

인공위성과 인공지능을 이용한 북한경제 연구 가능성 모색

염중민 | 전북대학교 부교수 | jmyeom@jbnu.ac.kr

I. 들어가며

전 세계는 지금 ‘뉴스페이스(New Space)’라 불리는 새로운 우주시대에 진입하고 있다. 미국의 스페이스 X와 같은 민간기업의 적극적 참여, 첨단 AI 기술의 융합, 국제적인 협력 확대 속에서 우주산업은 더 이상 선진국만의 전유물이 아닌, 세계 각국의 전략적 산업분야로 부상하고 있다. 이러한 글로벌 흐름에 발맞추어 우리나라 또한 우주 분야에서 중요한 도약을 준비 중이다. 그 대표적 성과 중 하나가 바로 2024년 5월 27일 개칭한 우주항공청으로, 이는 본격적인 우주개발 선진 국가로 도약하기 위한 핵심 동력 역할을 할 것으로 기대된다. 이미 지난 30여 년간 한국항공우주연구원(이하 항우연)을 중심으로 다양한 우주개발 프로그램을 추진해 온 우리나라는 이제 우주기술의 고도화를 넘어, 이를 실질적으로 활용하는 단계에 진입하고 있다.

이러한 다양한 우주기술 중에서 위성 정보 활용(Satellite Information Application)은 우주개발의 핵심 중의 하나로 자리 잡고 있다. 최신의 발사체를 통해 위성을 지구 궤도에 진입시키고, 이후 위성 카메라를 통해 관측한 지구 정보를 가공·분석하여 새로운 지식과 가치를 창출하는 최종 단계를 위성 정보 활용이라고 정의할 수 있다. 다시 말해, 발사체·위성체·지상국 개발과 같은 최첨단 우주기술을 통해 최종적으로 수행하고자 하는 주요 목표 중의 하나는 지구에 대한 다양한 공간 정보를 관측하고 이를 실생활과 산업분야에 유용한 정보로 전환하는 데 있다. 이 같은 과정은 마치 최신 CCTV를 우주에 설치해 실시간으로 지구를 관찰하는 것과 유사하며, 미래 세대에 있어 이러한 위성 정보는 기후 변화 모니터링, 재난

[그림 1] European Space Agency(ESA)에서 추진 중인 Digital Twin Earth의 상상도. 다양한 위성 정보를 이용하여 지구 정보를 디지털화하고 이를 통해 다양한 지구문제 해결에 기여



자료: European Space Agency.

재해 대응, 환경정책 수립, 실시간 농업 정보 생산, 도시계획 수립 등 다양한 분야에서 직접적인 영향을 미치게 될 것이다. 해외에서는 이미 ‘디지털 트윈 어스(Digital Twin Earth)’ 프로그램을 통해 방대한 위성 데이터를 수집·분석하고 지구를 가상환경으로 재현함으로써(그림 1 참조) 국가정책 수립부터 기업 의사 결정까지 폭넓게 활용하는 추세를 보이고 있다.

한편, 인공지능(Artificial Intelligence: AI)은 이미 다양한 산업분야에서 기술혁신을 이끌고 있으며, 그 기술적 파괴력은 가히 상상하기 힘들 정도이다(KISTEP, 2023). 특히 인공위성이 확보하는 방대한 양의 데이터와 AI 기술의 융합은 지구 공간 정보분야에 새로운 패러다임으로 제시되고 있다(Reichstein *et al.*, 2019). 과거에는 위성으로부터 축적되는 대규모 데이터의 분석과 활용에 기술적·시간적 제약이 존재하였으나, 최근 AI 기술의 급속한 발전으로 이러한 한계를 극복할 수 있게 되었다(Yuan *et al.*, 2020). 즉 위성 관측 기술이 정밀해질수록 획득하는 데이터의 양과 다양성이 기하급수적으로 증가하는 상황에서, AI를 적용하면 방대한 정보의 신속하고 정확한 분석이 가능해져 궁극적으로 공간 정보 기반 의사 결정의 품질과 효율성이 향상되는 것이다.

