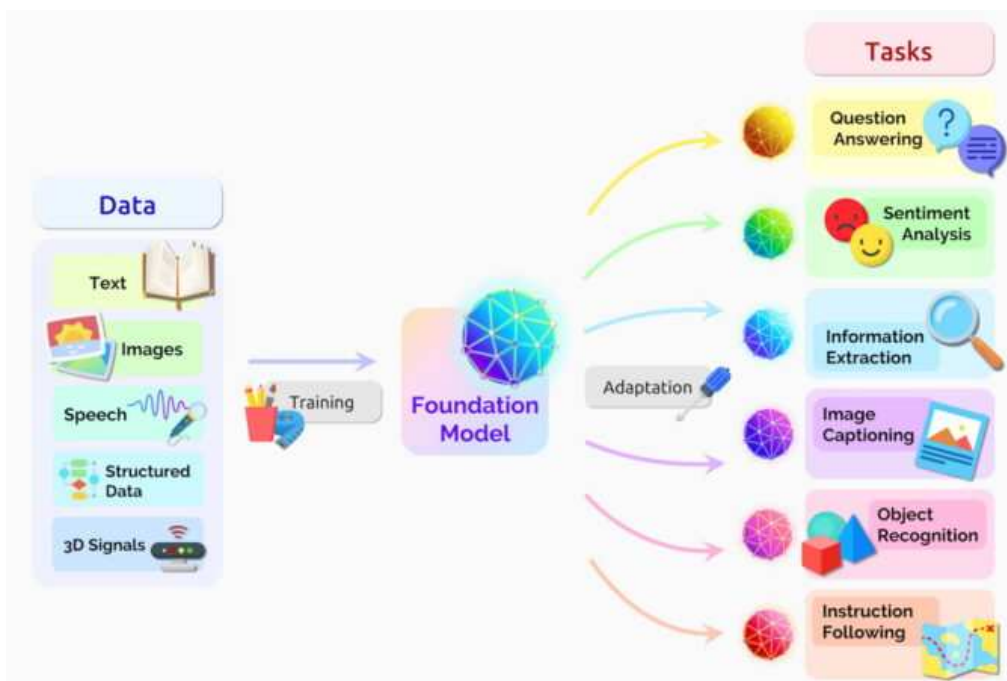


01 | 위치 및 공간정보에 대한 AI적용과 시사점¹⁾

1 최근 AI 연구개발 동향

- 인공지능(Artificial Intelligence) 분야에서 최근 몇 년 사이 파운데이션 모델(Foundation Model)이 핵심적 개념으로 대두
 - 파운데이션 모델은 해당 분야에서 다양한 작업을 수행하기 위해 미리 학습된 거대 인공지능 모델을 의미
 - 인공지능 모델의 사전 학습을 위해서는 사전에 대용량의 정제된 데이터 구축이 필요
 - 파운데이션 모델은 사전에 학습된 기본 모델로서, 특정 분야 및 서비스에 적용되기 위해서는 해당 데이터에 대한 추가 학습을 바탕으로 미세 조정 필요
 - 파운데이션 모델은 방대한 규모, 일반성, 자기주도 학습의 특징 보유
 - (방대한 규모) 수백만, 수억 이상의 데이터 학습을 기반으로 하며, 파라미터 규모가 매우 방대
 - (일반성) 세부 조정을 통해 특정 분야의 다양한 기능 및 서비스 등으로 적용될 수 있는 범용성을 가짐
 - (자기주도 학습) 레이블로 정답이 주어지는 데이터가 아닌 데이터의 패턴 등을 파악하며 학습



[그림] 인공지능 파운데이션 모델의 개념

※ 출처 : NVIDIA 블로그 웹사이트(blogs.nvidia.co.kr/blog/what-are-foundation-models)

1) 한국전자통신연구원 모빌리티UX연구실 유재준 책임(jjryu@etri.re.kr)
본고는 저자의 개인적인 견해이며 국토교통부와 KAIA의 공식적인 의견은 아닙니다.

- 파운데이션 모델은 언어와 이미지 관련 모델로 분류
 - (언어 관련 파운데이션 모델) Gemini, GPT-4 등
 - (이미지 관련 파운데이션 모델) DALL-E3, Stable Diffusion 등
- 파운데이션 모델이 구축되면 미세 튜닝을 진행함으로써 특정 기능과 서비스를 위한 인공지능 모델을 빠르고 저비용으로 구축할 수 있다는 장점을 보유
 - 방대한 양의 위성·항공 영상 및 수치지도 데이터를 자기 지도학습으로 사전 학습하여 라벨링된 데이터가 부족한 특수 목적의 공간정보 분석에서도 높은 정확도를 확보
 - 단일 모델로 객체 탐지, 변화 추적, 도시 시뮬레이션 등 다양한 국토교통 하위 과제에 범용적으로 적용할 수 있어 데이터 중심 AI 환경 구축의 핵심 동력으로 작용
- 파운데이션 모델은 언어 분야에서 시작되었으나, 점차 이미지 데이터, 공간 데이터 등과 같은 타 영역으로 확대되고 있으며 최근의 파운데이션 모델들은 오픈소스로 제공되는 경향
 - 위성·항공 영상과 같은 시각 정보뿐만 아니라 수치지도, 인구 동태, 환경 지표 등 이종 공간 데이터를 통합적으로 학습하여 복잡한 시공간적 맥락을 추론하는 멀티모달 지능으로 고도화
 - 대규모 사전 학습을 통해 최소한의 데이터로도 재난 예측, 도시 시뮬레이션, 인프라 노후도 진단 등 국토교통 분야의 다양한 하위 과제에 유연하게 대응하며 실무 의사결정의 효율을 극대화

