



CITY AI · GOVERNANCE · DIGITAL TWIN

도시의 뇌와 디지털 트윈

항저우 City Brain
vs 싱가포르 Smart Nation · Virtual Singapore

kimkj.com



목차

제1장. 도시 디지털 전환의 패러다임과 두 개의 축	4
1.1. 실시간 데이터 기반의 도시 지능화: 항저우 City Brain의 등장	4
1.2. 공간 복제 기반의 예측·구조화: 싱가포르 Smart Nation과 Virtual Singapore	7
1.3. 글로벌 스마트 시티 이니셔티브와 발전 단계 비교	12
제2장. 핵심 기술 인프라 및 플랫폼 아키텍처	16
2.1. AI 알고리즘과 클라우드 컴퓨팅 기반 제어 플랫폼	16
2.2. 도시급 디지털 트윈(City-scale Digital Twin)과 폐루프(Closed-Loop) 시뮬레이션	19
2.3. 센서 네트워크, 5G 및 차세대 통신 체계	22
제3장. 주요 응용 영역 및 현장 실증 사례	27
3.1. 지능형 교통 시스템(ITS)과 실시간 신호 최적화	27
3.2. 스마트 도시 환경 및 인프라 자동 관리	31
3.3. 공공 서비스 통합 및 디지털 신원 체계	34
제4장. 거버넌스 및 추진 체계 비교 분석	37
4.1. 민관 협력(PPP) 중심의 급속 스케일업: 항저우 모델	37
4.2. 중앙 정부 주도의 관료적 안정성과 체계적 관제: 싱가포르 모델	39

4.3. 아시아 주요 도시(홍콩, 쿠알라룸푸르 등)와의 거버넌스 비교 42

제5장. 디지털 윤리, 데이터 주권 및 미래 발전 방향 **44**

5.1. 데이터 프라이버시, 감시 기술과 AI 가이드라인 44

5.2. 디지털 격차 해소 및 시민 참여형 Co-Creation 48

5.3. Smart Nation 2.0과 생성형·물리적 AI 시대의 지평 53

제1장. 도시 디지털 전환의 패러다임과 두 개의 축

1.1. 실시간 데이터 기반의 도시 지능화: 항저우 City Brain의 등장

2016년 10월, 중국 저장성 항저우시 정부는 알리바바 클라우드와 손을 잡고 'ET 시티 브레인(City Brain, 城市大脑)'이라는 도시 관제 시스템을 세웠다. 정부와 민간 기업이 함께 돈과 기술을 대는 이런 협력 방식을 PPP(민관 파트너십)라고 부른다. 항저우시는 도로 곳곳의 카메라와 센서, 택시와 버스의 위치 신호, 행정 시스템에 쌓인 자료까지 도시 전체의 데이터를 한곳에 모아, 그 데이터로 교통 신호등을 실시간으로 움직이는 실험을 시작했다.

시티 브레인이 다른 도시 관제 시스템과 다른 지점은 분명하다. 화면에 정보를 띄우는 대시보드에 머물지 않고, 계산한 결과를 교차로 신호 제어기 같은 현장 장비에 직접 지시로 내려보낸다. 사람이 화면을 보고 판단해서 손으로 신호를 바꾸는 방식이 아니라, 컴퓨터가 계산한 값이 곧바로 신호등을 움직이는 방식이다.

이 시스템이 돌아가는 방식은 네 단계로 나눠 볼 수 있다. 도로 곳곳의 CCTV와 교통 센서, 버스와 택시의 GPS 신호, 행정 시스템의 자료까지 여러 곳에서 나오는 데이터를 그러모으는 감지 단계가 처음에 온다. 알리바바 계열의 지도 서비스인 고덕지도가 처리하는 위치 검색과 길찾기 데이터도 시티 브레인이 쓰는 시공간 데이터의 한 줄기를 이룬다. 그다음은 이렇게 모인 여러 형태의 자료를 지연 없이 하나의 통로로 연결하는 단계다. 형식이 제각각인 데이터를 따로따로 쌓아 두면 서로 이어 쓸 수 없는데, 시티 브레인은 이 단절을 없애는 데 공을 들인다. 세 번째는 인공지능이 영상과 여러 데이터를 겹쳐 분석해서 앞으로 몇 분, 몇 시간 뒤의 교통 흐름을 미리 짚어 보는 단계다. 신호가 초록으로 켜지는 시간과 인접한 신호등끼리 초록불이 시작되는 시점 차이를

이때 계산한다. 마지막은 계산된 값을 실제 신호등에 반영하는 단계다. 사고나 정체가 감지되면 초록 신호 시간을 조정하고, 구급차가 지나갈 길목에는 신호 우선권을 준다.

이 네 단계는 '감지-결정-실행'이라는 짧은 순환 고리로 다시 묶인다. 감지 단계에서는 사고나 갑작스러운 차선 점유처럼 예정에 없던 상황을 놓치지 않고 잡아낸다. 결정 단계에서는 인공지능이 도로망 전체가 얼마나 많은 차를 감당할 수 있는지, 지연이 얼마나 늘고 줄 것인지를 계산해 그때그때 알맞은 제어 명령을 만든다. 실행 단계에서는 항저우시 교통 당국의 관제 센터에 걸린 커다란 영상판을 통해 여러 행정 기관이 같은 화면을 보며 상황을 나누고, 자동으로 신호가 바뀌거나 관제사가 직접 개입해 현장에 지시를 전달한다. 이 관제 센터에는 교통과 경찰, 소방 같은 여러 부처의 담당자가 한 공간에 모여 같은 화면을 들여다본다. 부서마다 따로 판단해 서로 다른 시간에 움직이던 예전 방식과 달리, 한자리에서 상황을 나누고 결정을 맞춰 나가는 구조다.

이 순환이 실제로 어디에 쓰였는지는 항저우시가 내놓은 행정 발표로 확인할 수 있다. 항저우시 공안국이 2025년 시의회에 낸 답변에 따르면, 시는 2018년부터 59개 고가도로 진입로에 인공지능 신호를 설치했다. 답변은 이후 '데이터 수집-분석 판단-전략 수립-효과 피드백'이라는 표현으로 이 순환 구조를 계속 다듬어 가겠다고 밝혔다. 공안국이 낸 다른 발표를 보면, 2025년 기준으로 260명의 영상 담당자와 115명의 신호 배정 담당자, 2400명의 오토바이 경찰을 잇는 3단계 지휘 체계가 운영되고 있으며, 짧은 구간에서 신호를 잇달아 초록으로 켜는 녹색 신호 연동 구간이 482킬로미터에 이른다. 이 수치는 시티 브레인 하나가 만든 인과적 성과라기보다, 2025년 항저우 교통 운영의 현재 상태로 읽어야 한다.

시티 브레인이 다루는 영역은 도로 위 신호만이 아니다. 국가데이터국이 2025년 낸 사례집에 따르면, 항저우는 지하 위험을 관리하는 시스템을 10개 구, 약 893.25제곱킬로미터에 걸쳐 운영하며, 2만 5876킬로미터의 관로와 719곳의 지하시설을 정적·동적 자료로 3차원 지도 위에 모아 놓았다. 항저우시 임업수리국이 2025년 낸 발표를 보면, 위항구의 하천과 호수를 관리하는 사업은 인공지능 무인선과 온라인 수질 센서, 드론 순찰, CCTV 점검을 함께 써

서 2024년에 확인한 문제 지점 60곳을 고쳤다고 밝히고 있다. 교통 신호 하나를 조정하던 실험은 지하 시설과 물질 관리로도 번져 나갔다.

시티 브레인 3.0은 2016년의 실험에 머물러 있지 않았다. 항저우시는 2025년 3월 31일 '시티 브레인 3.0'을 공개했다고 밝혔다. 시 정부의 영문 사이트에 따르면 이 새 버전은 중국의 생성형 인공지능 모델인 DeepSeek-R1을 도시에 끌어들여, 경찰 민원 처리나 정신건강 상담, 의료보험 안내 같은 행정 업무를 돕는 인공지능 도우미를 갖췄다. 항저우시 빅데이터관리서비스센터는 2026년에 2025년도 연차보고서를 냈다. 이 보고서는 시티 브레인 운영을 이 기관의 정식 업무로 적어 놓았다. 보고서에 따르면 시티 브레인은 23개 분야, 26개 활용 장면, 11개 영역에서 공공데이터를 쓰도록 승인받았다. 모은 데이터 세트는 360개다. 같은 보고서는 부처 사이 협업이 막히는 문제, 권한 구분이 뚜렷하지 않은 문제, 오래된 행정 시스템을 새 체계와 잇는 데 드는 어려움도 함께 적었다. 2026년 계획에는 '디지털정부 2.0'과 '시티 브레인 3.0'이 나란히 들어 있다.

항저우시는 이 순환 구조에 제도적 틀도 갖춘 적이 있다. 2018년 마련된 지방 표준 '도시데이터브레인 건설관리규범(DB3301/T 0273-2018)'은 시티 브레인을 운영하는 기관의 책임과 구조, 평가 방법을 정해 두었다. 다만 이 표준은 2025년 10월 21일 폐지되었다. 그래서 이 표준은 예전 구조를 설명하는 자료로는 쓸 수 있지만, 지금 적용되는 표준이라고 말할 수는 없다.

알리바바와 손잡고 시작한 민관 협력 실험은 십 년 가까이 지난 지금 시 데이터자원관리국과 빅데이터관리서비스센터라는 정식 행정 조직 안에서 운영되는 정부 사업으로 자리를 옮겼다. 기업이 만든 기술이 도시 행정의 뼈대 안으로 들어가 자리를 잡은 과정이다.

참고문헌

Hangzhou Municipal Government. (2025). Hangzhou launches City Brain 3.0, advancing smart governance. https://www.changzhou.gov.cn/2025-04/01/c_293162.htm

杭州市大数据管理服务中心. (2026). 2025年度报告. 杭州市机构编制委员会办公室. https://hzbh.hangzhou.gov.cn/col/col1229857599/art/2026/art_59730f6151c5478d8bb55e4acfb4d4870.html

杭州市公安局. (2025). 对市十四届人大五次会议西湖25号建议的答复.

https://police.hangzhou.gov.cn/art/2025/9/8/art_1229456312_4401887.html

杭州市公安局. (2025). 杭州举行公安高水平安全护航高质量发展新闻发布会.

https://police.hangzhou.gov.cn/art/2025/12/24/art_1229267445_58931709.html

国家数据局. (2025). 杭州：数字赋能科学布防，探索城市地下隐患安全治理新模式.

https://www.nda.gov.cn/sjj/ywpc/szsh/0110/20250110165021630308410_pc.html

杭州市林业水利局. (2025). 聚焦河湖长制：多元复合驱动河湖长效治理.

https://ls.hangzhou.gov.cn/art/2025/5/29/art_1229699371_59029579.html

国家市场监督管理总局. 城市数据大脑建设管理规范 DB3301/T 0273-2018.

<https://std.samr.gov.cn/db/search/stdDBDetailed?id=B71B9F21362991DCE05397BE0A0AAD54>

1.2. 공간 복제 기반의 예측·구조화: 싱가포르 Smart Nation 과 Virtual Singapore

싱가포르는 국토 면적이 서울보다 조금 넓은 정도밖에 안 되는 도시국가다. 땅은 좁고 인구는 조밀하게 모여 사는 탓에, 도로 하나 물 배관 하나를 잘못 놓으면 도시 전체가 곧바로 영향을 받는다. 이런 조건에서 싱가포르 정부가 택한 길은 도시를 통째로 컴퓨터 속에 옮겨 놓고, 정책을 실제로 쓰기 전에 가상 공간에서 먼저 시험해 보는 방식이었다.

이 방향을 이끈 최상위 전략이 2014년에 선언된 '스마트 네이션'이다. 처음에는 총리실 산하의 스마트 네이션 프로그램 사무국이 사업을 이끌었지만, 여러 부처에 흩어진 데이터를 하나로 모으고 정부 전체가 함께 움직일 힘을 갖추기 위해 2017년 '스마트 네이션 디지털 정부 그룹(SNDGG)'으로 조직을 넓혀 다시 짰다. 이 조직 구조는 그 뒤로도 바뀌었다. 2023년부터 SNDGG와 당시 통신정보부(MCI)의 디지털 담당 기능이 단계적으로 합쳐졌고, 2024년 4월에는 '스마트 네이션 그룹'이 새로 만들어졌다. MCI는 2024년 7월 '디지털발전정보부(MDDI)'로 이름을 바꿨다. 그래서 지금 싱가포르의 디지털 전환 정책을 이끄는 곳은 MDDI이며, 그 아래 실제 기술 인프라를 만들고 운영하는 정부기술청(GovTech, 2016년 설립된 법정기관)과 정보통신매체개발청(IMDA), 사이버보안청(CSA) 같은 기관들이 역할을 나눠 맡는다. 싱가포르 정부는 2024

년 10월 '스마트 네이션 2.0'을 새로 내놓으면서, 디지털 신뢰와 경제 성장, 포용적 공동체를 세 개의 목표로 내걸었다.

이 정책을 공간으로 옮겨 놓은 핵심 플랫폼이 '버추얼 싱가포르'다. 국립연구재단(NRF)과 싱가포르 토지청(SLA), GovTech가 프랑스 다쏘시스템의 3차원 도시 모델링 기술을 들여와 만든 이 플랫폼은, 싱가포르 국토 전역의 건물과 도로, 녹지, 상하수도망 같은 시설을 컴퓨터 안에 3차원으로 그대로 옮겨 놓은 국가 차원의 공유 데이터베이스다. 이렇게 현실의 도시를 가상 공간에 똑같이 복제한 모형을 디지털 트윈이라고 부른다. 버추얼 싱가포르는 국제 표준인 CityGML(도시의 건물과 시설을 3차원 데이터로 표현하는 규격)과 건물 정보 모델(BIM), 지리정보시스템(GIS) 자료를 뼈대로 삼는다. 항공 라이다(레이저를 쏘아 되돌아오는 시간으로 거리를 재는 장비)로 스캔한 지형 자료와 드론 사진, 이동식 매핑 장비로 모은 건물 외형 데이터에, 나무의 종류와 나뭇가지가 드리우는 그들의 크기까지 반영한 식생 모델을 겹쳐 넣었다(Gobeawan et al., 2018). 이 국가 3차원 공간모형 위에 '스마트 네이션 센서 플랫폼(SNSP)'과 여러 공공기관의 사물인터넷 센서망이 연결되어, 특정 서비스나 분석 작업에 필요한 데이터를 공급한다. 다만 국토 전역의 3차원 형상 자체는 항공 라이다와 드론 촬영으로 주기적으로 갱신하는 기반 자료이며, 국가 전역의 현실 변화를 도시 전체 차원에서 끊임없이 실시간으로 되비추는 체계는 아니다.

버추얼 싱가포르가 처음 만들어진 것은 2010년대 중반이지만, 지금의 싱가포르는 이 하나의 플랫폼을 그대로 반복하는 데 머물지 않고, 국가 3차원 지도와 도시계획 열람 도구, 기후와 전력망, 항만 분야별 디지털 트윈으로 영역을 넓혀 왔다. 싱가포르 토지청과 해양항만청이 함께 이끄는 '2024-2033 지리공간 마스터플랜'은 육지뿐 아니라 바다의 공간 데이터까지 함께 다룬다. 도시재개발청(URA)이 운영하는 'ePlanner'는 2차원과 3차원 지리정보를 웹에서 볼 수 있게 만든 도구다. 40개 정부기관의 1,600명이 넘는 사용자가 200개가 넘는 계획 데이터셋을 들여다본다고 URA는 밝히고 있다. 정보통신매체개발청은 2026년 자료에서 디지털 트윈을 사물인터넷과 인공지능, 데이터 분석, 3차원 시각화를 하나로 묶어 현실과 가상 사이에 정보가 오가도록 만드는 기술이라고 정의한다.

버추얼 싱가포르가 실제로 쓰인 사례는 여럿이다. 건물의 모양과 나무 모델, 바람 방향과 햇빛의 양을 함께 계산해 도심의 바람길과 열이 쌓이는 자리를 가상으로 시험하는 작업이 진행되고 있다. 도시재개발청은 이 작업을 '쿨링 싱가포르 2.0' 사업의 '디지털 도시 기후 트윈'으로 이어 가며, 녹지와 건물 형태, 교통이 열 배출에 미치는 영향을 함께 살핀다. 주택개발청(HDB)과 과학기술연구청(A*STAR)이 함께 만든 '통합 환경 모델러'는 바람과 햇빛, 온도가 3차원 도시 모형 안에서 어떻게 움직이는지를 계산한다. 에너지 분야에서는 건물마다 지붕과 벽면의 3차원 데이터에 태양의 궤적을 대입해 태양광 발전이 얼마나 나올지, 일조권에 어떤 영향을 주는지를 미리 셈한다. 에너지시장청(EMA)이 운영하는 전력망 디지털 트윈은 '네트워크 트윈'과 '자산 트윈' 두 갈래로 나뉜다. 앞쪽은 전기차 충전과 태양광, 저장장치가 전력망에 주는 영향을 계산하고, 뒤쪽은 변압기와 개폐기, 케이블의 상태와 수명을 살핀다. 상하수도를 관리하는 공공기관 PUB는 폭우와 밀물이 겹칠 때의 침수 위험을 계산하는 '해안-내륙 홍수 모델'을 운영하며, 지역별 연구가 싱가포르 해안선의 80퍼센트가 넘는 구간을 다룬다고 밝혔다. 보건 분야에서는 싱가포르종합병원을 대상으로 병원 내부 도면과 환자 관리 데이터를 3차원 게임 엔진에 얹어, 병원 안에서 감염이 어떤 동선으로 퍼지는지를 가상 공간에서 먼저 확인해 보는 시범 사업도 진행되었다(Venkatachalam et al., 2023).

