

## 정지궤도 환경위성의 개발 및 활용 현황

# Status of Development and Utilization of Geostationary Environmental Satellites

장임석, 유정아, 정재훈, 이원진, 강경희, 이동원\*

국립환경과학원 환경위성센터

Lim-Seok Chang, Jeong-Ah Yu, Jae-Hoon Jeong, Won-Jin Lee,  
Kyoung-Hee Kang, Dong-Won Lee\*

Environmental Satellite Center, Climate and Air Quality Research Department,  
National Institute of Environmental Research, Incheon, Republic of Korea

접수일 2023년 7월 10일  
수정일 2023년 9월 14일  
채택일 2023년 9월 20일

Received 10 July 2023  
Revised 14 September 2023  
Accepted 20 September 2023

\*Corresponding author  
Tel : +82-(0)32-560-8430  
E-mail : ex12@korea.kr

**Abstract** The Geostationary Environmental Monitoring Spectrometer (GEMS) was developed with the objective of identifying the sources of fine dust and analyzing the effects of climate change in Asia and the Korean Peninsula through continuous monitoring of atmospheric pollutants, including long-range transported air pollution. The instrument provides quantitative and qualitative measurements of both long- and short-lived climate forcers (LLCFs and SLCFs). Real-time observation data from GEMS are made available to national and international institutions, enhancing the accuracy of air quality forecasts and contributing to the protection of public health. Moreover, GEMS-derived atmospheric data over Asia can be utilized for analyzing air quality situations and formulating response strategies of Asian countries within the GEMS domain. To ensure the reliability of GEMS data for public release, the Environmental Satellite Center (ESC) at the National Institute of Environmental Research has conducted a series of international joint campaigns on Asian air quality, engaging researchers and scientists worldwide.

**Key words:** GEMS, Aerosol, AOD, PM<sub>2.5</sub>

### 1. 서 론

환경부 국립환경과학원 환경위성센터에서는 아시아 전역의 대기오염물질 및 기후변화 유발물질의 실시간 관측을 위해 2008년도부터 정지궤도 환경위성 사업을 추진하였다. 과학기술정보통신부에서는 환경부 등 각 부처의 요구를 반영하고자 위성 본체를 개발하고 그 위성 본체를 플랫폼으로 하는 정지궤도 복합 위성의 개발을 본격화하였으며, 그 첫 번째 위성인 천리안 1호 위성은 통신, 해양 및 기상 관측을 목적으로 개발되었다. 또한, 후속 위성인 천리안 2A호 위성은 기상 관측 및 통신 목적으로 개발되었으며, 천리안 2B호 위성은 해양 및 환경 관측 목적으로 개발되었다. 천리안 2B호 위성은 천리안 2A호의 쌍둥이 위성으로

대기환경 및 해양환경 감시를 목적으로 2020년 2월 19일 적도 기아나꾸르 우주센터에서 발사되었다.

한편, 우리나라의 정지궤도 환경위성 사업추진과 비슷한 시기에 미국 및 유럽에서도 정지궤도 환경위성 사업을 추진하였으며, 미국은 2023년 4월 7일에 정지궤도 환경위성 (TEMPO)은 발사에 성공하였고, 유럽의 정지궤도 환경위성 (Sentinel-4)은 2024년에 발사될 예정이다.

천리안 2B호의 환경위성 탑재체는 GEMS (Geostationary Environmental Monitoring Spectrometer)로 명명되었으며, 보석이라는 의미도 포함되어 있다. 본 글에서는 세계 최초 정지궤도 환경위성의 개요, 아시아의 대기오염물질 및 기후변화 유발물질 관측 현황, 최첨단 관측장비 개발 현황, 차기 위성 개발 계획을

소개하고자 한다.

## 2. 정지궤도 환경위성의 개발 및 활용 현황

### 2.1 정지궤도 환경위성 개발 목적

정지궤도 환경위성은 장거리 이동 미세먼지 등 대기오염물질의 생성·이동 등에 대한 상시감시를 통해 미세먼지 원인규명, 아시아·한반도 지역 기후변화 영향 분석을 위한 장·단기 체류 기후변화 유발물질의 정량적·정성적 감시가 가능하다. 또한, 실시간 위성 관측자료의 국내·외 제공 및 활용기술 개발로 예보 정확도 향상과 국민건강 보호, 국내 및 아시아 지역의 위성 분석자료 제공을 통한 각국의 대기질 현황분석 및 대응책 마련 지원 등을 목적으로 개발되었다(Choi *et al.*, 2019b).

