMOS는 64개 구역으로 세분화된 감지 영역에서 8가지 주요 교통 이벤트를 실시간으로 감지했다. 정상 교통 패턴을 학습한 AI 모델은 평균 속도 대비 50% 이상 감속, 5분 이상 동일 위치 정차, 역방향 이동, 비정상적 차선 변경 등을 자동으로 감지했다. 특히 교통사고 발생 시 평균 15초 이내에 감지하여 관제 센터에 알림을 전송했으며, 이는 기존 CCTV 기반 시스템 대비 75% 빠른 반응 속도였다.

네트워크 효율성 극대화: Edge 처리를 통해 중앙 서버로 전송되는 데이터 양을 90% 감소시켰다. 초당 30프레임의 4K 영상과 초당 20회의 레이더 스캔 데이터 중, 실제로 중앙으로 전송되는 것은 처리된 메타데이터와 이벤트 정보뿐이었다. 이를 통해 10대의 TIMOS 운영에 필요한 네트워크 대역폭을 100Mbps 이하로 유지할 수 있었고, 클라우드 서버 비용을 월 5,000유로에서 500유로로 절감했다.

AI 기반 교통 최적화 및 성과 분석

다차원 평가 지표 기반 통합 최적화

TraXight 플랫폼은 POSTECH과 공동 개발한 다차원 평가 체계를 통해 교통을 종합적으로 최적화했다.

심층강화학습 기반 신호 최적화 엔진: DNN(Deep Neural Network)과 GAN(Generative Adversarial Network)을 결합한 하이브리드 모델을 구축했다. 28차원의 입력 벡터(신호 단계별 시간, 차로별 대기 차량 수, 접근 속도, 차종 구성, 시간

대, 요일, 날씨 등)를 처리하여 최적 신호 시간을 도출했다. 특히 Knowledge Sharing-DDPG(Deep Deterministic Policy Gradient) 알고리즘을 적용하여, 인접 교차로 간 협력적 신호 제어를 구현했다.

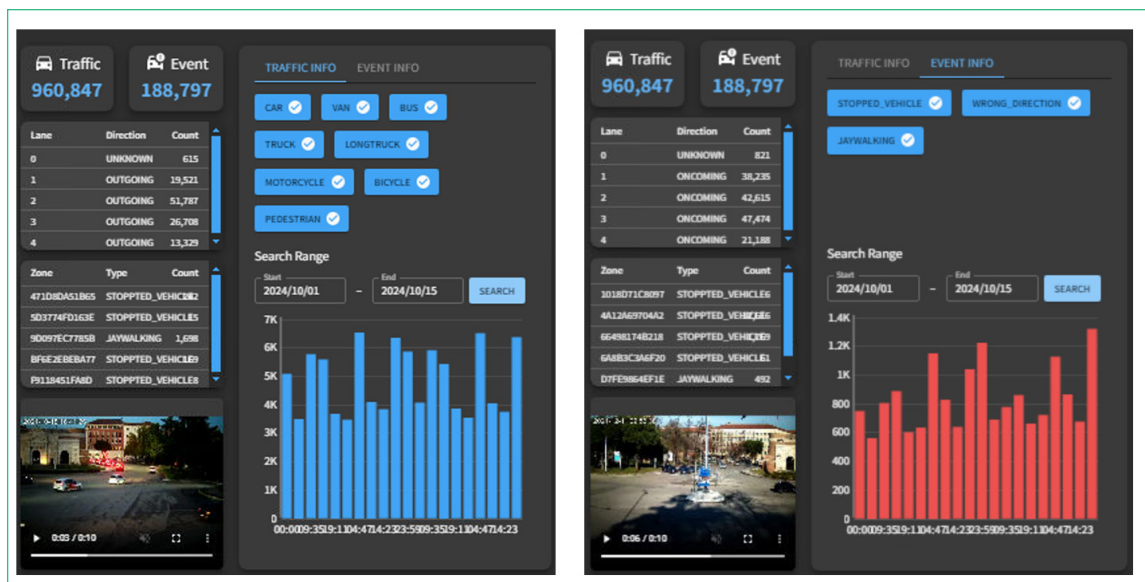
단계적 검증 및 시뮬레이션: 실증 초기에는 센서 설치 및 기본 데이터 수집 기능을 우선 검증하고, 안정적 데이터 수집이 확인된 후 AI 분석 및 시뮬레이션 기능을 단계적으로 적용했다. TraXight 플랫폼의 시뮬레이션 엔진을 통해 현장 실측 교통 데이터를 기반으로 AI 모델이 제안한 신호 최적화 방안의 예상 효과를 분석했다. 각 단계별로 데이터 품질, 분석 신뢰성, 시스템 응답성을 점검하며 실증 중 오류와 환경 변수를 최소화했다.