이와 같은 인공위성과 AI 융합 기술적 진전은 정보 접근성이 상대적으로 제한된 지역에 대해서도 의미 있는 통찰을 제공할 수 있다는 점에서 주목할 수 있다. 특히 북한과 같이

정치적·사회적 특수성으로 인해 직접적인 현장 조사가 어려운 지역에 대해 위성·AI 융합기술은 새로운 연구 가능성을 열어준다(Jeong *et al.*, 2022; Jeong *et al.*, 2024). 전 지구 위성영상 자료와 이를 처리·분석하는 AI 기술을 통해 농업활동 정도, 환경 변화 추이, 도시·농촌 인프라 분포, 기후 영향분석, 재난 재해 동향 파악 등 다양한 분야에서 북한경제 현황에 접근할 수 있다(Yeom *et al.*, 2018; Yeom *et al.*, 2020; Park *et al.*, 2022).

본 연구에서는 우리나라 위성 개발 현황을 토대로 위성 정보 활용 기술의 개념과 의미를 정리하고, 인공위성 자료와 AI 기술의 융합을 통해 공간 정보분야에서 나타나고 있는 새로운 흐름을 탐색하고자 한다. 또한 이를 북한경제라는 특수한 연구 영역에 적용하기 위해, 농업 및 공간 정보분야 사례를 중심으로 위성 및 AI 융합 기술의 적용 가능성과 잠재력을 살펴볼 것이다.

II. 우리나라 인공위성 개발 및 데이터

우리나라의 위성 개발 역사는 1992년 최초의 인공위성인 우리별 1호를 발사하며 시작되었고, 1999년 다목적실용위성 1호(아리랑 1호)를 통해 실용급 위성 활용 시대를 열었다. 이어 2006년 다목적실용위성 2호(아리랑 2호)를 통해 국내 최초로 1미터급 고해상도 영상 취득 기술을 확보한 뒤, 서브미터급 해상도를 갖춘 다목적실용위성 3호(아리랑 3호), 적외채널을 탑재한 다목적실용위성 3A호(아리랑 3A호), 그리고 최초의 SAR(Synthetic Aperture Radar) 위성인 다목적실용위성 5호(아리랑 5호)를 연이어 발사하며 위성 기술력과 활용 범위를 점진적으로 확대해 왔다. [그림 2]는 과학기술정보통신부에서 제공한 우리나라 인공위성 개발계획이다. 그림에서 보면 앞선 다목적실용위성뿐만 아니라, 차세대 중형위성(1호~5호), 초소형군집 위성 및 위성체계 등 2045년까지 약 100여기 이상의 위성을 우주로 발사할 계획이다. 지난 20여 년간 연간 대략 5대 미만의 위성을 운용하여 관련 분야 활용을 수행했던 것과 비교하면 향후 사용 가능한 위성의 수는 기하급수적으로 증가할 예정이다. 이는 곧 현재까지 수행되어 왔던 위성 활용분야의 패러다임도 변한다는 뜻이다.

이처럼 우리나라는 2045년까지 다양한 형태의 위성을 총 100기 이상 확보하여 연간 수십 기 이상의 위성을 운용하는 시대를 맞이할 것으로 예상되며, 이로써 우리나라를 포함한 북한과 같이 정치·사회·경제적으로 접근이 제한된 지역에 대해서도 더욱 정밀한 공간 정보 산출이 가능해질 전망이다. 이전까지의 많은 연구가 위성을 통한 북한경제 정보 수집에

[그림 2] 우리나라 인공위성 개발 중장기 계획



자료 : 과학기술정보통신부.

