원격탐사를 활용한 북한의 사회·경제 분석과 정책적 전망

이창욱 | 강원대학교 과학교육학부 교수 | cwlee@kangwon.ac.kr

Ⅰ. 머리말

대한민국은 6.25 전쟁 이후 약 70년 동안 기적적인 경제성장을 이루며 세계적으로 인정받는 선진국 반열에 올랐다. 그러나 이러한 발전의 이면에는 가깝고도 먼 이웃, 북한에 대한 관심이 점차 희미해지는 현실이 자리 잡고 있다. 북한은 우리뿐만 아니라 국제사회에서도 '핵보유국'이라는 상징적인 이미지로만 각인되어 있을 뿐, 내부 실상은 여전히 철저한 베일 속에 감춰져 있다.

북한 내부에 대한 정보 부족이라는 한계를 극복하기 위해, 최근 급속도로 발전하고 있는 인공위성 영상을 이용한 원격탐사 기술이 주목받고 있다. 인공위성 영상의 급격한 발전은 과거에 비해 훨씬 더 구체적이고 뚜렷한 정보를 제공하며, 북한의 사회, 경제, 환경 등 다양한 방면의 변화를 감지하고 분석하는 데 중요한 도구로 자리 잡고 있다(Jin 및 Lee, 2022; Ahn 외, 2023).

특히 광학 영상은 지표의 피복 분류를 통해 자연환경과 토지 이용의 변화를 분석하는 데 유용하며, 기상 변화와 이에 따른 자연재해의 영향을 평가하는 데도 필수적이다(Portalés-Julià 외, 2023; Ba 외, 2024). 열밴드 영상은 기후 변화로 인해 나타나는 도심지 팽창, 산업화 수준, 그리고 지역 간 경제 격차를 유추하는 데 기초자료를 제공한다(Hokao 외, 2012; Iamtrakul 외, 2024). 또한 레이더 위성영상은 자연재해로 인한 지표 변위나 구조적 변화 등을 감시할 수 있으며, 특히 날씨와 시간에 구애받지 않고 관측이 가능해 야간이나 악천후 속에서도 북한의 활동을 효과적으로 모니터링할 수 있는 강점이 있다(Parker 외, 2021).

이처럼 원격탐사는 기존의 지리적, 정치적 제약을 넘어선 새로운 관점에서 북한을 관찰할 수 있게 한다. 예컨대 위성영상은 북한의 농업 생산량 변화를 추적해 식량 상황을 간접적으로 평가하거나, 공장이나 주요 건축물의 변화를 통해 산업활동의 규모를 가늠하는 데 활용될 수 있다(Center for Strategic and International Studies, 2021). 더 나아가 주요 국경 지역에서의 군사활동이나 무기 시험 흔적을 탐지하는 등 안보 차원의 감시에서도 핵심 역할을 하고 있다.

원격탐사 기술의 큰 장점 중 하나는 넓은 지역을 적은 비용으로, 효율적으로 감시하고 관측할 수 있다는 점이다. 특히 위성 자료는 물리적 접근이 제한된 북한과 같은 지역의 감시와 분석에서 그 효과가 극대화된다. 이러한 기술은 향후 더욱 정교하고 다양하게 발전하여, 우리가 북한을 이해하고 대응하는 데 중요한 정보를 제공할 것으로 기대된다.

따라서 본고에서는 원격탐사 기술을 활용하여 베일에 가려져 있는 북한의 사회, 경제 그리고 환경 등 다양한 분야의 발전 상황을 다각적으로 살펴보고 원격탐사 기술의 기술적 발전을 바탕으로 북한을 보다 면밀히 관찰하여 한반도의 안정과 평화에 기여할 방법을 모색하고자 한다. 또한 우리와 국제사회가 북한의 상황을 정확히 파악하여 더 나은 결정을 내릴 수 있도록 객관적인 분석을 하고자 한다.

II. 야간조도 위성으로 읽는 한반도의 현실

1. 야간조도 위성이란?

야간조도 위성은 지구 표면에서 밤에 발생하는 빛을 관측하는 인공위성이다. 이 빛은 주로 도시의 조명, 자동차 헤드라이트, 어선의 등불, 화재 등 인공적인 빛과 함께 달빛이나 오로라 같은 자연현상의 빛도 반사되어 관측된다. 대표적인 위성으로는 DMSP(Defense Meteorological Satellite Program)위성과 Suomi NPP(National Polar-orbiting Partnership) 위성이 있다. 이들 위성은 야간에 관측된 자료를 바탕으로 도시화 연구, 경제 활동, 재난 모니터링, 환경 연구 등 다양한 용도로 활용된다. DMSP와 Suomi NPP위성의 특징은 〈표 1〉과 같다(Miller 외, 2013; Jing 외, 2015; Ou 외, 2015).

〈표 1〉 DMSP 위성과 Suomi NPP 위성의 특징

위성 종류	DMSP (OLS)	Suomi NPP (VIIRS)
운영 시작 시기	1970년대	2011년
주요 센서	OLS (Operational Linescan System)	VIIRS (Visible infrared imaging Radiometer Suite)
공간 해상도	- Fine Mode: 0.56 km - Smooth Mode: 2.7 km	- DNB(Day/Night Band): 750m - I-band: 375 m
야간조도 감지 능력	약한 빛 감지 가능하나 포화(blooming) 현상이 있음	약한 빛 감지에 뛰어나며 포화 현상이 거의 없음
적용 대상	도시 불빛, 대규모 야간활동 감지	도시 불빛, 어선, 산불, 오로라 등 세밀한 관측
스캔 범위	약 3000 km	약 3,000km
주요 단점	포화 현상과 낮은 해상도로 세부 분석에 제한적	높은 자료량으로 인한 처리 및 저장 부담
자료 배포	NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)	NASA와 NOAA의 공동 데이터 제공