실증 운영 성과

베로나 실증 사업은 2024년 9월부터 12월까지 3.5개월간 24시간 무중단으로 운영되며 안정적인 시스템 성능을 입증했다. 총 2,520시간 동안 연속적으로 데이터를 축적하면서 단 0.5%의 다운타임만을 기록하여 99.5%라는 높은 시스템 가용성을 달성했다. 이는 유럽의 복잡한 도시 환경에서도 한국의 스마

Figure 6

차량 교통량 및
돌발상황 감지 교통 데이터
실증 현황



트시티 기술이 안정적으로 작동할 수 있음을 보여주는 중요한 지표이다.

데이터 수집 체계 측면에서는 포르타 누오바 교차로를 15개 블록 단위로 세분화하여 정밀한 분석을 수행했다. 북측 교차로는 7개 구역, 남측 교차로는 8개 구역으로 나누어 각 블록에서 교통량, 속도, 차종, 차량 궤적, 대기행렬, 정제 상황 등 15개 항목의 데이터를 실시간으로 수집하고 분석했다. 이러한 세분화된 접근 방식을 통해 교차로 내 특정 지점의 문제를 정확히 파악하고 맞춤형 해결책을 도출할 수 있었다.

기술적 성능 면에서 TIMOS는 최대 16차선까지 동시에 모니터링할 수 있는 능력을 보여주었다. 특히 복잡한 유럽형 교차로 환경에서도 차선별 개별 차량을 95% 이상의 정확도로 식별했으며, 이는 기존 시스템 대비 월등한 성능이다. Edge AI 기술의 적용으로 데이터 생성부터 분석 결과 도출까지 100ms 이내에 완료되어 실시간 교통 제어가 가능함을 입증했다. 또한 비, 안개 등 악천후 상황에서도 92% 이상의 감지 정확도를 유지하여 날씨에 관계없이 안정적인 운영이 가능함을 확인했다.

네트워크 효율성 측면에서도 주목할 만한 성과를 달성했다. Edge 처리를 통해 중앙 서버로 전송되는 데이터양을 90% 감소시켜 네트워크 인프라 부담을 크게 줄였으며, 서버 부하 역시 75% 감소시켜 운영 비용을 대폭 절감할 수 있었다. 이는 대규모 스마트시티 인프라 구축 시 경제성을 크게 향상시킬 수 있는 중요한 요소이다.

실증 기간 동안 수집된 데이터를 통해 베로나의 교통 패턴에 대한 심층적인 이해를 얻을 수 있었다. 9월 대비 10월에 교통량이 평균 8% 감소하는 계절적 변화를 포착했으며, 이는 관광 시즌의 변화와 연관된 것으로 분석되었다. 또한 오전 피크 시간이 8시 30분에서 8시로 30분 조기화되는 현상을 발견하여, 시민들의 출근 패턴 변화를 확인할 수 있었다. 주말 오후 시간대에는 평일 대비 15% 교통량이 감소하는 패턴도 확인되어, 시간대별·요일별 맞춤형 신호 운영 전략 수립의 기초 자료를 확보했다.

