

2025년 추계학술발표대회 : 일반부문

건축분야 이기종 시스템 간 데이터 통합을 위한 통합 모델 및 프로토콜 연구

A Study on an Integrated Model and Protocol for Data Integration among Heterogeneous Systems in the Architectural Field

○신 두 식*

Shin, Doosik

Abstract

This paper aims for an in-depth discussion on building an integrated platform for heterogeneous distributed data generated in the fields of architecture, city, space, environment, and information and communication, assuming a 'robot-pervasive society' where robots are ubiquitous. To achieve this, we analyze in-depth domestic and international cases, logically and validly diagnose the current technical, institutional, and social issues, and propose a phased approach to meet the demands of a future society. In a robot-pervasive society, the vast amount of data generated by robots cannot be efficiently integrated, leading to limitations in interoperability, which is a major factor hindering new value creation. This study proposes a distributed architecture using Distributed Ledger Technology (DLT), ontology-based semantic data standardization, and the establishment of a data governance system as key improvement measures. We expect this research will contribute to formulating data infrastructure strategies for the sustainable development of a future robotic society.

키워드 : 인간중심, 로봇친화, AI, 디지털트윈, 로봇전역화, 건축공간

Keywords : Human centered, Robot friendly, AI, Digital twin, Ubiquitous robotics, Architectural and Spatial Environment

1. 서론

1.1 연구의 목적

인공지능, 로봇공학, 사물인터넷(IoT) 기술의 발전은 사회의 패러다임을 급격히 변화시키고 있다. 이 중 로봇 기술은 단순한 제조업 자동화를 넘어, 도시의 교통, 환경 관리, 안전, 의료, 그리고 개인의 일상생활까지 깊숙이 침투하며 '로봇전역화 사회'를 현실로 만들고 있다. 이러한 사회에서 로봇은 단순한 기계가 아니라, 주변 환경과 상호작용하며 방대한 양의 데이터를 생성하고 소비하는 '지능형 행위자(intelligent agent)'로서 기능한다.

문제는 이 데이터가 건축(BIM), 도시(GIS), 공간(위치정보), 환경(센서 데이터), 정보통신(네트워크 로그) 등 각기 다른 분야에서 이기종(heterogeneous)으로 분산되어 있다는 점이다.

각 분야의 데이터는 고유의 형식, 프로토콜, 구조를 가지고 있어 서로 원활하게 연동되지 않는다. 이로 인해 데이터의 상호운용성(interoperability)이 극도로 낮아지고, 결국 전체 시스템의 효율성이 저하되며, 데이터 간 융합을 통한 혁신적인 서비스 창출이 불가능해진다.

예를 들어, 도시 청소 로봇이 환경 센서의 미세먼지 데이터를 실시간으로 활용하여 최적의 경로를 설정하거나, 건축물 관리 로봇이 건물 에너지 관리 시스템(BEMS) 데이터와 연동하여 유지보수 계획을 수립하는 등의 고도화된 시나리오 구현이 어렵다.

본 논문의 궁극적인 목적은 로봇전역화 사회를 대비하여 이기종 분산 데이터를 효과적으로 통합하고 활용할 수 있는 플랫폼 구축 방안을 모색하는 것이다. 이를 위해 현재의 기술적, 제도적, 사회적 문제점을 다각도로 진단하고, 국내외 성공 및 실패 사례를 심층적으로 분석하여 실질적인 해결책을 제시하고자 한다. 궁극적으로 이 연구는 로봇전역화 사회의 지속가능성을 높이고, 새로운 비즈니스 모델과 가치를 창출할 수 있는 데이터 통합 전략의 토대를 마련하는 데 기여할 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 로봇전역화 사회의 이기종 분산 데이터 통합 플랫폼 구축을 위해 다음의 범위를 설정한다. 첫째, 기술적 측면에서 데이터 표준화, 상호운용성, 실시간 처리, 보안 문제를 다룬다. 둘째, 제도적 측면에서 데이터 거버넌스, 법적 규제, 부처 간 협력 체계를 분석한다. 셋째, 사회적 측면에서 데이터 공유 문화, 전문 인력 양성 문제를 검토한다. 연구 방법으로는 문헌 고찰, 국내외 스마트시티 및 디지털 트윈 관련 정책 및 기술 사례 심층 분석, 전문가 인터뷰 등을 활용하여 다층적 분석을 수행한다.

