

기후위기 시대, 'AI 도시'의 운영체제: 싱가포르·항저우·뉴욕에서 배우다

진세봄

KAIST 국가AI연구거점 연구교수

saebom.jin@kaist.ac.kr



기후위기 시대, 'AI 도시'로의 전환과 과제

전 세계 인구의 절반 이상이 거주하는 도시는 에너지, 물, 주거환경 등 경제·사회·환경적 문제가 복합적으로 발생하는 공간이자, 기술·사회 인프라에 대한 수요가 집중되는 곳이다. 급속한 도시화와 인구 밀집, 인프라의 노후화는 이러한 문제를 심화시키며, 특히 기후재난은 도시의 핵심 기반 인프라와 사회경제적 기능 전체를 마비시키는 위험 요인으로 부상하고 있다. 기후변화로 인한 재난의 빈도와 예측 불가능성이 증가함에 따라, 위기 상황에서 인프라를 안정적으로 유지하고 복합 위험에 효과적으로 대응할 수 있는 지능형 도시 운영 체계의 필요성은 그 어느 때보다 커지고 있다.

이러한 기후 및 도시 문제의 심화와 함께, 최근 도시개발의 담론은 스마트시티에서 인공지능(AI) 도시로 전환되고 있다. 기술 발전 논의가 정보통신기술(ICT)에서 인공지능으로 옮겨 가면서 포스트-스마트시티의 전개로 자연스럽게 읽히는 흐름이다. 우리나라도 국토교통부 주도로 AI 대전환(AX) 정책 기조에 따라 AI 도시 조성을 국정과제로 채택하고 있으며, 유관 기관들과 함께 전담 TF를 발족하고 시범도시 사업계획 수립을 위한 예산안을 편성하는 등 실행 기반을 마련하고 있다¹.

¹ 국토교통부 보도자료 (2025.9.5.)

그러나 과거 스마트시티가 직면했던 기술관료적 접근과 분절적 대응의 문제가 고착화된 상태에서 기술적 수단만 AI로 전환된다면 기존의 한계를 극복하지 못할 가능성이 높다. 또한 AI 도시를 진화론적 관점에서 기술 발전에 따른 단순한 명칭 변화로 이해하기보다, 자동화(automation)에서 자율성(autonomy)으로, 더 나아가 행위성(agency)으로의 질적 변화를 함의하는 그 특징에도 주목할 필요가 있을 것이다. 특히 에이전틱 AI 도시에서 인공지능은 단순한 자동화 도구가 아니라 판단과 선택의 권한을 일부 이양받는 도시 행위자(urban actor)로 기능하므로², 기술 자체뿐 아니라 그것이 도입되는 사회·제도적 맥락이 더욱 중요해지고 있다.

이러한 관점에서 본고는 회복력(resilience) 있는 AI 도시 구현을 위해 고려되어야 할 점은 무엇인지 살펴 보고자 한다. 사회기술시스템(Socio-Technical Systems, STS) 및 시스템 전환론³에 근거하여 AI 도시 운영체제(Urban AI OS)의 개념과 요인을 구조화하고, 공통작전상황도(Common Operating Picture, 이하 COP)를 중심으로 한 AI 재난대응 체계를 재구성한다⁴. 이를 바탕으로 세계 주요 도시들의 사례별 유형을 비교해 보고, 이로써 단순한 기술 도입을 넘어 AI 도시의 거버넌스와 사회적 수용성을 함께 고려하는 정책 설계의 방향성을 제시하고자 한다.

AI 도시, 그리고 사회기술시스템 관점에서 본 AI-COP 운영체제의 재정의

AI 도시의 개념적 정의는 아직 초기 단계에 머물러 있으나 기존 스마트시티가 ICT 인프라와 빅데이터 분석 기술을 활용하여 데이터 기반 의사결정 및 운영의 효율성 제고에 초점을 맞추었다면, AI 도시는 AI 임베디드 시스템이 자율성, 적응력, 행위성을 기반으로 스스로 목표를 설정하고 문제에 대응하는 방향으로 논의되고 있다⁵. 특히 AI 도시의 운영체제⁶는 단순한 도시관리 플랫폼이 아니라 도시 운영의 작동 논리를 내재화한 ‘도시의 뇌’로서, 도시 각 기능을 통합하고 AI가 입력-처리-정책 실행까지의 과정을 스스로 수행하는 운영 인프라를 의미한다. 따라서 AI 도시가 고도화될수록 기술적 진보만이 아니라 그 사회기술적 결과에 대한 제도적·윤리적 책임의 내재화가 필수적이다.