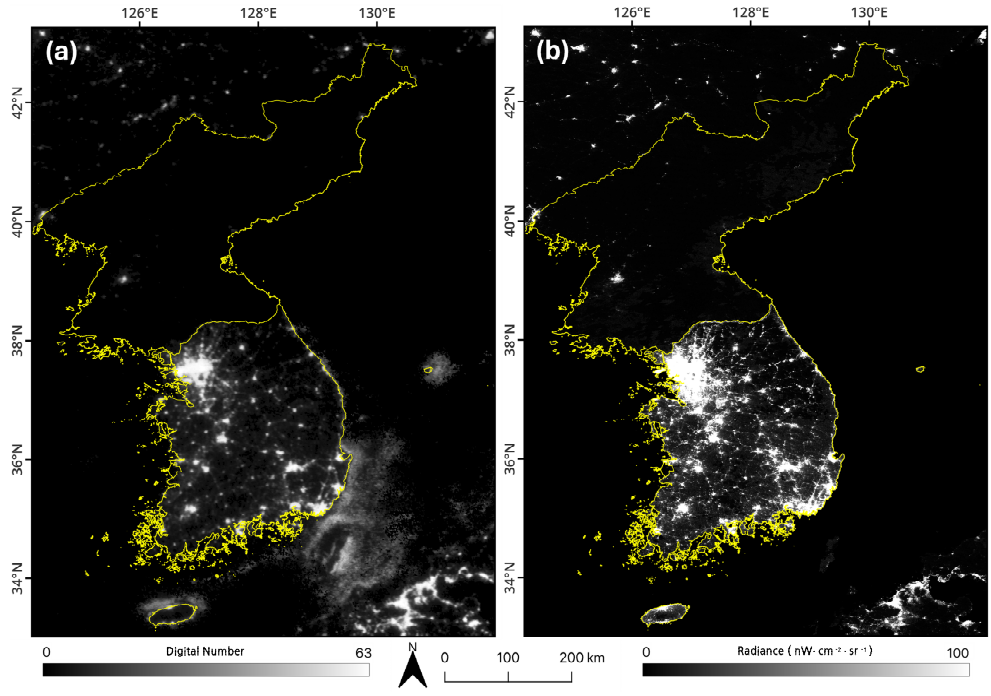
2. 야간조도 위성에서 본 한반도의 변화

DMSP 위성은 1년간 수집한 야간 영상 자료를 평균하여 단일 합성 이미지를 생성한다. 그러나 위성에 탑재된 센서의 기술적 한계로 인해 특정 밝기 임곗값을 초과하는 지역에서 광포화 현상이 발생한다. 이로 인해 도시의 중심부처럼 높은 조명 강도를 가진 지역들은 모두 동일한 최대 밝기 값으로 기록되어 실제 밝기 차이를 구분하는데 어려움이 있다(Cao 외, 2019). 또한 해상도가 2.7km로 낮아 세부적인 관찰에 제약이 있다. 반면, Suomi NPP 위성은 해상도가 750m로 크게 향상되었으며, 밝은 지역에서 빛의 포화를 줄이는 동시에 어두운 지역의 빛도 세밀히 관찰할 수 있는 특징을 지니고 있다.

[그림 1]의 (a)는 DMSP 야간조도 위성이 1992년에 촬영한 영상이며, [그림 1]의 (b)는 Suomi NPP 야간조도 위성이 2024년 12월 1일에 촬영한 영상이다. 이 두 영상은 남한과 북한이 분단 이후 걸어온 서로 다른 경제 및 사회 발전의 방향성을 한눈에 보여주는 중요한 자료다. [그림 1]의 (a)와 (b)를 비교하면, 지난 32년 동안 남한은 대도시뿐만 아니라 중소도시에 걸쳐 도시의 전반적인 발전과 확장을 이루었다. 이에 반해, 북한은 평양을 중심으로만 발전이 이루어졌고, 그 외 지역은 남한의 소도시보다도 열악한 상황임을 명확히 보여준다. 이는 북한의 지역 불균형과 경제적 어려움을 직관적으로 나타내는 단서를 제공한다.

야간조도 위성을 통해 우리는 한반도의 경제적, 사회적 격차를 시각적으로 파악할 수 있다. 이는 단순한 자료 이상으로, 북한의 현재 상황을 이해하고 미래를 전망하는 데 중요한 역할을 한다.

[그림 1] (a) 1992년 DMSP 위성의 한반도 야간조도 영상(NOAA), (b) 2024년 12월 1일 Suomi NPP 위성의 한반도 야간조도 영상(NASA)



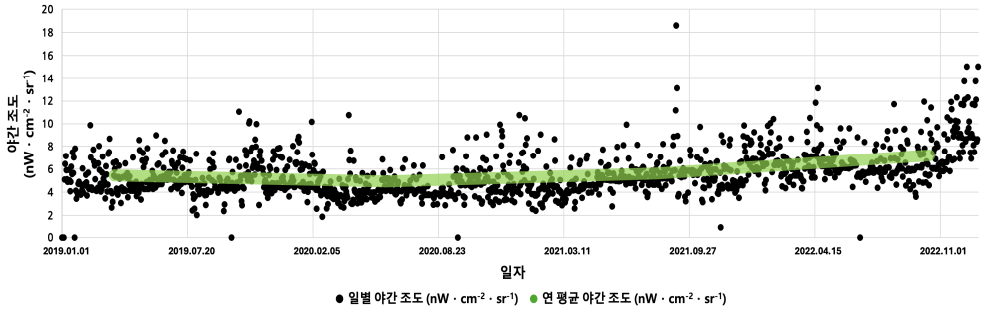
Ⅲ. 야간조도 위성을 활용한 평양직할시의 도시 개발 분석

1. 평양직할시의 야간조도 자료 관측

야간조도 위성은 도시 변화 감지에 유용한 도구로 시간에 따른 도시의 성장과 도심지 팽창, 혹은 쇠퇴를 관측하는 데 매우 효율적이다. 북한처럼 폐쇄적이고 접근이 어려운 지역에서는 이러한 자료가 특히 중요하다. 평양직할시의 도심지 변화 분포를 관측하기 위해 Suomi NPP 야간조도 위성 자료를 이용하였다.