교통 분야에서는 육상교통청(LTA)이 '스마트 모빌리티 2030' 전략 아래 도시 전체의 이동을 하나의 기관에서 관제한다(GovTech, 2018). 싱가포르는 1998년 세계 최초로 자동화된 도심 통행료 제도인 전자도로통행료(ERP)를 들여왔는데, 지금은 위성으로 차량 위치를 잡아 시간대와 정체 정도에 따라 통행료를 그때그때 바꿔 매기는 ERP 2.0으로 넘어갔다. 도심 도로를 신호를 스스로 조정하는 GLIDE 시스템과 고속도로 상황을 살피는 EMAS 체계로 24시간 관제 센터와 이어져 있다. LTA는 교통카드 단말기에서 나오는 승하차 자료와 사람들의 이동 흐름을 분석해 노선과 배차를 계획하는 체계를 갖추고 있다. 육상교통청은 2026년부터 풍골 지역에서 고정 노선을 도는 자율주행 셔틀을 시험하고, 같은 해 하반기에는 마리나베이와 원노스 지역에서 자율주행 버스를 시험할 계획이라고 밝혔다. 실제 상용화에 앞서 안전요원이 개입하지 않고 지정 노선을 얼마나 달렸는지, 여러 교통 상황에 얼마나 잘 대응했는지를 육상교

통청의 정량적 안전 지표로 평가하며, 자율주행차의 안전 수준이 사람이 운전할 때보다 나쁘지 않다는 사실이 확인되어야 정식으로 도로에 올린다는 원칙을 두고 있다.

싱가포르 스마트 네이션의 또 다른 기둥은 시민과 정부를 직접 잇는 디지털 서비스망이다. 국가 디지털 신원 체계인 'Singpass'는 2026년 6월 기준으로 500만 명이 이용하며, 한 달에 4100만 건이 넘는 거래를 처리한다. 800개가 넘는 기관과 기업이 내놓는 2700개 넘는 서비스도 이 계정 하나로 이용할 수 있다. 앱을 쓰는 이용자만 놓고 보면 420만 명이 넘는다. Singpass는 개인정보를 자동으로 연결하는 'MyInfo'와 묶여, 여러 행정 절차에서 서류를 따로 내지 않아도 되게 만들었다. 생애주기별 서비스를 모은 'LifeSG' 앱은 출생 신고와 양육 지원금 신청, 취업과 은퇴 관리까지 100개가 넘는 정부 서비스를 하나의 화면 안에 담았다. 결제 인프라인 'GovWallet'은 국가 결제망 PayNow와 이어진 정부 지급 채널이다. 도로 파손이나 생활 불편 신고는 'OneService' 앱으로 모인다.

이렇게 촘촘한 데이터 체계를 계속 굴리려면 그만큼 촘촘한 규칙이 필요하다. 개인정보보호위원회(PDPC)가 만든 '인공지능 거버넌스 모델 프레임워크'는 민간 부문을 향한 자율 지침이다. 인공지능을 쓸 때 설명할 수 있어야 하고 투명해야 하며 공정해야 하고 사람을 중심에 두어야 한다는 원칙을 제시한다. 이 틀과 함께 운영되는 'AI Verify'는 안전과 보안, 견고성, 공정성, 데이터 거버넌스, 책임성, 인간의 감독 같은 열한 개 원칙으로 인공지능 시스템을 점검하는 도구다. 다만 이 틀 자체가 모든 결정에 사람이 끼어들도록 강제하는 법은 아니다. 민간 조직에 법적 의무를 지우는 근거는 개인정보보호법(PDPA)이고, 정부기관이 다루는 데이터는 '공공부문(거버넌스)법'과 정부 정보통신 지침이 따로 규율한다. 이 법은 익명화한 정보를 함부로 다시 식별하거나 정보를 부당하게 쓰는 행위를 금지한다. 민간과 공공을 규율하는 근거가 서로 다른 법과 지침으로 나뉘어 있는 구조다.

버추얼 싱가포르라는 3차원 국가 디지털 트윈과 MDDI, GovTech 중심의 행정 조직, Singpass와 LifeSG 같은 통합 디지털 서비스는 이렇게 서로 맞물려 있다. 도시 공간을 정밀하게 복제해 정책을 미리 시험하고, 그 결과를 중앙에

서 관제하며, 시민에게는 하나로 통합된 서비스로 전달하는 구조가 싱가포르 스마트 네이션의 뼈대를 이룬다.

참고문헌

- Energy Market Authority. (2024). Grid Digital Twin.
<https://www.ema.gov.sg/our-energy-story/energy-grid/grid-digital-twin>
- Gobeawan, L., Lin, E., Tandon, A., Yee, A., Khoo, V., Teo, S., Yi, S., Lim, C., Wong, S., Wise, D., et al. (2018). Modeling trees for virtual Singapore: From data acquisition to CityGML models. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, 55–62. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W10-55-2018>
- Government Technology Agency (GovTech). (2018). Intelligent transport systems in Singapore.
<https://www.tech.gov.sg/products-and-services/ITS/>
- Government Technology Agency of Singapore. (2026). Singpass.
<https://www.tech.gov.sg/products-and-services/for-citizens/digital-services/singpass/>
- Infocomm Media Development Authority. (2026). Digital Twin.
<https://www.imda.gov.sg/about-imda/research-and-statistics/support-for-industry-sectors/enterprise-digital-transformation/digital-twin>
- LifeSG. (2026). LifeSG app. <https://eservices.life.gov.sg/app>
- Ministry of Digital Development and Information. (2023). Smart Nation and Digital Government Group and MCI to merge. <https://www.mddi.gov.sg/newsroom/sndgg-and-mci-to-merge-from-oct-2023/>
- Ministry of Digital Development and Information. (2024). Launch of Smart Nation 2.0.
<https://www.mddi.gov.sg/newsroom/smart-nation-2-press-release/>
- National Research Foundation Singapore. (2018). Virtual Singapore: About.
<https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>
- Personal Data Protection Commission. Singapore's Approach to AI Governance.
<https://www.pdpc.gov.sg/help-and-resources/2020/01/model-ai-governance-framework>
- Singapore Attorney-General's Chambers. (2018). Public Sector (Governance) Act 2018.
<https://sso.agc.gov.sg/Act/PSGA2018>
- Singapore Land Authority. (2024). 10-year Singapore Geospatial Master Plan outlines key land and maritime initiatives. <https://www.sla.gov.sg/news/press-release/10-year-singapore-geospatial-master-plan-outlines-key-land-and-maritime-initiatives-for-geospatial-enabled-outcomes/>
- PUB, Singapore's National Water Agency. (2026). Site-specific Studies.
<https://www.pub.gov.sg/Public/KeyInitiatives/Flood-Resilience/Coastal-Protection/Site-specific-Studies>

Singapore Ministry of Transport. (2026). Automated & autonomous vehicles.

<https://www.mot.gov.sg/what-we-do/automated-autonomous-vehicles/>

Singapore Ministry of Transport. (2026). LTA's Quantifiable Safety Metrics and AV Standards Governing AI Decision-Making Prior to Commercial Deployment on Public Roads.

<https://www.mot.gov.sg/news-resources/newsroom/lta-s-quantifiable-safety-metrics-and-av-standards-governing-ai-decision-making-prior-to-commercial-deployment-on-public-roads/>

Urban Redevelopment Authority. (2024). A Connected & Inclusive City.

https://www.ur.gov.sg/-/media/Corporate/Resources/Publications/Books/UD-Guidebook-3_Connected-and-Inclusive-City_2024.pdf

Urban Redevelopment Authority. (2026). Shaping a Heat Resilient City.

<https://www.ur.gov.sg/land-planning/planning-strategies/exploring-new-frontiers/heat-resilience/>

Venkatachalam, I., et al. (2023). Three-dimensional disease outbreak surveillance system in a Tertiary Hospital in Singapore: A proof of concept. Mayo Clinic Proceedings: Digital Health, 1(2), 172–184. <https://doi.org/10.1016/j.mcpdig.2023.03.003>

1.3. 글로벌 스마트 시티 이니셔티브와 발전 단계 비교

도시가 디지털 기술을 받아들이는 방식은 나라마다 다르지만, 그 성숙도를 가늠하는 국제 기준은 이미 마련되어 있다. 국제전기통신연합(ITU)이 2019년 내놓은 '스마트 지속가능 도시 성숙 모형(Y.4904)'은 다섯 단계로 구성된다. 전략과 기준선을 세우는 단계, 사업을 전략에 맞춰 정렬하는 단계, 서비스와 플랫폼을 배치하는 단계, 여러 시스템과 데이터를 서로 잇는 단계, 계속 평가하고 고쳐 나가는 단계다. 이 모형은 도시 사이의 순위를 매기는 잣대가 아니라, 각 도시가 다음에 무엇을 해야 할지 스스로 찾도록 돕는 도구로 마련되었다.

국제표준화기구(ISO)가 정한 'ISO 37122' 표준은 스마트 도시 지표를 정의하고 재는 방법을 정해 놓았으며 2024년 재검토를 거쳐 지금도 쓰이고 있다. 도시가 얼마나 똑똑해졌는지를 말로만 설명하지 않고, 구체적인 지표로 재는 틀이다. 유엔 해비타트가 2025년 낸 안내서는 제도 기반을 마련하는 데서 시작해 평가에 이르는 다섯 단계를 제시하면서, 시민 참여와 디지털 권리, 형평성, 회복력, 조달 방식의 상호운용성을 함께 다루라고 권한다. 기술 지표만으

로는 스마트 도시를 판단할 수 없고, 그 기술이 시민의 삶에 어떻게 가닿는지를 함께 봐야 한다는 입장이다.

세 기준을 나란히 놓고 보면 공통된 흐름이 보인다. 전략과 제도를 세우는 일이 먼저고, 그 위에 개별 서비스를 배치하며, 흩어진 시스템을 서로 잇고, 마지막으로 시민의 삶을 기준으로 다시 평가하는 순서다. 항저우와 싱가포르의 이 흐름 위에서 서로 다른 자리에 있다. 항저우는 교통이라는 한 분야에서 시작해 서비스를 배치하고 시스템을 잇는 단계를 빠르게 지나 지하 시설과 하천 관리, 행정 챗봇으로 영역을 넓혀 왔다. 싱가포르는 국가 전역의 공간 데이터를 먼저 갖춘 뒤, 그 위에 기후와 전력망, 교통, 신원 인증 같은 서비스를 하나씩 올리는 순서를 밟았다.

이 흐름을 뒷받침하는 통치 구조는 도시마다 다르다. 홍콩은 혁신과기산업국 산하 스마트시티처가 여러 정부 부처와 민간 사업을 조정하는 방식을 택했다. 2017년 내놓은 첫 청사진은 76개 사업을 담았고, 2020년 나온 청사진 2.0은 130개가 넘는 사업으로 늘었다. 쿠알라룸푸르는 도시계획 문서 안에 스마트시티 정책을 끼워 넣는 방식을 택했다. '쿠알라룸푸르 로컬플랜 2040'은 말레이시아 스마트시티 프레임워크가 정한 일곱 개 요소와 열여섯 개 정책 방향을 도시 계획에 그대로 옮겨 담았고, 말레이시아 정부는 2019년부터 2025년까지 쓰인 프레임워크의 뒤를 이을 '스마트시티 블루프린트 2026-2040'을 준비하고 있다. 항저우는 시 데이터자원관리국과 빅데이터관리서비스센터라는 행정 조직이 시티 브레인을 직접 운영하고, 싱가포르는 디지털발전정보부(MDDI) 아래 정부기술청과 정보통신매체개발청, 사이버보안청이 역할을 나눠 맡는다. 정부 부처 하나가 기술을 직접 쥐고 있는 도시와, 여러 법정기관이 나눠서 움직이는 도시라는 차이가 뚜렷하다.

실제로 도시를 어떻게 지어 가는지를 보면 크게 두 갈래로 나뉜다. 하나는 아무것도 없던 땅에 처음부터 스마트 인프라를 통째로 설계해 짓는 그린필드 방식이고, 다른 하나는 기존 도시에 새 기술을 조금씩 덧입히는 레트로핏 방식이다. 한국의 송도국제도시는 그린필드의 대표 사례로 꼽힌다. 계획 단계부터 도시 곳곳에 센서망과 공기압으로 쓰레기를 빨아들이는 자동 수거 시스템, 통합 관제 센터를 백지 위에 함께 설계했다. 중동의 마스다르 시티도 재생에너지

와 신기술을 시험하려고 처음부터 새로 지은 도시다. 그런데 이런 신도시는 아무리 정교하게 지어도 사람이 자리 잡고 산업이 모이는 데는 시간이 걸린다. 기존 도시가 가진 두꺼운 생활 기반과 곧바로 겹치지 않으면 혁신이 밀도 있게 일어나기까지 더디다는 사실이 드러났다.

레트로핏 방식은 시민 참여와 제도의 안정을 앞세운다. 네덜란드 암스테르담은 기존 도시 공간에 실시간 에너지 소비 대시보드와 스마트 가구, 운하 감지 센서를 하나씩 심어 넣으며, '리빙랩'이라는 실험 공간을 통해 시민과 스타트업이 함께 문제를 풀도록 했다. 스페인 바르셀로나는 스마트 가로등과 폐기물 수거 센서로 출발해, 시민이 직접 정책을 제안하고 토론하는 오픈소스 플랫폼 '데시덤 바르셀로나'와, 자동차 대신 사람이 걷고 머무는 공간으로 블록을 재구성한 '슈퍼블록' 사업을 결합해 시민 중심형 스마트 도시로 옮겨 갔다. 캐나다 토론토에서는 알파벳의 자회사 사이드워크 랩스가 데이터 밀집형 재개발을 추진했지만, 공공 공간이 민간 기업에 넘어가고 데이터 소유권이 불투명해질 수 있다는 시민사회의 우려와 거버넌스 갈등에 부딪혀 결국 중단됐다. 기술이 아무리 정교해도 데이터를 누가 어떻게 다루는지에 대한 사회적 합의가 없으면 사업 자체가 무너질 수 있다는 사실을 이 사례가 보여 준다.

중국은 중앙정부가 정한 시범사업을 통해 스마트 도시 정책을 여러 지역에 퍼뜨려 왔다. 시범 도시로 지정된 지역에서 생태 복지나 혁신 정책의 효과가 통계적으로 뚜렷하게 나타났다고 보는 연구도 있다(Zhang et al., 2026; Luo et al., 2026).

이렇게 놓고 보면 스마트 시티는 하나의 기술을 도입하면 완성되는 사업이 아니다. 기술 인프라가 얼마나 성숙했는지, 그 도시가 가진 통치 구조가 어떤지, 시민이 어디까지 참여할 수 있는지가 서로 맞물려 도시마다 다른 결과를 만들어 낸다.

참고문헌

International Organization for Standardization, (2019). ISO 37122:2019 Sustainable cities and communities-Indicators for smart cities, <https://www.iso.org/standard/69050.html>

- International Telecommunication Union. (2019). Recommendation ITU-T Y.4904: Smart sustainable cities maturity model. <https://www.itu.int/epublications/publication/itu-t-y-4904-2019-12-smart-sustainable-cities-maturity-model>
- UN-Habitat. (2025). A Step-by-Step Guide for a People-Centred Smart City Strategy. <https://unhabitat.org/a-step-by-step-guide-for-a-people-centred-smart-city-strategy-a-playbook-for-national-regional-and-local-governments>
- Hong Kong Smart City Portal. Governance. <https://www.smartcity.gov.hk/governance.html>
- Hong Kong Smart City Portal. Vision and Mission. <https://www.smartcity.gov.hk/vision-and-mission.html>
- Kuala Lumpur City Hall. (2025). Kuala Lumpur Local Plan 2040, Volume 2: Promoting City Development. <https://ppkl.dbkl.gov.my/wp-content/uploads/2025/06/1.-VOLUME-2-PROMOTING-CITY-DEVELOPMENT.pdf>
- PLANMalaysia. (2026). Urban Planning Digitalisation Initiatives. https://www.planmalaysia.gov.my/uploads/content-downloads/file_20260122121455.pdf
- Luo, Y., Zhang, J., Han, R., & Xv, J. (2026). Smart city strategy, China's urban innovation and policy effectiveness. *Humanities and Social Sciences Communications*. <https://doi.org/10.1057/s41599-026-06673-7>
- Zhang, F., Yan, J., & Zhu, J. (2026). Smart city pilot policies and their effects on urban ecological welfare: evidence from Chinese cities. *npj Urban Sustainability*. <https://doi.org/10.1038/s42949-026-00404-2>

제2장. 핵심 기술 인프라 및 플랫폼 아키텍처

2.1. AI 알고리즘과 클라우드 컴퓨팅 기반 제어 플랫폼

항저우 시티 브레인의 실시간으로 돌아가려면, 눈에 보이는 신호등과 카메라 뒤에서 데이터를 빨아들이고 계산하는 컴퓨터 인프라가 있어야 한다. 항저우 시티 브레인의 뒷단은 알리바바 클라우드의 컴퓨팅 인프라가 떠받치고 있다고 알려져 있다. 다만 정확히 어떤 소프트웨어 조합을 쓰는지 세부 구조를 확인해 주는 공식 자료는 없다. 이 정도 규모의 도시 데이터 시스템을 설계할 때 업계에서 널리 쓰는 대표적인 기술 범주는 알려져 있다. 대용량 자료를 나눠서 한꺼번에 처리하는 분산 배치 처리 기술과, 설 새 없이 쏟아지는 센서 신호를 그때그때 흘려보내는 실시간 스트림 처리 기술이 그것이다. 도시 단위로 도로별 실시간 속도와 정체 정보를 계속 흘려보내 시공간 데이터베이스를 쌓아 올리려면 이런 종류의 기술이 필요하다는 점은 시스템 설계의 일반 원리로 이해할 수 있다.