□ 인공지능 기반 파운데이션 모델 개발과 함께 피지컬(Physical) AI 중요성 및 관심도 증가

- 피지컬 AI는 인공지능 모델을 컴퓨터 또는 웹 상이 아닌 현장의 장치, 장비에 직접 적용되어 물리적인 세계에서 AI가 직접 제어하고 상호작용하는 것을 의미
 - 시각-언어-행동 모델 등 파운데이션 모델의 진화로 AI가 복잡한 공간정보를 스스로 해석하여 비정형 환경에서도 정밀한 물리적 조작과 자율적인 의사결정 수행
 - 자율주행차, 건설 로봇, 도심항공교통 등 국토교통 인프라에 위치 및 공간 데이터를 실시간으로 투영함으로써 가상 세계의 지능을 현실의 물리적 서비스로 구현하는 핵심 기술로 발전
- 피지컬 AI를 위해서는 센싱, 인지 및 판단, 제어 및 행동 등의 핵심 요소가 고려
 - (센싱) 다양한 수단을 바탕으로 현실의 상황 및 환경을 센싱하고, 이를 이해하는 역량
 - (인지 및 판단) 센싱 데이터와 이에 대한 이해를 바탕으로 인공지능 모델을 통해 상황과 물리적인 환경을 인지하고 향후 동작을 위한 판단을 수행
 - (제어 및 행동) 인지 및 판단의 결과를 바탕으로 물리적으로 장치 또는 장비를 제어하거나, 구체적인 행동으로 연결되어 수행
- 핵심 요소를 바탕으로, 실제 현실에서 장치 및 장비가 상황을 스스로 판단하고 행동한다는 점에서 기존의 AI 모델이 컴퓨터 내부로 제한되는 점과 달리 현실 세계에서 직접 상호작용하고 동작
 - 정해진 궤적의 반복이 아닌 실시간 공간 인지와 지속적인 학습을 통해 비정형 환경에서도 자율적으로 동작을 수정하고 최적화
 - 파운데이션 모델의 추론 능력을 바탕으로 물리 법칙과 맥락을 이해하며, 미학습 상황에서도 유연하게 대응하는 능동적 상호작용을 실현

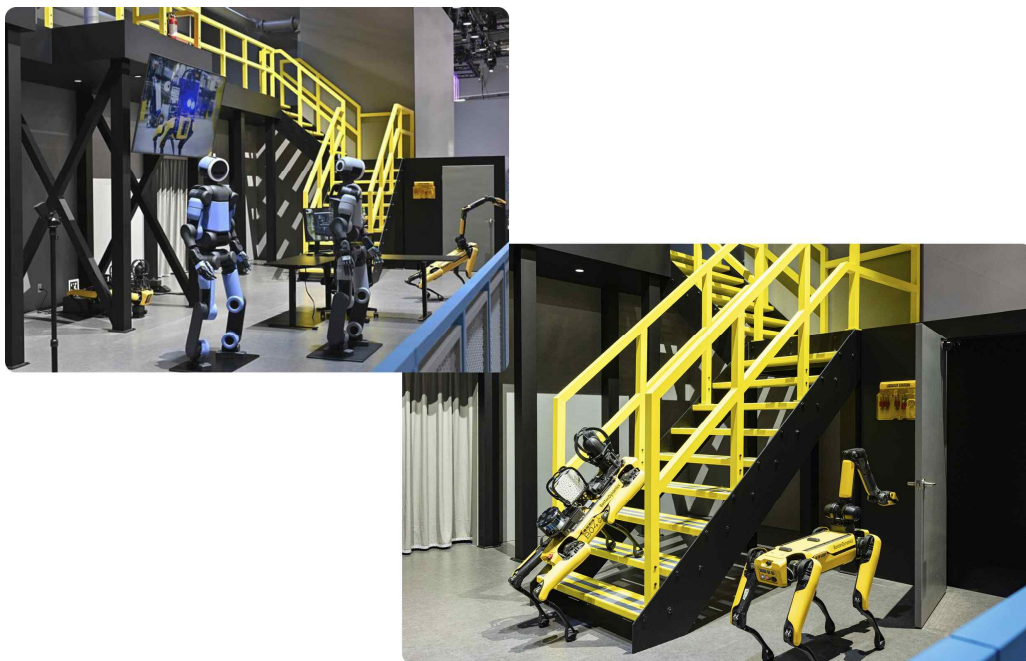
- 사전에 정의된 시퀀스/규칙을 정확히 반복하는 기존의 로봇 자동화와 차이점 존재

〈표〉 기존 로봇 자동화와 피지컬 AI의 비교

구분	기존 로봇 자동화(전통 산업자동화)	피지컬 AI(Physical AI)
핵심개념	사전에 정의된 시퀀스/규칙을 정확히 반복	인지·추정·학습 정책 기반으로 상황에 맞게 행동 생성
장점	정밀·속도·재현성·검증 용이	변화 대응·비정형 작업 범용성(전이) 잠재력
단점	환경 변화/불확실성에 취약, 셋업 의존	데이터·검증·안전 가드레일 부담, 옻지케이스 리스크
적용 환경	정형화된 환경 (고정된 위치, 정해진 물체)	비정형/동적 환경 (예외 상황, 장애물 대응)
학습 능력	정적 시스템 (재설정 전까지 동일 동작)	지속적 학습 (데이터를 통한 성능 고도화)
주요 기술	하드웨어 제어, PLC, 정밀 모션 제어	파운데이션 모델, VLA(Vision-Language-Action)
도입 비용	초기 인프라 구축 비용(펜스, 정형화) 높음	하드웨어+AI 모델 연산 비용 발생, 펜스 불필요
유지보수	공정 변경 시 대규모 재프로그래밍 필요	데이터 피드백을 통한 소프트웨어 업데이트 중심
활용 분야	용접/도장/고정형 픽애플레이스/고정밀 반복 공정	물류 피킹, 비정형 조립, 사람-로봇 협업, 현장 작업