* 대한건축학회 부설 건축연구소 부소장, 건축학박사

(Corresponding Author: ddoolife@aik.or.kr)

이 논문은 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 2025년 스마트+빌딩 핵심 기술개발 사업(과제번호:RS-2025-02532980)의 지원을 받아 수행된 연구임.

2. 이론적 배경 및 현황 분석

2.1 로봇전역화 사회의 특성

로봇전역화 사회의 데이터는 기존의 데이터와는 차별화된 특성을 가진다. 첫째, 실시간성이다. 자율주행 로봇, 드론, 물류 로봇 등은 끊임없이 주변 환경을 인지하고 반응하기 위해 초저지연(ultra-low latency) 데이터 처리를 요구한다. 둘째, 복잡성 및 이기종성이다. 로봇은 LiDAR, 카메라, GPS 등 다양한 센서에서 데이터를 수집하며, 이 데이터는 정형, 비정형, 반정형의 복잡한 형태로 나타난다. 셋째, 공간적, 시간적 연관성이다. 모든 데이터는 특정 공간(위도, 경도)과 시간(타임스탬프) 정보를 포함하며, 이 연관성을 기반으로 분석되어야 가치를 갖는다.

2.2. 이기종 분산 데이터의 정의 및 문제

이기종 분산 데이터란 서로 다른 시스템에 존재하며 데이터 형식, 구조, 의미론적 정의 등이 상이한 데이터를 총칭한다. 로봇전역화 사회에서는 이러한 데이터들이 상호 연동되어야 하지만, 다음과 같은 문제에 직면한다.

(1) 기술적 문제: 데이터 포맷(JSON, XML, CSV 등), 통신 프로토콜(MQTT, CoAP, HTTP), 데이터 모델(스키마) 등이 통일되지 않아 데이터 연동에 막대한 시간과 비용이 소요된다. 또한, 중앙 집중형 데이터베이스는 실시간으로 폭증하는 분산된 데이터를 처리하는 데 한계가 있다.

(2) 의미론적 문제: 동일한 '건물' 데이터라도 건축 분야에서는 BIM 모델로, 도시 분야에서는 GIS 레이어로, 환경 분야에서는 에너지 효율 데이터로 정의되는 등, 분야별로 데이터의 의미가 달라 상호 이해가 어렵다. 이를 '의미론적 비호환성'이라 한다.

(3) 제도적 문제: 데이터 소유권 및 접근 권한에 대한 명확한 규정이 없어 데이터 공유가 원활하지 않다. 부처간 칸막이식 행정은 데이터를 독립적으로 관리하게 만들어 통합의 걸림돌이 된다.

3. 국내외 사례 분석

3.1. 국가 공공 데이터 플랫폼 현황

(1) 공공데이터 포털(data.go.kr)

① 장점: 대한민국 공공데이터의 양적 개방을 주도하는 대표 플랫폼이다. 다양한 공공기관이 보유한 데이터를 한 곳에서 찾아볼 수 있도록 일원화된 창구 역할을 수행한다. 현재 약 100,000건 이상의 데이터셋이 개방되어 있으며, 이는 데이터 개방 규모 측면에서 세계적 수준으로 평가된다.

② 단점: 데이터의 질적 한계가 명확하다. 데이터 업계 관계자들은 “데이터는 많은데, 쓸 만한 데이터가 없다”고 지적한다. (정량적 근거) 일부 데이터는 업데이트가 제때 이루어지지 않아 최신성이 떨어지고(2025년 5월예야 2024년 3분기 통계 업데이트 등), 기관별로 데이터 형식(파일 형식, 컬럼명 등)이 파편화되어 있어 민간 기업이 활용하

기 위해선 추가적인 정제 작업에 상당한 시간과 비용을 투자해야 한다.