관측 기간은 2019년 1월 1일부터 2022년 12월 31일까지이며, 평양직할시의 영역을 선별하여 면적 기반의 야간조도 자료를 산출하였다. 일별 자료를 평균하여 연평균 야간조도 자료를

[그림 2] 2019~22년간 일별 및 연 평균 야간조도 결과



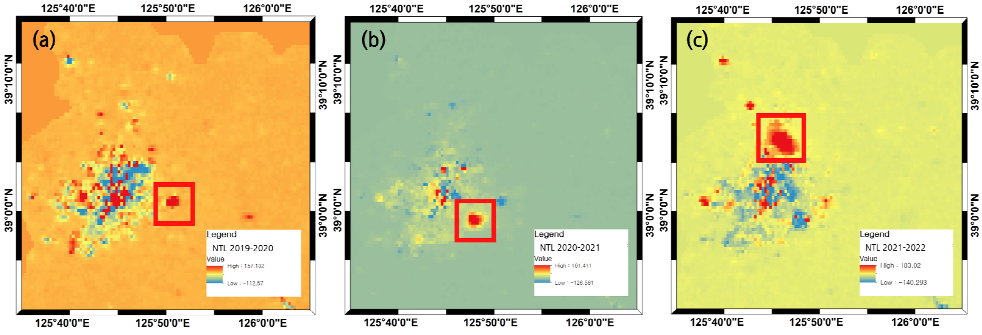
도출하였으며, 이를 바탕으로 연간 야간조도 변화 추이를 분석하였다. 또한 야간조도 변화 추이가 높은 지역을 중심으로 광학 영상을 통해 야간조도 자료의 결과와 비교 분석을 진행하였다.

[그림 2]는 연구 기간 모든 일별 야간조도 자료를 그래프로 나타낸 것이다. 일별 야간조도 값을 살펴보면 대체로 일정한 수준을 유지하나 주기적으로 약간의 변화 폭이 관찰된다. 특히 2021년 9월 6일과 같이 조도 값의 변동 폭이 크게 나타나는 시점은 기상 조건 등 외부 요인에 의한 오차로 판단된다. 연평균 자료를 보면 평양직할시의 야간조도는 전반적으로 상승하는 추세를 보였다. 하지만 2020년에는 코로나19 상황의 여파로 인해 연평균 야간조도가 전년도 대비 소폭 감소하는 경향이 확인되었다.

2. 야간조도 자료를 통한 특이 지역 분석

[그림 3]은 2019년부터 2021년 사이 평양직할시의 연평균 야간조도 변화를 나타낸 것이다. 2019~20년 자료를 처리한 [그림 3]의 (a)에서는 평양직할시 중심부 동쪽 지역에서 연평균 야간조도 값의 큰 변화가 확인된다. 이 지역은 미림승마구락부 북동쪽에 새로운 경기장 시설이 건설된 것으로 나타났다. 2020~21년의 자료 처리 결과인 [그림 3]의 (b)에서는 평양직할시의 중심부 남동쪽 지역에서 연평균 야간조도 변화가 관찰되었으며, 이는 새살림거리 일대의 대규모 건설활동에 기인한 것으로 분석된다. 마지막으로 2021~22년 자료 결과인 [그림 3]의 (c)에서는 평양 – 희천 고속도로 주변 지역에서 새로운 건축물 조성이 확인되었다. 이는 해당 지역의 도시 개발로 인한 야간조도 변화로 판단된다.

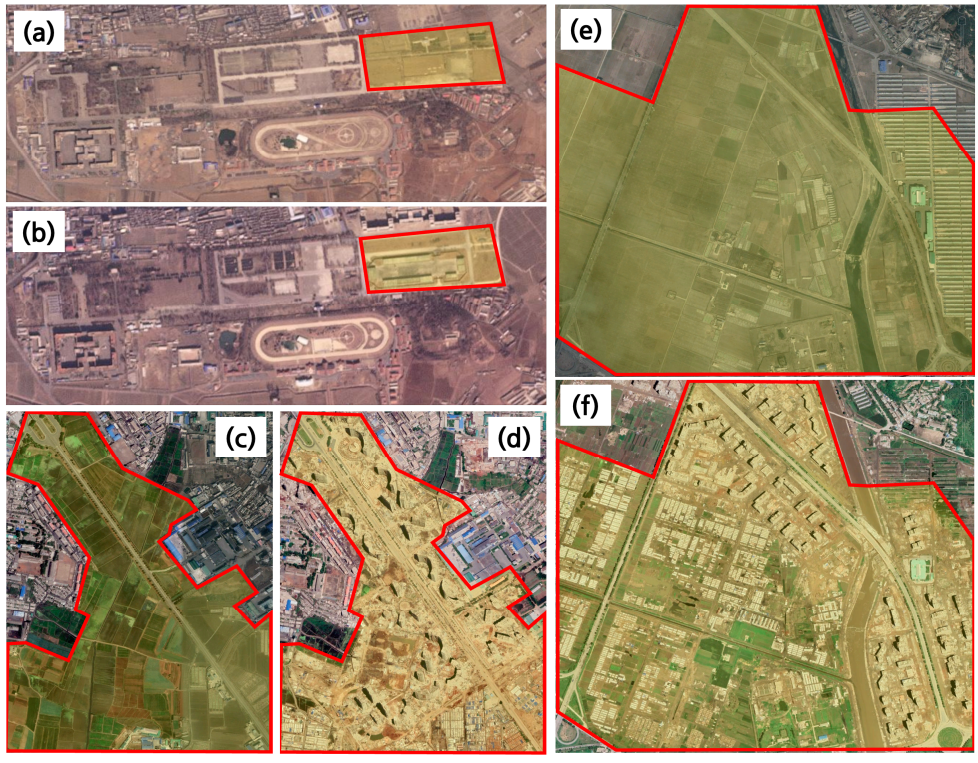
[그림 3] 평양직할시의 연간 야간조도 변화 자료 (a) 2019~20년 야간조도 변화 지도, (b) 2020~21년 야간조도 변화 지도, (c) 2021~22년 야간조도 변화 지도