○ 피지컬 AI의 주요 분야는 제조 및 스마트 팩토리, 물류 및 공급망, 의료 및 헬스케어 등으로 다양한 분야에서 활용

- 대표적인 사례로 근래 주목받고 있는 휴머노이드 로봇, 정찰 로봇, 자율주행 트럭 등이 언급
- 2026년 CES에서도 현대자동차 보스턴 다이내믹스의 휴머노이드인 아틀라스가 주목



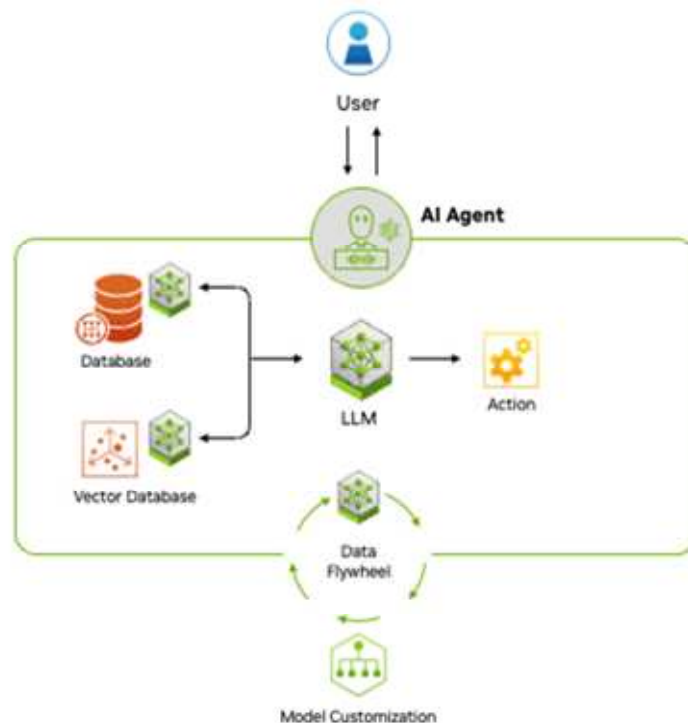
[그림] 현대자동차 보스턴 다이내믹스의 AI 로봇틱스

※ 출처 : 현대자동차 웹사이트(www.hyundaimotorgroup.com)

② 위치 및 공간정보로의 AI 적용

□ 파운데이션 모델 및 피지컬(Physical) AI와 함께 최근 에이전틱(Agentic) AI가 언급

- 에이전틱 AI는 파운데이션 모델 및 피지컬 AI와는 다른 관점에서 AI 연구개발 동향을 나타내는 키워드로써, 기존의 웹 검색의 데이터를 생성하는 것을 넘어 목표에 대해 스스로 계획 수립하고 목표 달성을 위해 행동
 - 추론 기반의 과업 분해와 자율적 계획 수립 후 필요한 도구를 찾아 활용하여 복잡한 다단계 의사결정과 문제 해결 시나리오를 스스로 설계
 - 공간정보 DB나 분석 API 같은 도구를 스스로 찾아 호출하고, 필요하면 여러 도구를 함께 활용해 목표 달성에 가장 효과적인 실행 방법을 마련
- 이에 따라 에이전틱 AI는 인터페이스, 자율성, 계획 수립 및 실행 등의 흐름순으로 주요 특징을 가져 특정 목표를 달성
 - (인터페이스) 사용자가 목표를 전달, 결과의 제시 등을 다양한 방법으로 대상 주체와 상호작용하기 위한 수단 또는 방법
 - (자율성) 사람이 모든 단계를 일일이 지시하지 않아도, AI가 상황을 인지하여 판단하고, 다음 행동을 선택할 수 있는 능력
 - (계획 수립 및 실행) 목표의 달성을 위해 해야 할 일을 한 번에 처리하기 어려워 단위별로 계획하고 실행
 - 이러한 특징을 실행하는 과정에서 필요한 경우 도구를 직접 활용하고, 상황에 따라 계획을 재수립 및 실행하는 과정을 반복



[그림] AI 에이전트의 개념

※ 출처 : NVIDIA 웹사이트(blogs.nvidia.co.kr/blog/what-is-agentic-ai/)

- 에이전틱 AI를 위해서 통상적으로 사람의 언어를 이해하고 의미를 파악하기 위한 모델인 LLM*이 인터페이스로 활용되는 경우가 많고, 에이전트 기능을 위한 추가적인 실행 프레임워크가 요구

* Large Language Model, 방대한 양의 텍스트 데이터를 딥러닝 기술로 학습하여, 문맥을 파악하고 인간과 유사한 수준으로 언어를 생성 및 이해하는 인공지능