### 2.2 정지궤도 환경위성 발사 및 시험 과정

정지궤도 환경위성은 2019년 말까지 위성 개발을 완료한 다음 1년, 6개월, 3개월 단위의 발사 가능 기간을 설정하면서 최종 발사일을 선정하였다. 발사 최종 단계에서는 과학기술정보통신부와 공동으로 발사 관리단을 구성하고 발사상황 총괄관리를 수행하였다. 2020년 2월 19일 위성 발사 이후에는 2020년 10월까지 한국항공우주연구원을 통해 우주 궤도상 위성시험과 지상국 시험을 수행하였다. 이와 함께 위성자료 처리기법(알고리즘) 및 지상국 시험절차서를 마련하고 2020년 하반기에는 21종 산출물<sup>1)</sup>의 우주 궤도상 자료처리기법을 시험하고 개선하였다.

### 2.3 환경위성 관측 개시 및 정규산출물 시험 생산

환경위성 관측은 2020년 7월 1일부터 시작되었고, 2020년 10월에 정규 관측계획을 수립하였다. 당초 5개의 관측 시나리오 초안이 있었으나 한반도를 관측하지 않는 경우도 존재하였기에 환경위성 관측의 정확도와 효율성을 고려하여 항시 독도를 포함한 한반도가 관측되도록 관측 시나리오를 재조정하였다. 최

종 관측 시나리오는 그림 1에 나타난 바와 같이 공간적인 관측 범위로서 북위 45°에서 남위 5°(몽고~인도네시아), 동경 152°에서 80°(일본~인도) 범위의 아시아 20여 개국이다. 주간 관측 시나리오는 월별로 차이가 있는데 1월에 6회, 2월에 7회, 3월에 8회이며, 4월부터 9월까지 10회, 10월에 8회, 11월부터 12월까지 6회를 관측하며, 일평균 8회를 관측하는 연중계획을 수립하였다. 이후 2020년 11월까지 환경위성센터 전산처리실에 구축된 자료처리시스템의 운영 자동화를 완료하였고, 11월부터 정규산출물의 시험생산을 시작하였다.

### 2.4 환경위성 관측자료의 검증을 위한 국제 캠페인 수행

환경위성 관측자료를 공개하기 위해서는 위성자료의 정확도 확보가 필수적이므로 국립환경과학원 환경위성센터가 주도하고 전 세계 전문가가 참여하는 아시아 대기질 국제 공동조사를 추진하였다. 국제 공동조사의 목적은 두 가지인데, 첫째는 2016 KORUS-AQ (KORea and US-Air Quality, 2016. 5월~6월) 캠페인에 이어 겨울철 대기질 악화 원인을 과학적으로 규명하는 것이고, 두 번째는 환경위성 관측자료의 정확도 검증이다(Crawford *et al.*, 2021). 이를 위해 지상·항공·위성의 입체적 관측체계를 구축하고 국내 연구진, 미국 NASA 및 벨기에 왕립우주항공연구소 등이 참여하는 국제 캠페인 사전 조사를 2차에 걸쳐 수행하였으며, 본 캠페인은 2022년에 1차로 수행하였고, 2차는 2023년 말부터 2024년 초까지 수행될 예정이다.

#### 2.4.1 제1차 사전 캠페인 수행

1차 사전 조사는 2020년 10월 26일부터 12월 18일까지 화력발전소 및 대규모 배출원이 밀집한 충남 지역을 대상으로 판도라<sup>2)</sup> 5기(과학원, 연세대, 부산대, 서울대, 미국 NASA), 운고계 1기(연세대), mini MPL Lidar (UNIST), Max-DOAS (벨기에 왕립우주항공연구소)의 지상 관측장비와 항공관측을 통해 수행하였

<sup>1)</sup>대기오염물질 6종(에어로졸 등), 대기오염 및 기후변화 물질 7종(대류권 오존, 이산화질소 등), 기타산출물 7종(지표반사도, 구름 등)

<sup>2)</sup>판도라(Pandora): 환경위성과 관측방법이 유사한 미국 개발 지상원격 측정장비



Fig. 1. Establishment of a regular observation plan of GEMS.

다. 그림 2에 1차 사전 캠페인 수행을 위한 충남지역 지상관측 및 항공관측 이동경로를 나타내었다(Zhai et al., 2021).