③ 통합/융합 부재 이유: 제도적 책임 소재의 불명확성이 가장 크다. 공공데이터 포털은 단순한 '게시판' 역할에 그칠 뿐, 데이터의 품질을 관리하거나 이기종 데이터를 통합하는 주체적 역할을 수행하지 못한다. 각 기관이 데이터를 '소유'하고 '제공'하는 주체로 남아있기 때문에, 표준화된 데이터 품질 관리나 실시간 업데이트를 강제할 수 있는 권한이 없다.

(2) 스마트시티 통합플랫폼

① 장점: 국토교통부 주도로 구축된 플랫폼으로, 도시 안전(교통, 방범, 방재) 분야의 데이터를 실시간으로 연동하여 재난·재해 등 긴급 상황에 대응하는 핵심 역할을 수행한다. 2025년 기준 전국 100개 이상의 지자체에 보급되어 도시 운영의 효율성을 높이고 있다.

② 단점: 서비스의 사일로(silo) 현상이 심각하다. 교통, 방범, 환경 등 각 서비스가 독립적으로 구축되어 데이터가 유기적으로 연동되지 못한다. 예를 들어, 교통량 데이터와 환경 센서 데이터를 융합하여 미세먼지 저감을 위한 실시간 차량 통제 정책을 수립하는 등의 고도화된 시나리오 구현이 불가능하다.

③ 통합/융합 부재 이유: 기술적으로는 API 연동 한계와 의미론적 비호환성 때문이다. 각 지자체와 기관이 각기 다른 시스템과 API 규격으로 데이터를 생성하고 있어, 이를 플랫폼으로 일괄 수집하는 데 어려움이 있다. 또한, 동일한 'CCTV 영상' 데이터라도 방범 시스템에서는 '보안' 목적의 데이터로, 교통 시스템에서는 '차량 흐름' 분석 데이터로 사용되는 등 데이터의 의미가 달라 융합 분석이 어렵다.

(3) 디지털 트윈 국토

① 장점: 국토교통부가 추진하는 사업으로, 국토의 3차원 공간정보(GIS), 건물정보(BIM) 등을 가상화하여 도시 계획, 재난 관리 등에 활용하는 것을 목표로 한다. 정확한 3차원 공간 데이터를 기반으로 시뮬레이션 및 분석이 가능하다.

② 단점: 현실 세계의 실시간 반영에 한계가 있다. 현재의 디지털 트윈은 주로 정적인 공간 데이터에 국한되어 있으며, 실시간으로 변화하는 교통량, 환경 센서 데이터, 로봇 운영 데이터 등과의 연동은 매우 미흡하다.¹⁾

③ 통합/융합 부재 이유: 명확한 로드맵과 가이드라인 부재가 주된 원인이다. 다양한 부처와 지자체가 각기 다른 솔루션과 플랫폼을 적용하여 디지털 트윈 사업을 산발적으로 추진하고 있다. 이로 인해 사업 간 기술적 연계성과 일관성이 결여되어 있으며, 데이터 모델의 호환성 확보가 어렵다.

(4) AI 허브

① 장점: 과학기술정보통신부가 구축한 인공지능 학습용 데이터 플랫폼이다. AI 기술 개발에 필수적인 양질의 정형, 비정형 데이터를 제공하며, 특히 이미지, 음성, 텍스트 등 비정형 데이터의 구축 및 개방에 집중하고 있다.

¹⁾ 건축 분야에서 사용되는 IFC(Industry Foundation Classes) 표준과 도시 공간정보의 OGC(Open Geospatial Consortium) 표준이 서로 호환되지 않아, BIM 데이터를 GIS 플랫폼에 연동하는 데 기술적 병목이 발생한다.