- ReAct* 등 추론 프레임워크 기반의 과업 분해와 GIS API 연동을 통해 복잡한 공간 분석 업무를 자율적으로 완수

* Reasoning + Acting, LLM이 한 번에 답만 내는 게 아니라, 아래 같은 반복 루프로 목표를 달성하게 하는 방식

- 메모리와 자기 검토 기능을 바탕으로 현재 지리적 상황(실시간 맥락)을 반영해 계획을 수시로 재조정하고, 가장 효율적인 문제 해결 절차를 찾아 수행

- 에이전틱 AI는 목표 이해와 계획 수립 등 핵심 단계에서 파운데이션 모델을 활용해 구현할 수 있으며, 센서·로봇 등 물리 환경과의 인터페이스를 결합하면 피지컬 AI와 연계된 형태로 적용

- 파운데이션 모델의 추론 능력과 물리적 구동부를 결합하여, 비정형 환경에서도 공간적 맥락을 이해하고 자율적으로 행동하는 지능형 피지컬 시스템을 구현

- 에이전틱 AI는 실시간 공간데이터 및 분석 응용 프로그램 인터페이스(API)를 능동적으로 연계·활용함으로써, 국토 인프라 관리와 현장 대응 업무의 자율 수행 및 최적화를 지원

□ 공간정보 분야에서 공간을 이해하는 파운데이션 모델을 연구하는 방향으로 추진

- 파운데이션 모델의 취지에 따라 특정 기능·서비스(도로 추출 등)에 국한되지 않고 다양한 기능·서비스에서 공통적으로 활용될 수 있는 범용 모델 구축을 지향

- 위성·항공영상, 수치지도, 레이더 데이터, 고도(DEM, Digital Elevation Model) 데이터, 위치·궤적 데이터, 텍스트 기반 POI(Point of Interest) 등 다양한 형태의 대규모 공간데이터를 학습하고, 시간 흐름에 따른 공간 변화(시계열 변화)까지 함께 반영

- 데이터에 대한 정답의 제시가 없어, 주어지는 다양한 유형의 데이터를 자체 학습(Self-supervised learning)하여 데이터에 대한 의미 및 구조를 학습

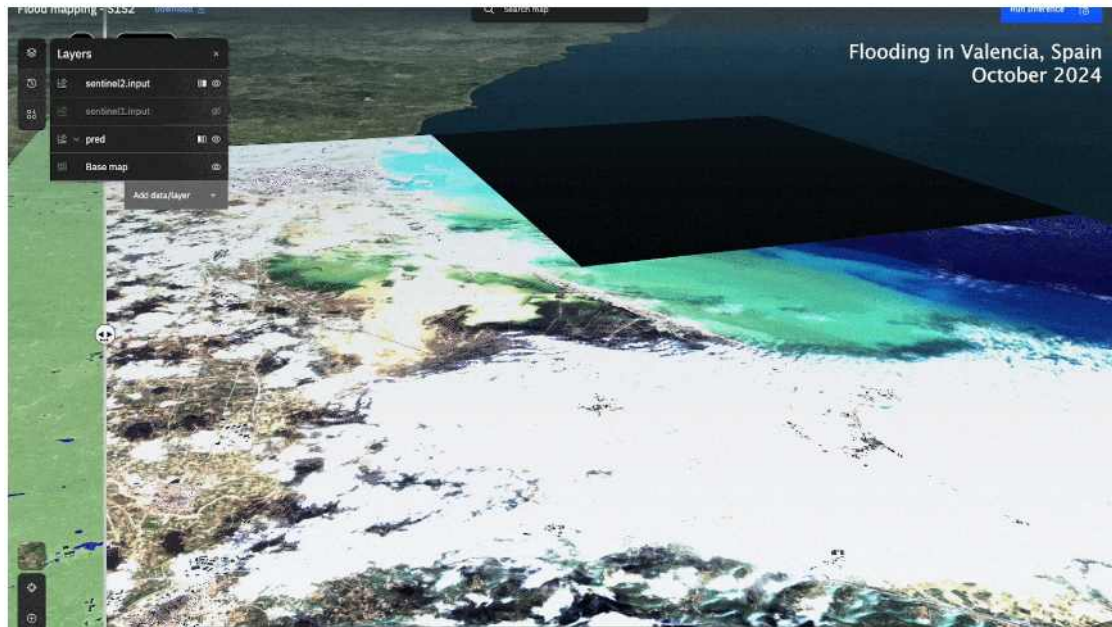
- 파운데이션 모델을 활용한 공간지능 서비스의 개발 및 실증을 목표

- 학습된 공간 파운데이션 모델은 도로 추출, 건물·토지 객체 식별, 교통·환경 모니터링 등 다양한 공간정보 기반 서비스에 공통으로 재사용이 가능하며, 기존 개별 모델 방식 대비 학습 및 서비스 구축 시간 단축 효과 기대

- 또한 해당 모델은 다중 시점·다중 센서 데이터의 통합 분석을 통해 도시계획, 재난 대응, 스마트시티 운영 등 국토교통 분야 정책 및 기술 개발로의 적용 가능성 증가

- IBM & NASA가 협력하여 개발한 'Prithvi', NVIDIA의 'Earth-2', 마이크로소프트의 'SatMAE' 등이 대표적인 사례

- '24년 공개·확대된 NASA·IBM의 'Prithvi 모델'은 NASA HLS 및 MERRA-2 등 방대한 공개 데이터를 기반으로 한 오픈 모델 계열로서 다양한 다운스트림 과업에 파인튜닝되어 활용이 가능하며 기후변화, 재난 대응, 날씨/기후 분석 적용 가능성 확대 사례



[그림] IBM & NASA의 Prithvi

※ 출처 : IBM 웹사이트(esearch.ibm.com/blog/prithvi2-geospatial)