시티 브레인의 계산을 실제로 담당하는 것은 도시라는 복잡한 공간의 시간과 위치 정보를 함께 다루는 인공지능 모델들이라고 알려져 있다. 다만 항저우 시나 알리바바 클라우드가 시티 브레인 내부에 어떤 모델을 정확히 어떻게 배치했는지 세부 구조를 공개한 공식 자료는 확인되지 않는다. 그래서 여기서는 특정 제품의 내부 구조를 단정하는 대신, 도시 교통 인공지능 분야에서 널리 연구되고 쓰이는 대표 기술을 일반 원리 수준에서 짚어 본다.

교통 흐름을 예측하는 데는 지나온 흐름을 오래 기억하며 학습하는 순환 신경망 계열 모델이 널리 쓰인다. 이 계열의 뿌리가 되는 장단기 메모리(LSTM) 구조는 오래된 정보와 최근 정보를 구분해 기억하도록 설계되어, 시간에 따라 변하는 교통량 같은 데이터를 다루는 데 알맞다(Hochreiter & Schmidhuber, 1997). 여기에 도로망을 교차로라는 점과 도로 구간이라는 선으로 이루어진 그래프로 표현해, 물리적 거리에 따른 영향과 시간에 따른 변화

를 한꺼번에 계산하는 그래프 신경망 계열 모델을 결합하면, 앞으로 몇십 분에서 몇 시간 뒤의 교통량을 미리 짚어 내는 예측이 가능해진다. 신호를 어떻게 조절할지는 강화학습, 곧 컴퓨터가 시행착오를 거치며 보상이 큰 행동을 스스로 찾아가는 학습 방법이 맡는다. 여러 교차로의 신호 제어를 각각 하나의 학습 주체로 놓고, 차가 얼마나 오래 기다리는지와 평균 통행 속도, 지연 시간을 점수로 매겨 여러 신호등이 서로 협력하도록 학습시키는 다중 에이전트 강화학습도 이 분야에서 자주 연구되는 방법이다. 카메라 영상을 읽어 내는 데는 영상을 한 번만 훑어보고도 그 안의 물체를 찾아내는 실시간 물체 인식 딥러닝 기법이 쓰인다. 차선을 막고 선 차량이나 정지 사고, 불법 주차, 뺑소니, 갑작스러운 정체를 찾아내 관제 시스템에 알리는 데 이런 기법이 쓰일 수 있다. 이 기술들은 도시 인공지능 분야에서 널리 연구된 대표 기술이라는 뜻이며, 시티 브레인 이 가운데 정확히 어떤 조합을 쓰는지를 확정하는 근거는 아니다.

이 알고리즘과 인프라를 설계하고 다듬는 일은 알리바바 클라우드가 맡지만, 그 결과를 실제로 신호등에 반영할지 말지를 정하는 권한은 항저우시 교통당국 같은 행정기관에 있다. 기술을 만드는 주체와 그 기술로 도시를 움직일 권한을 가진 주체가 나뉘어 있는 구조다.

이 계산 결과는 항저우시 교통 당국 관제 센터의 커다란 영상판과 통합 대시보드로 모인다. 화면 위쪽에는 도시 전체의 교통량과 혼잡도 지수, 통행시간 지수, 평균 통행 속도 같은 핵심 지표가 시간에 따라 바뀌는 그래프로 뜬다. 화면 가운데는 도로망 위에 혼잡한 구간을 초록, 노랑, 빨강으로 표시한 지도가 놓이고, 그 위에 차량이 몰려 있는 곳을 짙게 보여 주는 열지도가 겹쳐진다. 화면 옆과 아래쪽에는 영상 분석이 잡아낸 사고와 위반 알림, 구역별 기온과 습도, 주차장이 얼마나 차 있는지, 그리고 신호를 어떻게 바꾸고 구급차를 어떤 길로 보낼지 시스템이 제안하는 문구가 함께 뜬다. 이 화면을 교통과 경찰, 소방, 의료 여러 기관의 관제 인력이 동시에 들여다본다. 신호 우선권 부여나 긴급 출동 조치가 어디까지 자동으로 실행되고 어디서부터 사람의 확인을 거치는지 세부 절차를 밝힌 공식 자료는 확인되지 않는다.

이렇게 큰 규모의 연산을 중앙의 클라우드 한곳에서만 처리하면 데이터가 오가는 데 시간이 걸리고 병목이 생긴다. 그래서 도로변 신호 제어기나 센서

게이트웨이, 소형 컴퓨터인 라즈베리파이나 엔비디아 젯슨 같은 현장 장비에 가벼운 인공지능 모델을 얹어 두는 클라우드-에지 혼합 구조가 도시 인공지능 시스템 설계에서 널리 쓰인다. 현장의 에지 장비는 센서 신호의 잡음을 걸러내고 데이터를 압축하며 이상 징후를 1차로 잡아내는 일을 그 자리에서 처리해, 중앙으로 보내는 데이터양을 크게 줄이고 빠른 반응 속도를 만들어 낸다. 위쪽의 클라우드는 여러 프로그램을 표준화된 상자처럼 포장해 운영하는 도커컨테이너와, 그 상자들을 자동으로 관리해 주는 쿠버네티스 같은 도구 위에서 여러 갈래의 센서 흐름을 받아들이고, 오래 쌓인 과거 데이터를 학습시키거나 시간 간 흐름을 통째로 분석하는 무거운 계산을 맡는다. 클라우드에서 새로 다듬은 인공지능 모델은 다시 현장의 에지 장비로 내려보내져, 도시 전체에 흩어진 지능형 장비들이 계속 최신 상태를 유지하도록 한다. 이런 구조 역시 이 규모의 도시 인공지능 시스템을 설계할 때 흔히 쓰이는 대표적인 방식이지, 시티 브레인의 내부 구성을 공식적으로 확인해 주는 자료는 아니다.

시티 브레인은 여기서 멈추지 않았다. 항저우시는 2025년 3월 시티 브레인 3.0을 공개하면서 중국의 생성형 인공지능 모델인 DeepSeek-R1을 행정 업무에 끌어들었다. 민관 협력으로 시작한 실험적 플랫폼은 대규모 언어모델까지 끌어들이며 계속 몸집을 키워 왔다.

참고문헌

Hangzhou Municipal Government, (2025). Hangzhou launches City Brain 3.0, advancing smart governance. https://www.changzhou.gov.cn/2025-04/01/c_293162.htm

Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>

2.2. 도시급 디지털 트윈(City-scale Digital Twin)과 페루프(Closed-Loop) 시뮬레이션

지도 위에 건물과 도로를 3차원으로 그려 놓은 것과, 그 지도가 실제 도시의 움직임에 따라 실시간으로 바뀌고 거꾸로 현실의 장비를 움직이는 것은 전혀 다른 이야기다. 도시급 디지털 트윈이 예전의 3차원 지리정보시스템(GIS)이나 상황을 보여 주기만 하는 대시보드와 다른 지점이 여기에 있다. 가상 공간에서 계산한 결과가 다시 현실의 신호등이나 밸브 같은 장치를 움직이고, 그 결과가 다시 가상 공간으로 들어와 다음 계산의 재료가 되는 순환 구조를 페루프라고 부른다.

이 순환은 세 단계로 이루어진다. 도시 곳곳에 놓인 여러 종류의 센서에서 데이터를 거두는 감지 단계가 처음이다. 도로의 지지선 감지기, 교차로 카메라 영상, 차량 GPS, 사물인터넷 환경 센서, 건물 에너지 계량기가 실시간으로 데이터를 가상 공간으로 실어 나른다. 그다음은 이렇게 모인 데이터로 가상 모형을 최신 상태로 맞추고, 인공지능과 수치 시뮬레이션 엔진을 돌려 앞으로 벌어질 일을 미리 계산해 보는 단계다. 신호 주기를 바꾸거나 도로를 막거나 구급차를 먼저 보내면 도시 전체에 어떤 파급 효과가 생기는지를 실제로 실행하기 전에 가상에서 시험해 보는 '만약에' 시나리오 분석이 여기서 이루어진다. 마지막은 이렇게 검증된 최적의 지침을 현장 장비로 다시 흘려보내는 제어 단계다. 신호 제어기나 도로 위 전광판, 배수 펌프, 건물의 냉난방 장치로 명령이 전달되어 자동으로 실행되거나, 관제 센터 화면에 뜬 제안을 관제사가 확인한 뒤 최종 승인해 현장에 반영된다. 실행된 뒤 달라진 현실의 상태는 다시 감지 단계로 들어가 순환이 이어진다.

항저우 시티 브레인의 교통 관제는 이 페루프의 감지-계산-실행 흐름이 실제 행정에서 어떻게 나타나는지 보여 주는 사례다. 교차로 영상 분석과 위치 데이터로 갑작스러운 정체와 사고를 감지하고, 인공지능 알고리즘으로 교차로마다 알맞은 초록 신호 시간과 신호 사이 시차를 계산하며, 항저우시 교통 당국의 관제 센터와 신호 제어 시스템이 이어져 신호를 바꾸고 응급차량에 우선권을 준다. 신호 우선권 부여나 긴급 출동 조치가 어느 단계까지 자동으로

실행되고 어디서부터 관제사의 확인과 승인을 거치는지는 항저우시가 공개한 자료에서 구체적으로 확인되지 않는다. 항저우시 공안국이 2025년 시의회에 낸 답변에 따르면, 시는 2018년부터 59개 고가도로 진입로에 인공지능 신호를 설치했고, 이후 '데이터 수집-분석 판단-전략 수립-효과 피드백'이라는 표현으로 이 순환 구조를 계속 다듬어 가겠다고 밝혔다. 감지와 계산, 실행이라는 학술적인 표현과 항저우시 행정 문서가 쓰는 표현은 말은 다르지만 가리키는 순환은 같다.

싱가포르의 페루프는 도시 전체를 아우르는 3차원 복제와 국립연구재단, 싱가포르 토지청, 정부기술청이 함께 짠 중앙 관제 구조를 결합하는 형태로 나타난다. 버추얼 싱가포르는 CityGML과 건물 정보 모델, 항공 라이다 스캔 데이터로 도심을 정밀하게 복제하고 스마트 네이션 센서 플랫폼의 데이터를 이어받는다. 도심 미기후를 시뮬레이션해 건물의 형태와 녹지 배치, 교통이 열 배출에 미치는 영향을 미리 시험한다. 이 작업은 도시재개발청이 이끄는 '쿨링 싱가포르 2.0' 사업의 '디지털 도시 기후 트윈'으로 이어지고 있다. 에너지 분야에서는 에너지시장청이 태양광 출력 변화와 전기차 충전 수요가 전력망에 주는 부담을 가상으로 시험하는 '그리드 디지털 트윈'을 운영한다. 이 트윈은 전력망에 주는 영향을 계산하는 네트워크 트윈과, 변압기나 케이블 같은 설비의 상태를 살피는 자산 트윈으로 나뉜다. 모빌리티에서는 육상교통청이 GLIDE 신호 시스템과 위성 기반의 차세대 통행료 체계 ERP 2.0을 운영해 도심 교통 수요를 미리 분산시킨다. 상하수도 기관 PUB가 운영하는 '해안-내륙 홍수 모델'은 폭우와 밀물이 겹치는 상황의 침수 위험을 계산하며, 지역별 연구가 해안선의 80퍼센트 넘는 구간에 이른다.

이런 페루프 구조는 항저우와 싱가포르 밖에서도 나타난다. 중국 난징에서 진행된 '싱가포르-난징 생태하이테크섬' 사업은 감지, 데이터 미들 플랫폼, 분석과 모델링, 서비스 통합, 응용 시나리오라는 다섯 단계 구조를 세웠다. 생태와 환경, 교통을 비롯한 여덟 개 분야에서 감지와 시뮬레이션, 제어라는 세 가지 역량을 함께 적용하는 틀을 마련했다(Lu & Li, 2026).

가상 공간과 현실을 지연 없이 잇기 위해서는 공통된 데이터 형식과 통신 규격이 필요하다. 가상 공간의 뼈대는 국제개방형공간데이터표준 협의체

(OGC)가 정한 CityGML과 건축 분야의 표준인 BIM(IFC), 2차원과 3차원 지리정보시스템 데이터로 짜인다. 3D 타일스와 CesiumJS, Unity3D, 언리얼 엔진 같은 웹·게임 엔진이 이 가상 복제본을 화면에 보여 주고, 그 뒤에서는 3DCityDB와 PostGIS, InfluxDB 같은 데이터베이스가 쏟아지는 데이터를 받아 저장한다. 물리 공간과 가상 공간을 잇는 통신은 앞 절에서 살핀 클라우드-에지 혼합 구조를 그대로 따른다. 도로변 장비에는 가벼운 인공지능 모델을 얹고, 클라우드에서는 실시간 스트림 처리 엔진이 데이터를 받아들여 대규모 시뮬레이션을 수행한다. 여러 기관이 원본 데이터를 한곳에 모으지 않고도 함께 모델을 학습시키는 연합 학습 같은 기법은 도시급 디지털 트윈 분야에서 연구되고 제안되는 방법이며, 항저우나 싱가포르가 이를 도시 전역에 실제로 운용한다고 확인해 주는 공식 자료는 없다. 데이터를 실어 나르는 통신 규격으로는 가벼운 메시지 전송 프로토콜인 MQTT와 CoAP(둘 다 적은 데이터로 기기사이에 짧은 메시지를 주고받게 해 주는 통신 규격이다), 저전력 광역 통신인 LPWAN, 5G가 함께 쓰인다.

페루프 제어 체계는 시간이 지나면 계산 모형이 현실과 어긋나는 '모형 오류' 문제를 안고 있다. 그래서 새로운 데이터로 모형을 주기적으로 다시 학습시키고 오차를 점검하는 절차가 함께 돌아간다. 오작동이나 보안 침해로 도시 인프라가 한꺼번에 멈추는 사태를 막으려면, 인공지능이 결정을 내릴 수 있는 범위에 한계를 두고 중요한 판단에는 사람이 끼어들도록 설계하는 원칙이 필요하다는 논의가 도시 디지털 트윈 연구에서 이어지고 있다. 개인을 특정할 수 없도록 데이터를 흐트러뜨리는 차분 프라이버시 기술이나, 원본 데이터를 한곳에 모으지 않고도 여러 기관이 함께 모델을 학습시키는 연합 학습 같은 기법도 이 분야에서 제안되고 연구되는 안전장치다. 다만 사람의 개입을 의무 절차로 두는 방식이든 차분 프라이버시나 연합 학습 같은 기법이든, 항저우나 싱가포르가 이를 도시 전역에 실제로 적용하고 있다고 확인해 주는 공식 자료는 없다.

항저우와 싱가포르의 페루프는 겉모습은 닮았지만 결이 다르다. 항저우는 교통이라는 한 영역에서 감지부터 실행까지 하나의 관계 센터가 쥐고 있는 중앙집중형 순환을 만들었다. 결정 권한은 항저우시 교통 당국에 있고,公安국과

소방, 의료 기관이 같은 화면을 보며 움직인다. 싱가포르의 열섬과 전력망, 홍수 위험처럼 여러 분야마다 따로 도는 트윈을 여러 기관이 나눠 운영하며, 그 결과를 국가 차원의 지리공간 인프라로 다시 모으는 방식을 택했다. 도시재개발청과 에너지시장청, 육상교통청, PUB가 각자 소관 분야의 트윈을 책임지고, 국립연구재단과 싱가포르 토지청, 정부기술청이 이를 국가 3차원 공간모형으로 연동한다. 결정 권한을 어느 기관 하나가 쥐고 있는 도시와, 여러 법정기관이 소관별로 나눠 쪼는 도시라는 차이가 페루프 구조에도 그대로 반영되어 있다.

참고문헌

- Energy Market Authority. (2024). Grid Digital Twin.
<https://www.ema.gov.sg/our-energy-story/energy-grid/grid-digital-twin>
- Lu, Q., & Li, H. (2026). Digital-twin-driven urban lifecycle paradigm: evidence from the Singapore-Nanjing eco Hi-Tech Island. *Frontiers in Sustainable Cities*, 8, 1733281.
<https://doi.org/10.3389/frsc.2026.1733281>
- National Research Foundation Singapore. (2018). Virtual Singapore: About.
<https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>
- PUB, Singapore's National Water Agency. (2026). Site-specific Studies.
<https://www.pub.gov.sg/Public/KeyInitiatives/Flood-Resilience/Coastal-Protection/Site-specific-Studies>
- Urban Redevelopment Authority. (2026). Shaping a Heat Resilient City.
<https://www.urc.gov.sg/land-planning/planning-strategies/exploring-new-frontiers/heat-resilience/>
- 杭州市公安局. (2025). 对市十四届人大五次会议西湖25号建议的答复.
https://police.hangzhou.gov.cn/art/2025/9/8/art_1229456312_4401887.html

2.3. 센서 네트워크, 5G 및 차세대 통신 체계

도시를 지능화하려면 현장의 상황을 놓치지 않고 잡아내는 센서와, 그 데이터를 지연 없이 실어 나르는 통신망, 그리고 차량이 신호등이나 다른 차, 보행자와 정보를 주고받는 V2X(차량과 주변 모든 것을 무선으로 잇는 통신 기술) 체계가 함께 갖춰져야 한다. 센서는 도시의 눈과 귀에 해당하고, 5G와 6G 같은 이동통신망은 그 정보를 실어 나르고 현장 장비를 제어하는 신경망 역할을 한다.