[그림 4]는 [그림 3]에서 야간조도가 크게 변화한 지역의 광학 영상을 나타낸 것이다. [그림 4]의 (a), (b)는 미림승마구락부 지역으로 [그림 4]의 (b)를 통해 2020년 동북부에 새로운 시설이 건설된 것을 확인할 수 있다. 새살림거리 일대는 [그림 4]의 (c), (d)에서 2020년까지 논밭으로 유지되다가 2021년부터 대규모 공사가 진행된 것을 확인할 수 있다. 마찬가지로 [그림 4]의 (e), (f)의 평양 – 희천 고속도로 북쪽 지역은 2022년에 여러 건물이 새로 조성된 것이 관찰되었다. Suomi NPP 야간조도 위성을 활용한 연구 결과, 평양직할시의 연평균 야간조도는 전반적으로 상승하는 추세를 보였으며 특정 지역에서 뚜렷한 야간조도 증가가 관찰되었다.

이를 통해 평양직할시의 주요 인프라 확충 상황과 도시 확장을 파악할 수 있었다. 앞으로 북한 전역의 야간조도 자료를 분석하고, 이를 통해 북한의 특이 동향과 사회경제적 변화를 모니터링하는 데 중요한 참고 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

[그림 4] Superdove 위성 및 Google Earth를 이용한 북한의 광학 영상 비교, Superdove 위성에 나타난 (a) 미림승마구락부(경기장 건설 전, 2019년 4월 24일), (b) 미림승마구락부(경기장 건설 후, 2020년 11월 23일). Google Earth 에 나타난 (c) 새살림거리 일대(개발 전, 2020년 6월), (d) 새살림거리 일대(개발 후, 2021년 6월), (e) 평양-희천 고속도로 북쪽(개발 전, 2021년 1월), (f) 2022년 평양-희천 고속도로 북쪽(개발 후, 2022년 7월)



Ⅳ. 야간조도 자료를 활용한 북한의 전력 생산 연구

1. 북한의 연간 발전 전력량과 야간조도 자료의 상관관계

야간조도 위성 자료는 북한의 전력 생산과 소비 현황을 파악하여 경제 상황과 발전 수준을 평가하는 데 중요한 도구로 활용된다. 특히 Suomi NPP 위성의 VIIRS DNB(Day-Night Band) 센서를 통해 관측된 야간조도 자료는 북한의 연간 발전량 자료와의 상관관계를 분석하는 데

〈표 2〉 북한의 연간 발전 전력량

연도	총합		수력발전		화력발전	
	총발전량 (GWh)	비율 (%)	총발전량 (GWh)	비율 (%)	총발전량 (GWh)	비율 (%)
2020	23,940	100	12,780	53.4	11,160	46.6
2021	25,500	100	16,100	63.1	9,400	36.9
2022	26,400	100	16,600	62.9	9,800	37.1

유용하다. 전력 생산량은 북한의 공식 통계자료를 활용해 산정하고, 야간조도 값으로 소비량을 간접적으로 추정하여 정량적 비교가 가능하다.

2020년 1월 1일부터 2022년 12월 31일까지 총 1,075개의 Suomi NPP 위성 영상을 사용하였으며, 전력 생산량은 북한의 국가통계포털에서 제공하는 연간 발전 전력량 통계(표 2 참조)를 참고하였다(통계청). 야간 조도 자료와 발전량 자료의 연간 추세를 비교하여 두 자료 간의 상관관계를 분석하였다.

2. 야간조도 자료를 활용한 발전 전력량 세분화 분석

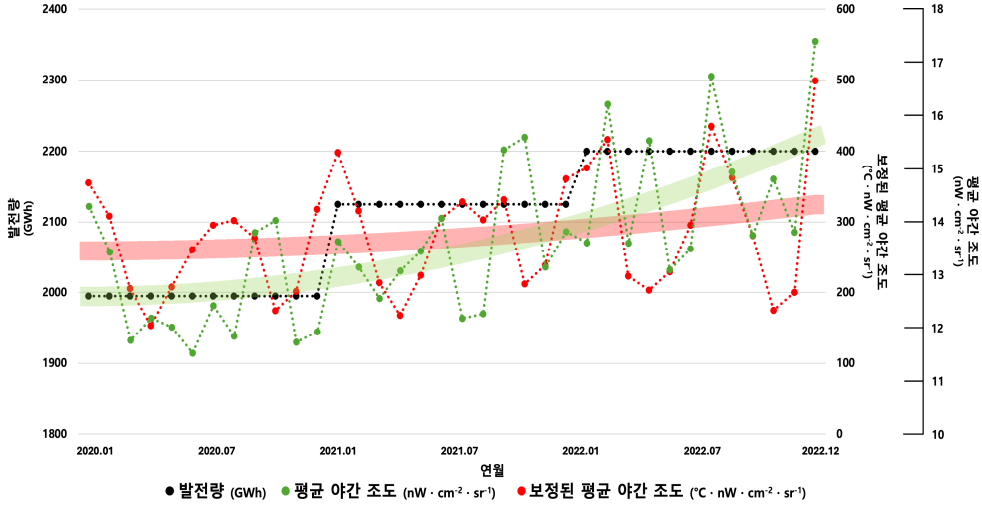
야간조도 자료는 평양직할시의 화소 값을 추출하여 산출한 평균 야간광 값을 사용하였다. 또한 야간조도 자료가 계절별 발전량 변화를 정확히 반영하지 못하는 문제를 해결하기 위해 월 평균 기온 자료(기상청)를 활용해 기온 가중치를 적용하였다(김봉찬 외, 2024).