TraXight 플랫폼의 자체 시뮬레이션 엔진을 활용한 분석 결과, AI 기반 신

호 최적화 방안 적용 시 교통 서비스 수준을 D등급에서 C등급으로 향상시킬 수 있는 가능성을 확인했다. 이는 현장에서 수집된 실제 교통 데이터를 기반으로 검증된 결과로, 베로나시에 물리적 인프라 확장 없이도 교통 흐름을 개선할 수 있는 구체적 방안을 제시했다. 현재 2차 사업에서 실제 신호 제어 시스템 연동을 준비 중이다.

이러한 성공적인 실증 결과는 Euronews, IEEE Spectrum 등 주요 국제 언론에 보도되며 한국 스마트시티 기술의 우수성을 전 세계에 알리는 계기가 되었다. 특히 레이더 센서 기반의 정밀한 교통 데이터 수집과 Edge AI 처리 기술의 우수성이 높은 평가를 받았다.

향후 발전 방향 및 기술 고도화 전략

V2I 자율협력주행 플랫폼으로의 진화

베로나 실증의 성과를 바탕으로 비트센싱은 차세대 V2I(Vehicle-to-Infrastructure) 자율협력주행 플랫폼으로의 진화를 준비하고 있다. 2026-2027년까지 도시 전체의 교통 흐름을 실시간으로 시뮬레이션하고 예측하는 시스템을 구축할 계획이다.

블록 단위(도로를 더욱 세분화한 구간)의 초정밀 교통 정보를 생성하여, 자율주행 차량에게 현재 위치부터 목적지까지 최적 차선, 권장 속도, 돌발 상황 정보를 실시간으로 제공하는 시스템을 구현할 예정이다. 이는 단순한 경로 안내를 넘어서 차선 수준의 정밀한 주행 가이드를 제공하는 혁신적 서비스가 될 것이다.

차세대 고주파 레이더로의 전환

현재 24GHz 레이더를 사용하는 TIMOS는 향후 77GHz/79GHz 고주파 레

이더로 전환될 예정이다. 고주파 레이더는 더 높은 각도 분해능과 거리 분해능을 제공하여, 보다 정밀한 차선별 추적과 객체 분류가 가능하다. 특히 보행자, 자전거 등 작은 객체의 식별 정확도가 크게 향상될 것으로 예상된다.

디지털 트윈 기반 예측형 교통 관리

실시간 데이터와 과거 패턴을 결합한 디지털 트윈 시스템을 구축하여, 교통 상황을 사전에 예측하고 선제적으로 대응하는 시스템으로 발전시킬 계획이다. 이벤트(축제, 스포츠 경기 등) 기반 교통 수요 예측, 날씨 변화에 따른 교통 패턴 변화 예측, 공사나 사고 발생 시 우회 경로 자동 생성 등의 기능을 구현할 예정이다.

결론

이탈리아 베로나시에서 진행 중인 K-City 네트워크 해외실증 사업은 비트센싱의 TIMOS와 TraXight 솔루션을 통해 AI 기반 스마트시티 교통 관리 기술의 실용성을 입증했다. 레이더-카메라-AI 융합 기술로 차선별 차량 추적, Edge AI 기반 실시간 처리, 심층강화학습 신호 최적화 등의 핵심 기술을 실제 도시 환경에서 성공적으로 구현했으며, 교통 서비스 수준을 D등급에서 C등급으로 개선하는 구체적 성과를 달성했다.

베로나 실증 사업은 레이더 센서 중심의 융합 기술이 미래 스마트시티 교통 관리의 핵심임을 확인했다. “Safety, Efficiency, Connectivity”라는 세 가지 핵심 가치를 바탕으로, 사고 예방, 교통 효율성 극대화, 그리고 완벽한 자율주행 시대를 위한 인프라 연결성을 실현함으로써, “Radar Reimagined”라는 비트센싱의 비전을 구현하고 있다. 앞으로도 지속적인 기술 혁신과 실증을 통해 더 안전하고 효율적이며 지속가능한 도시 교통 시스템 구현에 기여할 것으로 기대된다.