- NVIDIA의 Earth-2는 기상예측 플랫폼으로 디지털 트윈과 생성형 AI 모델을 활용해 기존의 물리 예측 수치 모델보다 훨씬 빠른 예측 속도 및 초고해상도를 지원



[그림] NVIDIA의 Earth-2

※ 출처 : NVIDIA 웹사이트(www.nvidia.com/ko-kr/high-performance-computing/earth-2/)

- 마이크로소프트의 SatMAE는 Sentinel-2 기반의 다중분광 정보를 반영한 Masked Autoencoder (MAE) 기반 자기지도 사전학습 프레임워크로 마스킹 영역 복원을 통해 범용 표현을 학습하고 다운 스트림 과업에 대한 파인튜닝 기반 성능 향상에 기여하는 방식

□ 피지컬 AI와 관련하여 위치 및 공간에 대한 데이터를 이용해 효과적으로 공간을 인지하고, 이를 모델의 일부로 연계·활용하고자 하는 연구를 진행

- 피지컬 AI에서 위치 및 공간정보는 현실 세계의 상태를 이해하고 환경과 상호작용하기 위한 핵심 데이터로 기능하며, 위치·공간에 대한 이해와 인지는 피지컬 AI 구현을 위한 필수 구성요소로 지속적으로 강조
 - 위치 및 공간정보는 센서 데이터, 지도 정보, 환경 인식 결과 등과 결합되어 AI가 물리적 환경의 구조와 변화를 종합적으로 해석하는 기반 제공
 - 특히 정밀 위치추정과 공간 표현 기술은 피지컬 AI의 인지 정확도와 의사결정 신뢰도를 좌우하는 핵심 요소 작용
- 로봇·자율주행차·드론 등 물리 시스템 분야에서 위치·공간정보는 로봇의 공간이해, 자율주행차의 주행 상황 인지 및 경로 계획, 드론의 장애물 판단 및 비행 제어에 필수적으로 활용되는 핵심 데이터로서의 역할 수행
 - 로봇 분야에서는 실내·외 공간의 지도화와 객체·작업대상 위치 인식을 기반으로 작업 환경에 대한 상황 인지 정확도 제고 및 작업 경로 최적화를 통해 수행 시간·에너지 소모를 절감하는 한편, 다수 로봇 간 공간·작업 정보 공유를 통한 충돌 회피·역할 분담 등 협업 수행 능력의 고도화 요구 증대
 - 자율주행차·드론 분야에서는 실시간 위치 추정과 주변 공간 인지가 충돌 회피, 경로 계획, 운행·비행 제어의 기반으로 작동하여 안전성 확보와 임무 성공률을 좌우하는 필수 요소로 활용되는 구조
- 피지컬 AI 기반 도시·교통·인프라 관리 분야 적용 가능성 확대 전망
 - 교통흐름 관리, 공공시설 배치 최적화, 건물 운영·관리 등 도시 인프라 전반에서 위치·공간 데이터를 기반으로 실시간 상황 인지-의사결정-운영 최적화 체계 구축을 목표로 데이터 수집·융합, 예측·제어 알고리즘, 관제·운영 플랫폼 등 관련 기술 개발이 지속적으로 추진
 - 또한 드론·로봇 기반 점검·감시, 재난 대응 등 도시·국토 관리 업무 전반에서 공간정보 기반 AI 모델을 활용한 현장 인지, 위험 탐지, 임무 계획·경로 설정, 상황 공유·보고 자동화 등의 적용 범위가 확대되는 추세



[그림] 테슬라의 자율성 알고리즘

※ 출처 : TESLA 웹사이트(www.tesla.com/AI)