[그림 5]는 북한의 연간 발전량 자료와 Suomi NPP 위성의 야간조도 자료를 기반으로 보정된 야간조도 값을 비교한 그래프이다. 그래프에서 검은색 점선은 북한의 월평균 발전량(연간 발전량을 12로 나누어 계산), 초록색 점선은 평양의 평균 야간조도 값(일간 야간광의 월간 평균값 계산)을, 붉은색 점선은 기온 가중치를 반영한 보정된 야간조도 값을 나타낸다. 평양의 야간조도 값은 월별 변동성을 보이면서도 전반적으로 증가하는 추세를 나타냈다.

이 결과는 월간 발전량 자료가 제공되지 않는 북한지역에서 야간조도 자료만으로 월간 발전량 추이를 추정할 수 있음을 보여준다. 이를 통해 발전량 대비 소비량을 간접적으로 파악할 수 있다. 앞으로 북한 전역의 야간조도 자료를 분석하고, 이를 연간 전력 생산량과 비교하면 더욱 세부적이고 정교한 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

Suomi NPP 위성을 활용한 야간조도 자료는 북한의 전력 생산과 소비를 정량적으로 분석할 수 있는 잠재력을 보여준다. 본 연구는 평양지역을 중심으로 진행되었으나, 향후 북한 전역으로

[그림 5] 북한의 연간 발전량과 야간조도 자료 비교



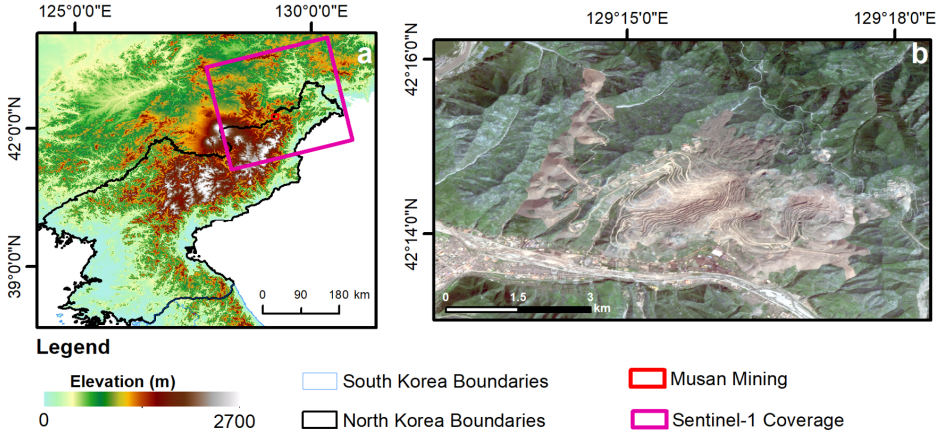
범위를 확대하여 전력 생산 및 소비의 지역적 불균형과 변화를 상세히 모니터링할 수 있을 것이다. 이는 북한의 경제적 및 사회적 동향을 이해하고 국제적 대응을 준비하는 데 중요한 참고 자료로 활용될 것이다.

Ⅴ. 위성 레이더(SAR)를 활용한 북한 무산 광산의 채광량 관측

1. 무산 광산의 인공지능 시계열 위성 레이더 영상 분석

북한 함경북도 무산군에 위치한 무산 광산(그림 6 참조)은 한반도에서 가장 큰 철광석 매장지 중 하나로, 매장량은 약 20억톤 이상으로 추정된다. 이 광산은 1970년대 이후 북한의 철강 산업을 뒷받침하며 국가 경제의 핵심 자원 공급지 역할을 해왔다. 무산 광산은 갱내 채굴과 노천 광산(Open-pit mining)을 병행하며, 대규모로 땅을 파내는 계단식 구조로 철광석을 효율적으로 채굴하고 있다(한국광물자원공사; 한국지질자원연구원, 2023).

[그림 6] (좌) SAR 위성영상의 영역, (우) Superdove 위성 영상을 통해 획득한 무산 광산 광학 영상(2022년 9월 10일)



이러한 무산 광산의 채광 상태와 채광량 변화를 관측하기 위해 인공지능을 활용한 시계열 SAR(Synthetic Aperture Radar) 분석을 수행하였다(Fadhillah 외, 2024). SAR 기술은 전자기파(마이크로파)를 이용하여 날씨나 시간에 상관없이 지표면의 변화를 관측할 수 있어, 자연재해와 인프라 변화 모니터링에도 유용하다. 시계열 SAR 분석은 지표의 시간적 변화를 추적하고 채광으로 인한 지형 변화를 정확히 분석하는 데 강점이 있다.