이러한 맥락에서 필자는 사회기술시스템 전환론의 기술적, 제도적, 사회적 요소 세 축을 분석 프레임워크로 채택하여 AI 도시의 회복력을 설명하고자 한다. 예를 들어, COP가 아무리 기술적으로 정교하게 설계

² Cugurullo et al. (2024); Tiwari (2025)

³ Geels (2004)

⁴ 필자의 APEC 제3차 고위관리회의 및 재난관리고위급회의(SDMOF) 발표 자료를 토대로 보완·구체화

⁵ Cugurullo et al. (2024)

⁶ Luque-Ayala & Marvin (2020)의 저서에서 Urban OS는 도시의 디지털 영역과 물리적 영역을 통합해 운영함으로써 도시 전체의 운영 논리 체계와 거버넌스를 재구성하는 것을 의미하며, 이를 통해 “Computational City”를 실현할 수 있다고 봄



되었더라도 데이터 공유 체계나 이용자의 신뢰가 없다면 효과적인 재난대응은 불가능하다. 반대로, 아무리 신뢰성 있는 법·제도가 갖춰져 있어도 기술 인프라가 효과적으로 작동하지 않으면 회복력은 확보되지 않는다. 따라서 회복력 있는 AI 도시란 기술적 복원력과 사회·제도적 회복력을 모두 포함해 구현되어야 한다.

한편 전통적으로 COP는 군사 및 재난대응 분야에서 발전한 실시간 상황공유 플랫폼이며 API 기반 데이터 통합, 실시간 GIS 시각화, 협업 지원을 핵심 기능으로 한다⁷. 최근에는 AI 결합으로 데이터 이상 탐지, 분류, 상황 요약 등의 능력이 향상되고 있으나, COP 내부에 개별 AI 모델이나 API를 부착하는 구조는 확장성과 유지보수 측면에서 한계를 지닌다. 이 경우 도시 운영의 별도 계층은 존재하지 않고, COP는 재난 관련 데이터 수집·통합의 허브이자 시각화 대시보드로서만 작동한다.

이 글에서는 AI 도시 패러다임의 전환에 따라 AI-COP 통합 구조 역시 재정의되어야 한다고 본다. COP를 단순 시각화 플랫폼이 아닌, 도시 AI OS 위에 구성된 애플리케이션 계층으로 위치시킴으로써, 도시 AI OS는 도시 전역의 데이터·AI·시뮬레이션·제어 기능을 담당하는 코어가 되고, COP는 그 코어의 지능을 기반으로 협업 및 의사결정의 인터페이스로 작동한다. 이러한 구조는 재난대응뿐 아니라 교통, 에너지 등 통합적 도시 운영에 적용 가능하며, AI 모델과 데이터 파이프라인의 재사용성과 유지보수성을 획기적으로 향상시킬 것이다.

⁷ Department of Homeland Security (2008)

현재 국제적으로 합의된 AI 도시 및 운영체제에 대한 단일 지표 체계는 존재하지 않으나, 이 글에서는 ITU, ISO, OECD, World Bank 등 국제기구 표준 및 지표 체계와 선행 연구를 참조하여 아래 표와 같이 회복력 있는 도시를 위한 AI OS의 구성 요소 체계 예시를 도출하였다. 다음 장에서는 아래 표를 기반으로 세 가지 유형의 AI 도시 사례들을 살펴보고자 한다.