도시 곳곳에 깔린 사물인터넷 센서는 도로변 카메라와 지지선 감지기, 대기와 수질을 재는 환경 감지기, 수도와 전기를 재는 계량기, 건물 관리 센서처럼 서로 다른 여러 장치로 이루어진다. 도시 곳곳에 센서를 촘촘히 깔면서도 통신 비용과 전력 소비를 감당하려면 저전력 통신 기술과 5G를 함께 쓰는 설계가 필요하다. 넓은 지역을 덮는 5G 매크로 기지국과 좁은 지역을 촘촘히 채우는 소형 기지국 위에 NB-IoT(적은 전력으로 좁은 대역폭에서 작동하는 사물인터넷 통신 기술)를 겹쳐 쓰는 방식은 통신사들이 흔히 채택하는 설계다. NB-IoT는 전력 소모를 극도로 줄인 통신 규격이어서, 데이터를 자주 보낼 필요가 없는 수도나 가스 원격 검침처럼 수만 대의 단말을 한꺼번에 깔아야 하는 상황에 알맞다.

이 통신 체계는 네 개의 층으로 쌓인다. 맨 아래에는 현장의 물리적 지표를 재는 여러 사물인터넷 센서와 단말이 놓이는 감지층이 있다. 그 위에는 5G의 대용량 전송 기능과 NB-IoT, 와이파이처럼 서로 다른 통신망을 하나로 묶어 데이터를 실어 나르는 네트워크층이 있다. 다음은 에지 컴퓨팅 노드와 클라우드 관리 시스템이 이 데이터를 실시간으로 처리하고 저장하며 분석하는 플랫폼층이다. 맨 위에는 교통 제어와 치안 관리, 지하 관로 점검, 에너지 배분 같은 실제 행정 업무로 제어 명령을 넘기는 응용층이 자리 잡는다.

5G는 대용량 데이터를 빠르게 옮기는 성능(eMBB)과 수많은 단말을 동시에 수용하는 성능(mMTC), 오차 없이 아주 짧은 지연으로 통신하는 성능(URLLC)을 함께 갖춰서, 스마트시티의 대규모 센서 데이터를 실어 나르는 뼈대 통신망 역할을 한다. 5G와 사물인터넷, 인공지능을 결합한 차세대 전력망 연구도 이 세 가지 성능이 스마트시티 인프라의 기초 조건이라고 설명한다(Esenogho et al., 2022). 이 가운데 '네트워크 슬라이싱'이라는 기술은 하나의 물리적인 5G 망을 여러 개의 가상 통신망으로 나뉘, 서비스마다 필요한 품질 수준에 맞춰 별도의 통신 자원을 배정한다. 스마트 그리드 통신이나 지능형 교통 신호, 응급차량 이동처럼 신속함과 보안이 엄격히 요구되는 서비스는 이렇게 나뉜 전용 대역폭과 우선순위를 배정받아, 통신이 물리는 상황에서도 끊기지 않고 작동한다. 여기에 통신 기지국이나 도로변에 연산 장치를 직접 배치

해 중앙 데이터센터까지 오가는 시간을 없애는 다중 액세스 에지 컴퓨팅(MEC)이 더해져, 밀리초 단위의 빠른 응답 속도를 만들어 낸다.

5G를 넘어 6G로 가는 연구도 활발하다. 이론적으로 6G는 초당 1테라비트에 가까운 대역폭과 1밀리초에 못 미치는 지연을 목표로 삼는다. 차량이 서로 무선으로 통신하는 환경에서 전파가 흔들리거나 신호가 끊기는 현상을 실시간으로 보정해 여러 대의 인공지능 장치와 차량이 동시에 맞물려 움직이도록 뒷받침하는 방향으로 연구되고 있다.

V2X는 이 통신망 위에서 차량과 주변의 모든 요소를 잇는 핵심 기술이다. 차량과 도로변 장치, 신호 제어가 통신하는 V2I, 인접한 차량끼리 위험 정보를 주고받는 V2V, 차량과 보행자의 휴대전화가 안전 신호를 나누는 V2P, 차량과 중앙 관제 클라우드가 이어지는 V2N으로 나뉜다. 이런 통신은 유럽전기통신표준협회(ETSI)나 미국전기전자공학회(IEEE), 국제표준화기구(ISO), 국제전기통신연합(ITU)이 정한 규격을 따라 나라와 제조사가 달라도 서로 통하도록 설계된다. 5G 기반 V2X의 구조와 활용 사례를 정리한 연구는 응급차량 대응처럼 시간이 중요한 상황에서 이 기술의 효과가 뚜렷하게 나타난다고 분석한다(Pawar et al., 2024). 기술 방식으로는 5.9기가헤르츠 대역에서 작동하는 근거리 전용 무선통신(DSRC)과, 이동통신망을 그대로 쓰는 C-V2X, 이 둘을 함께 쓰는 혼합 방식이 있다. ITS-G5 방식과 LTE 기반 V2X를 함께 쓰는 하이브리드 통신망을 연구한 결과는, 두 기술을 병행하면 한쪽 통신이 끊겨도 다른 쪽이 이를 보완할 수 있다고 설명한다(Stellwagen et al., 2023). 도로변에 세워진 노변 장치(RSU)는 도로 감지 센서, 신호 제어기, 에지 컴퓨팅 장치와 이어져 교차로의 사각지대를 알리고, 신호가 몇 초 뒤 바뀌는지 미리 알려 주며, 차량과 보행자가 서로의 위치를 인지하도록 돕고, 구급차가 지나갈 때 신호 우선권을 준다.

이런 커넥티드 모빌리티 실험은 이미 현실 도로에서 진행되고 있다. 항저우시는 2024년 5월 1일부터 지능형 연결차량 조례를 시행했다. 2025년 6월까지 누적 시험 운행 거리는 592만 킬로미터에 이르렀다. 시험 지역은 9개 구와 1개 현에 걸쳐 있다고 시 정부는 밝히고 있다. 도로와 차량, 클라우드를 하나로 통합해 시험하는 이 사업에는 법적 근거와 도로변 장비 설치 지침이 함께 마

런되어 있다. 싱가포르르는 2026년 풍골 지역에서 고정 노선을 도는 자율주행서들을 시험하고, 같은 해 하반기에는 마리나베이와 원노스 지역에서 자율주행 버스를 시험할 계획이라고 교통부가 밝혔다. 실제 상용화에 앞서 안전요원이 개입하지 않고 지정된 노선을 얼마나 달렸는지, 여러 교통 상황에 얼마나 잘 대응했는지를 육상교통청의 정량적 안전 지표로 평가한다. 상용화 전 자율주행차의 안전 수준이 사람이 운전할 때보다 나쁘지 않아야 한다는 원칙을 이 지표 안에 반영하고 있다.

통신망이 촘촘해질수록 새로운 과제도 따라붙는다. 5G 기지국을 늘리는 과정에서 발생하는 탄소 배출과 전력 소비를 어떻게 관리할지, 통신 접점이 늘어난 만큼 커진 사이버 공격 위험에 어떻게 대응할지가 함께 논의된다. 5G-V2X 네트워크에서 개인정보를 지키면서 침입을 탐지하는 방법을 연구한 결과는, 스스로 학습 방식을 익히는 탐지 모델이 새로운 공격 유형에도 비교적 잘 대응한다고 보고한다(Hossain et al., 2025). 암호화 인증과 차분 프라이버시, 데이터의 신뢰를 기록하는 블록체인, 침입을 자동으로 잡아내는 인공지능 기반 탐지 체계 같은 여러 겹의 보안 장치를 함께 쌓아 올리는 일이 이 통신 인프라의 필수 조건으로 다뤄지고 있다.

참고문헌

- Esenogho, E., Djouani, K., & Kurien, A. M. (2022). Integrating artificial intelligence Internet of Things and 5G for next-generation smartgrid: A survey of trends challenges and prospect. *IEEE Access*, 10, 4794-4831. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3140595>
- Hossain, S., Senouci, S. M., Brik, B., & Boualouache, A. (2025). A privacy-preserving self-supervised Learning-based intrusion detection system for 5G-V2X networks. *Ad Hoc Networks*, 166, 103674. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2024.103674>
- Pawar, V., Zade, N., Vora, D., Khairnar, V., Oliveira, A., Kotecha, K., & Kulkarni, A. (2024). Intelligent transportation system with 5G vehicle-to-everything (V2X): Architectures, vehicular use cases, emergency vehicles, current challenges and future directions. *IEEE Access*, 12, 183937-183960. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3506815>
- Singapore Ministry of Transport. (2026). Automated & autonomous vehicles. <https://www.mot.gov.sg/what-we-do/automated-autonomous-vehicles/>
- Singapore Ministry of Transport. (2026). LTA's Quantifiable Safety Metrics and AV Standards Governing AI Decision-Making Prior to Commercial Deployment on Public Roads. <https://www.mot.gov.sg/news-resources/newsroom/lta-s-quantifiable-safety-metrics-and-av>

-standards-governing-ai-decision-making-prior-to-commercial-deployment-on-public-roads/

Stellwagen, J., Deegener, M., & Kuhn, M. (2023). Hybrid vehicle-to-X communication network by using ITS-G5 and LTE-V2X. *IEEE Access*, 11, 30783–30795.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3260980>

杭州市人民政府. (2025). 我市各类智能网联车辆累计测试应用里程达592万公里.
https://www.hangzhou.gov.cn/art/2025/6/10/art_812262_59113826.html

제3장. 주요 응용 영역 및 현장 실증 사례

3.1. 지능형 교통 시스템(ITS)과 실시간 신호 최적화

항저우시 교통 관제센터의 벽면에는 도시 곳곳의 교차로 화면이 격자무늬로 걸려 있다. 2025년 말 항저우시 공안국이 밝힌 바에 따르면 이 화면을 들여다보는 영상 담당 인력은 260명, 교차로 신호 주기를 조정하는 담당자는 115명, 현장에서 실제로 움직이는 오토바이 경찰은 2,400명이다. 이 세 층이 하나의 지휘 체계로 묶여 도시의 신호등을 매 순간 다시 계산한다.

지능형 교통 시스템, 줄여서 ITS는 정보통신기술과 사물인터넷, 인공지능과 대량의 데이터 연산 장비를 도로망에 이어 붙여 차량과 사람이 더 안전하고 매끄럽게 움직이도록 돕는 체계를 가리킨다. ITS는 크게 네 단계로 움직인다. 도로 위 센서와 카메라가 상황을 감지하고, 그 정보가 통신망을 타고 관제센터로 모이고, 인공지능이 그 정보를 분석하고, 마지막으로 신호등이나 안내판이 실제로 반응한다. 교차로 신호를 실시간으로 바꾸는 일, 구급차가 지나갈 길을 미리 열어 주는 일, 버스 배차를 조정하는 일, 앞으로 몇 분 뒤의 교통량을 미리 짚어보는 일이 모두 이 네 단계 위에서 이뤄진다.

예전의 신호등은 정해진 시간표대로만 돌아갔다. 출근 시간이면 한밤중이든 같은 주기로 초록불과 빨간불이 바뀌었고, 도로에 차가 몰려도 신호는 그 사정을 알지 못했다. 이런 고정 주기 방식은 차량이 몰리는 순간에 정체를 키우는 약점을 안고 있었다. 그래서 최근의 신호 체계는 차량 사이의 간격, 대기 줄의 길이, 실제 주행 속도를 그때그때 읽어서 초록불이 켜지는 시간과 인접 교차로 사이의 신호 시차를 스스로 조정하는 방식으로 옮겨가고 있다.

중국 항저우시의 시티 브레인은 이런 적응형 신호 제어를 도시 전체 단위로 실제 운영에 옮긴 사례로 자주 인용된다. 교차로 CCTV의 영상 분석과高德지도의 실시간 위치 데이터를 하나로 묶어 신호 주기를 조정한다는 설명이 알리바바 클라우드와 항저우시의 발표 자료에 되풀이해 나온다. 문제는 이 조

정으로 통행 속도가 실제로 얼마나 올랐고 정체가 얼마나 줄었는지를 보여 주는 숫자다. 이런 숫자는 대체로 사업을 함께 이끈 항저우시와 알리바바 클라우드 자신이 내놓은 것이고, 정부의 다른 부서나 제3의 기관이 따로 확인한 값은 찾기 어렵다. 이 성과를 다룬 학술 논문도 나와 있지만, 그 안의 숫자 역시 알리바바나 항저우시가 낸 자료를 사례로 삼아 다시 정리한 내용에 가깝다. 사업을 이끈 당사자가 내놓은 성과 발표와 제3의 기관이 독립적으로 확인한 결과라는 다른 무게로 읽어야 한다. 이 책은 사업자가 밝힌 숫자를 확정된 사실처럼 옮기지 않고, 그 숫자가 누구의 입에서 나왔는지를 먼저 밝히는 쪽을 택한다.

여기에 항저우 공안국이 2025년 말에 내놓은 자료는 조금 다른 각도의 숫자를 보여 준다. 짧은 구간에서 초록불이 연이어 켜지도록 묶어 둔 구간, 이른바 녹색 물결 구간의 길이가 482킬로미터에 이른다는 내용이다. 이 숫자는 시티 브레인이라는 하나의 프로그램이 만들어낸 결과라기보다, 2025년 시점에서 항저우가 운영하고 있는 교통 관제의 현재 모습으로 읽는 편이 맞다.

시티 브레인은 신호 조정에 그치지 않고 구급차와 소방차가 지나갈 길을 미리 열어 주는 기능도 갖추고 있다고 알리바바 클라우드의 설명한다. 목적지까지 가는 길에 놓인 교차로들이 차량이 다가오는 순간에 맞춰 차례로 초록불로 바뀌는 방식이다. 구급차가 현장에 닿기까지 걸리는 시간이 얼마나 줄었는지, 사고 처리에 걸리는 시간이 얼마나 짧아졌는지, 영상 분석이 사고와 위반을 잡아내는 정확도가 얼마나 되는지는 항저우시와 알리바바 클라우드가 내놓은 자료 밖에서는 확인하기 어렵다. 항저우시 샤오산구에서 먼저 시험을 거친 뒤 도시 전체로 넓혀졌다는 설명도 같은 자료에서 나온 것이어서, 그 시험에서 통행 속도와 혼잡 정보가 실제로 얼마나 나아졌는지는 따로 확인된 값이 없다.

싱가포르의 다른 방식으로 같은 문제를 풀어 간다. 육상교통청, LTA가 운영하는 GLIDE는 초록 신호가 이어지는 구간을 스스로 계산해 정하는 체계이고, EMAS는 고속도로 상황을 하루 종일 지켜보는 체계다. 여기에 도로마다 통행료를 상황에 따라 다르게 매기는 차세대 전자 도로 통행료 시스템, ERP 2.0을 붙여 붐비는 시간과 구간에는 통행료를 올리는 방식으로 차량이 몰리는 것을 미리 막는다.

두 도시의 실적과는 별개로, 신호 최적화를 더 정교하게 만들려는 연구도 학계에서 폭넓게 이뤄지고 있다. 강화학습이라는, 컴퓨터가 시행착오를 거듭하며 스스로 더 나은 판단을 익히게 하는 방법과 여러 신호등이 서로의 상태를 참고하며 함께 학습하는 다중 에이전트 강화학습이 신호 제어에 쓰인다. 교차로에 몰린 차량의 압력을 계산해 대기 줄을 줄이는 맥스 프레스 알고리즘, 교차로 영상에서 차량 대수와 대기 시간을 읽어내는 YOLO 계열의 영상 인식 모델도 시뮬레이션 환경에서 검증되고 있다. 구급차 우선 신호를 위해서는 차량과 도로 시설이 직접 무선으로 정보를 주고받는 통신 방식, 5세대와 6세대 이동통신망을 쓴 초저지연 통신을 결합해 도로변 장치가 신호기를 직접 조율하는 연구도 이어지고 있다.

버스와 지하철의 배차를 조정하는 일도 신호 제어 못지않게 도시의 이동을 좌우한다. 싱가포르의 이 문제를 사람을 태우지 않는 차량으로도 풀어 보려 한다. 교통부가 밝힌 계획에 따르면 싱가포르는 2026년부터 풍골, Punggol에서 정해진 노선을 도는 자율주행 셔틀을 시험하고, 같은 해 하반기에는 마리나 베이와 원노스에서 자율주행 버스를 시험한다. 실제로 손님을 태우기 전에는 안전요원의 개입 없이 지정된 노선을 얼마나 달리는지, 갑자기 끼어드는 차량이나 보행자 같은 여러 교통 상황에 얼마나 잘 대응하는지를 LTA가 정한 정량적 안전 기준과 자율주행 표준에 맞춰 먼저 평가한다. 이 평가를 통과해야 실제 도로 위 상용 운행으로 넘어간다. 정해진 시간표만 따르던 버스과 지하철의 배차 역시 실시간으로 모인 승차권과 교통카드 자료를 바탕으로 필요한 만큼 늘리거나 줄이는 방향으로 옮겨 가고 있지만, 그 변화의 폭을 보여 주는 공식 수치는 아직 확인되지 않는다.

교통량을 미리 내다보는 연구도 함께 진행되고 있다. 도로망을 점과 선으로 표현해 계산하는 그래프 신경망과 시간의 흐름을 읽는 순환 신경망을 합친 모델들, 예를 들어 시공간 그래프 합성곱 신경망이나 확산 합성곱 순환 신경망 같은 이름의 모델이 몇 분 뒤, 몇 시간 뒤의 교통 흐름을 미리 계산하는 데 쓰인다. 버스 노선을 짤 때는 통행 시간과 연료 소비, 탄소 배출량을 한꺼번에 줄이려는 다목적 경로 알고리즘이 쓰이고, 전용 차선이 없는 도로에서 버스가 제

시간에 도착하도록 신호를 우선 배정하는 방식과 전기차와 자율주행차의 배터리 상태까지 고려해 경로를 짜는 방식도 시뮬레이션 위에서 시험되고 있다.