2. 인공지능 영상 분석을 통한 무산 광산의 철광석 채광량 산출

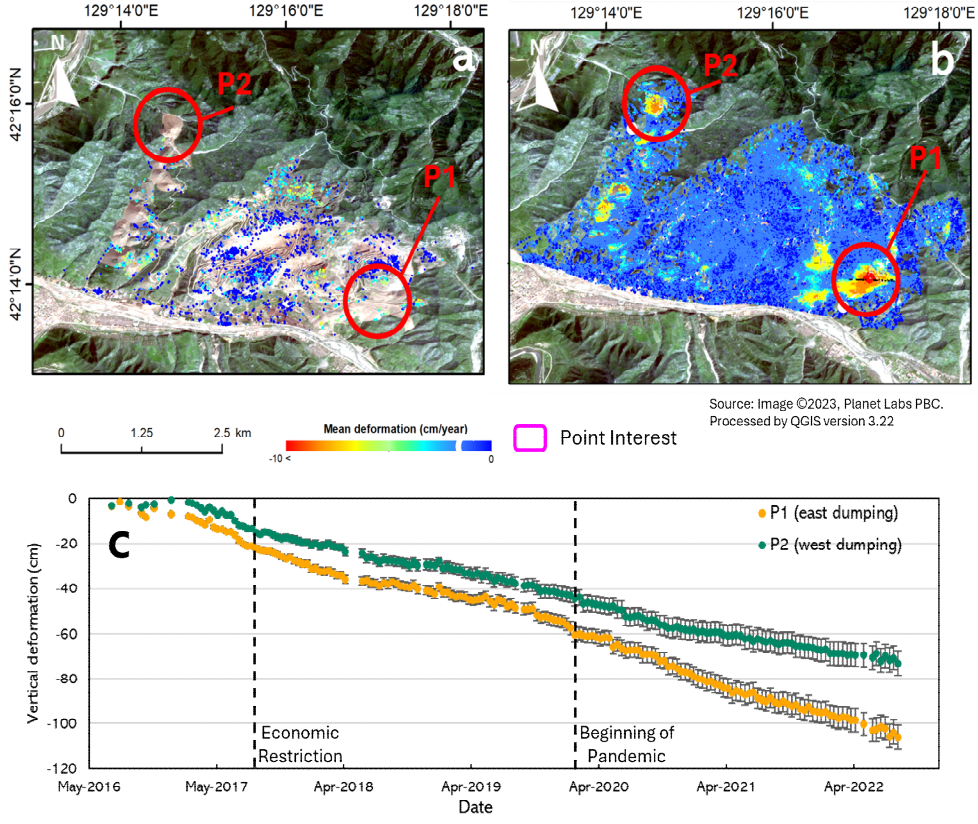
Sentinel-1 SAR C-밴드 위성 자료를 활용하여 2016년부터 2022년까지 무산 광산 지역의 자료를 수집하였다. 수집된 152장의 위성영상 자료는 딥러닝 알고리즘(Convolutional Neural Network: CNN)을 통해 대기현상, 궤도 오차 등 다양한 노이즈를 보정한 후, 시계열 지표 변위 관측 결과를 생성하였다. 〈표 3〉은 Sentinel-1 위성영상에 대한 간략한 특징을 나타낸 것이다(ESA; Raspini 외, 2018).

[그림 7]의 (a)는 인공지능 기법을 사용하지 않은 연평균 지표 변위도이며, (b)는 CNN 기법으로 최적화된 연평균 지표 변위도를 보여준다. 분석 결과, 지표 변위가 가장 심한 지역(P1)에서는 연간 최대 약 20cm, 총 170cm 이상의 지반침하가 관측되었다. P2 지점에서는 70cm의 지표 변위가 확인되었다. P1과 P2의 결과는 채광된 광물 중 폐석의 적치로 인한 하중 증가가 원인으로 분석되었다.

〈표 3〉 Sentinel-1 위성영상의 특징

위성 종류	Sentinel-1A, Sentinel-1B
운영 시작일	Sentinel-1A: 2014년 4월 Sentinel-1B: 2016년 4월
공간 해상도	약 5m x 20m(Ground Range)
영상폭(Swath Wdith)	약 250km
반복 주기	약 6일(Sentinel-1A과 1B 결합 시)
활용분야	- 재해 모니터링: 홍수, 지진 화산, 산사태 등 - 지형분석: 지표 침하, 지진 후 변위 측정 - 환경 모니터링: 삼림, 해빙 해양 오염 등
장점	- 전천후 관측: 구름, 강수, 낮/밤에 관계없이 데이터 수집 가능 - 정확한 시간 분석: 시계열 데이터 확보 용이
자료 접근방법	Copernicus Open Access Hub(무료 제공)

[그림 7] 시계열 지표변위 관측 기법을 통해 산출한 무산 광산 지역의 지표 변위도 (a) 인공지능 기법 적용 전 무산 광산 지역의 지표 변위도, (b) 인공지능 기법(CNN)으로 최적화된 무산 광산 지역의 지표 변위도, (c) P1과 P2 지점의 지표 변위 그래프



〈표 4〉 무산 광산의 채광량 산출을 위해 사용된 DEM 정보

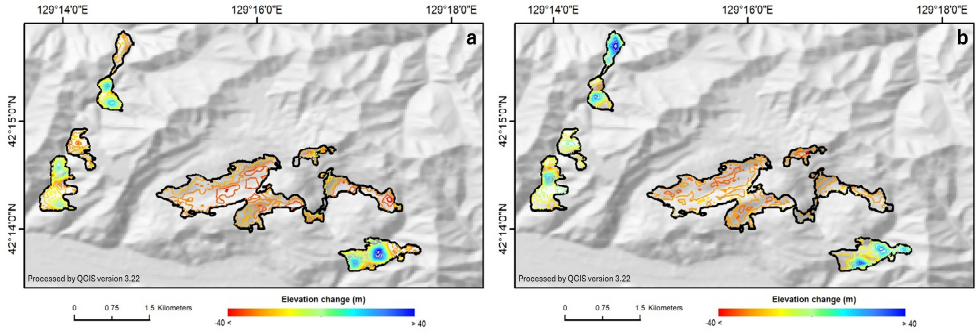
항목	SRTM	ALOS DEM	Coprnicus DEM
운영기관	NASA, NIMA	JAXA	ESA(Copernicus 프로그램)
센서기술	SAR(C-band, X-band)	SAR(PALSAR, L-band)	SAR(TanDEM-X 기반)
제작연도	2000	2006-2010 (ALOS 데이터 수집)	2010년대 이후 TanDEM-X 데이터 활용
해상도(m)	30	30	30
커버리지	전 세계(60°N ~ 65°S)	전 세계	전 세계
정확도(m)	±16(C-band 기준)	±5-10	±2-4

무산 광산의 채광량을 정량적으로 산출하기 위해 다양한 시기의 DEM(Digital Elevation Model) 자료를 활용하였다. 〈표 4〉와 같이 SRTM(2000년), ALOS DEM(2010년), Copernicus DEM(2016년)의 고도 정보를 비교하여 노천 광산에서의 채광량과 폐석 분포를 추정하였다(NASA, USGS, JAXA, Open Topography, ESA). 세 개의 다른 시기에 만들어진 자료를 바탕으로 북한 무산 광산의 2000년부터 2010년 사이의 고도 변화량 그리고 2010년부터 2016년 사이의 지표의 고도 변화량을 측정할 수 있었다.