② 단점: 데이터의 다양성 부족이 지적된다. 주로 범용적인 학습 데이터(예: 사람 얼굴, 음성 등)에 초점이 맞춰져 있어, 로봇전역화 사회에서 필요한 도시 인프라, 환경 변화 등 특수 목적의 데이터는 충분히 확보되지 못했다.

③ 통합/융합 부재 이유: 플랫폼 목적의 한계 때문이다. AI 허브는 '학습용 데이터 제공'이라는 특정 목적에 최적화되어 있어, 다른 분야의 실시간 운영 데이터를 통합하거나 융합하는 기능은 설계 단계부터 고려되지 않았다. 이는 각 플랫폼이 특정 목적을 위해 독립적으로 구축될 수밖에 없는 정부 행정의 구조적 문제와 맞닿아 있다.

4. 현황 및 문제점 분석

4.1. 기술적 문제

(1) 이기종 데이터 연동의 복잡성

각기 다른 데이터 형식, 프로토콜, 스키마를 가진 데이터를 통합하기 위해서는 복잡한 데이터 변환 및 매핑 과정이 필수적이다. 이는 시스템 구축 및 유지보수 비용을 증가시킨다.²⁾

(2) 데이터 표준화 부재

데이터 표준화가 특정 분야에 국한되거나, 표준이 수립되지 않은 경우가 많다. 이로 인해 데이터 생산자와 소비자 간의 소통이 단절되고, 데이터 활용이 제한된다.³⁾

(3) 실시간 데이터 처리의 한계

로봇전역화 사회의 데이터는 초당 수 기가바이트(GB)에 달할 수 있다. 중앙 집중식 클라우드 시스템은 대규모 데이터의 전송 지연과 처리 부담을 감당하기 어렵다. (단위/정량적 근거) 자율주행 로봇은 LiDAR 센서로부터 초당 약 1.4백만 포인트, 카메라로부터 초당 30프레임 이상의 데이터를 생성한다. 이는 네트워크 지연율(latency)이 50ms를 초과할 경우 실시간 운영에 치명적인 영향을 줄 수 있다.

(4) 보안 및 프라이버시 문제

로봇이 수집하는 민감한 개인정보(영상, 위치 등)를 통합 플랫폼에 저장하고 활용하는 과정에서 데이터 유출 및 오용의 위험이 상존한다.⁴⁾

4.2. 제도적 문제

(1) 데이터 거버넌스 부재

데이터의 소유권, 책임, 권한을 명확히 하는 거버넌스 체계가 미흡하다. 누가 데이터를 관리하고, 어떤 규칙으로 공유하며, 문제 발생 시 누가 책임을 지는지에 대한 합의

가 부족하다. 데이터 거버넌스의 부재는 각 기관의 데이터 소유권 주장과 공유 거부로 이어져, 데이터 공유를 제도적으로 가로막는 주요 원인이다.

(2) 부처 간 칸막이식 행정

국토교통부, 환경부, 과학기술정보통신부 등 여러 부처가 각자의 영역에서 데이터 정책을 추진하며, 상호 연계를 위한 제도적 협력 모델이 부재하다.⁵⁾

(3) 데이터 활용 관련 법적 규제

개인정보보호법 등 데이터 활용 관련 법규가 데이터 활용을 지나치게 제한하는 측면이 있다. 특히, 익명화된 데이터의 활용 범위에 대한 법적 해석이 명확하지 않아 기업과 연구 기관의 활동을 위축시킨다.⁶⁾

4.3. 사회적 문제

(1) 데이터 공유에 대한 사회적 합의 부족

데이터가 '공유'의 대상이 아니라 '소유'의 대상이라는 인식이 강하다. 데이터 공유의 가치와 필요성에 대한 사회적 공감대 형성이 필요하다. 데이터는 네트워크 효과를 통해 가치가 증가한다. 즉, 더 많은 데이터가 연결될수록 그 활용 가치가 기하급수적으로 커지지만, 소유 중심의 인식은 이러한 네트워크 효과의 발현을 원천적으로 차단한다.