2.4.2 제2차 사전 캠페인 수행

2차 사전 조사는 2021년 10월부터 11월까지 수도권 지역을 대상으로 수행하였으며, 환경위성 산출 알고리즘의 검증과 수도권 대기오염 지도 작성을 목적으로 하였다. 국내 연구진(과학원, 서울대, 연세대, 공주대, 부경대)과 독일 막스프랑크 화학연구소, 벨기에 왕립우주항공연구소, 독일 브레멘대학, 일본 해양지구기술연구소, 네덜란드 왕립기상연구소 등이 참여하였으며, 사용된 관측장비는 그림 3에 나타낸 바와 같

이 판도라 5대, Max-DOAS 5대, Car-DOAS 3대, NO<sub>2</sub> 및 O<sub>3</sub> 존데, 환경위성(NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, HCHO, Aerosol 관측영상) 등이다. 그림 4에 2차 사전 캠페인 수행을 위한 Car-DOAS 이동경로를 나타내었다.

한편, 지상 in-situ 및 항공관측을 수행하였는데, 지상관측은 서울시 보건환경연구원, 목포대, 고려대, 세종대 연구진의 참여로, 서울 방이동 올림픽 공원에서 고농도 미세먼지 주요 생성기작 및 2차 미세먼지 생성 과정을 조사하였다. 항공관측은 그림 5에 나타낸 바와 같이 국립환경과학원, 미국 NASA, 울산과학기술원, 한서대, 한국외대, UC Irvine 등의 연구진이 Beechcraft B1900D와 KingAir E80을 이용하여 서해상과 중부내륙을 연직 및 수평 비행하였다. 이를 통해 고농

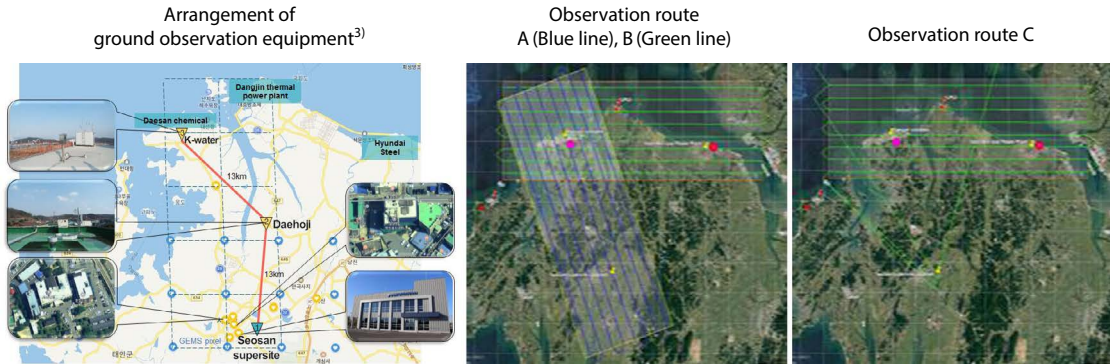


Fig. 2. Arrangement of ground observation equipment and aerial observation route.



Fig. 3. Photographs of each observation device.

도 미세먼지의 주요 생성기작 조사, 항공기 탑재 환경 위성 센서를 통한 환경위성 알고리즘 검증, 수도권 지역 대기오염 지도 작성 등을 수행하였다(Choi *et al.*, 2019a).

#### 2. 4. 3 제1차 본 캠페인 수행

제1차 본 캠페인은 2022년 5월부터 8월까지 미국 ACCLIP<sup>4)</sup> 팀(고고도 비행 항공기 관측) 및 벨기에 왕립항공우주연구원 등 국내외 23개 연구팀이 참여