이와 같은 결과를 바탕으로 지표 변형에 대한 맵을 직관적으로 만들 수 있다. [그림 8]에서 2000년부터 2010년 사이에는 무산 광산의 중심부가 채광에 의해 깎여 나갔고, 동쪽과 서쪽 지역에 폐석이 쌓여 구릉지를 형성한 모습을 확인할 수 있었다. 2010년부터 2016년까지도 유사한 변화가 나타났으며, 폐석 적치장의 위치와 채광 패턴이 명확히 드러났다. 이를 기반으로 계산된 채광량은 〈표 5〉와 같이 2000~10년까지 약 119.77백만톤의 철광석이 채굴되었으며, 유효 광물량은 약 30.79백만톤으로 산출되었다. 또한 2010~16년 사이에는 약 93.25백만톤의 철광석이 채굴되었으며, 유효 광물량은 약 23.38백만톤으로 산출되었다. 무산 광산은 노천 채광과 갱내 채굴을 병행하므로 두 방식에서 발생한 폐석을 모두 고려해야 하지만, 이번 조사에서는 갱내 채굴 부분이 포함되지 않았다. 따라서 실제 생산된 철광석의 유효 광물은 계산된 값보다 많을 것으로 예상된다.

무산 광산의 시계열 SAR 분석 결과는 채굴활동에 따른 지표 변위와 지형 변화를 정량적으로 파악할 수 있으며 북한의 철강 산업과 관련된 경제적 상황을 간접적으로 분석하는 데 중요한 자료로 활용될 수 있다. 향후 갱내 채굴 자료를 포함한 종합 분석을 통해 더욱 정밀한 결과를 도출하고, 이를 기반으로 북한의 광산 자원 개발 및 환경적 영향을 평가하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[그림 8] 위성 레이더 영상을 활용한 무산 광산 지역의 시계열 지표변위도 (a) 2000~10년간 무산 광산 지역의 지표 변위도, (b) 2010~16년간 무산 광산 지역의 지표 변위도



〈표 5〉 무산 광산 지역의 시계열 지표 변위도를 기반으로 산출된 채굴량 변화

장소	2000~10년 (SRTM-ALOS DEM)		2010~16년 (ALOS DEM-Copernicus DEM)	
	부피 변화 (㎥)	질량 변화 (백만톤)	부피 변화 (㎥)	질량 변화 (백만톤)
서부 폐석 적치장	29,493,732	55.74	23,382,894	44.19
동부 폐석 적치장	17,587,725	33.24	14,585,446	25.68
채광지역	-35,225,970	-119.77	-27,425,211	-93.25
유효 광물	-	30.79	-	23.38

Ⅵ. 평가와 전망

1. 원격탐사의 성과 평가

북한을 대상으로 한 원격탐사는 제한된 접근성과 폐쇄성이라는 장애물을 넘어, 다양한 방면에서 의미 있는 성과를 거두었다. 야간조도 위성 자료를 활용한 도시화 추적, 평양의 전력 소비 패턴 분석, 무산 광산의 채광량 관측 등은 북한의 사회적, 경제적 현황을 간접적으로 파악하는 데 중요한 기여를 했다. 특히 인공지능 기반의 SAR 자료 분석과 시계열 기법은 높은 정밀도로 지표 변화와 경제활동을 추적할 수 있는 가능성을 열었다. 이러한 자료는 단순히 북한의 현재 상태를 평가하는 데 그치지 않고, 장기적인 변화와 트렌드를 이해하는

데 필수적인 기반 자료로 활용될 수 있다. 이는 국제사회가 북한의 경제, 환경, 자원 활용 상황에 대한 과학적이고 객관적인 결정을 내릴 수 있도록 지원한다.

2. 원격탐사의 한계

하지만 원격 탐사 기술은 몇 가지 한계점을 안고 있다. 첫째, 자료 해석 과정에서 현장 검증이 어려워 오차 가능성이 존재한다. 둘째, 해상도와 관측 범위의 한계로 인해 미세한 변화나 특정 활동을 포착하는 데 제약이 있다. 마지막으로 북한의 특수한 정치적, 지리적 특성으로 인해 일부 자료는 완전한 분석에 부적합할 수 있다. 이러한 한계에도 불구하고, 원격탐사 기술은 북한에 대한 객관적이고 지속적인 정보를 제공하는 중요한 도구로서 그 가치를 인정받고 있으며, 기술의 발전과 함께 더욱 정확하고 유용한 분석이 가능해질 것으로 기대된다.

3. 전망과 제안

원격탐사는 앞으로 더욱 정교하고 발전된 기술과 결합하여 북한에 대한 이해를 심화시킬 것으로 보인다. 이를 위해 광학, 적외선, SAR 자료를 통합하는 다중 센서 융합 기술이 발전하면서 보다 정밀하고 신뢰할 수 있는 정보가 제공될 전망이다. 또한 딥러닝과 기계 학습 같은 AI 기반 분석 기술이 도입되면서 자료 해석의 효율성과 정확성이 한층 높아질 것이다. 나아가 정기적인 자료 수집과 분석을 통해 북한의 장기적인 변화와 패턴을 체계적으로 파악할 수 있는 지속적인 모니터링 체계도 구축될 것으로 기대된다.