I References I

1. Barceló, J. (2010). Fundamentals of Traffic Simulation, International Series in Operations Research & Management Science, Vol. 145, New York, Springer, 23-45.
2. Chen, C., & Zhang, G. (2021). Deep Learning for Traffic Flow Prediction: A Comprehensive Review. *Transportation Research Part C*, 130, 103-115.
3. European Commission (2020). C-Roads Platform: Harmonised C-ITS Deployment in Europe. Brussels, EC Publications Office, 12-34.
4. Kim, H., & Lee, S. (2023). Edge AI Applications in Smart City Traffic Management. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(8), 8234-8247.
5. Li et al. (2021) Network-wide traffic signal control optimization using a multi-agent deep reinforcement learning. *Transportation Research Part C*, 125, 103-117.
6. Lynch, K., & Hack, G. (1994). Site Planning, 3rd ed., Cambridge, MIT Press, 132.
7. Park, J., Kim, D., & Choi, Y. (2022). Radar-Camera Fusion for Robust Traffic Monitoring in Adverse Weather Conditions. *Sensors*, 22(15), 5678-5692.
8. Transportation Research Board (2016). Highway Capacity Manual: A Guide for Multimodal Mobility Analysis, 6th ed., Washington D.C., National Research Council, 234-256.
9. Wang, Y., & Chen, L. (2023). Privacy-Preserving Traffic Monitoring Using Millimeter-Wave Radar Technology. *Journal of Transportation Engineering*, 149(4), 04023012.
10. World Bank (2021). Smart Cities: Technologies and Applications for Urban Development. Washington D.C., World Bank Publications, 78-92.

11. Zhang, Q., & Liu, H. (2022). AI-Driven Signal Optimization in Urban Traffic Networks: Theory and Practice. *Transportation Research Part B*, 165, 234-251.

에필로그

스마트시티의 어제와 오늘

스마트시티는 지금 이 순간에도 눈부신 발전을 거듭하고 있다. 세계의 도시들은 자신이 갖고 있는 자원과 역량을 최대화하고 취약점과 한계를 최소화하는 방향에서, 시민의 삶이 더 풍요로워지고 시민의 참여가 더 넓혀지도록 다양한 실험을 하고 있다. 2021년 시작된 ‘스마트시티 탐 어젠다’ 저널이 5년째를 맞아, 저널에 참여했던 저자들에게 그간의 변화와 소회, 새로운 통찰에 대해 듣는 것은 의미 있는 작업이 될 것이다. 스마트시티는 도시와 기술, 정부와 시민이 유기적으로 연결되어 함께 만들어가는 것이기에 정답은 하나가 아니고 결과는 늘 열려 있기 때문이다.

에필로그에 참여해주신 크리스티 살라(2021년 기고), 카를로 모레노(2022년 기고), 올리히 알러(2023년 기고)에게 감사를 전한다.



포스트 코로나 시대의 스마트 교통

크리스티 샬라 *Kristi Shalla* | 수석 스마트시티 컨설턴트



코로나19 팬데믹은 스마트 교통에 대한 우리의 관점을 근본적으로 변화시켰으며, 일상적인 교통 이용 방식에 대해 근본적인 의문을 제기했다. 수십 년간 당연시되던 기존의 패러다임은 재편되었고, 그 결과 도시, 교외, 농촌 환경에서 더욱 공평하고 지속가능한 교통 시스템을 구축하기 위한 다각적인 발전과 시도로 이어졌다. 사회적 규범의 변동은 여전히 우리 공동체 전반에 걸쳐 진행 중이고, 최적의 교통 정책이 지향해야 할 방향과 그 수준은 아직도 명확하지 않다.