■ 표 1 - 회복력 있는 도시를 위한 Urban AI OS의 구성 요소 예시

범주	세부 구성 요소	설명 예시
기술적 요소 (Engineering Layer)	데이터 인프라	센서/IoT 네트워크를 통해 도시 현장 데이터를 수집, API/데이터 표준을 통해 상호운용성 확보, 실시간 스트리밍 파이프라인과 메타데이터관리(Data Lakehouse) 기능을 갖춘 도시데이터페브릭 형성
	AI 엔진	MLOps 기반 모델 파이프라인, 도메인별 AI 예측·최적화 모델을 AI 모델 카탈로그에서 관리, API 게이트웨이를 통해 COP·행정시스템·민간서비스앱과 실시간 연계함으로써 AI 서비스(AlaaS) 허브 구축
	디지털 트윈	도시 전체 인프라를 통합하는 시뮬레이션 레이어를 구성, 실시간 데이터와 AI 예측을 결합한 상황예측 및 정책 시뮬레이션 수행, COP 대시보드 및 AR/VR 연동해 예측기반 의사결정을 지원
	자동제어·운영	강화학습 기반 제어시스템과 현장기반 제어용 엣지컴퓨팅으로 저지연 대응 수행, COP통합운영모듈이 AI 판단·명령·제어를 하나의 화면으로 통합해 도시 전체 운영의 순환형 페루프 완성
	시스템 보안·신뢰성	데이터 및 AI 암호화 및 보안관리, 시스템 장애 예측 및 복구, MLOps 준수, 제로트러스트 아키텍처로 시스템 신뢰성 보장
제도적 요소 (Institutional Layer)	AI 거버넌스 구조	도시 AI OS 운영 주체의 투명성·책임성 확보를 위한 거버넌스 기구 설계, 정책 검증 및 모델 평가를 위한 제도적 절차 확립
	법·제도 정비	개인정보 비식별화 표준, 공공-민간 데이터 연계 가이드라인, AI 책임성 규범 등 데이터 공유 및 AI 운영에 대한 법적 근거 마련
	예산·조달 체계	단발성 사업이 아닌 지속 가능한 재정 메커니즘과 운영 예산 확보
	행정 역량	관련 지자체·부처 단위 데이터 엔지니어, 시뮬레이션 플래너, AI 정책가 등 전문인력 양성 및 조직차원의 AI 리터러시 역량 강화
	행정 연계·통합	부처간 연계 및 기존 행정절차를 AI OS 기반으로 재설계, 정책 효과 학습 및 반영을 위한 정책 피드백 루프 구축
사회적 요소 (Socio-cultural Layer)	휴먼 인터페이스	AI 예측·대응 결과를 시민대상 COP/POP에 제공, 시민의견을 데이터 피드백으로 반영하는 시민-AI 협력 인터페이스 구축
	데이터 권리·신뢰	개인정보 및 위치정보 보호수준에 관한 시민 개인의 데이터 주권 보장
	알고리즘 투명성	오픈소스 공개 및 AI 의사결정의 설명가능성 확보로 사회적 신뢰 구축
	디지털 포용성	다국어 UI/UX, 보편적 디지털인프라 보급, OS 작동원리 및 데이터 리터러시에 관한 교육을 통해 AI 행정의 사회문화적 접근권 보장
	민간 생태계 활성화	오픈 API, 공공데이터허브, 민간참여 테스트베드, 해커톤을 통한 산학연 참여형 혁신 생태계 조성

참고: ISO 37120, ISO 37122, ITU Y.4903, OECD Digital Government Index, World Bank GovTech Maturity Index 등 기반으로 재구성

