



현장리포트

SPOTLIGHT

천리안 2B호 환경위성 서울시 대기환경 감시 활용 기대

신성균 연구위원
이주형 전임연구원



**세계최초 정지궤도 환경위성 2B호 대기질 관측 자료 일반에 공개
기존 관측망 및 자료 분석기법과 연계하여 서울시 대기질 감시 활용 기대**

위성 관측 시대, 대기환경 모니터링 분야 새로운 패러다임 도래

대기환경 및 기후변화 문제는 더 이상 특정 국가들의 문제가 아니라 전 지구적 공동대응이 필요하다는 목소리가 높아지고 있다. 최근 이러한 공동대응의 일환으로 대기환경 감시 중요성이 강조되며, 원격탐사의 발전과 함께 인공위성을 이용한 대기환경 모니터링에 관심이 고조되고 있다.

위성을 이용한 대기환경 모니터링은 광범위한 지역의 대기질을 신속하게 관측할 수 있다는 장점이 있다. 특히 위성

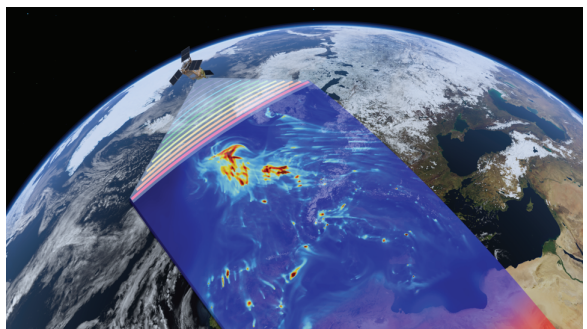


그림 1 | 위성관측을 통한 지구 대기환경 모니터링¹⁾

관측을 통해 지상기반 관측 대기질 정보 결핍지역을 보완할 수 있고 국가 간 대기오염물질의 장거리 유·출입 현황을 실시간으로 확인할 수 있다. 지금까지 위성관측을 통한 대기환경 감시는 주로 저궤도 환경위성²⁾을 이용한 전 지구적 감시가 이루어졌으나, 최근 특정 지역 대기환경을 연속적으로 모니터링하기 위한 정지궤도 환경위성³⁾의 운용 사업들이 활발하게 진행되고 있다.

1) 자료출처 : European Space Agency (http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Air_quality-monitoring_satellite_in_orbit)

2) 저궤도 환경위성 : 지상 약 700~1000 km 상공에서 지구를 회전, 하루에 1번 혹은 2번만 해당 지역 대기질 관측

3) 정지궤도 환경위성 : 지구 약 36,000 km 상공에서 지구 자전과 동일한 속도로 공전, 해당 지역 대기질 연속 관측 가능

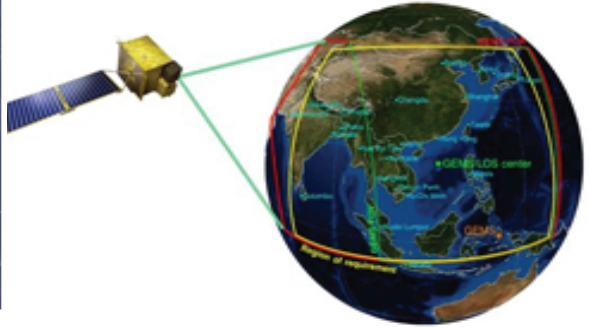
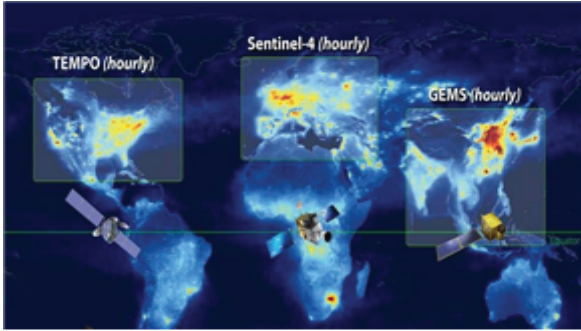