카메라와 센서, 계산 모델이 도로 위에 촘촘하게 깔리면서 항저우와 싱가포르의 각자의 방식으로 도로를 관제하고 있다. 그러나 통행 속도가 실제로 얼마나 올랐고 사고 대응 시간이 얼마나 줄었는지를 사업 참여자가 아닌 제3의 기관이 확인한 수치는 아직 없다. 두 도시가 내놓는 숫자는 저마다 다른 손에서 나온다는 점을, 이 장을 읽는 동안 계속 기억해 둘 필요가 있다.

참고문헌

- Government Technology Agency (GovTech). (2018). Intelligent transport systems in Singapore. <https://www.tech.gov.sg/products-and-services/ITS/>
- Leong, W. Y., & Kumar, R. (2023). 5G intelligent transportation systems for smart cities. In *Convergence of IoT, blockchain, and computational intelligence in smart cities* (pp. 1–25). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003353034-1>
- Pawar, V., Zade, N., Vora, D., Khairnar, V., Oliveira, A., Kotecha, K., & Kulkarni, A. (2024). Intelligent transportation system with 5G vehicle-to-everything (V2X): Architectures, vehicular use cases, emergency vehicles, current challenges and future directions. *IEEE Access*, 12, 183937–183960. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3506815>
- Singapore Ministry of Transport. (2026). Automated & autonomous vehicles. <https://www.mot.gov.sg/what-we-do/automated-autonomous-vehicles/>
- Singapore Ministry of Transport. (2026). LTA's Quantifiable Safety Metrics and AV Standards Governing AI Decision-Making Prior to Commercial Deployment on Public Roads. <https://www.mot.gov.sg/news-resources/newsroom/lta-s-quantifiable-safety-metrics-and-av-standards-governing-ai-decision-making-prior-to-commercial-deployment-on-public-roads/>
- 杭州市公安局. (2025). 杭州举行公安高水平安全护航高质量发展新闻发布会. https://police.hangzhou.gov.cn/art/2025/12/24/art_1229267445_58931709.html

3.2. 스마트 도시 환경 및 인프라 자동 관리

2025년 항저우시 임업수리국이 낸 자료에 따르면 항저우시 위항구는 무인 수상정과 물속에 넣은 수질 센서, 드론 순찰, 지상 카메라 점검을 함께 써서 강과 호수의 상태를 살핀다. 2024년 한 해 동안 이렇게 확인한 문제 지점은 60곳이었고, 위항구는 그 지점들을 모두 고쳤다고 밝혔다. 물 위와 물속, 하늘까지 세 겹으로 감시망을 두른 뒤에야 사람이 현장에 나가 손을 대는 순서다.

땅 아래도 비슷한 방식으로 살핀다. 국가데이터국이 2025년에 소개한 사례에 따르면 항저우는 10개 구, 약 893.25제곱킬로미터에 걸친 지역의 지하 배관 25,876킬로미터와 지하 시설 719곳의 위치와 상태를 3차원 지도 위에 옮겨 놓았다. 도로 아래 어디에 어떤 배관이 지나가고 어느 시설이 낡았는지를 한눈에 볼 수 있게 만들어, 눈에 보이지 않는 지하 시설까지 관제의 대상으로 넓혔다.

빠르게 커지는 도시와 갈수록 거세지는 기상 이변은 물과 에너지, 시설을 관리하는 방식을 통째로 바꿔 놓고 있다. 사물인터넷, 곧 여러 사물에 작은 센서와 통신 장치를 달아 정보를 주고받게 하는 기술과 인공지능, 드론, 그리고 디지털 트윈이라는, 실제 도시를 컴퓨터 안에 그대로 본떠 만든 가상의 모형을 겹쳐 쓰면서 물과 녹지, 전력망을 관리하는 방식도 바뀌고 있다. 항저우의 위항구 수환경 관리와 지하 시설 관리 사례가 그 한 자락이다.

이런 개별 센서 기술과 별개로, 도시 숲을 입체로 옮겨 관리하려는 연구도 이어지고 있다. 땅 위의 센서와 하늘의 드론, 레이저로 거리와 형태를 재는 라이다를 함께 써서 나무 한 그루 한 그루의 잎 면적과 고사 여부까지 추적하는 디지털 트윈 연구, 그리고 도로 옆 화단이나 가로수마다 붙은 관수 밸브를 현장에서 곧바로 제어하는 에지 컴퓨팅 기반 연구도 진행 중이다.

물과 열을 다루는 방식에서는 싱가포르가 다른 길을 보여 준다. 싱가포르는 2010년대 중반 국가 전체를 3차원으로 옮긴 버추얼 싱가포르라는 플랫폼을 선보인 뒤, 이를 그대로 유지하기보다 분야별로 나눠 더 정밀한 도구로 발전시켜 왔다. 도시재개발청, URA가 이끄는 쿨링 싱가포르 2.0의 디지털 도시 기

후 트윈은 녹지와 건물 모양, 교통이 열을 어떻게 만들고 옮기는지를 계산하고, 주택개발청과 국립 연구 기관 에이스타의 통합 환경 모델러는 바람과 햇빛, 온도를 3차원 도시 모형 위에서 함께 계산한다. 열섬 현상이 심한 자리를 미리 찾아 나무를 심을 자리와 바람길을 정하는 데 이 모형들이 쓰인다.

전력망 쪽에서는 에너지시장청, EMA가 네트워크 트윈과 자산 트윈이라는 두 개의 디지털 쌍둥이를 함께 운영한다. 네트워크 트윈은 태양광 발전과 전기차 충전, 배터리 저장 장치가 전력망에 주는 부담을 계산하고, 자산 트윈은 변압기와 개폐기, 전선의 상태와 남은 수명을 살핀다. 이보다 앞서 에너지시장청과 전력망 회사 SP그룹은 RIE2020 계획에 따라 지능형 그리드 2.0을 세우고 분산 에너지 자원 관리 시스템을 도입한 바 있는데, 지금의 전력망 디지털 트윈은 그 토대 위에서 더 세분화된 형태로 자리를 잡은 결과다. 싱가포르와 중국이 함께 만든 싱가포르-난징 생태하이테크섬에서는 주거 단지의 전기와 물, 가스 사용량과 하수 배출량을 매일 스마트 운영 센터로 모아 살피는 방식도 실증된 바 있다.

물이 넘치는 문제에 대해서는 국가 상수도 기관인 PUB가 해안 지역과 내륙 지역의 강수를 함께 계산하는 홍수 모형을 운영한다. 2026년까지 해안선의 80퍼센트가 넘는 구간에서 지역별로 나눈 연구를 마친다는 것이 PUB의 설명이다. 폭우와 밀물이 겹치는 순간을 미리 계산해 어느 지역이 물에 잠길 위험이 큰지를 앞서 짚어 두는 방식이다.

두 도시의 실적과는 별개로, 도시의 물과 에너지를 다루는 일반 연구도 여러 갈래로 뻗어 있다. 중국의 스펀지 도시 정책은 빗물을 땅속으로 스며들게 하고, 잠시 머금었다가, 저장하고, 걸러내고, 다시 쓰고, 마지막에 흘려보내는 여섯 가지 기능을 투수성 보도와 옥상 녹화, 저류지에 나눠 담아 홍수를 줄이고 빗물을 자원으로 되돌리려 한다. 우수관 안의 수위와 유량을 재는 센서 정보를 현장에서 먼저 처리하는 에지 컴퓨팅과, 도시 침수를 미리 계산하는 수치 모형을 엮어 대피 경로를 안내하고 배수 펌프장의 밸브를 스스로 열고 닫게 하는 연구도 이어지고 있다. 건물의 냉난방을 관리하는 시스템에는 시계열을 기억하는 신경망과 강화학습을 붙여 에너지 소비를 줄이는 연구가, 전력망 한

쪽에서는 태양광이나 풍력으로 만든 전기와 저장 장치에 남은 전력을 상황에 맞춰 나눠 쓰는 소규모 독립 전력망 연구가 계속되고 있다.

강과 호수, 땅속 배관, 하늘의 구름까지 센서와 인공지능이 잇닿으면서, 관리 인력이 매번 현장에 나가지 않아도 문제 지점을 먼저 찾아내고 필요한 곳에만 사람을 보내는 방식으로 바뀌고 있다. 다만 이 모든 감지와 판단이 어느 기관의 손에 모이고, 그 정보를 누가 책임지고 다루는지는 뒤에서 다시 짚어야 할 문제로 남는다.

참고문헌

- Energy Market Authority. (2024). Grid Digital Twin.
<https://www.ema.gov.sg/our-energy-story/energy-grid/grid-digital-twin>
- Lu, Q., & Li, H. (2026). Digital-twin-driven urban lifecycle paradigm: evidence from the Singapore-Nanjing eco Hi-Tech Island. *Frontiers in Sustainable Cities*.
<https://doi.org/10.3389/frsc.2026.1733281>
- National Research Foundation Singapore. (2018). Virtual Singapore: About.
<https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>
- PUB, Singapore's National Water Agency. (2026). Site-specific Studies.
<https://www.pub.gov.sg/Public/KeyInitiatives/Flood-Resilience/Coastal-Protection/Site-specific-Studies>
- Shuiquan, L., Binqing, Z., & Dang, T. (2025). Urban flood disaster prevention, control, and rescue using edge computing and the resilience concept. *Scientific Reports*, 15, 31599.
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-31599-6>
- Urban Redevelopment Authority. (2026). Shaping a Heat Resilient City.
<https://www.urc.gov.sg/land-planning/planning-strategies/exploring-new-frontiers/heat-resilience/>
- Zhou, W., Krivins, A., & Kaze, V. (2025). Management in real estate: powered by digital twins. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 13(2), 280-298.
<https://doi.org/10.9770/h9697726695>
- 杭州市林业水利局. (2025). 聚焦河湖长制：多元复合驱动河湖长效治理.
https://ls.hangzhou.gov.cn/art/2025/5/29/art_1229699371_59029579.html
- 国家数据局. (2025). 杭州：数字赋能科学布防，探索城市地下隐患安全治理新模式.
https://www.nda.gov.cn/sjj/ywpc/szsh/0110/20250110165021630308410_pc.html

3.3. 공공 서비스 통합 및 디지털 신원 체계

아이가 태어난 날, 부모는 병원 침대 옆에서 스마트폰을 꺼내 LifeSG 앱을 연다. 출생 신고, 육아 지원금 신청, 어린이집 찾기가 한 화면 안에서 이어진다. 예전 같으면 구청과 사회복지 부처를 오가며 서류를 몇 번이고 다시 써야 했을 일이다.

싱가포르의 부처마다 따로 만든 서비스를 하나의 국가 디지털 기반 위로 모으고, 국민 한 사람 한 사람에게 디지털 신원을 부여하는 작업을 오랜 시간 밀어붙여 왔다. 이 작업을 이끈 뼈대는 정부기술청, GovTech이 만든 국가 디지털 신원 체계인 싱패스, Singpass다. 싱패스는 시민과 장기 체류자에게 발급되는 단일 로그인 수단으로, 정부기술청이 2026년에 밝힌 자료에 따르면 500만 명의 이용자가 매달 4,100만 건이 넘는 거래를 처리하고, 800개가 넘는 기관과 기업의 서비스 2,700개 이상을 연결한다. 앱을 실제로 쓰는 사람은 420만 명을 넘는다. 시민은 한 번의 로그인만으로 은행, 병원, 통신사 서비스까지 넘나들 수 있다.

싱패스 뒤에는 마이인포, MyInfo라는 정보 연동 장치가 있다. 마이인포는 시민이 동의한 범위 안에서 여러 정부 기관에 나뉘어 있던 주소, 소득, 가족관계 같은 정보를 한 곳에서 끌어와 쓰게 해 준다. 계좌를 새로 열거나 주택을 신청하거나 보조금을 받을 때, 이미 정부가 갖고 있는 정보를 다시 써넣지 않아도 되는 방식이다.

이 두 기반 위에 지어진 서비스가 LifeSG다. GovTech이 2026년에 밝힌 바로는 이 앱 하나에 100개가 넘는 정부 서비스가 담겨 있다. 아이가 태어나는 순간의 출생 신고와 육아 지원금 신청부터 시작해, 젊은 시절에는 교육 수당과 병역 관련 혜택, 구직 지원금 신청이 이 안에서 처리된다. 나이가 들어서엔 연금 지급 내역을 확인하고 의료비 지원과 노인 복지 서비스를 받는 창구로 같은 앱이 쓰인다. 태어나서 늙을 때까지 한 사람의 생애 전체가 하나의 화면 위에 걸쳐 있다.

돈이 오가는 부분은 거브월렛, GovWallet이 맡는다. 거브월렛은 국가 전자 결제망인 페이나우, PayNow와 이어져 정부가 지원금이나 바우처를 시민의 계좌나 디지털 지갑으로 곧장 보낼 수 있게 한다. 도로가 파이거나 쓰레기가 쌓이는 것 같은 생활 속 불편은 원서비스, OneService라는 앱으로 신고할 수 있다.

이 모든 체계를 총괄하는 정부 조직의 이름과 구조는 시간이 지나며 여러 차례 바뀌었는데, 그 흐름은 다음 장에서 자세히 다룬다.

같은 시기 항저우는 다른 방향에서 공공 서비스에 손을 대고 있다. 항저우 시 정부가 2025년 3월에 밝힌 바에 따르면 시티 브레인 3.0 버전으로 올라서며 디스크 알투, DeepSeek-R1이라는 인공지능 모델을 도시 관리에 끌어들이었다. 이 버전에서 눈에 띄는 것은 하나의 통합 신원 체계를 만드는 대신, 경찰 민원과 정신건강 상담, 의료보험 처리 같은 개별 행정 분야마다 인공지능 도우미를 붙이는 방식이다. 싱가포르가 한 사람의 생애 전체를 하나의 문 안으로 모았다면, 항저우는 이미 있는 교통과 환경 관제 두뇌에 행정 업무를 하나씩 얹어 가는 쪽에 가깝다.

이렇게 국가 디지털 신원과 단일 창구가 퍼지는 흐름은 행정을 오가는 데 드는 시간과 수고를 줄이고, 서류를 갖추기 어려운 사람들도 서비스에 다가가게 만든다는 평가를 받는다. 그러나 같은 연구들은 한 곳에 정보가 모일수록 유출 사고가 생겼을 때 그 피해 범위가 커지고, 정부가 시민의 움직임을 들여다볼 힘도 함께 커진다는 점을 함께 짚는다.

싱가포르는 이 위험을 두 갈래의 법으로 나눠 다룬다. 민간 기업이 다루는 개인정보는 개인정보보호위원회, PDPC가 관장하는 개인정보보호법, PDPA의 적용을 받아 정보 유출 시 신고 의무와 접근 권한 제한을 지켜야 한다. 반면 정부 기관이 갖고 있는 정보는 이 법이 아니라 공공부문 거버넌스법, Public Sector Governance Act과 정부 정보통신 지침의 적용을 받는다. 두 법을 하나로 섞어 말하면 실제 책임 소재를 놓치기 쉽다. PDPC가 만든 인공지능 거버넌스 모델 프레임워크를 공공 서비스 알고리즘의 기준으로 오해해서는 안 된다. 이 틀은 민간 조직이 인공지능을 다룰 때 설명 가능성과 공정성, 안전성을 스

스로 갖추도록 원하는 자율 지침이고, 공공 서비스에 쓰이는 알고리즘은 앞서 말한 공공부문 거버넌스법과 정부 정보통신 지침의 적용을 받는다.

싱패스 하나로 수천 개의 서비스에 접속할 수 있는 체계는 편리하다. 그 편리함은 이 체계를 누가 만들고 누가 감시하며 문제가 생겼을 때 누가 책임지는 지에 달려 있다.

참고문헌

- Addo, A., & Senyo, P. K. (2021). Advancing e-governance for development: Digital identification and its link to socioeconomic inclusion. *Government Information Quarterly*, 38(2), 101568. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2021.101568>
- Government Technology Agency of Singapore. (2026). Singpass. <https://www.tech.gov.sg/products-and-services/for-citizens/digital-services/singpass/>
- Hangzhou Municipal Government. (2025). Hangzhou launches City Brain 3.0, advancing smart governance. https://www.ehangzhou.gov.cn/2025-04/01/c_293162.htm
- LifeSG. (2026). LifeSG app. <https://eservices.life.gov.sg/app>
- Personal Data Protection Commission. (2020). Singapore's Approach to AI Governance. <https://www.pdpc.gov.sg/help-and-resources/2020/01/model-ai-governance-framework>
- Personal Data Protection Commission. (2025). Data Incidents Involving Government Agencies or Government Data. <https://www.pdpc.gov.sg/complaints-and-reviews/before-you-lodge-a-complaint-with-us-3/public-agencies>
- Singapore Attorney-General's Chambers. (2018). Public Sector (Governance) Act 2018. <https://sso.agc.gov.sg/Act/PSGA2018>

제4장. 거버넌스 및 추진 체계 비교 분석

4.1. 민관 협력(PPP) 중심의 급속 스케일업: 항저우 모델

2016년 항저우시 정부와 알리바바 클라우드는 협력을 맺고 이터 시티 브레인, ET City Brain이라는 이름의 프로젝트를 시작했다. 지방 정부가 가진 도로와 교차로 데이터, 행정 권한과 알리바바가 가진 연산 능력과 지도 데이터가 하나의 프로젝트 아래 묶였다.