있어 단편적 사례나 제한된 주제에 초점을 맞추어왔다면(Hong *et al.*, 2008; 이한림, 2023; Yang *et al.*, 2020), 미래에는 다수 위성 정보의 확보와 이를 분석할 수 있는 고도화된 알고리즘, 머신러닝 및 인공지능 기술의 접목을 통해 국가단위에서 북한경제 특성을 체계적이고 종합적으로 파악할 수 있는 최첨단 도구가 마련되고 있다. 이러한 기술적 진보는 농업 생산량, 에너지 소비 패턴, 공업 지대 확장, 무역로 파악 등 기존에 접근이 어려웠던 북한 내 다양한 부문에 대한 심층적 이해를 가능케 하며, 이를 통해 향후 남북관계, 동북아시아 역내 협력전략, 인도적 지원정책 수립 등에 필요한 실질적 정보를 제공하는 기반이 될 것이다.

게다가 우리나라 위성뿐만 아니라 해외 위성을 동시에 활용할 경우, 상호 보완적인 데이터 획득이 이루어져 시간적·공간적 해상도가 높은 종합적 정보체계를 확립할 수 있을 것으로 기대된다. 이는 위성 간 데이터 표준화, 인터페이스 개선, 글로벌 협력체제 구축 등과 같은 기술·정책적 노력을 필요로 하지만, 궁극적으로는 각종 위성에서 쏟아져 나오는 방대한 정보를 실시간으로 처리·분석하여 북한경제를 포함한 특정 지역의 상황 변화를 신속히 감지하고 추세를 예측하는 미래를 열어줄 것이다.

III. 인공지능 활용 기술

인공지능(AI)은 1950년대 초반 ‘생각하는 기계(thinking machine)’에 대한 학술적 호기심에서 출발하여, 20세기 중·후반에는 전문가 시스템(Expert Systems), 퍼셉트론(Perceptron) 모델 등 다양한 접근법을 시도하며 점진적으로 발전해 왔다(McCarthy *et al.*, 1955; Russell & Norvig, 2016). 하지만 당시의 컴퓨팅 파워와 알고리즘적 한계로 인해 인간 수준의 지능적인 처리는 요원한 목표로 여겨졌다. 2000년대 이후 대량의 디지털 데이터 축적, 컴퓨팅 자원 증대, 알고리즘 개선(특히 딥러닝 모델 개발) 등을 기반으로 AI는 비약적으로 발전하였으며, 이미지·음성 인식, 자연어 처리, 의사 결정 지원 등 다양한 분야에서 기존 방법론을 능가하는 성과를 거두고 있다(LeCun *et al.*, 2015; KISTEP, 2023).

앞에서 언급한 바와 같이, 인공지능(AI) 기술은 위성 정보와 결합함으로써 전례 없는 지구 공간 정보에 대한 정보 창출이 가능하다(Reichstein *et al.*, 2019; Yuan *et al.*, 2020; 그림 3 참조). 인공위성이 지구 궤도에서 촬영하는 고해상도 영상 및 다양한 스펙트럼 정보, 즉 데이터는 기후 변화 관측, 환경 자원 모니터링, 도시계획, 재난 대응 등 무궁무진한 활용 가능성을 내포한다. 과거에는 이러한 대용량 영상 데이터를 처리하는 데 상당한 시간과

[그림 3] 미국 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration: NASA)에서 진행중인 위성 자료와 딥러닝 융합을 통한 지구 관측 연구 수행 개념도



자료: NASA.

전문적 지식이 요구되었으나, 최근의 AI 기술은 대규모 데이터를 신속하고 정확하게 처리하고 패턴을 추론하는 데 탁월한 성능을 보인다. 이는 위성영상 데이터 처리의 자동화·고도화를 가능케 하여, 단순한 객체 인식(Object Detection)이나 분류(Classification)단계를 넘어, 이미지 내에서 복잡한 관계를 파악하고 미래 변화를 예측하는 수준에 이르렀다.