AI 도시의 세 얼굴: 싱가포르·항저우·뉴욕의 AI 운영체제 비교

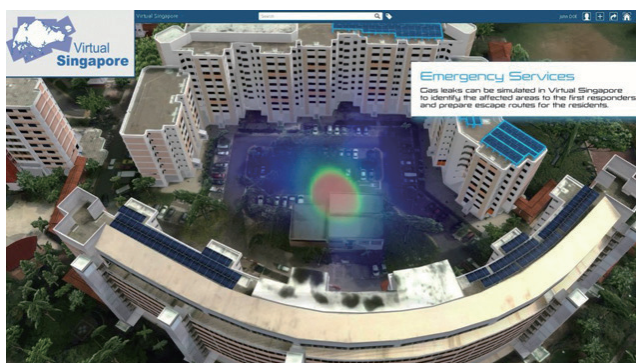
싱가포르: 정부 주도형 통합 AI OS 모델

싱가포르는 2014년 국가 차원의 스마트네이션(Smart Nation) 전략 아래, 도시 전역을 고해상도 3차원 디지털 트윈으로 구현하는 ‘버추얼 싱가포르(Virtual Singapore)’ 프로젝트를 시행했다. 이 플랫폼은 1만 개 이상의 센서 네트워크로부터 교통, 기상, 에너지, 인구이동 등의 다중 데이터를 실시간으로 통합하고, AI 시뮬레이션 기반 리스크 분석과 대응 시나리오 생성을 지원한다. 특히, 버추얼 싱가포르는 일반 시민과 연구자에게 개방된 오픈액세스 플랫폼으로 제공되어, 2022년 오차드로드 홍수 당시 시민 엔지니어들이 하룻밤 만에 배수 시스템 개선 시뮬레이션으로 약 1천 5백만 달러의 피해를 예방한 바 있다⁸.

버추얼 싱가포르는 전형적인 정부 주도형 모델이나, 기술·제도·사회적 측면이 고르게 발전한 균형형 AI OS 구조로 평가된다. 싱가포르 국토청(SLA)을 주축으로 국가연구재단(NRF), 정보개발청(IDA), 정부기술청(GOVTECH) 등 유관 기관 간 협력과 데이터 통합, 여기에 민간기업 다쏘시스템의 기술력이 결합되어 성과를 이루었다. 제도 및 거버넌스 측면에서는 별도의 조직(Smart Nation Office)을 두고 표준 데이터 구조, 공공 API, 개인정보 보호지침 등을 통합 관리하도록 하며, 알고리즘 개발 및 실증 과정에 민간기업과 학계를 긴밀히 연결하는 개방형 혁신 구조를 구축했다. 또한 스마트네이션 전략하에 시민 참여형 교육·소통 프로그램을 병행함으로써 사회적 신뢰 기반 위에 실험적 솔루션이 빠르게 적용되었다는 평가다⁹.

아울러 디지털 트윈·AI 기반 시뮬레이션의 시각화 플랫폼이라는 점에서, 버추얼 싱가포르는 AI 예측에 기반한 도시 회복력을 구현하는 ‘통합형 운영 체계’의 사례를 보여준다. 또한 COP의 기능을 통합 구현함으로써 재난대응뿐 아니라 교통, 환경 등 다차원적 도시 운영 플랫폼으로 확장했다는 정책적·기술적 의의를 지닌다. 다만, 해당 플랫폼이 단일 민간기업에 의해 개발되었다는 점에서는 기술 독립성, 지속적인 유지보수 및 업데이트의 안정성 측면의 구조적 한계를 내포한 것으로 보인다. 특히 단순한 AI 예측을 넘어 향후 AI 알고리즘의 자율적 판단을 구현함에 있어서 추가적인 기술적 발전과 제도적 논의의 여지가 있어 보인다.

그림 1 - 버추얼 싱가포르 화면 예시



출처: KBS뉴스, 2019.4.6.

⁸ Smart City Strategies & Solutions 웹사이트

⁹ KBS뉴스 (2019. 4. 6.).

항저우: 기술 플랫폼 중심의 민관협력형 AI OS 모델

항저우시는 2016년부터 알리바바와 협력해 시티브레인(City Brain) 프로젝트를 추진하며 AI 기반 도시 운영체제 플랫폼을 구축하고 있다. 초기에 교통신호 최적화를 목표로 시작했던 시티브레인은 128개 CCTV 데이터를 기반으로 도로 통행시간을 15.3% 감축, 구급차 이동 소요시간을 14분에서 7분으로 50% 감축하는 데 성공했으며, 이후 2.0세대에서는 도로 감시 데이터를 바탕으로 110여 종의 치안 관련 사건을 분석하고 280명의 경찰 인력에 해당하는 효율을 달성했다.¹⁰ 2022년 3.0세대로 접어들며 의료·상하수도·안전관리 등 공공서비스 전 부문으로 확대되고, 이제는 도시 전역의 자율적 의사결정을 지원하는 도시 지능 체계로 발전하고 있다.