- 이와 함께 대상 공간에서 발생 가능한 물리 법칙 및 인과관계를 인공지능 모델에 반영하기 위한 물리·인과 기반 모델링 적용 노력이 병행되고 있으며, 예측 신뢰도 및 의사결정 근거의 강화 목적
 - 대표적으로 테슬라에서는 규칙기반의 소프트웨어 구현 대신 자율주행을 위해 영상 데이터를 통한 물리적 직관과 인과관계를 학습하고 추론할 수 있도록 하는 모델을 구축하여 활용
 - 학습 대상 데이터와 추론 결과는 기본적으로 위치·형상·관계 등 공간정보 요소로 구성되는 구조
 - 테슬라는 다중 카메라 영상과 신경망 기반 비전 시스템으로 도로 환경과 객체 상태를 직접 추정하고, 이를 바탕으로 주행 명령을 생성하는 엔드투엔드 AI 적용
- 에이전틱 AI 관련 연구개발의 진전과 함께 기존의 전문가용 또는 일반 사용자 대상 공간정보 서비스 수준을 넘어 도시·공간 문제를 스스로 진단하고 해결 방안을 도출·실행하는 자율형 서비스로 확대되는 추세
 - 도시 전반의 다양하고 대규모 데이터를 학습·융합하고 이를 기반으로 시설 유지관리, 운영 의사결정, 자원 배분 및 서비스 품질 개선을 지원하기 위한 데이터 기반 도시 운영 고도화 시도 확산 추세
 - 입지선정·분석, 자율주행 수단 도입 등 다양한 조건을 종합적으로 반영한 교통 흐름 최적화를 통해 도시계획의 효율성을 제고하는 과정에서 인공지능 모델의 적용 가능성 확대
 - 교통·에너지·환경·인구 이동 등 이종 도시 데이터를 통합·분석함으로써 도시 운영 전반에 대한 자율적 의사결정 지원과 정책 시나리오 시뮬레이션 수행 가능성 증가
 - 광범위한 농경지의 공간 활용 현황을 분석하고, 작물 생육·건강 상태를 실시간으로 진단 및 재배 조건과 환경 변수를 반영한 수확량 예측과 토지·농업 관리 의사결정 지원 기능을 제공하는 방향으로 확대
 - 위성영상, 드론 영상, 토양·기상 센서 등 공간 기반 데이터를 결합하여 작물 생육 상태, 병해 가능성 및 토지 이용 효율을 정밀하게 분석하려는 연구가 지속적으로 증가
 - 이를 통해 재배 전략 수립, 투입 자원(물·비료·농약) 최적화, 수확량 예측을 지원하는 자율적 의사결정형 농업 관리 시스템으로의 확장 시도 증가
 - 자율주행차·드론 등 다양한 모빌리티 운용을 지원하기 위해 고정밀 지도 및 3차원 입체 공간지도를 효율적으로 구축하고, 실시간 데이터 연계를 통해 자동 갱신·검증하는 체계 마련 확산
 - 자율주행차, 로봇, 도심항공교통(UAM) 등 이기종 모빌리티 환경을 고려하여 도로·시설물·공간 객체를 3차원으로 정밀 표현하고, 변화 요소를 신속히 반영하는 지도 구축 기술에 AI를 활용
 - 특히 센서 데이터, 차량 주행 데이터, 항공·위성 영상 등을 결합하여 지도 갱신을 자동화함으로써, 지도 제작·유지 비용을 절감하고 최신성·신뢰성을 동시에 확보하려는 연구 증가
 - 생활이동정보, 위성/항공이미지, CCTV 등의 다양한 유형의 데이터를 이용하여 자연적 재난 또는 인재의 발생 여부를 예측하고, 가장 효율적인 대응방안을 실시간으로 마련하려고 적용
 - 홍수·산사태·도시침수·교통사고 등 재난 유형별로 시공간 패턴을 학습하여 위험 발생 가능 지역을 사전에 도출하고, 상황 변화에 따른 위험도를 동적으로 갱신하는 기술에 AI를 활용
 - 또한 재난 발생 시 교통 상황, 인구 이동, 시설물 분포 등을 종합적으로 고려해 대피 경로 설정, 자원 배치, 교통 통제 등 대응 시나리오를 자동으로 도출하려는 연구 증가

○ 에너지·환경 관리 최적화를 위한 공간정보 기반 AI 적용 확대 방향

- 도시 내 전력·수자원·환경 센서 데이터를 공간정보와 결합하여, 에너지 소비 패턴, 오염물 확산, 기후 변화 영향 등을 실시간 분석하고 최적화하는 방안 제안
- 이를 통해 스마트시티 운영자는 자원 배분, 에너지 절감, 환경 관리 정책 집행 등 운영 의사결정의 자동화 수준을 제고하고, 장기적 도시 지속가능성 향상에의 활용 가능성 확대

□ 파운데이션 모델·피지컬 AI·에이전틱 AI 고도화 및 공간정보의 전략적 가치 증대에 따른 공간지능 특화 모델 개발·적용 시도 확대

○ 현대모터에버는 MMS(Mobile Mapping System)로 수집된 대규모 도로 데이터를 자동 분석하여 차선, 표지판, 주변 시설물 등 주요 도로 객체를 자동 추출하는 기술 개발·적용 사례

- 이를 기반으로 지도 변환·구축을 자동화하는 인공지능 모델을 개발·고도화 중이며, 해당 기술을 통해 지도 갱신 주기를 준실시간 수준으로 단축하는 방향으로 추진
- 자동 지도 구축 기술은 MMS로 수집한 도로 데이터를 딥러닝 기반 AI로 분류·객체화해 차선·표지판·신호등 등 정밀지도의 핵심 요소를 자동 추출하는 방식이며, 100km 구간 기준 수작업 대비 20배 이상 빠른 제작 가능 수준으로 제작 효율 향상 효과 제시
- 또한, AI 기반 정밀지도 자동 구축 기술의 고도화를 통한 도로 환경 동적 변화의 신속한 반영 및 디지털 트윈·자율주행 등 다각적 모빌리티·공간 서비스 적용 가능성 증대

※ 출처 : 현대자동차 웹사이트(www.hyundaimotorgroup.com)

○ SK텔레콤은 AI 기반 위치분석 플랫폼 '리트머스(LITMUS)'를 활용하여 실내·외 유동인구 데이터를 정밀 분석하는 기술을 개발·적용하고, 분석 결과를 교통·재난·환경·공공 인프라 등 도시 문제 해결을 위한 의사결정 지원에 활용하는 방향으로 추진

- SKT는 AI 위치분석 플랫폼 '리트머스'에 실내 측위와 통신 신호 딥러닝을 결합해 실내·외 유동 인구를 분석하고, 이를 상업건물 등에서 도시문제 대응에 활용
- 실내·외 유동인구 분석 데이터의 교통·재난·환경 등 도시문제 해결의 기초자료 활용 및 지자체·기업 수요 증가에 따른 서비스 적용 범위 확대

※ 출처 : SK텔레콤 웹사이트(news.sktelecom.com/198299)

○ 국토교통부 주도의 다차원·다시점 공간데이터 기반 국토정보 변화 인식 및 자동 갱신 기술 확보와 지능형 서비스 구현을 위한 공간정보·AI 융합 모델 개발 추진