특히 접근이 엄격히 제한된 북한지역에 대한 연구에서, 인공지능 기술의 가치는 한층 높아진다. 전통적으로 북한 내 경제·환경 실태 파악은 현장 조사와 공식 통계 확보의 어려움으로 인해 파편적이고 부분적인 정보에 의존할 수밖에 없었다(홍석영 외 2015; 이원진, 2023; 김다울, 2023, Kim *et al.*, 2022). 그러나 위성·AI 융합기술은 다양한 북한경제 및 환경 지표를 정량적으로 파악하고, 이를 시·공간적으로 추적할 수 있도록 한다. 예를 들어 인공지능 기반 분석 모델은 위성영상 속 작물 생육 상태 변화나 수확 시기 추정을 통해 북한의 식량 생산 추이를 관찰할 수 있고(Jeong *et al.*, 2022; Kim *et al.*, 2021), 야간 불빛 정보(Night-time Light Data)나 산업시설 대기 가스 배출 패턴 인식 등을 통해 경제활동 양상을 포착할 수 있다(Lee *et al.*, 2024; Putri *et al.*, 2023).

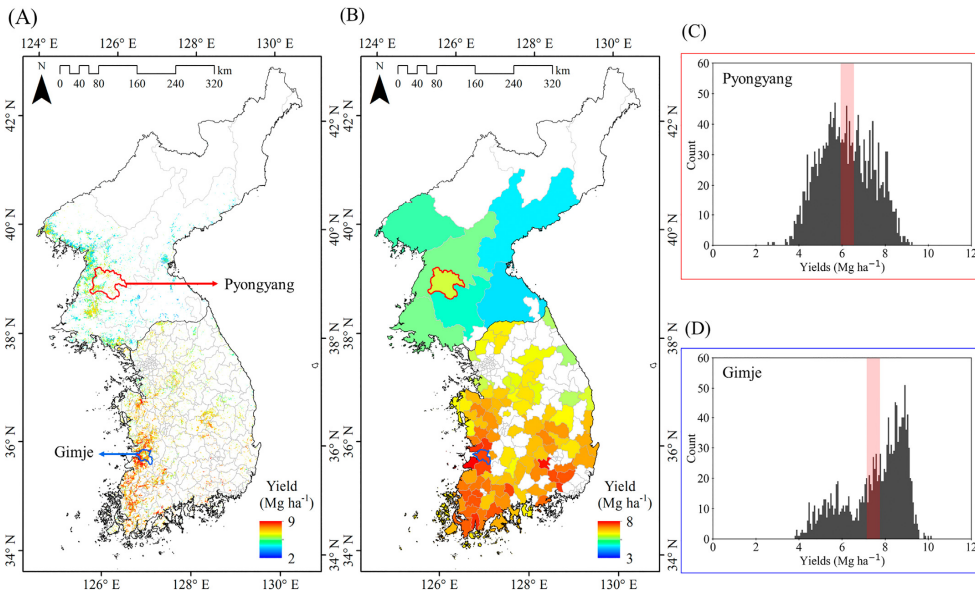
게다가 현재의 기술개발 수준을 고려하면, 인공위성과 AI 융합 기술의 진화는 더욱 가속화될 것으로 보인다. 기존 국가주도 고성능 위성뿐만 아니라, 민간을 포함하는 초소형 위성 군집체제의 확산 등으로 위성 데이터 공급이 급격히 증가하고 있으며, 최신의 딥러닝 모델 개발, 국제적 데이터 공유 플랫폼 구축 등으로 인해 AI 기술의 활용 폭은 더욱 넓어질 것이다. 이를 통해 위성과 AI의 융합이 단순한 기술적 시도에 그치지 않고, 북한경제 분석을 비롯한 다양한 분야에서 실제 의사결정 개선과 정책적 파급효과를 창출하는 ‘게임체인저(Game Changer)’로서 자리 잡을 수 있을 것이다.