기술 구조 측면에서, 시티브레인은 데이터, 클라우드, 라이브러리, 시스템엔진 등을 하나로 통합하고 시, 구, 부문 및 상황 간 연계성을 확보하는 ‘531 모델’을 추진한다. 이는 각 부문별 시스템을 통합하고 도시가 스스로 사고하고 적응하는 AI OS로, 실시간 데이터 인프라, AI 알고리즘, 자동제어, COP 통합 대시보드 등 앞서 <표 1>에서 제시된 여러 기술적 요소에서 높은 성숙도를 보인다. 예컨대, 디지털 트윈 기반의 가상 도시모형을 구축해 각종 재난 상황을 시뮬레이션하고, 교통혼잡이 발생하기 전 신호 체계를 자동 조정하거나, 범죄 패턴 예측을 통해 경찰 순찰 경로를 자동 재배치하는 등 다양한 분야에서 실시간 모니터링과 예측을 통해 문제가 발생하기 이전에 사전 대응을 지원한다.

한편, 제도적 측면에서 시티브레인은 민관협력 기반의 거버넌스가 특징이다. 중앙정부의 스마트시티 전략과 항저우시 정부의 도시운영정책, 그리고 민간기업의 기술력이 복합적으로 참여하는 구조로, 기술

그림 2 - 항저우시의 시티브레인



출처: KBS뉴스, 2019.5.10.

인프라에 대한 운영과 데이터 관리 권한이 상호 분담되어 있다. 항저우시 정부가 데이터, 정책 및 예산 총괄 권한을 가지고 있으며, 알리바바·딥시크와 같은 IT 기업이 AI 엔진 및 플랫폼 서비스 운영 같은 기술적 역할을 담당한다. 이러한 구조는 민간 생태계를 중심으로 속도감 있는 기술 혁신을 가능하게 하지만, 동시에 데이터 소유권의 비대칭, 개인정보보호 취약성, 감시사회화 가능성 등 제도적 리스크를 내포한다. 또한 시스템 효율과 기술 통합이 강조되면서 상대적으로 데이터 투명성과 알고리즘 책무성에 대한 공적 논의가 미비한 가운데, 의사 결정 과정에서 시민 참여가 제한적이다.

¹⁰ KBS뉴스 (2019. 5. 10.)

이처럼 항저우의 기술 주도형 AI 도시 모델은 기술적으로는 가장 선진적인 수준의 통합형·지능형 도시 운영체제를 선보이고 있다고 할 수 있으나, 투명한 거버넌스, 시민 참여 구조, 데이터 권리의 규범화 등 제도적 책임성과 사회적 수용성 측면의 한계를 드러낸다.

뉴욕: 민주적 거버넌스 기반 AI OS 모델

뉴욕시는 2023년 10월 지자체 단위로는 최초로 AI 행동계획을 제정하며 AI 도입 및 거버넌스 측면에서 선제적 전략을 채택했다. 전통적으로 뉴욕시는 재난대응 COP 구조를 가진 긴급상황실(EOC)을 운영해 왔으며, 최근에는 AI 행동계획 및 의사결정자동화시스템 TF(ADS TF) 조직 등을 통해 AI 활용과 책임성을 제도적으로 통합하고 있다. ADS TF는 2018년 뉴욕시지방조례에 근거해 설립된 별도의 조직으로, AI 자동화 및 에이전틱 시스템으로 인한 사회적 영향을 평가하고, 시민권리 보호를 위한 정책 제안, 운영 가이드 제정 등의 역할을 담당한다. 이처럼 뉴욕의 AI OS 전략은 알고리즘 책무성과 데이터 거버넌스 등 제도적 혁신을 강조하는 양상을 띈다.

뉴욕시는 또한 오픈데이터 법제와 시민 참여 거버넌스가 활성화되어 있어 사회적 신뢰와 투명성이 높은 편이다. AI 행동계획 수립 과정에는 18개 부처와 50명의 시 공무원이 참여하였으며, 산업계와 학계, 시민사회의 의견도 수렴한다. 그러나 기술적 측면에서는 AI 응용 범위가 폭넓게 제시되고 있는 반면 EOC와 기존 COP에 AI를 접목하는 수준에 그쳐, 기술 인프라나 운영 체계가 통합형 AI OS 형태로까지 완성되었다고 보기는 어렵다. ADS TF의 활동을 보면 뉴욕시가 AI 도시를 단순히 자동화된 스마트시티가 아닌 에이전틱 도시로 확장해 해석하려는 시도를 엿볼 수 있으나, 어디까지나 거버넌스 측면에서의 접근이 우세하다. 결국 뉴욕시의 모델은 기술적 확장성보다는 민주적인 데이터·AI 활용을 위한 거버넌스와 투명성 중심의 회복력을 추구하는 시도로 이해할 수 있다.