민관 협력, PPP는 정부가 가진 행정 권한과 공공 데이터를, 민간 기업이 가진 기술과 자본과 맞바꿔 함께 사업을 벌이는 방식을 가리킨다. 항저우의 시티 브레인은 이런 민관 협력의 사례로 자주 꼽힌다. 다만 2016년 협력이 구체적으로 어떤 계약 조건과 권리, 의무를 담았는지 보여 주는 공식 문서는 확인되지 않는다. 이 책에서는 이를 지방 정부와 알리바바 사이의 민관 협력 사례로 설명하되, 특정한 계약 구조로 단정하지 않는다.

이 구조 안에서 정부와 기업은 각자 다른 것을 내놓았다. 항저우시와 그 교통 당국은 교차로 CCTV와 도로 센서에서 나오는 공공 데이터에 접근할 권한, 신호기와 현장 장비를 실제로 조작할 권한, 그리고 경찰과 소방, 의료, 교통 담당자가 한자리에 모여 같은 화면을 보고 판단을 내리는 관제센터를 마련했다. 알리바바 클라우드는 대량의 데이터를 실시간으로 처리하는 연산 인프라와 영상 분석 기술을 내놓았다. 공개된 자료로 확인할 수 있는 것은 클라우드 연산과 영상, 지도, 교통 데이터를 하나로 묶은 도시 관제 체계라는 수준이며, 시공간 그래프 합성곱 신경망이나 다중 에이전트 강화학습처럼 학계에서 흔히 다뤄지는 알고리즘이 항저우 시티 브레인 내부에 실제로 어떻게 짜여 들어갔는지를 보여 주는 공식 문서는 확인되지 않는다. 알리바바 생태계 안의 지도 서비스인 고덕지도는 실시간 위치 정보와 경로 요청 데이터를 공급해 이 체계의 눈이 되어 주었다.

이 협력은 먼저 항저우시 샤오산구라는 좁은 구역에서 시험을 거친 뒤 항저우시 전체로 넓혀졌다. 시범 구간과 전역 확대 단계 모두에서 통행 속도가 오르고 정체가 줄었다는 설명이 항저우시와 알리바바 클라우드의 발표 자료에 되풀이해 나오지만, 그 폭을 구체적인 숫자로 제시한 값은 사업을 이끈 두 주체 자신이 낸 것이다. 정부의 다른 부서나 제3의 기관이 따로 확인한 수치는 찾기 어렵다. 이 성과를 정리한 학술 논문도 있지만, 그 안의 숫자 역시 알리바바나 항저우시가 낸 자료를 사례로 삼아 다시 정리한 내용에 가깝다. 구급차가 현장에 닿는 시간이 얼마나 줄었는지, 사고와 위반을 잡아내는 영상 분석의 정확도가 얼마나 되는지도 마찬가지로 사업 참여자의 설명 밖에서는 확인할 길이 없다.

이런 방식은 항저우 밖으로도 번져 나갔다. 2018년 무렵 말레이시아 쿠알라룸푸르에서도 지방정부와 알리바바 클라우드가 손잡고 비슷한 교통 관제 체계를 시험했다는 보도가 있었다. 다만 이 시험이 실제로 통행 시간을 얼마나 줄였는지 보여 주는 독립된 확인 자료는 없다. 쿠알라룸푸르가 이후 마련한 로컬 플랜 2040과 PLANMalaysia의 공식 문서에도 이 초기 협력의 성과를 확정한 내용은 없다. 항저우 모델이 다른 도시로 그대로 옮겨져 성공했다고 말하기는 이른다.

이런 민관 협력을 다룬 일반 연구들은 이 방식의 힘과 위험을 함께 짚는다. 지방 정부가 민간 기술 기업과 오래 계약을 맺으면 처음부터 큰돈을 들여 기반 시설을 짓지 않아도 되고, 기술을 도입하는 속도도 눈에 띄게 빨라진다. 그러나 도시의 데이터 구조와 핵심 알고리즘, 감시 시스템까지 한 기업이 도맡게 되면 정부의 협상력이 약해지고 특정 기업의 기술에 묶이는 이른바 벤더 록인 문제가 생길 수 있다. 공공 데이터를 누가 소유하는지, 시민의 사생활을 어떻게 지킬지, 정부가 그 시스템을 계속 감독할 수 있는지도 함께 풀어야 할 숙제로 남는다.

10년 가까이 지난 지금, 항저우의 시티 브레인은 처음의 민관 협력 형태에서 한 걸음 더 나아갔다. 항저우시 빅데이터관리서비스센터가 2026년에 낸 연간 보고서를 보면, 시티 브레인은 이제 시 데이터자원관리국과 빅데이터관리서비스센터라는 정식 행정 기구 안에서 돌아가는 업무로 자리를 잡았다. 이 보

고서는 공공데이터를 이용한 사업이 23개 분야, 26개 장면, 11개 영역에 걸쳐 있고 360개의 데이터세트를 모았다고 적으면서도, 부처 사이의 협업 장벽과 권한 구분이 불명확한 문제, 오래된 시스템을 새 체계에 통합하는 어려움을 그대로 함께 적었다. 2026년 계획에는 디지털정부 2.0과 시티 브레인 3.0이 올라있다. 알리바바와 함께 빠르게 몸집을 키운 뒤에도, 여러 부처를 하나로 묶는 일은 여전히 끝나지 않았다.

민간 기업의 기술력과 지방 정부의 행정 권한을 결합해 짧은 시간 안에 도시 전역으로 기술을 넓힌 항저우의 방식은 속도라는 면에서 두드러진다. 그러나 그 속도가 다른 도시에서도 그대로 재현되었다고 확정할 근거는 아직 부족하고, 그 속도가 지나간 자리에 남은 조율의 과제는 지금도 진행형이다.

참고문헌

Voorwinden, A. (2021). The privatised city: technology and public-private partnerships in the smart city. *Law, Innovation and Technology*, 13(2), 439-463.
<https://doi.org/10.1080/17579961.2021.1977218>

杭州市大数据管理服务中心. (2026). 2025年度报告. https://hzbb.hangzhou.gov.cn/col/col1229857599/art/2026/art_59730f6151c5478d8bb55e4acfb4870.html

4.2. 중앙 정부 주도의 관료적 안정성과 체계적 관제: 싱가포르 모델

코로나19가 번지기 시작한 2020년 초, 정부기술청의 개발자들은 몇 주 만에 트레이스투게터라는 동선 추적 앱을 만들어 내놓았다. 지방 정부가 민간 기업과 손잡고 몸집을 키운 항저우와 달리, 이 앱을 만든 것은 정부 조직 그 자체였다.

싱가포르의 스마트시티 정책은 총리실 직속 조직이 처음부터 끝까지 방향을 잡고 실행까지 맡는 국가 주도형 모델을 따른다. 2014년 정부는 스마트 네이션이라는 이름의 국가 전략을 선언하고, 총리실 산하에 스마트 네이션 프로그램 사무국을 두어 개별 사업을 관리했다. 그러나 부처마다 따로 만든 시스템이 서로 정보를 주고받지 못하는 문제가 이어지자, 2017년 정부는 이 사무국

을 스마트 네이션 디지털 정부 그룹으로 확대했다. 이 조직은 국가 전략과 우선순위를 정하는 스마트 네이션 디지털 정부 사무국과, 실제 기술을 만들고 시스템을 통합하는 정부기술청, GovTech으로 나뉘어 움직였다. GovTech은 2016년에 세워진 법정기관으로, 여러 부처가 저마다 다른 시스템을 따로 짓는 대신 하나의 데이터 원천과 공통 기술 표준을 함께 쓰도록 조율하고 그 기반을 마련하는 역할을 맡았다.

이 구조는 2023년을 지나며 다시 한번 모양을 바꾸었다. 스마트 네이션 디지털 정부 그룹의 기능은 당시 통신정보부, MCI와 합쳐지는 절차를 밟았고, 2024년 4월 스마트 네이션 그룹이라는 새 조직이 들어섰다. 같은 해 7월 통신정보부는 디지털발전정보부, MDDI로 이름을 바꾸었다. 지금은 이 디지털발전정보부가 GovTech과 정보통신미디어개발청, IMDA, 사이버보안청, CSA를 아우르는 자리에서 국가 디지털 정책을 총괄한다. 조직의 이름은 여러 번 바뀌었지만, 총리실에 가까운 자리에서 여러 부처를 넘나드는 힘을 전 하나의 기구가 디지털 전환을 이끈다는 골격 자체는 그대로 이어지고 있다.

이 골격 위에서 정부는 몇 가지 큰 성과를 만들어냈다. 국립연구재단과 싱가포르 토지청이 국토 전체를 3차원으로 옮긴 버추얼 싱가포르를 세운 것이 그 하나다. 전 국민을 위한 디지털 신원 체계 싱가포르와 정보 연동 장치 마이인포, 생애주기별 서비스를 모은 LifeSG, 재정 지원금을 직접 보내는 거브월렛도 이 조직이 차례로 밀어붙인 결과다. 코로나19 위기 때 만든 트레이스투게더와 세이프엔트리라는 평소에 다져 둔 개발 역량이 위기 앞에서 어떻게 쓰일 수 있는지를 보여 준 사례로 자주 언급된다.

정부는 2024년 10월 스마트 네이션 2.0 전략을 새로 내놓았다. 신뢰와 성장, 공동체라는 세 가지를 목표로 삼고, 인공지능 기술을 안전하게 쓰는 방법과 디지털을 다루기 어려운 시민을 돕는 방법을 함께 담았다. 지역 사회에는 디지털 대사라는 인력을 배치해 고령층과 저소득층이 이 모든 앱과 서비스를 실제로 쓸 수 있도록 옆에서 도왔다.

싱가포르와 같은 중앙 집중형 모델을 다룬 연구들은 이 방식이 정책을 일관되게 밀어붙이고, 여러 부처의 기준을 하나로 맞추며, 위기 상황에서 빠르게

움직일 수 있다는 점을 힘으로 꼽는다. 그러나 같은 연구들은 정보와 결정권이 한 기구로 몰릴수록 사생활 침해 우려가 커지고, 몇몇 고위 관료의 판단에 국가 전체의 방향이 좌우될 위험도 함께 커진다고 짚는다. 이런 위험을 억누르기 위해 싱가포르의 두 가지 법 체계를 나눠 쓴다. 민간 기업의 개인정보 처리는 개인정보보호법, PDPA와 PDPC의 지침이 다루고, 정부 기관이 갖고 있는 정보는 공공부문 거버넌스법과 정부 정보통신 지침이 따로 규율한다. PDPC가만든 인공지능 거버넌스 모델 프레임워크는 민간 조직이 인공지능을 쓸 때 설명 가능성과 공정성을 스스로 갖추도록 권하는 자율 지침이며, 공공 서비스의 알고리즘을 규율하는 기준은 아니다.

향저우가 지방 정부와 기업 사이의 협력으로 속도를 냈다면, 싱가포르는 총리실에 가까운 하나의 기구가 여러 부처의 기준을 조율하고 공통 기반을 놓는 방식으로 같은 목적지에 다다랐다. 조직의 이름표는 여러 번 바뀌었어도, 한 곳에서 기획하고 그 손으로 직접 만든다는 원칙은 그대로 남아 있다.

참고문헌

Ministry of Digital Development and Information. (2023). Smart Nation and Digital Government Group and MCI to merge. <https://www.mddi.gov.sg/newsroom/sndgg-and-mci-to-merge-from-oct-2023/>

Ministry of Digital Development and Information. (2024). Launch of Smart Nation 2.0. <https://www.mddi.gov.sg/newsroom/smart-nation-2-press-release/>

Ministry of Digital Development and Information. (2026). Agencies under MDDI. <https://www.mddi.gov.sg/who-we-are/agencies/>

Singapore Attorney-General's Chambers. (2018). Public Sector (Governance) Act 2018. <https://sso.agc.gov.sg/Act/PSGA2018>

4.3. 아시아 주요 도시(홍콩, 쿠알라룸푸르 등)와의 거버넌스 비교

싱가포르와 홍콩은 인구 규모와 경제 수준, 금융과 무역의 위상까지 여러 모로 닮은 도시다. 그러나 두 도시가 스마트시티 정책을 설계하고 이끄는 조직의 자리는 다르다.

싱가פור는 2014년 스마트 네이션을 선언한 뒤 총리실에 가까운 조직을 두어 부처를 넘나드는 조율의 힘을 실어 왔고, 지금은 디지털발전정보부, MDDI가 GovTech과 정보통신미디어개발청, IMDA, 사이버보안청, CSA를 아우르며 국가 디지털 정책을 총괄한다. 반면 홍콩 특별행정구 정부는 혁신과 기산업국, Innovation, Technology and Industry Bureau 아래 스마트시티처, Smart City Office를 두어 여러 부처와 민간 프로젝트를 잇는 역할을 맡긴다. 이 조직이 2017년 내놓은 첫 스마트시티 청사진에는 76개 사업이 담겼고, 2020년에 나온 청사진 2.0에서는 130개가 넘는 사업으로 늘었다. 다만 홍콩에는 싱가포르처럼 총리실급 자리에서 부처 사이의 조율을 맡는 조직은 따로 없다.

말레이시아의 수도 쿠알라룸푸르는 두 도시와 또 다른 길을 걷는다. 쿠알라룸푸르 시청, DBKL이 2025년에 낸 로컬 플랜 2040, Kuala Lumpur Local Plan 2040 두 번째 권에는 말레이시아 스마트시티 프레임워크의 일곱 가지 요소와 열여섯 개 정책 방향이 도시 계획 안에 그대로 옮겨져 있다. 국가 도시계획 기구인 PLANMalaysia가 2026년에 내놓은 자료를 보면, 말레이시아 정부는 2019년부터 2025년까지 쓰인 앞선 스마트시티 프레임워크의 뒤를 이어 2026년부터 2040년까지 적용할 새 청사진을 준비하고 있다. 항저우나 싱가포르처럼 도시 전역에 걸친 관계 체계가 실제로 어떤 성과를 냈는지 보여 주는 독립된 수치는, 적어도 이 두 공식 문서 안에서는 확인되지 않는다.

항저우와 싱가포르, 쿠알라룸푸르 세 도시를 나란히 놓으면 각자 다른 손이 스마트시티를 움직이고 있음이 드러난다. 항저우는 지방 정부와 알리바바라는 기업이 협력을 맺은 위에서 실시간 신호 최적화를 밀어붙였다. 싱가포르

는 육상교통청과 정부기술청을 축으로 한 중앙 정부가 관료 조직의 안정성을 무기 삼아 장기 계획을 짜고 실행했다. 쿠알라룸푸르는 시청과 국가 도시계획 기구가 함께 스마트시티 요소를 도시 계획 안에 담는 방식을 택했다.

기술 자체는 이제 어느 도시나 손에 넣을 수 있다. 그 기술을 누가 조율하고, 어느 조직이 예산과 책임을 지며, 부처 사이의 벽을 누가 허무는가라는 문제가 남는다. 싱가포르와 홍콩, 쿠알라룸푸르가 저마다 다른 조직 구조를 택한 것은, 같은 기술이라도 그것을 다루는 제도가 도시마다 다르게 짜여 있다는 사실을 보여 준다.

참고문헌

Hong Kong Smart City Portal. Governance. <https://www.smartcity.gov.hk/governance.html>

Hong Kong Smart City Portal. Vision and Mission.
<https://www.smartcity.gov.hk/vision-and-mission.html>

Kuala Lumpur City Hall. (2025). Kuala Lumpur Local Plan 2040, Volume 2: Promoting City Development. <https://ppkl.dbkl.gov.my/wp-content/uploads/2025/06/1.-VOLUME-2-PROMOTING-CITY-DEVELOPMENT.pdf>

Ministry of Digital Development and Information. (2026). Agencies under MDDI.
<https://www.mddi.gov.sg/who-we-are/agencies/>

PLANMalaysia. (2026). Urban Planning Digitalisation Initiatives.
https://www.planmalaysia.gov.my/uploads/content-downloads/file_20260122121455.pdf

제5장. 디지털 윤리, 데이터 주권 및 미래 발전 방향

5.1. 데이터 프라이버시, 감시 기술과 AI 가이드라인

2021년, 항저우시 인민대표대회 상무위원회는 '항저우 도시대뇌 임파워 도시 거버넌스 촉진 조례'를 통과시켰다. 이 조례는 도시대뇌를 운영하는 공공기관이 국가기밀과 영업비밀, 개인 프라이버시를 어떻게 다뤄야 하는지 정하고, 사고가 났을 때 응급조치와 보고, 영향받은 시민에 대한 통지를 의무로 규정했다. 도시 곳곳에 깔린 CCTV와 사물인터넷 센서, 위치기반서비스가 사람의 움직임을 실시간으로 기록하는 시대에, 이 조례는 기술이 시민의 삶 속으로 들어올 때 지켜야 할 최소한의 선을 문서로 남긴 사례다.

스마트시티와 지능형 관제 플랫폼이 도시 곳곳으로 퍼지면서, 도시 운영은 눈에 띄게 효율적으로 바뀌었다. 그 이면에서는 개인정보 침해와 국가·기업에 의한 감시, 알고리즘에 숨은 편향이라는 문제가 함께 자랐다. 항저우와 싱가포르의 이 문제에 각자 다른 방식으로 선을 그었다.