IV. 인공위성과 인공지능을 이용한 북한 농업 작황 예측 사례

다음으로 현재까지 수행된 연구 중에서 인공위성과 AI, 즉 딥러닝의 융합을 통해 북한의 농업과 공간 정보를 산출한 구체적인 연구 사례를 소개하고자 한다(Jeong *et al.*, 2022; Park *et al.*, 2022). 먼저 Jeong *et al.*(2022)은 위성 자료와 딥러닝을 이용하여 북한지역에 대한 화소단위 벼 생산량 예측 방법론을 제시하여 작물 관리 및 과학적 이해를 향상시키는데

기여하였다. 남북한의 농업환경 특성을 고려한 작물모형과 딥러닝 모델을 결합하여 벼 수확 두 달 전(8월 말 기준 10월 예측) 북한지역의 500m 공간해상도의 작황 조기 예측 기술을 개발하였다. 해당 연구에서는 MODIS 위성 자료 기반 작물 모델에서 얻은 화소단위 참조 벼 생산량을 딥러닝 모델의 목표(참조)값으로 사용하고, LSTM(long-short term memory)와 Convolutional neural network(CNN) 구조를 포함한 여러 딥러닝 모델 중에서 최적의 모델을 결정했다. 결정된 딥러닝 모델은 기존 연구 결과와 비교하였을 때 상대적으로 높은 성능을 보였으며, 무엇보다 남북한의 벼 수확량의 특정 공간 패턴을 반영할 수 있었다. [그림 4]는 2017년 남북한 위성 이미지를 활용한 원격탐사-작물모형(remote sensing-integrated crop model: RSCM)과 딥러닝 모델 결합을 통한 벼 수확량 조기 예측 지도이다. 그림 4에서 남한과 북한의 벼 수확량의 명확한 공간적인 패턴을 보여주는데, 전반적으로 남한의 벼 생산량이 북한보다 더 높다. 또한 500m 공간해상도 규모를 가지는 벼 생산량 지도(그림 4 (a))는 북한의 각 행정단위 내에서 벼 생산량이 증가하거나 감소하는 패턴을 보다 구체적으로 분석이 가능하다. 다시 말해서 병충해, 홍수, 가뭄, 태풍 등과 같은 재난 재해 사항이 있다고

[그림 4] 2017년 남북한 위성 이미지를 활용한 RSCM과 딥러닝 모델 결합을 통한 벼 생산량 조기 예측 지도. (A) 픽셀단위 벼 생산량 지도. (B) 행정구역단위 벼 생산량 지도. (C), (D) (A)와 (B)에서 각각 남한(파란색 다각형)과 북한(빨간색 다각형)의 최고 벼 생산량 지역에 대한 픽셀단위(회색 막대) 및 행정구역단위(빨간색 막대) 생산량 히스토그램.



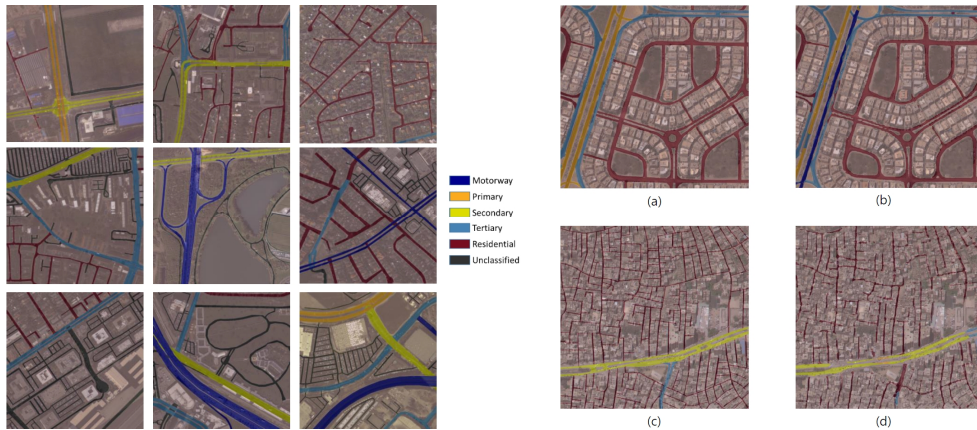
가정을 했을 때, 화소단위 베타 수확량 지도는 어떤 지점에서 어느 정도의 베타 생산량 감소가 발생하는지 직접적으로 분석이 가능하다. 반면에 기존 시군 행정구역단위의 베타 생산량 예측 결과는 각 행정구역의 대푯값만을 보여준다(그림 4 (B)). 따라서 시군단위 규모의 기존 예측 모델은 베타 생산량의 공간적 변화를 해석하는 데에 한계가 있다. 다시 말해서 시군단위 베타 생산량은 위성 영상정보의 중요한 이점을 갖지 못할 뿐만 아니라 각 시군지역 내의 베타 생산량의 공간적 변화에 덜 민감하다. 게다가 앞선 재난 재해 상황에서 시군단위 내에서 어떤 지역이 직접적인 피해가 발생하였는지 분석하기에는 기술적 한계가 존재한다.