코로나19 팬데믹 기간에 얻은 스마트 교통 분야의 교훈을 토대로, 우리는 지난 4년간 일련의 혁신적인 발전을 경험해왔다. 특히 도시 지역에서는 우리가 모든 곳에 직접 가지 않아도 되고 꼭 필요할 때만 현장에 있으면 된다는 발상에 기반해, 고도화된 지속가능 정책들이 개발되었다. 이러한 발상의 핵심은 주거지 가까운 곳에 공동체를 형성하여 이동의 필요성을 줄일 수 있다는 것이다. 카를로스 모레노 *Carlos Moreno*는 도시 거주자가 집에서 도보나 자전거로 15분 이내에 생활에 필요한 모든 것에 접근할 수 있도록 도시를 구성해야 한다는 ‘15분 도시’ 모델을 제안했다. 이 아이디어는 고밀도 도시의 주민들에게 큰 반향을 일으켰지만, 다양성과 형평성 문제, 그리고 자원 배분과 관련하여 여전히 몇 가지 해결되지 못한 질문을 남겨 놓았다. 카이 악스하우

젠Kay Axhausen의 ‘전기자전거 도시e-bike city’¹⁾ 모델 또한 스마트 교통의 미래에 대한 논의에서 중요하게 다뤄진다. 이 모델은 도시의 물리적 구조 재편에 집중하기보다, 개인용 내연기관 차량의 사실상 전면 퇴출과 함께 도시 환경 전반을 확실한 마이크로 모빌리티 네트워크 및 대중교통 옵션으로 대체하는데 중점을 둔다.

교외 및 농촌 환경에서는 대규모 전기차와 자율주행차 개발 및 보급을 통해 지속가능성으로의 전환이 명백히 관찰되었고, 이와 더불어 향상된 배터리 기술 개발 경쟁과 공유형 교통수단의 확산 또한 가속화되었다. 미국을 비롯한 전 세계 대다수 정부는 청정 연료의 원활한 사용을 지원하고자 보조금 지급과 광범위한 배터리 충전소 구축 등 전기차 보급을 장려하는 정책을 적극적으로 펼쳤다. 일부 보수 성향 정부가 이러한 정책 중 일부를 철회하는 움직임에도 불구하고, 청정 연료 기반 차량의 유지보수 비용이 저렴하고 운전자에게 뛰어난 성능을 제공하는 등 자유 시장에서 명확한 이점을 지닌다는 사실은 분명하다. 이러한 기술 도입을 미루는 것은 결국 피할 수 없는 변화를 지연시킬 따름이다.

교외 및 농촌 환경이 지속가능한 교통 대안으로 전환하는 또 다른 방식은 수요 응답형 교통DRT,²⁾ Demand Response Transport 서비스의 도입이다. DRT 서비스는 운영자가 수분 내에 수요에 즉각 반응하고 정해진 노선 기반의 대중교통 모델보다 더 넓은 지리적 영역을 포괄할 수 있도록 함으로써, 인구 밀도가 낮은 도시와 농촌 지역에 높은 효율성과 개인 맞춤형 대중교통 솔루션

1) 전기자전거 도시 모델은 취리히연방공과대학교(ETH Zürich)의 카이 악스하우젠 교수가 개발했는데, 탄소제로 마이크로 모빌리티와 공유 교통수단의 개념을 제시하고 있다.

2) 교통 분야 IT 기업인 한국의 스튜디오갈릴레이(Studio Galilei)는 2022년 한국 청주에서 바로(VARO) DRT 프로그램을 시범 운영했다. 그 결과 지역사회의 높은 호응으로 운행 차량이 3대에서 52대로 증가했다.