싱가포르의 개인정보 보호는 개인정보보호위원회(PDPC)가 관장하는 개인정보보호법(PDPA)이 뼈대를 이룬다. 다만 이 법은 민간 조직이 다루는 개인 정보에 적용되고, 공공기관이 다루는 정보는 별도의 공공부문 거버넌스법(Public Sector (Governance) Act 2018)과 정부 ICT 지침이 규율한다. 이 법은 익명 처리된 정보를 허락 없이 다시 식별 가능한 정보로 되돌리는 행위와 정보를 부당하게 사용하는 행위를 금지한다. 두 법을 하나로 뭉뚱그려 쓰지 않는 것이 싱가포르 개인정보 체계를 이해하는 첫걸음이다. PDPA는 종종 유럽 연합의 개인정보보호규정(GDPR, 2016)과 비교되지만, 위반 시 부과되는 과징금 상한이나 데이터 국외 이전 규제의 촘촘함에서는 차이가 있다.

싱가포르 정부는 2021년 개인정보보호(데이터 유출 통지) 규정을 시행했다. 이 규정은 PDPA 체계 안에 있어, 민간 조직이 다루는 개인정보가 유출됐을 때 PDPC와 이용자에게 통지하도록 의무화한다. 공공기관이 다루는 정보가 유출됐을 때는 이 규정이 아니라 공공부문 거버넌스법과 정부 ICT 지침에 따른 별도 절차를 밟는다. PDPC는 공공기관이 연루된 데이터 사고를 접수하는 창구를 따로 두어, 민간과 공공의 통지 체계가 서로 다르게 나뉜다는 점을 분명히 한다.

PDPC와 IMDA는 2020년 인공지능 거버넌스 모델 프레임워크 2차 개정판을 내놓았다. 민간 조직을 주 대상으로 하는 이 자율 지침은 AI 시스템을 설계하고 운용할 때 참고할 원칙으로 설명 가능성과 투명성, 공정성, 인간 중심의 감독을 제시한다. 법이 아니어서 기업에 준수를 강제하지 않고, 따르면 신뢰를 얻는 자율 규범에 가깝다. 사람이 결정 과정에 개입해야 한다는 항목도 지침이 원하는 원칙 가운데 하나일 뿐, 법으로 강제된 의무는 아니다. 같은 원칙 위에서 만들어진 AI 검증 도구 AI Verify는 안전, 보안, 견고성, 공정성, 데이터 거버넌스, 책임, 인간의 감독을 포함한 원칙들로 기업의 AI 시스템을 점검한다.

이 체계가 시험대에 오른 사건이 팬데믹 시기의 트레이스투게더(TraceTogether)와 세이프엔트리(SafeEntry)다. 두 플랫폼은 감염 경로를 추적하려고 만들어졌지만, 형사소송법에 따라 경찰 수사에도 쓰일 수 있다는 사실이 뒤늦게 알려지면서 논란이 일었다. 보건 목적으로 모은 데이터가 다른 목적으로 넘어갈 수 있다는 우려는 법과 지침이 아무리 촘촘해도 데이터 사용 목적을 분명히 못 박지 않으면 신뢰가 흔들릴 수 있음을 보여준 사례로 남았다.

중국은 항저우를 포함한 도시 데이터 관리를 국가 주도의 법체계 안에서 다룬다. 2021년 제정된 개인정보보호법(PIPL)은 같은 해 11월부터 시행됐으며, 사이버안보법과 데이터안보법을 더해 세 개의 법이 서로 맞물리는 구조를 이룬다. PIPL은 국가기관이 처리하는 개인정보에는 별도의 장을 두어, 민간 기업과는 다른 기준을 적용한다. 국가표준화관리위원회(SAC)가 만든 개인정보 안전규격(GB/T 35273-2020)은 정보를 모으고 저장하고 쓰는 전 과정에서 동

의를 어떻게 받아야 하는지, 이름과 얼굴 같은 정보를 어떻게 가명 처리해야 하는지를 구체적으로 정한다.

국가인터넷정보공실(CAC)은 알고리즘과 합성 미디어 기술의 오용을 막기 위한 행정 규정을 여러 차례 내놓았다. 딥페이크를 포함한 합성 콘텐츠에는 기술적 라벨링을 요구하고, 주요 플랫폼과 기업이 쓰는 추천 알고리즘은 국가 시스템에 미리 등록하도록 한다. 알고리즘이 무엇을 근거로 콘텐츠를 추천하는지 국가가 먼저 들여다보는 구조다.

두 도시의 개별 실적을 벗어나면, 스마트시티 연구 영역에서는 개인정보를 지키면서도 데이터를 쓸 수 있게 하는 기술이 여러 갈래로 발전해 왔다. 차분 프라이버시(Dwork et al., 2006)는 수집한 위치·이동 데이터에 정밀한 노이즈를 섞어 특정 개인을 가려내기 어렵게 만드는 기법이다. 연합 학습은 각 단말기에서 따로 학습을 시킨 뒤 그 결과 값만 중앙 서버로 모아, 원본 데이터를 서버로 옮기지 않고도 전체 모델을 훈련시킨다. 여기에 동형 암호, 영지식 증명, 암호화 다자간 연산을 더하면 데이터 원본을 드러내지 않고도 통계나 시뮬레이션을 만들어낼 수 있다.

알고리즘이 예측 경찰활동이나 복지 자원 배분에서 인종, 성별, 계층에 따라 다른 결과를 내놓는 문제를 막으려는 노력도 함께 진행됐다. 설명 가능한 인공지능(XAI) 기법은 알고리즘이 왜 그런 판단을 내렸는지 사람이 알아볼 수 있게 풀어낸다. 라지 등(Raji et al., 2020)이 제안한 알고리즘 감사는 알고리즘을 만들고 배치하고 운용하는 전 과정을 독립된 검증자가 들여다보는 절차다. 바르셀로나, 헬싱키, 암스테르담 같은 유럽 도시는 시 행정에 쓰는 알고리즘의 목적과 데이터 출처, 판단 근거를 시민에게 공개하는 알고리즘 레지스터 제도를 운영한다.

보안 쪽에서는 네트워크 안의 어떤 단말이나 사용자도 처음부터 믿지 않고 계속 신원을 확인하는 제로 트러스트 아키텍처(NIST SP 800-207)가 사이버-물리 인프라를 지키는 기준으로 자리 잡았다. 여기에 인공지능 경영시스템을 다루는 ISO/IEC 42001과 미국 국립표준기술연구소(NIST)의 AI 위험 관리

프레임워크(AI RMF 1.0)가 겹쳐지면서, 거버넌스와 보안과 프라이버시와 공정성을 한데 묶은 체계가 만들어지고 있다.

제도의 성격에서 두 도시는 갈라진다. 싱가포르의 법으로 최소한의 의무만 정하고 나머지는 지침과 인증으로 채우는 반면, 중국은 알고리즘 등록부터 딥 페이크 라벨링까지 정부가 사전에 확인하는 절차를 법으로 못박는다. 데이터가 흐르는 경로도 다르다. 싱가포르는 민간 사업자가 국제 인증을 받아 데이터를 국경 너머로 옮기는 길을 열어두지만, 중국은 데이터안보법을 통해 국가 안보와 연결된 데이터의 국외 이전을 엄격히 통제한다. 결정권 역시 다르게 나뉜다. 싱가포르는 PDPC라는 규제기관이 기업의 자율 준수를 감독하고, 중국은 CAC라는 국가 기관이 알고리즘의 등록과 승인 자체를 관장한다. 시민의 권리에서는 두 체계 모두 동의와 통지를 요구하지만, 동의를 거부했을 때 실제로 서비스를 이용하지 못하게 되는 경우가 있다는 점은 공통된 과제로 남는다. 두 도시 모두 정보보안 국제 표준을 받아들이지만, 그 표준을 적용하는 강제력의 크기와 위반 시 책임을 묻는 방식은 서로 다르다.

싱가포르는 법과 자율 지침을 함께 쓰면서도 목적 제한이 흔들리는 순간을 겪었고, 중국은 국가가 알고리즘까지 등록받는 강한 통제로 프라이버시와 콘텐츠 질서를 함께 관리한다. 두 접근 모두 기술이 사람을 지켜보는 힘을 가진 뒤에는, 그 힘을 누가 어떤 목적으로 쓸 수 있는지를 미리 정해두는 일이 뒤따라야 한다는 사실을 확인시켜 준다.

참고문헌

杭州市人民代表大会常务委员会. (2021). 杭州城市大脑赋能城市治理促进条例.

https://scjg.hangzhou.gov.cn/art/2021/7/15/art_1693458_58922054.html

Singapore Attorney-General's Chambers. (2018). Public Sector (Governance) Act 2018.

<https://sso.agc.gov.sg/Act/PSGA2018>

Personal Data Protection Commission (PDPC). (2025). Data Incidents Involving Government Agencies or Government Data. <https://www.pdpc.gov.sg/complaints-and-reviews/before-you-lodge-a-complaint-with-us-3/public-agencies>

European Parliament, & Council of the European Union. (2016). General Data Protection Regulation (GDPR) (Regulation (EU) 2016/679).

Personal Data Protection Commission (PDPC). (2020). Model AI Governance Framework (2nd ed.). Government of Singapore.

Personal Data Protection Commission (PDPC). Singapore's Approach to AI Governance. <https://www.pdpc.gov.sg/help-and-resources/2020/01/model-ai-governance-framework>

全国人民代表大会常务委员会. (2021). 中华人民共和国个人信息保护法.

<https://flk.npc.gov.cn/detail?fileId=&id=ff8081817b6472a3017b656cc2040044&title=%E4%B8%AD%E5%8D%8E%E4%BA%BA%E6%B0%91%E5%85%B1%E5%92%8C%E5%9B%BD%E4%B8%AA%E4%BA%BA%E4%BF%A1%E6%81%AF%E4%BF%9D%E6%8A%A4%E6%B3%95&type=>

Standardization Administration of China (SAC). (2020). Information security technology—Personal information security specification (GB/T 35273—2020).

Dwork, C., McSherry, F., Nissim, K., & Smith, A. (2006). Calibrating noise to sensitivity in private data analysis. In Proceedings of TCC 2006 (pp. 265–284).

Raji, I. D., Smart, A., White, R. N., Mitchell, M., Gebru, T., Hutchinson, B., et al. (2020). Closing the AI accountability gap: Defining an end-to-end framework for internal algorithmic auditing. In Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT) (pp. 33–44). <https://doi.org/10.1145/3351095.3372873>

National Institute of Standards and Technology (NIST). (2020). Zero Trust Architecture (NIST SP 800–207). U.S. Department of Commerce.

National Institute of Standards and Technology (NIST). (2023). Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). U.S. Department of Commerce.

5.2. 디지털 격차 해소 및 시민 참여형 Co-Creation

중국에서는 건강 QR코드를 스마트폰에 띄우지 못해 버스를 타지 못하고, 병원 접수를 하지 못하고, 은행 창구에서 되돌아서야 했던 고령층을 가리켜 '코드 미소지 고령층(无码老人)'이라 부른다. 스마트시티 인프라가 도시 전역으로 퍼지고 공공서비스가 디지털 화면 하나로 모이면서, 그 화면을 다루지 못하는 사람들이 밀려나는 문제가 함께 드러났다.

디지털 격차는 기기나 인터넷망에 아예 접근하지 못하는 1차적 문제에서 그치지 않는다. 복잡한 공공 플랫폼과 AI 서비스를 다룰 줄 몰라 생기는 2차적 사용 격차로 번지고, 나아가 디지털이 아닌 방식을 고를 권리 자체가 사라지는 3차적 선택 박탈로까지 이어진다. 창구에 사람이 있어도 접수는 앱으로만 하라는 안내를 받는 순간, 선택지가 하나였던 사람은 그 하나마저 잃는다.

궈청강(Guo, 2026)의 연구는 헌법상 평등권을 근거로, 디지털 취약계층을 위한 권리를 세 겹으로 나누어 제시한다. 디지털 기기와 서비스에 접근할 권리, 자신에게 맞는 방식으로 그 기술에 적응할 권리, 그리고 디지털 방식을 강요받지 않고 오프라인 행정 수단을 고를 수 있는 거부권이다. 세 번째 권리는 다른 방향을 가리킨다. 기술을 잘 쓰도록 돕는 데서 멈추지 않고, 기술을 쓰지 않을 자유까지 법으로 지켜야 한다는 관점이다.

신 등(Xin et al., 2026)이 중국 여러 성의 지능형 커뮤니티 정책을 PMC 지수로 평가한 연구는, 고령층의 디지털 보건 리터러시를 얼마나 끌어올렸는지와 고령층 전용 행정 인터페이스를 얼마나 손봤는지를 정책 성과의 핵심 지표로 본다. 실제 현장의 모습은 청두시 청화구 보화가도의 '싱위허(兴与和)' 플랫폼에서 확인된다(Zhang, 2026). 이 플랫폼은 디지털 화면만으로 문제를 풀지 않는다. 오프라인 서비스 창구를 그대로 남겨두고, 그 창구와 디지털 플랫폼을 연결하고, 현장 자원봉사자와 봉사 포인트 제도를 엮어 고령층의 행정 업무를 돕는다. 화면을 없애는 대신 화면 옆에 사람을 세워둔 방식이다.

싱가포르는 국가 디지털 전략인 스마트 네이션 2.0을 추진하면서, 기술을 밀어붙이는 일과 사회적 포용을 함께 놓았다. 정부는 지역사회 현장에 '디지털 대사(Digital Ambassadors)'를 배치해, 전통시장과 주민센터와 경로당을 돌며 고령층에게 싱패스(Singpass) 사용법, 결제망 페이나우(PayNow) 쓰는 법, 피싱과 사이버 범죄를 피하는 법을 일대일로 가르친다. IMDA가 운영하는 디지털 포 라이프 사업은 이런 활동을 하나로 묶는 상위 틀이다. 2025년 열린 디지털 포 라이프 페스티벌에는 공공기관과 민간기업, 시민단체를 합쳐 110곳 넘는 기관이 파트너로 참여했다. 고령층의 정보 격차는 혼자 사는 노인이나 재난 상황에서 사회적 위험을 더 크게 만들기 때문에, 스마트폰과 웨어러블 기기는 화면의 버튼과 글자 수를 줄이고 음성으로 조작하는 방식을 더하고 오프라인 지원을 병행하는 방향으로 다듬어진다.

칼사다와 에이사기레(Calzada & Eizaguirre, 2025)의 연구는 생성형 AI가 번역과 요약, 음성 안내 기능으로 디지털 취약계층의 진입 장벽을 낮출 수 있다고 보면서도, 그 기술 자체를 다루려면 또 다른 학습이 필요하다는 역설을 함께 짚는다. 새로운 도구는 격차를 메우는 다리이면서 동시에 넘어야 할 문턱

이기도 하다. 엘셰이크 등(El-Sheikh et al., 2026)이 여러 나라의 고령친화 스마트시티 거버넌스를 비교한 연구는, 정책 문서에 고령친화라는 표현이 들어간 도시일수록 실제 예산과 인력 배치도 그에 맞춰 늘어나는 경향을 확인했다.

장애가 있는 시민의 참여도 따로 다뤄야 할 과제다. 브리쿠트 등(Bricout et al., 2021)의 연구는 장애인이 스마트시티 기술의 이용자로만 머물지 않고 설계 단계에서부터 함께해야, 서비스가 완성된 뒤에 접근성을 뒤늦게 손보는 일을 줄일 수 있다고 짚는다. 콜로투치키나 등(Kolotouchkina et al., 2024)이 여러 도시의 스마트시티 정책을 검토한 연구도 비슷한 결론에 이른다. 기반시설 투자가 늘어난다고 디지털 불평등이 저절로 줄지는 않으며, 기기와 통신망을 깔아 놓는 일과 그것을 실제로 쓸 수 있게 만드는 일은 다른 차원의 과제라는 뜻이다.

디지털 격차를 메우는 일과 나란히, 스마트시티 거버넌스는 시민을 데이터를 제공하는 쪽에서 정책을 함께 만드는 쪽으로 옮기는 흐름을 보인다. 유엔인간정주계획(UN-Habitat)이 2025년 내놓은 사람 중심 스마트시티 국제 지침은 디지털 기술이 시민의 권리와 공정성, 공동체의 가치를 키우는 방향으로 통제되어야 한다고 못박는다.

시민 참여가 얼마나 깊은지는 아른슈타인(Arnstein, 1969)이 제시한 시민 참여 사다리 모델로 가늠할 수 있다. 사다리의 아래 칸은 정부가 정보를 일방적으로 알려주거나 설문지를 돌리는 수준이고, 위 칸으로 올라갈수록 시민이 계획을 함께 세우고 예산을 나누는 권한까지 손에 쥘다. 초기의 스마트시티가 정보 제공과 설문에 머물렀다면, 최근의 스마트시티는 시민이 리빙랩에서 기술을 직접 시험하고 예산 배분에 참여하는 위쪽 칸을 지향한다.

싱가포르 도시재개발청(URA)이 진행한 마스터플랜 2025 수립 과정은 사다리의 위 칸에 가까운 사례다. 2023년 10월부터 시작된 이 과정에는 약 22만 명이 참여했다. 전시와 대화, 포커스그룹, 설문과 아이디어 공모전을 거쳐 의견을 모았고, 계획은 2025년 12월 확정됐다. 도시 계획이라는 전문 영역에 이만큼 많은 시민이 이름을 올린 사례는 흔하지 않다.

칼사다(Calzada, 2021)는 이런 흐름을 '스마트시티 시민권(smart city citizenship)'이라는 말로 정리한다. 시민을 서비스를 받는 이용자가 아니라 도시의 데이터와 알고리즘에 대해 권리를 가진 주체로 보는 관점이다.