추가적으로 그림 4 (C)는 북한 평강과 남한 김제 지역의 화소별 수확량의 히스토그램이다. 그림에서 보면 북한 평강지역의 경우에는 낮은 베타 생산량에 한 개의 품종을 유추 할 수 있는데, 남한의 경우에는 히스토그램의 최고점이 두 지점으로 두 개의 품종이 재배되는 것까지 추정할 수 있다(Jeong et al., 2022).

끝으로 소개하고자 하는 내용은 2024년 12월 “Finetuning multimodal model for enhanced satellite image understanding” AGU 24 최신 논문이다. 본 논문은 대규모 멀티모달 모델(예: Bootstrapping Language-Image Pre-training [BLIP-2], Large Language and Vision Assistant [LiLaVal])과 위성영상 데이터를 결합하여 위성이미지 이해 능력을 강화하는 연구이다. 이는 단순히 이미지를 분류하거나 특정 객체를 검출하는 단계(이훈희·오한, 2022; 이승재·오한, 2021)를 넘어, 위성영상 속 상황을 종합적으로 해석하고 추론하는 능력을 갖추도록 하는 것을 목표로 한다. 예를 들어 특정 위성영상을 보고 물류센터나 농지, 공장 등의 존재 여부를 파악하고 (그림 5 참조), 이를 바탕으로 특정 지역의 경제적 특징이나 산업 관련 정보를 텍스트 형태로 도출할 수 있다. 이를 위해 Oh *et al.*(2024)은 대규모 언어 모델(Large Language Model: LLM)을 활용해 위성영상에 대한 문답 데이터셋을 구성하고, 사전 학습 및 파인튜닝을 통해 모델이 다양한 질문에 대답하도록 만들었다. 그 결과 AI 모델은 단순한 위치나 객체 검출을 넘어, 복잡한 질문에 대한 해석 및 추론을 제공할 수 있으며, 이로써 위성영상 분석 과정에서 사람에게 더 직관적이고 해석 가능한 정보를 제공함으로써 경제적, 산업적 특성 추정 등의 분야에 유용하게 적용될 수 있음을 시사하고 있다.

더 나아가 이러한 인공위성, 딥러닝 그리고 멀티모달 모델 융합은 기존에 사람이 직접 위성영상을 분석해 도출하던 다양한 부가 산출물에 대한 해석방식을 근본적으로 변화시킬 가능성이 있다. 위성영상에서 추출되는 각종 스펙트럼 지표나 지형·지물 분류 결과 등을 이제는 모델이 준실시간(near real-time)에 해석할 수 있게 되면, 향후 활용분야에서는

[그림 5] 다목적실용위성 광학영상을 활용한 AI 학습용 도로 검출 데이터셋 샘플(이훈희 · 오한, 2022). 왼쪽 그림은 각 도로에 대한 Label 자료이며, 오른쪽은 Label 자료와 딥러닝 모델을 이용하여 추정한 도로 검출 사례



보다 즉각적이고 종합적인 정보 획득이 가능해진다. 이는 단순한 시각적 정보 해독을 넘어, 위성으로 관측되는 현상을 텍스트로 서술하거나 맥락 정보를 결합해 산업·경제적 추세까지 유추할 수 있다는 점에서 매우 중요한 의미가 있다.