그림 2 | 세계 각 국에서 운용(예정포함) 중인 정지궤도 환경위성

그림 3 | 정지궤도 환경위성 (천리안 2B호) 대기질 관측영역

대표적으로 미항공우주국 (NASA)와 유럽우주국 (ESA)에서 2022년 이후 발사 예정인 TEMPO와 Sentinel-4가 있으며, 이들은 각각 북아메리카와 유럽 및 북아프리카 지역의 대기질 모니터링에 활용될 예정이다(그림 2). 우리나라는 지난 2020년 2월 19일 천리안 2B호 위성을 성공적으로 발사하였다. 세계 최초 정지궤도 환경위성인 천리안 2B호의 관측 범위는 5°S ~ 45°N, 75°E ~ 145°E로 동북아시아 지역 전역의 대기질을 감시하며, 서울 기준으로 약 하루 약 8회, 7×8 km²의 공간해상도를 갖는 이산화질소(NO₂), 이산화황(SO₂), 오존(O₃), 폼알데히드(HCHO), 에어로졸(미세먼지) 등과 같은 기후변화 유발물질 및 대기 오염물질 등에 대한 정보들을 제공한다. 이러한 위성관측 환경정보들은 올해부터 일반에게 공개될 예정이다⁴⁾.

천리안2B호 관측영상 첫 공개, 대기환경 모니터링 활용 기대 고조...

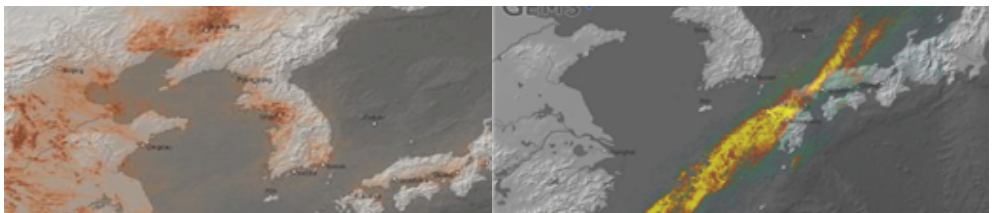


그림 4 | 천리안 2B호 NO₂ 관측 결과⁵⁾ (2020.09.09.)

그림 5 | 천리안 2B호 SO₂ 관측 결과⁶⁾ (2020.08.06.)

대도시, 대형 공업 및 발전소 밀집지역에서 배출되는 대기오염물질 포착

지난 2020년 11월 천리안 2B호가 관측한 한반도를 포함하고 있는 동북아시아 지역에서의 대기 오염물질 분석영상이 최초로 공개되며 천리안 2B호 관측을 통한 대기 오염물질 모니터링 고도화에 대한 기대와 관심이 고조되고 있다. 공개된 천리안 2B호 관측자료 분석 영상(그림 4)에서 동북아시아 대도시 지역(대한민국-서울, 부산, 일본-오사카, 나고야, 중국-베이징, 상하이)과 중국 공장 및 화력 발전소 밀집지역의 NO₂ 농도가 높게 분포함을 확인할 수 있다. 일반적으로 경제활동과 차량 이동량이 많은 도심지역과 공단·발전소 밀집지역에서 NO₂가 높게 분포하는 것과 일치하는 결과로 향후 천리안 2B호를 통해 동북아시아 지역 주요 오염물질 배출 지역의 실시간 대기환경 모니터링이 가능할 것이다.

4) 2021년 3월 22일부터 환경위성홈페이지 (<https://nesc.nier.go.kr/>)를 통해 대기환경 정보 8종 우선 공개, 6월부터 모바일 서비스 제공 예정