바르셀로나는 오픈소스 기반 시민 참여 플랫폼 '데시딤(Decidim)'을 운영해, 시 예산의 배분과 도심 재개발 계획에 시민이 직접 안건을 올리고 투표하도록 한다. 로마 역시 디지털 플랫폼으로 참여 예산제를 도입했다. 마테이 등(Mattei et al., 2024)이 두 도시의 참여 예산제를 비교한 연구는, 플랫폼을 갖추는 일과 시민이 실제로 그 플랫폼에서 목소리를 내는 일 사이에는 여전히 거리가 있다고 짚는다. 보르베르흐 등(Voorberg et al., 2014)이 여러 나라의 사례를 검토한 연구에 따르면, 공동 창작은 시민이 아이디어를 내는 공동 설계 단계에서 시민이 서비스 운영까지 맡는 공동 집행 단계로 갈수록 참여의 밀도가 높아지지만, 실제로 공동 집행 단계까지 이른 사례는 많지 않다.

일본의 후지사와 지속가능한 스마트타운 프로젝트는 주민과 지자체, 파나소닉 같은 민간 기업이 함께 참여하는 협력 구조를 세웠다. 에너지 자립과 생활 인프라를 운영하는 규칙을 주민 공동체가 계속 다시 짜고 고쳐 나가는 방식이다.

최근에는 생성형 인공지능과 자연어 처리 기술이 시민 참여 플랫폼에 접목되는 사례가 늘고 있다. 자연어 처리 기술은 시민이 자유롭게 적은 민원과 아이디어, 정책 제안을 의미별로 묶고 정리하는 일을 기술적으로 가능하게 한다. 행정 용어를 몰라도 하고 싶은 말을 그대로 적으면 되는 구조는 참여의 문턱을 낮출 잠재력을 지닌다. 다만 이런 기술을 실제로 대규모 행정 절차에 배치해 운영한 사례가 어느 도시에서 어떤 규모로 검증됐는지는 따로 확인해야 할 몫으로 남는다. 암스테르담과 바르셀로나를 비롯한 여러 도시는 '디지털 권리를 위한 도시 연합'을 만들어 데이터 주권과 알고리즘 투명성, 디지털 포용성의 기준을 함께 세우고 나누고 있다.

디지털 격차를 줄이는 일과 시민이 정책 결정에 실제 권한을 갖는 일은 서로 다른 과제처럼 보이지만, 두 가지가 함께 갖춰지지 않으면 어느 한쪽도 오

래가지 못한다. 화면을 다룰 줄 아는 사람만 목소리를 낼 수 있는 참여 구조라면, 그 참여는 애초에 절반의 시민만을 위한 것이기 때문이다.

참고문헌

- Guo, C. (2026). Rights Allocation in Age-Friendly Cities in the Digital Era-From the Perspective of Public Service Accessibility for "Code-Free Elderly". *Aging Research*, 13(7), 137-143.
<https://doi.org/10.12677/ar.2026.137436>
- Xin, Y., Weina, H., & Yan, D. (2026). Evaluating age-friendly smart city policy design: A PMC-Index analysis of Chinese provincial frameworks. *PLoS ONE*, 21(1), e0340022.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0340022>
- Zhang, J. (2026). Research on the Mechanism of Digital Platforms Empowering Mega-City Community Smart Governance: A Case Study of "Xingyuhe" Platform in Chenghua District, Chengdu. *Advances in Social Sciences*, 15(7), 756-766.
<https://doi.org/10.12677/ass.2026.157625>
- Infocomm Media Development Authority (IMDA). (2025). Digital for Life Festival 2025.
<https://www.imda.gov.sg/resources/press-releases-factsheets-and-speeches/press-releases/2025/digital-for-life-festival-2025>
- Infocomm Media Development Authority (IMDA). Digital for Life.
<https://www.imda.gov.sg/about-imda/who-we-are/digital-for-life>
- UN-HABITAT. (2025). International Guidelines on People-Centred Smart Cities. United Nations Human Settlements Programme. <https://unhabitat.org/international-guidelines-on-people-centred-smart-cities>
- Arnstein, S. R. (1969). A ladder of citizen participation. *Journal of the American Institute of Planners*, 35(4), 216-224. <https://doi.org/10.1080/01944366908977225>
- Calzada, I. (2021). Smart city citizenship. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02973-7>
- Mattei, G., Santolamazza, V., & Manzo, M. (2024). Digitalisation and citizen engagement: comparing participatory budgeting in Rome and Barcelona. In *Handbook of Accounting and Public Governance* (pp. 162-181). Edward Elgar Publishing.
- Voorberg, W. H., Bekkers, V. J. J. M., & Tummers, L. G. (2014). A systematic review of co-creation and co-production: embarking on the social innovation journey. *Public Management Review*, 17(9), 1333-1357. <https://doi.org/10.1080/14719037.2014.930505>
- Bricout, J., Baker, P. M., Moon, N. W., & Sharma, B. (2021). Exploring the smart future of participation: Community, inclusivity, and people with disabilities. *International Journal of E-Planning Research*, 10(2), 94-108.
- Kolotouchkina, O., Ripoll González, L., & Belabas, W. (2024). Smart cities, digital inequalities, and the challenge of inclusion. *Smart Cities*, 7(6), 3355-3370.

- Calzada, I., & Eizaguirre, I. (2025). Digital Inclusion and Generative AI: Towards a Socially Cohesive and Digitally Sovereign Gipuzkoa. *Discover Cities*, 2, 73.
- El-Sheikh, S., et al. (2026). Evaluating age-friendly and people-centred smart city governance: International comparative perspectives. *Discover Cities*, 3, 7.
- Urban Redevelopment Authority (URA). (2026). Public Engagement.
<https://www.ura.gov.sg/land-planning/master-plan/master-plan-2025/public-engagement/>
- Urban Redevelopment Authority (URA). (2025). Gazette of Master Plan 2025.
<https://www.ura.gov.sg/news/media/pr25-64/>

5.3. Smart Nation 2.0과 생성형·물리적 AI 시대의 지평

2024년 10월, 싱가포르 디지털발전정보부(MDDI)는 '스마트 네이션 2.0' 전략을 발표했다. 신뢰(Trust), 성장(Growth), 공동체(Community) 세 단어를 축으로 삼은 이 전략은, 2024년 4월 새로 꾸려진 스마트 네이션 그룹(Smart Nation Group)과 정부기술청(GovTech), 정보통신매체개발청(IMDA), 사이버보안청(CSA)이 나누어 맡아 실행한다. 이보다 앞선 2023년, 싱가포르는 국가 AI 전략 2.0(NAIS 2.0)을 내놓아 AI를 국가 경쟁력의 축으로 세웠다. 두 전략은 순서대로 이어지며, 생성형 AI와 물리적 AI 시대에 국가의 디지털 체질을 다시 짜는 작업으로 연결된다. 2026년 2월에는 국가 AI 위원회(National AI Council)가 새로 출범했다. 위원회라는 형태로 격상된 점은 AI 정책이 한 부처의 소관을 넘어 범정부 의제로 올라섰다는 뜻으로 읽힌다. 이 위원회를 축으로 석 달 뒤인 2026년 5월, 국가 AI 전략의 우선 과제 열 가지가 새로 발표됐다. 2023년의 전략이 방향을 잡는 문서였다면, 2026년의 발표는 그 방향을 실행 단위로 조곤 결과에 가깝다.

이 시기 눈에 띄는 기술적 전환은 물리적 AI(Physical AI)와 자율 에이전트(Agentic AI)가 맞물리는 지점이다. 버추얼 싱가포르는 2010년대 중반 시작된 국가 3차원 협업 플랫폼으로, 도시 전역의 지리공간 정보를 하나의 3차원 모형에 담아냈다. 이후 싱가포르는 이 국가 3차원 모형을 그대로 반복하기보다, 도시기후와 전력망, 항만처럼 분야마다 따로 움직이는 디지털 트윈으로 체계를 넓혀 왔다. 물리적 AI는 이 여러 디지털 트윈 위에 신경망 기반 수치 시물레이션과 로보틱스, 에지 컴퓨팅을 더한 것이다. 감지 장치가 현장의 상태를 모

오고, AI가 가상 공간에서 다음에 일어날 일을 계산하고, 그 계산 결과를 다시 현장의 제어 시스템으로 돌려보내는 감지-계산-제어 구조는 물리적 AI 전반에 통하는 일반 원리다. 가상 모형이 현실을 비추어 보여주는 데 그쳤던 이전 단계와 달리, 물리적 AI는 그 비춘 결과를 다시 현실의 로봇과 설비로 돌려보내는 순환 구조를 만든다는 점에서 차이가 있다.

싱가포르 에너지시장청(EMA)의 전력망 디지털 트윈은 이런 구조를 실제로 보여준다. 네트워크 트윈은 전기차 충전과 태양광, 저장장치가 전력망에 주는 영향을 계산하고, 자산 트윈은 변압기와 개폐기, 케이블의 상태와 남은 수명을 살핀다. 서로 다른 데이터를 계산하는 두 트윈이 결국 같은 전력망을 겨냥한다는 점은, 물리적 AI가 노리는 목표를 보여준다.

도시를 다루는 과학 연구에서도 AI가 깊이 들어왔다. 도시과학 연구자들은 복잡계 이론과 물리 기반 머신러닝을 결합해 도시 생태계가 기후 변화에 얼마나 버틸 수 있는지를 미리 계산한다. 그래프 신경망과 시공간 인과 어텐션 네트워크 같은 알고리즘은 도심 열섬 현상과 미세먼지 확산, 폭우로 인한 침수 경로를 정밀하게 분석하고, 그 결과를 도시 계획과 방재 시스템에 곧바로 반영한다. 예 등(Ye et al., 2025)은 도시 문제가 워낙 복잡해 사람의 직관만으로는 최적의 대응을 찾기 어렵다는 점에서, AI가 도시과학의 새로운 도구로 떠올랐다고 설명한다. 싱가포르 국립연구재단(NRF)은 2026년 6월, 1억 2천만 싱가포르달러 규모의 AI-for-Science 사업에서 첫 8개 연구과제를 선정해 발표했다. 시간이 오래 걸리던 과학 연구 전반을 AI로 앞당기려는 시도다.

물리적 AI는 실험실 밖 거리로도 나온다. IMDA는 2026년 안에 풍골 디지털 지구(Punggol Digital District)에 여러 회사의 로봇이 함께 움직이는 공공 공간 시험장을 연다고 밝혔다. 배달과 경비, 청소를 맡는 로봇들이 실제 보행자와 같은 공간에서 움직이며, 안전 기준과 운행 범위를 먼저 정한 뒤 시험이 시작된다. 가상 공간에서 시뮬레이션만 하던 예전 방식과 달리, 이 시험장은 로봇이 실제 사람 곁에서 움직이며 생기는 위험을 그대로 안고 결과를 확인한다는 점에서 차이가 있다. 안전 기준을 먼저 정하고 나서야 시험을 시작하는 이 절차는, 스마트 네이션 2.0이 내세운 신뢰라는 가치와 맞닿아 있다. 로봇을 얼마나 빨리 들이느냐보다, 로봇과 같은 공간에 있어도 괜찮다고 시민이 믿을

수 있느냐가 먼저라는 뜻이다. 국립연구재단이 2026년부터 5년간 이끄는 연구·혁신·기업 2030(RIE2030) 계획은 AI와 데이터, 연산 기반을 국가가 갖춰야 할 핵심 역량으로 못박는다. 물리적 AI와 AI-for-Science에 들어가는 예산은 이 큰 계획 아래 하나로 묶인다.

기술이 이렇게 빠르게 현장으로 들어오면, 기술에 지나치게 기대는 문제와 디지털 격차, 일선 행정의 책임 약화라는 위험이 함께 따라온다. 싱가포르는 이 위험을 관리하기 위해 교육과 행정 양쪽에 사람을 중심에 두는 장치를 마련했다.

교육 쪽에서는 세대에 따라 다른 방식을 쓴다. IMDA가 이끄는 디지털 포 라이프 사업은 지역사회에 배치된 디지털 대사를 통해 고령층에게 심패스와 페이나우 사용법, 온라인 사기를 피하는 법을 일대일로 가르친다. 2025년 열린 디지털 포 라이프 페스티벌에는 공공기관과 민간기업, 시민단체를 합쳐 110 곳 넘는 기관이 파트너로 참여했다. 국가 AI 전략은 이런 생활 밀착형 교육과 별도로, AI를 다룰 인재를 기르고 전문 인력을 국가 차원에서 확보하는 일을 우선 과제 가운데 하나로 둔다.

행정 쪽에서는 대규모 언어 모델을 문서 요약이나 민원 분류, 보고서 작성에 쓰는 일이 늘었다. 그만큼 일선 공무원의 재량권이 흔들리거나, 알고리즘이 사실이 아닌 답을 그럴듯하게 지어내는 환각 문제, 편향된 결과가 불공정한 판단으로 이어지는 문제도 함께 커진다. 골드스미스와 양(Goldsmith & Yang, 2026)은 이런 변화를 도시 거버넌스의 책임성과 재량권이 다시 짜이는 과정으로 설명한다. AI가 판단을 거들수록 그 판단의 근거를 설명할 책임은 오히려 사람에게 더 무겁게 남는다는 것이다. 싱가포르의 공공 부문은 민간 기업과는 다른 틀 안에서 이 책임을 진다. 민간 조직이 다루는 개인정보는 PDPA와 PDPC의 자율 지침이 규율하지만, 공공기관이 다루는 정보와 그 처리 절차는 공공부문 거버넌스법(Public Sector (Governance) Act 2018)과 정부 ICT 지침의 대상이다.

싱가포르 밖으로 눈을 돌리면, 생성형 AI를 행정에 들이는 흐름은 아시아 여러 나라에서 함께 나타난다. 인도네시아의 공공서비스 혁신 사례를 다룬 연

구는 생성형 AI가 민원 처리 속도를 끌어올리는 동시에, 담당 공무원의 판단을 대신하지 않도록 지침을 함께 갖춰야 한다는 점을 짚는다(Alamsyah & Aryfiyanto, 2025). 싱가포르의 이 흐름을 한 부처가 아니라 여러 기관이 역할을 나눠 다룬다. MDDI가 디지털발전 전략의 방향을 정하면, 법정기관인 GovTech는 디지털 정부 서비스와 제품을 만들어 실행하고, IMDA는 통신·미디어 산업과 디지털 포용 정책을 맡고, CSA는 사이버보안을 담당한다. 전략을 세우는 자리와 실행하는 자리, 보안을 점검하는 자리가 나뉘어 있는 구조는 정책 속도와 상호 견제 사이에서 균형을 잡으려는 시도로 볼 수 있다.

싱가포르는 신뢰와 성장과 공동체를 세 축으로 삼은 스마트 네이션 2.0 아래, 2026년 2월 국가 AI 위원회를 새로 세우고 석 달 뒤인 5월 국가 AI 전략의 우선 과제 열 가지를 내놓았다. 같은 해 6월에는 1억 2천만 싱가포르달러 규모의 AI-for-Science 사업에서 첫 8개 연구과제가 시작됐고, 풍골 디지털 지구에는 물리적 AI를 시험하는 공공 공간 시험장이 문을 연다. 이 모든 사업은 국립연구재단이 2026년부터 5년간 이끄는 연구·혁신·기업 2030(RIE2030) 계획 아래 하나로 묶인다.

참고문헌

- Ministry of Digital Development and Information (MDDI). (2024). Launch of Smart Nation 2.0. Government of Singapore. <https://www.mddi.gov.sg/newsroom/smart-nation-2-press-release/>
- Smart Nation and Digital Government Office (SNDGO). (2023). Singapore National AI Strategy 2.0. Government of Singapore. <https://file.go.gov.sg/nais2023.pdf>
- Smart Nation Singapore. (2026). National AI Strategy. <https://www.smartnation.gov.sg/initiatives/national-ai-strategy/>
- Energy Market Authority (EMA). (2024). Grid Digital Twin. <https://www.ema.gov.sg/our-energy-story/energy-grid/grid-digital-twin>
- Ye, X., Yigitcanlar, T., Goodchild, M., Huang, X., Li, W., Shaw, S. L., & Newman, G. (2025). Artificial intelligence in urban science: Why does it matter? *Annals of GIS*, 31(2), 181–189. <https://doi.org/10.1080/19475683.2025.2552161>
- National Research Foundation Singapore (NRF). (2026). NRF announces eight inaugural projects under the AI-for-Science Initiative. https://www.nrf.gov.sg/files/NRF_Press_Release_on_the_inaugural_8_projects_awarded_under_the_AI4S_initiative_Website.pdf
- Infocomm Media Development Authority (IMDA). (2026). Research, Test and Deploy Physical AI in PDD. <https://www.imda.gov.sg/resources/press-releases-factsheets-and-speeches/factsheets>

/2026/research-test-and-deploy-physical-ai-in-punggol-digital-district

National Research Foundation Singapore (NRF). (2026). Research, Innovation and Enterprise 2030. <https://www.nrf.gov.sg/rie2030/>

Infocomm Media Development Authority (IMDA). (2025). Digital for Life Festival 2025. <https://www.imda.gov.sg/resources/press-releases-factsheets-and-speeches/press-releases/2025/digital-for-life-festival-2025>

Infocomm Media Development Authority (IMDA). Digital for Life. <https://www.imda.gov.sg/about-imda/who-we-are/digital-for-life>

Goldsmith, S., & Yang, J. (2026). AI and the Transformation of Accountability and Discretion in Urban Governance. *Urban Governance*. <https://doi.org/10.1016/j.ugj.2026.02.001>

Singapore Attorney-General's Chambers. (2018). Public Sector (Governance) Act 2018. <https://sso.agc.gov.sg/Act/PSGA2018>

Alamsyah, A., & Aryfiyanto, H. (2025). Leveraging Generative AI for Public Service Innovation: A Path to Smart Government in Indonesia. *ACM Digital Government: Research and Practice*, 6(4), Article 50. <https://doi.org/10.1145/3761820>