특히 북한경제 연구분야에서도 이러한 최신 기술의 적용을 고려해볼 수 있다. 기존에 위성영상 기반 북한경제 분석은 특정 지표(예: 야간조도, 농지 면적, 건축물 개발 현황 등)를 인위적으로 추적하고 이를 해석하는 데 많은 시간과 인력이 투입되었다. 하지만 인공위성과 멀티모달 모델 융합 기술이 적용되면 다양한 위성영상과 부가 산출물을 결합해 변화 양상을 바로 인지하고, 이를 바탕으로 유의미한 추론까지 도출하는 것이 가능해진다. 예를 들어 위성영상에서 나타나는 공장 가동 여부, 항구의 물류 흐름, 농지 관리 상태 등을 즉각적으로 파악함으로써 북한 내 특정 지역의 경제 상황이나 산업활동 추이를 실시간에 가깝게 모니터링할 수 있을 것으로 예상된다.

이는 북한의 경제 동향을 보다 신속하게 이해하고 예측하는 데 활용될 수 있으며, 향후 국제사회가 관심을 갖는 식량 수급 문제나 무역 패턴 파악에도 도움이 될 것이다. 나아가 인문·사회과학적 연구와 결합해, 북한 주민들의 생활수준이나 지역 간 경제 격차 등과 같은 좀 더 폭넓은 주제에 관한 연구를 수행하는 데도 기여할 수 있다.

IV. 맺음말

본 연구를 통해 인공위성 기술 발전과 인공지능 기반 분석 기법의 융합이 북한과 같은 비접근지역 경제 동향 파악을 위한 새로운 패러다임을 제시하고 있음을 확인하였다. 이는 단순히 데이터 획득의 난제를 극복하는 수준을 넘어, 과거에는 제한적이거나 불가능했던 다양한 형태의 공간 정보를 생산하고 활용하는 방향으로 기술 트렌드가 변화하고 있음을 시사한다. 특히 뉴스페이스 시대를 맞아 상업용 위성의 성능이 급속히 향상되고 있으며, 이를 뒷받침하는 AI 분석 기법의 지속적 고도화는 데이터 신뢰성과 활용도, 분석 속도 및 다양성 측면에서 새로운 가치 창출을 가능하게 하고 있다.

그러나 이러한 기술 동향은 여전히 데이터 정확성, 알고리즘 신뢰성, 지역 특수성으로 인한 불확실성 등 극복해야 할 과제를 내포하고 있다. 앞으로는 보다 다원화된 센서 데이터(광학, SAR, 열적 관측 등)의 융합, 장기적 추세 분석 기법의 개선, 그리고 딥러닝학습 모델에 대한 성능 검증과 지속적 튜닝을 통해 기술 신뢰도를 제고하는 노력이 필요하다. 이를 통해 북한과 같은 비접근지역의 경제·사회 현황 추정뿐 아니라, 전 세계 다양한 지역 및 산업분야로의 응용 확대가 기대되며, 궁극적으로는 신속하고 정확한 정보에 기반한 국제사회 및 정책 결정자들의 전략적 의사 결정 지원에 크게 기여할 것으로 전망된다.