- Location Intelligence 기반 GeoAI 연구기획 과제 수행 등 관련 기술 고도화 및 실무 적용을 위한 연구 개발 활동 활성화
- 다시점·다중 플랫폼 공간데이터 융합을 통한 국토정보 변화 자동 인식·갱신 및 수작업 중심 공간정보 유지관리 공정의 자동화 기술 개발
- 다차원 공간데이터 분석·비공간정보 연계·공간 지식추론 등 GeoAI 핵심 기술 확보를 통한 지능형 공간정보 서비스 및 플랫폼 구현 지원 연구·개발 추진

※ 출처 : NTIS 웹사이트(www.ntis.go.kr)

③ 위치 및 공간정보로 AI 적용의 한계와 도전

□ 위치 및 공간정보와 관련된 분야로 파운데이션 모델, 피지컬 AI 및 에이전틱 AI를 포함한 다양한 인공지능 연구개발을 수행, 적용하기 위해서 다음과 같은 한계점 등이 존재

〈표〉 위치 및 공간정보 관련 분야 AI 연구개발 수행 및 적용을 위한 한계점

구분	한계점/이슈	세부 내용
비용·자원	컴퓨팅 비용 및 자원 규모 부담	파운데이션/대형 AI 모델 개발·구축에 막대한 컴퓨팅 비용 필요, GPU 포함 비용·자원 요구 규모가 큼
데이터 (공간정보)	데이터 확보 곤란(대량·고품질)	대규모 학습에 필요한 양질의 대량 데이터요구로 확보가 어려움
	대용량 특성	위성/항공영상, 라이다 등 기본적으로 대용량 데이터 필요
	수집 조건에 따른 변동성	구축 자세·위치·장치에 따라 데이터가 다르게 나타나는 특성
	환경·시간 변화에 따른 품질관리 난이도	주변 환경·시간에 따라 데이터가 변화가 커서 양질 데이터 구축이 복잡
법·제도	보안시설 보호 등 법적 제약	보안시설 보호 등 법적 문제로 수집·활용이 상황/환경에 따라 제한
개인정보·보안	개인정보보호·활용 이슈로 인한 제약	데이터 보안 및 유형에 따라 개인정보보호·활용 이슈로 활용 제약 가능
소유권·이해관계	공공데이터 중심으로 활용 제약	상당 부분 공공 데이터로 구축되어 소유/이해관계에 따라 활용 제한
모델 품질	데이터 제약에 따른 편향/성능 저하	학습 결과는 데이터 질에 좌우되어 제약된 데이터 사용 시 편향된 결과 위험
신뢰·안전	오답 실행 가능성 (특히 피지컬/에이전틱)	사람 간섭을 줄여도 시가 오답을 도출·실행할 가능성이 있어 대안 필요
신뢰·안전 (고위험)	자율주행·자율드론 등 안전리스크	피지컬 AI 적용 시 안전문제가 대두되어 거짓 대응/오답에 면밀한 대응 필요
설명가능성	판단 근거 제시 한계로 부적합 가능	특정 판단 근거를 명확히 제시 못하는 경우 많아 객관적 근거 요구 서비스에 부적합

□ 위치, 공간과 관련된 분야로 인공지능 모델들을 적용함에있어 언급되고 있는 상기의 한계점들을 보다 개선하고 경감할 수 있는 다양한 연구개발의 지속적인 추진이 필요

4 시사점

□ 공간정보 관련 인공지능 모델의 개발 및 구축을 위한 양질의 데이터 확보가 중요

- 성공적인 인공지능 모델 개발을 위한 양질의 대량 데이터 확보 필요성에도 불구하고, 공간정보 데이터 특성에 따른 고품질 데이터 공급의 기술적·구조적 한계 상존
- 인공지능 모델 개발·구축 최적화를 위한 고품질 공간정보 생산 및 활용 체계 마련 목적의 R&D 연구개발 추진 필요성 증대
 - 기 구축 공간정보 및 공간모델 활용을 통한 고품질 공간 데이터로의 변환 및 실시간 구축 체계 구현 가능성 확인
- 더불어, 많은 양의 공간정보가 공공성과 연관되어 구축 및 활용되고 있어, 인공지능 모델의 개발, 구축 및 활성화를 위해 공공 공간 데이터의 활용을 지원하기 위한 법적, 제도적 개선이 필요
 - 공간정보 관련 인공지능 모델의 개발 및 구축이 법·제도에 저촉되지 않도록 개선 또는 보완 필요

□ 공공성을 지닌 공간정보를 기반으로 구축되는 인공지능 모델의 활용을 위해서는 데이터 제공기관, 운영기관, 활용기관 등 이해관계자 간 활용 범위·권한·책임에 대한 사전 협의와 거버넌스 체계 마련이 필수

- 인공지능 모델의 개발·구축 과정에는 모델 개발자, 서비스 개발자, 서비스 운영·유지관리 및 제공자, 서비스 사용자, 데이터 소유자·제공자 등 다양한 이해관계자 참여가 필요하며, 활용 데이터의 성격과 제공 기능 범위, 서비스의 공공성 수준에 따라 이해관계자 구분 및 역할 세분화 필요
 - 공공 공간 데이터 및 관련 서비스의 특성을 고려한 비용·자원 효율성 중심의 경제성 논리보다 국민 안전 확보 및 국가 기반 인프라 확충 관점의 우선적 가치 판단 필요