5) 2020년 9월 9일 천리안 2B호로부터 관측된 동북아시아지역 NO₂ 농도 분포, 환경부

6) 2020년 8월 6일 천리안 2B호로부터 관측된 동북아시아지역 SO₂ 농도 분포, 환경부

화산폭발로부터 배출되는 다량의 SO₂ 관측

일본 니시노시마 화산 폭발로 발생한 다량의 SO₂와 이동 경로 또한 공개된 천리안 2B호 분석영상을 통해 확인할 수 있다 (그림 5). SO₂는 유독성 물질로써 사람이 들이마실 시 호흡곤란을 일으키고 고농도에 장기간 노출될 시, 심장혈관 질환을 악화시킨다고 알려져 있다. 이번 공개된 영상의 니시노시마 화산에서 기원한 고농도 SO₂는 우리나라에 직접적인 영향을 미치지 않았지만, 천리안 2B호를 통해 고농도 SO₂의 발생원 및 거동을 파악하는 등 감시 영역에 다양한 활용가능성을 보여준 사례라고 할 수 있다. SO₂는 발전소, 난방장치, 선박, 공단 등과 같은 인위적 기원의 배출원뿐만 아니라 화산폭발, 산불 등과 같은 자연적 발생원에서도 다량 발생하기 때문에 동북아시아 지역의 다양한 발생원에서 기인한 대기 오염물질의 시공간적 특성 분석에 활용이 기대된다.

대기환경 관련 다양한 분석에 위성자료 도입 시도 활발...
위성자료를 이용한 서울시 모니터링 고도화 방안

한반도 및 서울시로 외부에서 유입되는 대기오염물질 규명

기존 지상기반의 대기질 측정장비는 대기오염물질을 관측할 수 있는 범위가 한정적이므로 한반도 주변에서 발생하고 장거리 이동하여 유입되는 대기오염물질의 이동경로와 유입되는 오염물질의 양의 정보를 산출하는데 제한적이다. 천리안 2B호 자료를 통해 한반도를 포함한 아시아 지역 내 대기오염물질의 시-공간 분포 특성 분석이 가능할 전망이며, 이를 통해 한반도 및 서울로 유입되는 외국발

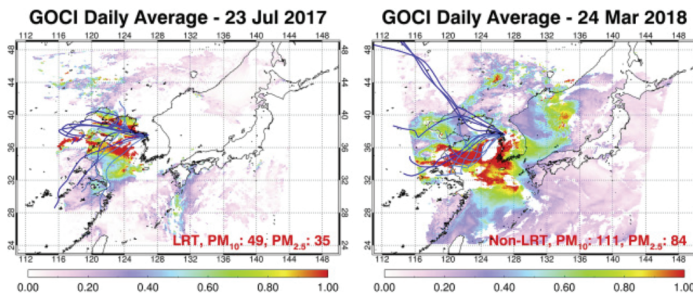


그림 6 | 위성으로 관측된 대기오염물질의 장거리 국내 유입의 예 7)

대기오염물질 정보의 획득이 가능할 것으로 기대되며, 이러한 정보들은 서울시 고농도 미세먼지 현상 발생 예측 및 파악을 위한 보완 자료로 활용될 수 있을 것이다.

위성관측 자료 기반 미세먼지 농도 산출기법 관련 다양한 연구 진행

위성자료에서 산출되는 대기오염물질 정보는 지구 표면부터 대기 상층부까지의 존재하는 대기오염물질을 적분한 형태로 제공되기 때문에 지표의 대기오염물질의 농도를 대표할 수 없다. 최근들어 이러한 위성 제공자료들을 지표 대기오염물질 농도로 변환하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 위성관측 에어로솔 광학적 두께⁸⁾를 이용하여 지표 미세먼지 농도를 산출하는 방법들이 연구 중에 있으며, 크게 다중선형회기 분석 방법과 기계학습으로 구분된다.

7) Lee et al., 2021, Assessment of long-range transboundary aerosols in Seoul, South Korea from Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) and ground-based observations. Environ. Pollt., 269, 115924.

8) 에어로솔 광학적 두께 (Aerosol Optical Depth, AOD) : 위성관측에서 제공되는 지구 지표부터 대기 상층까지의 전체 공기 기둥에 포함된 입자상 대기오염물질 관련 정보로 지상에서 관측되는 PM10, PM2.5 정보와 완전히 일치하지는 않다.