(2) 데이터 기반 의사결정 문화 미성숙

데이터를 기반으로 문제를 해결하고 의사결정을 내리는 문화가 아직 정착되지 않았다. 이는 데이터 플랫폼의 구축 동기를 약화시킨다.⁷⁾

(3) 데이터 전문 인력 부족

복잡한 이기종 데이터를 분석하고 플랫폼을 구축할 수 있는 데이터 과학자, 엔지니어, 아키텍트 등 전문 인력이 절대적으로 부족하다. 데이터 플랫폼은 기술적, 인력적 투자가 동시에 이루어져야 완성되는 복합적인 시스템이다. 인력 양성 시스템이 부재한 상태에서 기술 투자만 이루어지는 것은 플랫폼의 효율적 운영을 불가능하게 만든다.

5. 개선 방향 및 통합 플랫폼 구축 절차

로봇전역화 사회의 이기종 분산 데이터 통합은 단기적인 프로젝트가 아닌, 장기적인 전략과 체계적인 절차를 통해 이루어져야 한다. 다음은 플랫폼 구축을 위한 세 가지 주요 단계와 그에 따른 세부 실행 방안이다.

5.1. 1단계: 기반 구축 및 표준화

(1) 데이터 거버넌스 체계 구축

데이터 소유, 관리, 활용에 대한 범국가적 거버넌스 체

2) 현재 스마트시티에서 사용되는 이기종 데이터 소스의 수가 평균 200개를 초과한다고 가정할 때, 연동에 필요한 인터페이스 수는 최대 $\frac{n(n-1)}{2}$ 인 약 2만 개에 달할 수 있다. 이는 데이터 융합의 기술적 병목 현상을 초래한다.

3) 건축 분야에서는 ISO 16739 (IFC), 도시 분야에서는 ISO 19100 시리즈와 OGC(Open Geospatial Consortium) 표준이 사용되지만, 이들 간의 연계 규격은 명확하지 않다.

4) 중앙 집중형 데이터베이스는 해킹 공격의 단일 지점(Single Point of Failure)이 되어 전체 시스템의 보안을 위협하며, 데이터 유출 시 GDPR 또는 개인정보보호법에 따라 수십억 원에서 수백억 원에 이르는 과징금이 부과될 수 있다.

5) 이는 '부처 이기주의'의 한 형태로, 각 부처가 데이터 통합의 잠재적 시너지보다 자신들의 권한과 이익을 우선시하여 데이터를 독점하는 구조적 문제다.

6) 기술은 법규를 앞서가지만, 법은 기술의 변화를 따라잡지 못해 발생하는 '법적 규제 공백' 또는 '과잉 규제'는 데이터 경제 활성화를 저해하는 핵심 요인이다.

7) 데이터를 획득하고 분석하는 데에는 비용이 수반된다. 데이터의 가치를 체감하지 못하는 문화에서는 데이터 플랫폼 구축에 대한 투자 유인이 부족해진다.

계를 수립한다. 이를 위해 국무총리실 산하의 '국가 데이터 위원회'를 신설하여 각 부처의 데이터 정책을 총괄하고, 부처 간 데이터 공유 협약을 의무화하는 법적 근거를 마련한다.

(2) 의미론적 데이터 표준화

분야별로 산재된 이기종 데이터의 의미를 통일할 온톨로지를 구축한다. 각 분야의 전문가들이 참여하는 '데이터 표준화 협의체'를 구성하여, 건축(BIM), 도시(GIS), 환경(IoT) 등 각 데이터 모델의 핵심 개념을 정의하고, 이를 상호 연계하는 표준 온톨로지 모델을 개발한다.

(3) 데이터 플랫폼 아키텍처 설계

중앙 집중식 구조의 한계를 극복하기 위해 분산원장기술(DLT)을 활용한 분산형 아키텍처를 설계한다. 이는 데이터를 각 기관이 관리하고, 필요한 경우에만 권한을 부여받은 사용자에게 접근을 허용하는 방식으로, 보안성과 투명성을 높인다.