을 제공한다. 인공지능^{AI} 기술의 적용과 사용자층의 증가에 따라 호출 응답 시간은 단축될 것이며, 총 이동 시간 역시 감소할 것이다. 이 모든 변화는 낮은 인프라 구축 비용과 기존 대중교통 네트워크와의 연계가 쉽다는 이점을 동시에 지닌다.

스마트 교통 정책에 일부 부침이 있었음에도 불구하고, 현재는 교통 혁신에 매우 고무적인 시기다. 비록 고통스러운 경험이었지만, 코로나 시대는 우리에게 도시 개발의 대안을 깊이 고찰할 기회를 주었고, 그 후 교통에 대한 논의는 여전히 역동적으로 이어지고 있다. 기후 영향 적응과 완화라는 두 가지 측면에서, 스마트 교통은 2030년 이후 도시의 건강한 발전을 결정짓는 핵심 요소가 될 잠재력을 지니고 있다.

‘15분 도시’를 다시 가다

카를로스 모레노 *Carlos Moreno*

파리 제1대학교 IAE 파리 경영대학 소제
‘기업가정신, 지역, 혁신 연구소’ 학술위원회 의장



처음 ‘15분 도시’에 대해 글을 썼을 때만 해도, 그것은 새롭게 떠오르는 하나의 비전이었다. ‘모든 일상이 가까운 곳에서 이루어지는 도시’를 상정하는 개념, 즉 일상생활의 구조 속에 근접성을 녹여내려는 도시 모델이었다. 그러나 이후 이 아이디어는 발상지인 파리를 넘어 전 세계로 퍼져나가면서 정책 입안자, 도시계획가, 활동가, 그리고 지역 공동체에까지 영감을 주었다. ‘근접성’이라는 개념이 정치적, 문화적, 기술적 현실과 맞물리면서 논의는 한층 깊어졌고, 때로는 치열한 논쟁으로 이어지기도 했다.

지난 몇 년 동안 나는 고무적인 변화와 예상치 못한 도전을 함께 지켜보았다. 어떤 도시는 도시 계획의 마스터플랜에 ‘근접성’의 원칙을 도입해 이동, 주거, 사회 서비스를 유기적으로 연결하고, 이를 통해 시민들이 실질적인 혜택을 누릴 수 있도록 했다. 다른 어떤 도시는 임시 보행자거리, 지역 상권 활성화, 학교 앞 거리 프로그램 등 다양한 실험을 시도하며, 비록 작은 규모이지만 지역사회 차원에서 생활습관을 바꾼 놀라운 변화를 보여주었다.

그러나 한편으로는, 잘못된 정보와 포퓰리즘적 주장들이 가장 포용적인

아이디어마저 매우 쉽게 왜곡할 수 있는지도 보았다. ‘15분 도시’는 때때로 제한적이거나 유토피아적인 것으로 잘못 표현되기도 했는데, 이는 도시설계나 정책 못지않게 소통과 시민 참여가 중요하다는 사실을 다시금 깨닫게 해주었다. 이 과정을 통해 ‘근접성’이 단순한 공간적 개념이 아니라, 도시 생활 속에서 신뢰와 연대, 존엄을 바탕으로 한 사회적 약속으로 인식되어야 한다는 확신을 더욱 굳히게 되었다.

‘15분 도시’의 미래는 통합과 형평성에 달려있다고 할 수 있다. 물론 데이터, 이동성, 에너지 분야의 기술 발전이 도움이 될 수 있지만, 그것이 진정한 변화를 이끌어내기 위해서는 공정성과 접근성에 대한 확고한 약속이 함께해야 한다. 결국 가장 큰 과제는 기술이 아니라 문화의 변화다. 회복력 있고 살기 좋은 인간적인 도시는 정부, 기업, 연구자, 시민 등 모든 구성원이 서로 협력하고 함께 방향을 맞춰 나갈 때 만들어진다.