■ 표 2 - 뉴욕시 AI 행동계획의 주요 이니셔티브

	주요 이니셔티브
	1. 거버넌스 체계 구축(Design and Implement a Robust Governance Framework)
	2. 외부 협력관계 강화(Build External Relationships)
	3. 시민 참여 활성화(Foster Public Engagement)
	4. 공무원 역량 강화(Build AI Knowledge and Skills in City Government)
	5. AI 구현 지원(Support AI Implementation)
	6. AI 조달 체계 정비(Enable Streamlined and Responsible AI Acquisition)
	7. 지속적인 관리 및 보고 체계(Ensure Action Plan Measures are Maintained and Updated, and Report Annually on the City's Progress)

출처: New York City Office of Technology and Innovation (2023)

지속 가능하고 회복력 있는 AI 도시를 위한 제언

현재 AI 도시 및 도시 운영체제로서의 AI OS는 학계와 실무 양측에서 여전히 개념적 탐색 단계에 머물러 있다. 이 글에서는 도시의 AI OS를 도시 전체를 하나의 지능적 시스템으로 작동시키는 운영체제로 정의하며, 회복력 있는 AI 도시를 구현하기 위해서는 기술적 요소뿐 아니라 제도적, 사회적 요소를 함께 고려한 통합적 설계가 필요하다는 점을 강조하였다. 따라서 재난대응을 위한 COP의 실질적 진화는 단순한 기능 확장이 아닌, Urban AI OS의 도입을 기반으로 한 기술·제도·거버넌스 전반의 재설계를 의미한다고 보았다.

이 글은 싱가포르, 항저우, 뉴욕의 사례를 통해 기술·제도·사회적 요소의 관점에서 AI-COP 운영체제를 유형별로 확인하고, 회복력 있는 도시를 위한 AI OS와 COP 통합 시스템 구축의 정책적 시사점을 다음과 같이 도출하였다. 우선, 위 세 도시의 상이한 운영모델을 통해 정부, 기업, 연구자 및 시민 간 상호보완적 역할 분담의 중요성을 확인할 수 있었으며, 이는 회복력 있는 AI 도시를 구현하는 데 있어 다층적 거버넌스 구조의 필요성을 시사한다. 둘째, AI 도시 설계 초기 단계에서부터 기술 인프라뿐만 아니라 시민 참여 메커니즘, 윤리적 감시 체계, 책임 소재 구조 등을 통합 설계하는 방식이 필요하다. 특히 AI OS의 자율성과 행위성에 대한 기술적 구현뿐 아니라 정책결정자, 실무자, 시민, 그리고 운영 체계 간 역할과 상호작용을 규정하는 기술 사회적 합의가 필수적이다. 셋째, AI OS의 작동 방식을 다양한 사용자가 이해하고 활용 및 감시할 수 있도록 설명가능성과 투명성 확보를 위한 기술적·제도적 장치의 병행 구축이 요구된다.

본문에서 소개한 세 도시 사례 모두 자율적 목표 설정이나 행위성을 가진 완전한 에이전틱 AI 도시로 진화했다고 보기는 어렵다. 그러나 위 사례들은 단편적인 기술 기능의 삽입이 아니라 시스템들의 시스템으로서 AI OS의 설계, 기술 독립성과 공공성 확보, 데이터 주권, 책임 있는 AI 거버넌스 등을 입체적으로 고려해야 함을 보여준다. 이는 스마트 도시를 넘어 AI 도시로의 진화를 위한 핵심 조건들일 것이다.