향후 국제 협력과 기술 발전이 병행된다면, 원격탐사는 단순한 정보 수집을 넘어 북한과 관련된 정치적, 경제적 의사 결정에 중요한 역할을 할 것이다. 또한 북한의 자연재해 대응, 자원 관리, 환경 보호 등 다양한 분야에서도 실질적인 기여를 할 수 있을 것으로 전망된다.

원격탐사를 통한 북한 분석은 단순히 자료를 해석하는 작업을 넘어, 한반도와 국제사회의 안정과 평화를 위한 핵심 도구로 자리 잡을 것이다. 앞으로 이 기술이 더욱 발전하여, 북한의 미래를 더 명확히 이해하고 준비하는 데 기여할 것을 기대한다.

참고문헌

김봉찬 외,「위성 야간광 자료를 이용한 북한의 발전량 예측 연구」,『대한원격탐사학회지』, 40(1), 2024, pp.81~91.

한국광물자원공사,「무산(철)광산」,『열린다! 북한 100 광산』, pp.10~11.

한국지질자원연구원,「무산광상(무산광산연합기업소)」,『북한광상 100선』, 2023, pp.181~183.

Ahn, D., Yang, J., Cha, M., Yang, H., Kim, J., Park, S., ... and Park, S., A human-machine collaborative approach measures economic development using satellite imagery, Nature Communications, 14(1), 2023, 6811.

Ba, M., Thiam, P. I., Delay, E., Ngom, C. A., Diop, I., and Bah, A., Deep learning-based land use and land cover changes detection from satellite imagery: a case study of the city of Richard Toll, In Proceedings of the 2024 7th International Conference on Machine Vision and Applications 2024, pp.60~68.

Cao, X., Hu, Y., Zhu, X., Shi, F., Zhuo, L., & Chen, J., A simple self-adjusting model for correcting the blooming effects in DMSP-OLS nighttime light images, Remote sensing of environment, 224, 2019, pp.401~411.

Center for Strategic and International Studies,「Assessing Fall 2021 Agricultural Conditions in North Korea」, 2021. 10. 4.

Fadhillah, M. F., Hakim, W. L., Lee, S. K., Lee, K. J., Lee, S. J., Chae, S. H., ... and Lee, C. W., Multitemporal analysis of land subsidence induced by open-pit mining activity using improved combined scatterer interferometry with deep learning algorithm optimization, Scientific Reports, 14(1), 2024, 6311.

Hokao, K., Phonekeo, V., and Srivanit, M., Assessing the impact of urbanization on urban thermal environment: A case study of Bangkok Metropolitan, International Journal of Applied, 2(7), 2012.

Iamtrakul, P., Padon, A., and Chayphong, S., Quantifying the Impact of Urban Growth on Urban Surface Heat Islands in the Bangkok Metropolitan Region, Thailand. Atmosphere, 15(1), 2024, 100.

Jin, R., and Lee, K. S., Investigation of forest fire characteristics in North Korea using remote sensing data and GIS, Remote Sensing, 14(22), 2022, 5836.

Jing, X., Shao, X., Cao, C., Fu, X., and Yan, L., Comparison between the Suomi-NPP Day-Night Band and DMSP-OLS for correlating socio-economic variables at the provincial level in China, Remote Sensing, 8(1), 2015, 17.

Miller, S. D., Straka III, W., Mills, S. P., Elvidge, C. D., Lee, T. F., Solbrig, J., ... and Weiss, S. C., Illuminating the capabilities of the suomi national polar-orbiting partnership (NPP) visible infrared imaging radiometer suite (VIIRS) day/night band, Remote Sensing, 5(12), 2013, pp.6717~6766.

Ou, J., Liu, X., Li, X., Li, M., and Li, W., Evaluation of NPP-VIIRS nighttime light data for mapping global fossil fuel combustion CO2 emissions: a comparison with DMSP-OLS nighttime light data, PloS one, 10(9), 2015, e0138310.

Parker, A. L., Castellazzi, P., Fuhrmann, T., Garthwaite, M. C., and Featherstone, W. E., Applications of satellite radar imagery for hazard monitoring: Insights from Australia, Remote Sensing, 13(8), 2021, 1422.

Portalés-Julià, E., Mateo-García, G., Purcell, C., and Gómez-Chova, L., Global flood extent segmentation in optical satellite images. Scientific Reports, 13(1), 2023, 20316.

Raspini, F., Bianchini, S., Ciampalini, A., Del Soldato, M., Solari, L., Novali, F., ... and Casagli, N., Continuous, semi-automatic monitoring of ground deformation using Sentinel-1 satellites, Scientific reports, 8(1), 2018, 7253.

〈웹사이트〉

기상청, 북한기상관측 - 자료(https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectNkRltmList.do?pgmNo=58, 접속일: 2024. 1. 18).

기상청, 종관기상관측(ASOS) - 자료(https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRltmList.do?pgmNo=36, 접속일: 2024. 1. 18).

통계청, 주제별 통계 - 발전전력량(https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ZGA74&conn_path=I2, 접속일: 2024. 1. 4).

통계청, 주제별 통계 - 주요 도시 인구(https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ZGA281&conn_path=I2, 접속일: 2024. 2. 13).

ESA(https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/copernicus/sentinel-1, 접속일: 2024. 12. 1.)

ESA(https://spacedata.copernicus.eu/collections/copernicus-digital-elevation-model, 접속일: 2024. 11. 30).

JAXA(https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/aw3d30/aw3d30_j.htm, 접속일: 2024. 11. 29).

NASA(https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/, 접속일: 2024. 11. 29).

NASA, Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, (https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/viirs/, 접속일: 2024. 12. 13).

NOAA, DMSP Operational Linescan System(https://www.ncei.noaa.gov/products/dmsp-operational-linescan-system, 접속일: 2024. 12. 13).

OpenTopography(https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTALOS.112016.4326.2, 접속일: 2024. 11. 30).

USGS(https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1-arc, 접속일: 2024. 11. 29).