2025년에 들어서면서부터 나는 ‘15분 도시’를 하나의 완성된 청사진이 아니라, 살아 움직이는 과정으로 보기 시작했다. 즉, 지역의 맥락에 맞춰 변화하면서도 근접성, 지속가능성, 인간 존엄성이라는 보편적 가치를 지켜나가는 과정으로 이해하게 된 것이다. 그렇게 ‘15분 도시’는 단순한 도시 모델을 넘어, 우리가 사는 도시와 삶의 방식, 그리고 함께 상상하는 미래를 다시 바라보게 한 계기가 되었다.

또한 지난 몇 년 동안 나에게 가장 깊은 인상을 남긴 것은 ‘15분 도시’가 단순한 도시설계의 논의를 넘어, 현대사회에서 자유와 소속감의 의미를 다시 묻는 세계적 대화를 이끌었다는 점이다. 이 비전은 일상의 기반을 접근성, 신뢰, 연대감 위에 두면서, 도시가 단순히 머무는 공간이 아니라 민주주의와 문화, 그리고 인간 존엄이 함께 자라나는 공동의 장임을 일깨워 주었다.

또 하나의 중요한 깨달음은, ‘근접성’이 획일성을 뜻하지 않는다는 인식이 점점 확산되고 있다는 점이다. 파리에서 부산에 이르기까지 각 도시는 저마다의 문화적 정체성과 행정구조, 공동체의 강점을 바탕으로 ‘15분 도시’를 자신만의 방식으로 해석해 왔다. 이러한 다양성은 약점이 아니라 회복력의 증거다. 근접성의 원칙이 핵심 가치를 유지하면서도 다양한 현실 속에서 유연하게 적용될 수 있음을 보여주기 때문이다.

마지막으로, ‘15분 도시’의 여정을 통해 나는 한 가지 중요한 사실을 깨달았다. 새로운 비전은 지역사회가 스스로 받아들일 때 가장 빠르고 멀리 퍼진다는 것이다. 아이디어에 진정한 활력을 불어넣는 것은 시장市長이나 전문가의 계획이 아니라, 거리를 바꾸고 공간을 되찾으며 공동체의 유대감을 만들어가는 시민들의 창의력이었다. 이러한 일상의 실천 속에서 ‘15분 도시’는 점점 더 현실적이고 구체적이며 지속가능한 모습으로 발전해 나가고 있다.

스마트시티 최신 동향

울리히 알러 Ulrich Ahle | Gaia-X 협회(AISBL) 최고경영자



유럽 전역의 스마트시티 발전 과정을 성찰해보면 분명해지는 사실이 하나 있다. 디지털 시대에 번영할 수 있는 도시는 신뢰 기반의 도시라는 점이다. 여기서 신뢰란 단순히 시민 간의 문제가 아니라, 디지털 생태계 내 모든 주체들의 신뢰를 의미한다. 중앙 집권적이고 폐쇄적인 스마트시티 플랫폼이, 분권화되고 상호운용 가능하며 자율적인 디지털 생태계로 전환하는 것은 더 이상 이론의 영역이 아니다. 가이아-XGaia-X 신뢰 프레임워크를 통해 구체적이고 가시적이며 확장 가능한 방식으로 실현되고 있다.

특히 독일의 소도시 에텔른의 커뮤니티-XCommunity-X 같은 프로젝트를 통해 가장 작은 공동체도 디지털 선구자가 될 수 있음이 입증되었다. 이는 새로운 플랫폼을 구축하는 것이 아니다. 에너지 관리, 모빌리티, 건강, 환경 모니터링 등 다양한 분야에서 데이터가 안전하고 투명하게 연동될 수 있도록 행정, 규칙(제도) 및 개방형 표준을 수립하는 것이다. 가이아-X는 신뢰의 자동화를 실현한 사례이다.