특히 기존 스마트시티 논의에서 상대적으로 미흡했던 운영체제로서의 AI 시스템의 구조적 조건과 설계 방향을 제시함으로써, AI OS 개념의 정교화에 기여하고자 했다. 향후 이 개념적 틀은 도시 AI OS의 성숙도 수준을 구조적으로 정량화 및 평가할 수 있는 분석 모형으로도 활용될 수 있을 것이다. 물론 본고에서는 이론적 틀의 제시와 도시 사례 비교에 초점을 두었기 때문에, 후속 연구를 통해 AI 운영 체계의 효과성을 실증적으로 검증할 필요가 있다. 나아가, 다양한 문화권과 도시 유형에 적용할 수 있는 범용적 정의와 평가 체계의 확립 역시 국제사회에서 지속적으로 논의되어야 할 과제이다. 그럼에도 AI 도시를 단순한 기술도입의 문제가 아닌 도시 운영 체계의 근본적 전환과 재구성이라는 관점에서 접근함으로써, 이 글이 미래도시 담론의 지평을 넓히고 회복력 있는 AI 도시로 나아가는 여정의 첫걸음이 되기를 기대한다.

참고문헌

- Cugurullo, F., Caprotti, F., Cook, M., Karvonen, A., McGuirk, P., & Marvin, S. (2024). The rise of AI urbanism in post-smart cities: A critical commentary on urban artificial intelligence. *Urban Studies*, 61(6), 1168-1182.
- Department of Homeland Security. (2008). Common Operating Picture for Emergency Responders.
- Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33(6-7), 897-920.
- ISO. (2019a). ISO 37122:2019 — Indicators for smart cities. Geneva: ISO.
- ISO. (2019b). ISO 37123:2019 — Indicators for resilient cities. Geneva: ISO.
- ITU. (2016). Recommendation ITU-T Y.4900/L.1600. Geneva: ITU.
- Luque-Ayala, A., & Marvin, S. (2020). Urban operating systems: producing the computational city. Massachusetts Institute of Technology Press.
- New York City Automated Decision Systems Task Force. (2019). Automated Decision Systems Task Force Report. City of New York.
- New York City Office of Technology and Innovation. (2023). New York City Artificial Intelligence Action Plan. City of New York.
- OECD. (2020). The OECD Digital Government Policy Framework: Six dimensions of a Digital Government. (OECD Public Governance Policy Papers, No. 02). Paris: OECD Publishing.
- Pennings, A., J., & Jin, S. (2025). Healing the “COP”: AI and APIs Reform Disaster and Public Safety Leadership in the Asia-Pacific Region. APEC SDMOF18 (2025, Sep 13, Incheon).
- Reuters. (2018. 9. 27.). Virtual Singapore project could be test bed for planners-and plotters. <https://www.reuters.com/article/idUSKCN1M70N4/>
- Smart City Strategies & Solutions. (2025. 7. 4.). Why Singapore's Digital Twin Works and How Your City Can Copy It. <https://www.smartcityss.com/resources/why-singapores-digital-twin-works-and-how-your-city-can-copy-it>
- Tiwari, A. (2025). Conceptualising the emergence of Agentic Urban AI: From automation to agency. *Urban Informatics*, 4, 13.
- World Bank. (2021). The GovTech Maturity Index (GTMI): A new way to measure the use of technology in the public sector. Washington, DC: World Bank Group.
- 국토교통부 보도자료. (2025.9.4.). 도시공간에 AI를 폭넓게 적용하는 ‘AI 시티’ 본격 추진.
- 서울디지털재단. (2019). 해외 스마트도시 데이터 관리조직 운영 현황. 서울: 서울디지털재단.
- 서울특별시 보도자료. (2022. 5. 20.). 서울소방, 빅데이터·AI 적용한 ‘재난대응 디지털 플랫폼’ 구축한다. https://www.seoul.go.kr/news/news_report.do?tr_code=rsite#view/363705
- KBS뉴스. (2019. 4. 6.). [스마트시티①] 싱가포르, 3D 가상현실로 스마트 국가 건설. <https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=4174908>
- KBS뉴스. (2019. 5. 10.). [스마트시티④] 항저우, 알리바바와 인공지능의 도시. <https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=4198242>
- 한겨레. (2023. 4. 4.). ‘가상현실 싱가포르’가 현실의 태풍·홍수 재난 막는다. <https://www.hani.co.kr/arti/economy/it/1086406.html>