□ 지능형 공간정보 모델 개발 및 인프라 구축의 선도적 수행을 위한 대규모 예산 확보 및 범국가적 차원의 자원 투입 필요

- 차세대 AI 모델의 복잡도 증가 및 에이전틱(Agentic)·추론형 AI 확산에 따른 컴퓨팅 파워, 데이터 확보, 전력 인프라 등 핵심 자원의 대규모 투입 및 유지 비용의 비약적 상승 추세
 - 대규모 비용 및 자원을 투입할 수 있는 대기업 위주로 인공지능 모델의 개발이 추진되고 있는 경향이 높아져 이러한 현상은 AI 모델 개발을 주도하고 있는 미국 등의 사례에서도 나타나고 있는 현상
 - 관련되어 근래 투입 비용과 자원을 고려하여 수익성을 달성하기 위해 개발 및 구축되는 인공지능 모델의 공공성 확보 및 공동 활용은 점차 어려워지고 있는 상황
- 경량화·저전력 AI 등 모델 개발 효율화 연구의 지속에도 불구하고 복합적 추론 능력을 갖춘 에이전틱 AI 고도화 및 고정밀 공간지능 구현을 위한 컴퓨팅 자원과 고품질 데이터 확보에 있어 대규모 자본 투입의 필수성 재확인
 - 중국 딥시크(DeepSeek)의 저비용·고성능 모델 개발 발표와 달리, 초기 R&D 및 인프라 구축을 포함한 실제 누적 비용의 과소 책정 논란 및 메이저 모델 대비 실질 개발 단가의 불투명성 상존

□ 공간지능 선점 및 산업 전반의 디지털 전환 가속화를 위한 공간정보 특화 인공지능 모델 개발 및 실무 적용 분야의 지속적·전략적 지원 체계 구축 필요

- 산업 전반의 AI 모델 최적화 및 적용 주기 단축과 더불어, 오픈소스 생태계 활성화 및 자동화된 연구 프로세스 도입에 따른 기술 연구개발(R&D) 속도의 유례없는 가속화 경향
 - 과거 1~2년 주기의 AI 모델 개발·업데이트 사이클이 근래 6개월 단위의 메이저 릴리스와 월간 단위의 마이너 업데이트 체계로 전환됨에 따라 기술 노후화 속도 가속화 및 적기 대응의 중요성 증대
- 선도국 대비 부족한 데이터 인프라 및 기술 축적도로 인해 모델 설계, 데이터 수집·정제 등 초기 연구 단계에서의 막대한 시간 소요 및 시행착오 비용 발생 불가피
 - 2020년대 초반에 개발된 GPT-2, -3, -4 등의 모델은 업데이트 주기가 약 2년 정도 소요

※ 출처 : Nathan Benaich and Air Street Capital(2025.10), State of AI Report 2025

- 공간정보 등 공공성이 확보된 데이터 기반의 AI 모델 개발 및 실무 적용을 통한 국가 기술 자주권 확립과 글로벌 주도권 선점 목적의 점진적 기술 축적 및 상시 개선 체계 구축을 위한 지속적 지원 필수
 - 최근 가속화된 AI 모델 업데이트 주기는 기 구축된 베이스 모델 및 축적된 핵심 기술 역량을 기반으로 한 점진적 고도화의 결과이며, 이는 안정적인 기반 모델 보유 여부가 향후 기술 경쟁력의 핵심 변수임을 시사
 - 글로벌 기술 격차 해소 및 독자적 AI 생태계 조성을 위해 국내 환경에 최적화된 기반 모델 확보와 핵심 기술 역량 내재화를 목표로 하는 점진적·지속적인 단계별 개발 및 개선 시도 필수

□ 공간정보 분야의 파괴적 혁신 및 글로벌 기술 우위 확보를 목적으로 기존의 정형화된 개발 방식을 탈피한 고난도·고성능 인공지능 모델 구현을 위한 도전적·모험적 연구개발(R&D) 과제 추진 필요

- 위성·항공영상 기반 인공지능 연구개발은 최근 다양한 성과와 적용 사례가 보고되고 있으나, 대규모 언어모델(LLM) 등 타 분야의 발전 속도와 비교할 때 기술 성숙도와 생태계 측면에서 추가적인 고도화 여지가 큰 영역으로, 중장기 관점의 지속적 연구개발 필요성 상존
 - 네이버의 'HyperCLOVA X', LG의 'EXAONE 3.0' 등 국산 파운데이션 모델의 등장으로 한국어 특화 영역 내 유의미한 성능 달성을 이루었으나, 구글 Gemini 및 OpenAI GPT 등 글로벌 메이저 모델과의 기술 대등성 확보를 위해서는 멀티모달 확장성, 범용 추론 능력 및 고효율 아키텍처 등 추가 연구개발 필요
 - 국산 파운데이션 모델의 한국어 처리 성과를 기반으로 공간정보 데이터와 유기적으로 결합·활용하기 위한 도메인 특화 기술 고도화 및 실무 적용 체계 구축을 위한 지속적인 연구개발 투자 요구
- 급증하는 위성·항공 영상 등 대규모 시공간 시계열 데이터를 활용하여 공간지능의 핵심인 공간정보 파운데이션 모델(GFM, Geospatial Foundation Model), 피지컬 AI 및 에이전틱 AI 구현을 위한 선도적·도전적 연구개발 추진 필요
 - 미국 등 주요 선도국 및 글로벌 빅테크 기업의 공간정보 파운데이션 모델(GFM), 피지컬·에이전틱 AI 시장 선점을 위한 공격적 투자 지속에 대응하여, 기술 종속 방지 및 글로벌 주도권 확보를 위한 민·관 합동의 도전적 연구개발(R&D) 전략 수립 및 즉각적인 추진 시급