<sup>3)</sup>지상 관측장비는 충청권 대기환경연구소 (충남 서산), 충남 서산시·당진시 소재 관공서 4개 지점에 설치·운영

<sup>4)</sup>ACCLIP: Asian Summer Monsoon Chemical and Climate Impact Project



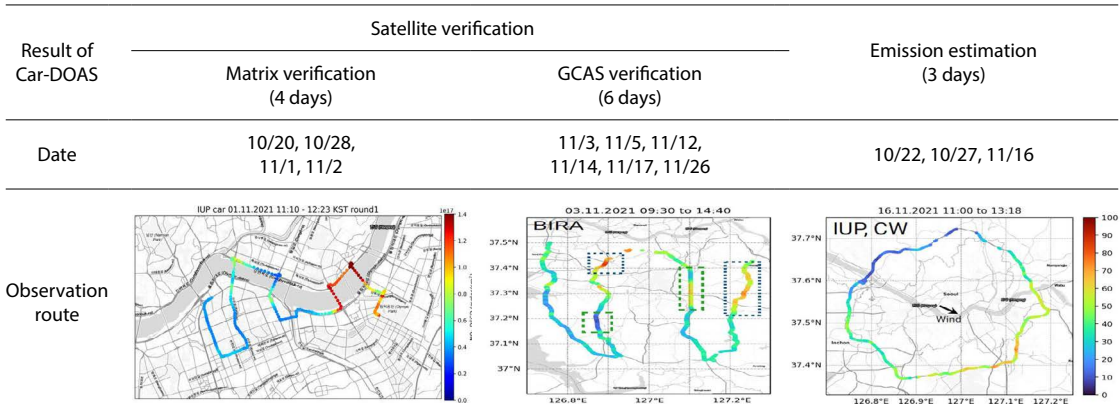


Fig. 4. Result of Car-DOAS observation in 2021.



In-situ aircraft

GCAS<sup>5)</sup> aircraft

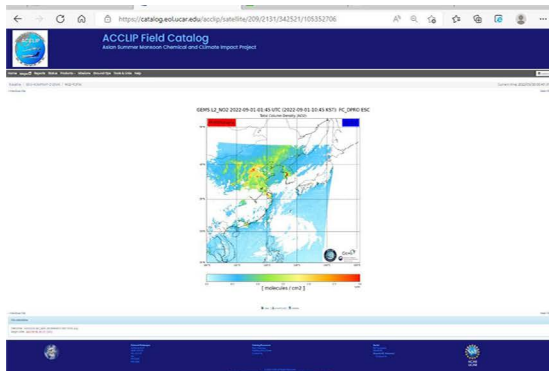
Fig. 5. Photographs of In-situ aircraft and GCAS aircraft.

하여 원격 관측자료와 환경위성 검증 연구를 수행하였다.

본 캠페인은 수도권·충청도·대구·울산·부산·여수·제주도를 대상으로 환경위성 산출물 검증 및 개선 방향 도출, 대기오염물질의 오염지도 작성을 목적으

로 하였으며, 이를 위해 Car-DOAS를 포함한 지상 원격관측, 지상 in-situ 화학관측, 항공 원격 및 화학 관측 등을 수행하였다. 그림 6은 ACCLIP 팀에 제공된 정지궤도 환경위성 자료의 예시와 O<sub>3</sub> 존대의 모습을 나타낸 것이다.

<sup>5)</sup>GCAS: 위성산출물 검증을 위해 항공기에 탑재한 NASA 원격탐사장비



GEMS data (ACCLIP Homepage)

O<sub>3</sub> SondeFig. 6. Examples of GEMS data and O<sub>3</sub> Sonde.

#### 2.4.4 제2차 본 캠페인 수행

2차 캠페인은 2023년 10월부터 2024년 초까지 수행될 예정이며 국제 캠페인의 종합분석 결과는 2025년 이후에 제공 가능할 것으로 판단된다.

### 2.5 정지궤도 환경위성 자료 공개 현황

#### 2.5.1 환경위성 정규 산출물 공개 현황

환경위성센터에서는 국제 캠페인 등을 통한 자료 검증 후 관측영상을 순차적으로 공개하였으며, 2022년 11월부터는 표 1에 제시된 바와 같이 모든 정규 산출물의 영상 및 파일을 환경위성센터 홈페이지 등을 통해 공개하고 있다.

#### 2.5.2 환경위성 활용 산출물 공개 현황

환경위성 활용 산출물은 환경위성 자료 이외에 다른 자료를 추가하여 생산된 자료로서, 에어로졸 및 이산화황 이동량, 지상 미세먼지 및 초미세먼지 추정 농도, 지상 이산화질소 추정 농도 산출기술을 개발하여 공개하고 있고, 향후 활용산출물 자료는 순차적으로 추가될 예정이다. 표 2에는 환경위성 활용산출물의 목록을 나타내었다.

#### 2.5.3 환경위성 관측자료 파일 공개 현황

환경위성 관측자료 파일은 2022년 6월(1차)과 11월(2차)부터 netCDF 파일 형태로 환경위성센터 홈페이지

Table 1. Release status of the observation images of GEMS.