이 프로젝트는 근본적인 변화를 이끈다. 과거 대부분의 스마트시티 이니셔티브는 외부와 단절된 상태에서 개발된 해결책에 의존하곤 했다. 그로 인

해 상호 연결이 제한되고, 특정 벤더에 종속되었으며, 성공적인 사례들이 다른 지역으로 확산되기 어려웠다. 하지만 가이아-X는 신뢰 분야의 흐름을 바꾸었다. 이 플랫폼은 지방자치단체, 스타트업, 대규모 인프라 제공업체 및 공공기관 등 다양한 주체들이, 신뢰를 검증하고, 규정을 자동으로 준수하며, 상호 운용성이 내재된 공유 거버넌스 체계하에서 협력할 수 있도록 해준다.

또 하나 주목할 것은 이러한 운영 방식이 하향식 모델이 아니라는 점이다. 가이아-X는 유럽을 비롯해 전 세계 수백 개의 공공 및 민간 부문 기관들과의 협력으로 구축된 커뮤니티 중심 계획이다. 그 핵심은 오픈소스이며, 포용적인 설계 기반으로 지역의 가치와 요구에 맞춰 조정이 가능하다. 신뢰 프레임워크는 고정된 체계가 아니라 끊임없이 진화하는 구조이다. 각 생태계가 독자적인 규칙을 정하고 발전시키면서도 호환성을 유지한다. 이러한 방식으로 디지털 인프라가 사람을 중심으로 작동하도록 보장한다.

우리는 신뢰가 왜 중요한지에 대해 자주 질문받는다. 이에 대한 답은 명료하다. 신뢰 없이는 데이터 공유가 불가능하기 때문이다. 데이터 공유가 없다면 인공지능^{AI}도, 혁신도, 스마트 서비스도 존재할 수 없다. 그러나 신뢰는 법으로 강제할 수 없다. 신뢰는 만들어지고, 체계적으로 관리되고, 끊임없이 유지되어야 한다. 가이아-X는 바로 이를 위한 인프라, 즉 신뢰를 구축하고 자동화하는 인프라를 제공한다.

앞으로도 유럽과 전 세계 지역들은 이러한 접근법을 적극적으로 지원하고 발전시켜 나가야 한다. 기반은 갖추어졌으니 이제 그것을 널리 전파해야 한다. 스마트시티는 디지털 트윈, 대시보드, 5G 네트워크만 의미하지 않는다. 기술을 공익에 맞춰 조정하고, 디지털 서비스의 민주적 거버넌스를 보장하며, 지역사회가 자신의 디지털 미래에 적극적으로 참여하고 주도할 수 있도록 역량을 강화하는 것이기도 하다.

디지털 전환의 미래는 어느 특정 공급업체, 정부 또는 기술에 의한 것이 아니라, 여러 생태계가 공동으로 만들어가는 것이 될 것이다. 가이아-X가 이러한 미래를 가능하게 하는 데 자부심을 느끼며, 전 세계의 도시와 지역의 이해관계자, 혁신가, 시민 모두가 미래를 구축하는 데 동참해 주길 바란다. 신뢰는 그저 하나의 가치가 아니라, 협력을 가능하게 하는 근본적인 토대이므로,

발행인 김이탁, 김정희 **발행일** 2025. 12. 31. **발행처** 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원

— 편집위원회 —

위원장 | 김정희 · 국토교통과학기술진흥원 원장 **부위원장** | 윤종빈 · 국토교통부 도시경제과 과장

위원 | (도시) 이제승 · 서울대학교 환경대학원 교수, 이세원 · 국토연구원,

(AI) 박동환 · 한국전자통신연구원ETRI, 안일엽 · 한국전자기술연구원KETI,

(교통) 민경찬 · 한국교통안전공단 자동차안전연구원 연구위원

문의처 국토교통과학기술진흥원 스마트시티산업지원센터(E-mail: initiative@kaia.re.kr)

홈페이지 www.kaia.re.kr

기획 · 디자인 · 제작 라의눈㈜

※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 2025

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>



ISSN 2983-0397 비매품