참고문헌

- 김다울, 「야간조도를 활용한 북한경제 연구」, 『KDI 북한경제리뷰』, 2023년 6월호, 한국개발연구원, 2023.
- 이승재·오한, 「위성 SAR 영상 기반 수계 검출 데이터셋」, 2021.
- 이원진, 「환경위성 자료를 이용한 북한 경제 분석 가능성 연구: 위성 관측 이산화질소 농도와 북한 GDP 상관관계 분석」, 『KDI 북한경제리뷰』, 2023년 6월호, 한국개발연구원, 2023.
- 이한림, 「환경위성을 활용한 북한 경제 지표 추정 가능성 연구」, 비공개 발표자료, 2023.
- 이훈희·오한, 「다목적실용위성 광학영상을 활용한 AI 학습용 도로 검출 데이터셋」, GEO DATA, 2022;4(1):43-48, 2022.
- 한국과학기술기획평가원, 『미래기술전망 2030: 인공지능 분야 보고서』, 2023.
- Hong, S.-Y., Rim, S.-K., Lee, S.-H., Lee, J.-C., and Kim, Y.-H., “Spatial Analysis of Agro-Environment of North Korea Using Remote Sensing I. Landcover Classification from Landsat TM imagery and Topography Analysis in North Korea,” *Korean Journal of Environmental Agriculture*, The Korean Society of Environmental Agriculture, 2008.
- Jeong, S., Ko, J., and Yeom, J.M., “Predicting rice yield at pixel scale through synthetic use of crop and deep learning models with satellite data in South and North Korea,” *Science of The Total Environment*, 2022.
- Jeong, S., Ko, J., Ban, J., Shin, T., and Yeom, J. M., “Deep learning-enhanced remote sensing-integrated crop modeling for rice yield prediction,” *Ecological Informatics*, 2024.
- Kim, J., Lim, C.-H., Jo, H.-W., and Lee, W.-K., “Phenological classification using deep learning and the Sentinel-2 satellite to identify priority afforestation sites in North Korea,” *Remote Sensing*, 13, 2021.
- Kim, K., “The North Korean economy seen by satellite: Estimates of national performance, regional gaps based on nighttime light,” *Journal of Asian Economics*, 2022.
- LeCun, Y., Bengio, Y., and Hinton, G., “Deep learning,” *Nature*, 521(7553), 2015.
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., and Shannon, C. E., “A proposal for the

- Dartmouth summer research project on artificial intelligence,” August 31, 1955;
AI Magazine, 27(4), 2006.
- Oh, H., Shin, D., and Lee, S. G., “Finetuning multimodal model for enhanced satellite image understanding,” AGU24, 2024.
- Park, S., Lee, J., Yeom, J. M., Seo, E., and Im, I., “Performance of drought indices in assessing rice yield in North Korea and South Korea under the different agricultural systems,” *Remote Sensing*, 14, 2022.
- Putri, S. R., Wijayanto, A. W., and Pramana, S., “Multi-source satellite imagery and point of interest data for poverty mapping in East Java, Indonesia: Machine learning and deep learning approaches,” *Society & Environment*, 29, 2023.
- Reichstein, M., Camps-Valls, G., Stevens, B., Jung, M., Denzler, J., and Carvalhais, N., “Deep learning and process understanding for data driven Earth system science,” *Nature*, 566, 2019.
- Russell, S., and Norvig, P., *Artificial intelligence: A modern approach*, Pearson Education Limited, 2016.
- Yang, A. R., Kim, K. M., Lim, J. B., and Kim, E. H., “Analysis of North Korea’s forest change using satellite imagery,” *North Korea’s Main Statistical Indicators*, 25, 2020.
- Yeom, J. M., Jeong, S., Jeong, G., Ng, C. T., Deo, R. C., and Ko, J., “Monitoring paddy productivity in North Korea employing geostationary satellite images integrated with GRAMI-rice model,” *Scientific Reports*, 8, 2018.
- Yuan, Q., Li, J., and Zhang, Y., “Deep learning in environmental remote sensing: Achievements and challenges,” *Remote Sensing of Environment*, 241, 2020.

〈웹사이트〉

- European Space Agency(https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2022/03/Destination_Earth, 접속일: 2024. 12. 20).
- NASA(<https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/from-orbit-to-a-i-harnessing-machine-learning-with-landsat-data/>, 접속일: 2024. 12. 20).