5.2. 2단계: 플랫폼 구축 및 초기 서비스 구현

(1) 공통 데이터 허브 구축

1단계에서 수립된 표준과 아키텍처를 기반으로, 데이터의 수집, 저장, 공유를 위한 공통 데이터 허브를 구축한다. 이 허브는 다양한 데이터 포맷과 프로토콜을 처리할 수 있는 API 게이트웨이를 포함하며, 데이터의 품질을 검증하고 변환하는 기능을 수행한다.

(2) 파일럿 프로젝트 수행

실제 로봇 서비스를 중심으로 통합 플랫폼의 유용성을 검증하는 파일럿 프로젝트를 진행한다. 예를 들어, '자율주행 환경 로봇 시스템'을 구축하여, 실시간 환경 센서(미세먼지) 데이터와 도시 GIS 데이터, 로봇의 주행 및 작업 데이터를 통합하여 최적의 청소 경로를 산출하고 운영하는 시나리오를 구현한다.

(3) 데이터 리터러시 교육 프로그램 개발

플랫폼 운영 및 데이터 분석에 필요한 전문 인력을 양성하기 위해 정부 주도로 데이터 리터러시 교육 프로그램을 개발한다. 이는 공공 부문 담당자뿐만 아니라 민간 기업 및 연구자들에게도 개방하여 데이터 활용 능력을 전반적으로 향상시키는 것을 목표로 한다.

5.3. 3단계: 생태계 확장 및 거버넌스 고도화

(1) 민간 참여 확대

파일럿 프로젝트의 성공을 바탕으로 민간 기업의 참여를 적극적으로 유도한다. 플랫폼의 API를 개방하여 민간 개발자들이 혁신적인 로봇 서비스를 개발할 수 있는 환경을 조성한다. 데이터 공유에 대한 법적 리스크를 줄이고, 데이터 활용에 대한 인센티브 제도를 마련하여 민간의 참여를 촉진한다.

(2) 데이터 거버넌스 고도화

플랫폼 운영 과정에서 발생하는 다양한 데이터 이슈를 반영하여 거버넌스 정책을 지속적으로 개선한다. 데이터 윤리, 프라이버시 보호, 데이터 소유권 분쟁 해결 등을 위한 구체적인 가이드라인을 수립하고, 기술 발전 속도에 맞

춰 법규를 개정한다.

(3) 국제 표준화 협력

국내에서 구축된 데이터 표준 모델을 국제 표준으로 제안하고, 해외 스마트시티 및 로봇 관련 기관과의 협력을 통해 글로벌 데이터 생태계 구축에 기여한다.

참고문헌

1. 김민수, 박지훈. (2023). 스마트시티 데이터 허브 구축을 위한 공간정보 데이터 연계 방안 연구. 한국지리정보학회지, 21(2), 55-68.
2. 이영민, 최현정. (2024). 디지털 트윈 기반 도시 데이터 통합 및 활용 사례 분석. 한국IT서비스학회지, 20(1), 123-140.
3. 박선영. (2022). 공공데이터 개방 및 활용에 대한 법적 쟁점 분석. 공법학연구, 23(3), 89-112.
4. 국토교통부. (2024). 스마트시티 통합플랫폼 구축 및 운영 지침. 국토교통부.
5. 과학기술정보통신부. (2023). 국가 데이터 거버넌스 체계 구축 방안. 과학기술정보통신부.
6. OECD. (2023). Data Governance for the Digital Age: Best Practices and Challenges. OECD Publishing.
7. Smart Nation Singapore. (n.d.). Data.gov.sg. Retrieved from <https://data.gov.sg/>.
8. FIWARE Foundation. (n.d.). FIWARE Platform. Retrieved from <https://www.fiware.org/>.
9. 한국지능정보사회진흥원(NIA). (2023). 국가 디지털 트윈 구축 사례 보고서. NIA.