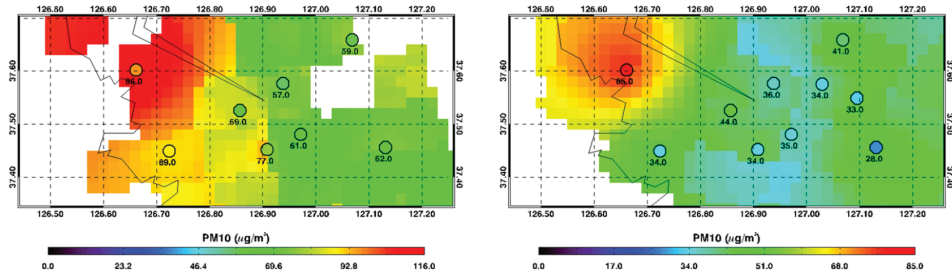


그림 7 | 위성자료 기반으로 추정된 서울시 PM10 농도 지도⁹⁾

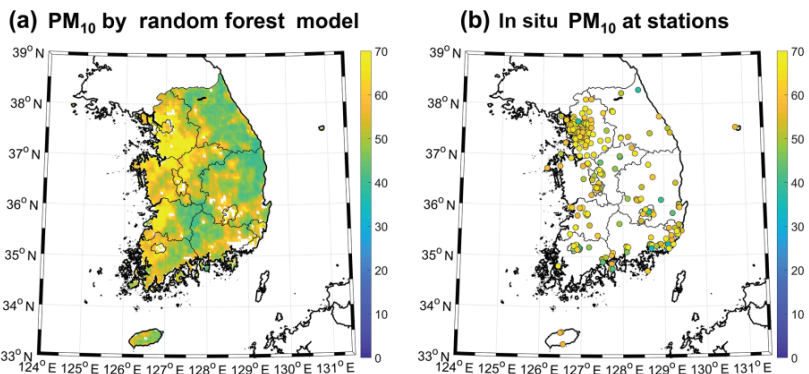


그림 8 | (a) 기계학습으로 추정된 한반도 미세먼지 분포 vs (b) 국가대기 관측망에서 측정된 미세먼지 분포¹⁰⁾

이러한 위성자료를 활용한 지표 대기오염물질 농도 산출 연구들은 현재도 다양하게 수행되고 있으며 이러한 연구들이 성공적으로 완료되었을 때, 서울시 미세먼지 지표 농도의 연속적 표출이 가능하여 서울시 미세먼지 실시간 주요 발생 지역 구분 및 감시, 저감대책 수립 등에 다양하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

서울시 미세먼지 저감관련 각종 사업 효과검증, 위성자료 활용 기대돼

위성 관측자료는 서울에서 추진 중인 각종 미세먼지 저감사업의 효과검증 에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 최근 위성 산출물과 기상자료 등을 심층 학습(Deep Learning)에 적용하여 서울시 도심지보다 도시숲 지역의 초미세 먼지가 농도가 낮다는 결과가 발표되었다¹¹⁾. 서울시 초미세먼지 저감을 위한 도시숲의 중요성 및 확대 필요성은 그 동안 다수 제기되어왔으나 지상관측의 한계로 그 효과를 분명하게 밝히지 못했었는데 위성자료를 통해 그 저감효과를 과학적으로 밝혀낸 것이다. 향후 천리안 2B호 관측자료를 활용하면 더 정확하고 다양한 도시숲이 대기질에 미치는 영향을 파악할 수 있을 것이다. 천리안 2B호와 같은 위성관측 자료들은 기존 관측망 자료뿐만 아니라 최신 자료 분석기법의 발전과 함께 연계되어 서울시 대기질 감시, 대기오염 현상 규명 및 예측, 대기오염물질 저감사업 효과 분석 등에 적극 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

9) Seo et al., 2015, Estimation of PM10 concentrations over Seoul using multiple empirical models with AERONET and MODIS data collected during the DRAGON-Asia campaign, Atmos. Chem. Phys., 15, 319-334.

10) Park et al., 2019, Estimation of ground-level particulate matter concentrations through the synergistic use of satellite observations and process-based models over South Korea, Atmos. Chem. Phys., 19, 1097-1113.

11) Lee et al., 2021, Potential role of urban forest in removing PM2.5: A case study in Seoul by deep learning with satellite data