No.	Product	Unit	Release date
1	Aerosol optical depth	-	'21.3
2	Single scattering albedo	-	'21.10
3,4	UV-VIS aerosol index	-	'21.10
5	Aerosol effective height	km	'22.11
6	Total ozone	DU	'21.3
7	Stratospheric ozone	DU	'22.11
8	Tropospheric ozone	DU	'22.11
9	Sfc. Ref. Surface reflectance	-	'22.11
10	Cloud centered pressure	hPa	'21.10
11	Effect cloud amount	-	'21.3
12	Cloud radiation fraction	-	'21.10
13	Formaldehyde	molec/cm <sup>2</sup>	'22.6
14	Glyoxyal	molec/cm <sup>2</sup>	'22.6
15	Tropospheric NO <sub>2</sub>	molec/cm <sup>2</sup>	'22.11
16	Total NO <sub>2</sub>	molec/cm <sup>2</sup>	'21.3
17	Total SO <sub>2</sub>	molec/cm <sup>2</sup>	'21.3
18	UV index	-	'21.10
19	Plant response rate	-	'21.3
20	DNA damage rate	-	'21.3
21	Vitamine D production rate	-	'21.3

페이지 등을 통해 공개되고 있으며, 현재 공개된 자료는 대용량 파일로서 2023년도에는 저용량 파일로 제공될 예정이다.

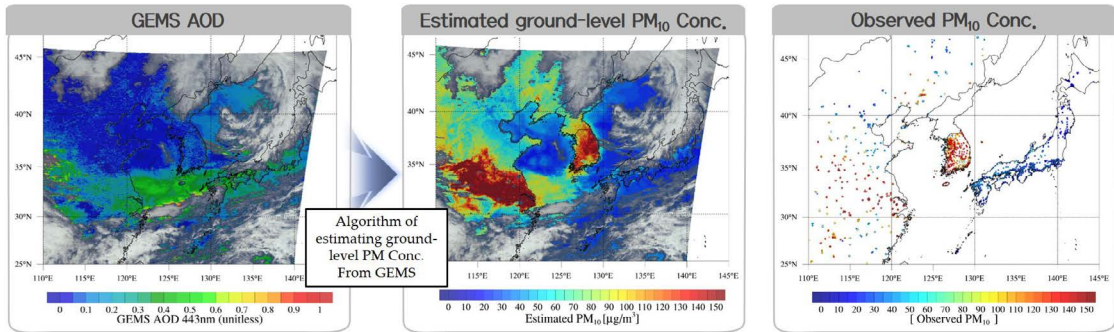


Fig. 7. Estimation and verification ground-level PM<sub>2.5</sub> conc. from GEMS AOD.

Table 2. Release status of the value-added products of GEMS.

Product		Unit	Release date
1	Transport rate	Aerosol	Mg/hour
2		SO <sub>2</sub>	Mg/hour
3	Estimated surface concentration	PM <sub>2.5</sub>	µg/m <sup>3</sup>
4		PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>
5		NO <sub>2</sub>	ppb

## 2.6 환경위성 관련 활용기술 개발 현황

### 2.6.1 대기 분야 활용기술 개발 현황

환경위성센터에서는 2020년 말부터 국립환경과학원 기후대기연구부 대기질 통합예보센터에 환경위성 관측자료를 제공하고 있으며, 대기질 통합예보센터에서는 대기질 예측 모델의 입력자료로 활용할 예정이다. 또한, 대기질 예보관은 대기질 예측 모델의 결과를 환경위성의 기본관측 영상 및 활용산출물과 비교하여 예보에 활용하고 있다. 아울러, 환경위성센터에서는 고농도 미세먼지 대응 등 다양한 위성자료를 분석하여 제공함으로써 대기환경 현안 및 정책효과 분석 등을 지원하고 있다.

환경위성 활용기술을 개발하여 국내 유입 에어로졸 및 이산화황의 유입량을 위성센터 홈페이지를 통해 공개하고 있다. 한편, 환경위성 관측자료는 지표면으로부터 대기오염물질이 존재하는 대기 전체층 농도로

산출되나, 정책 및 국민 실생활에 활용하기 위해서는 대기오염물질의 지상 추정농도 자료가 필요하므로, 대기오염 측정망 실시간 자료와 환경위성 관측 에어로졸 광학두께(AOD) 자료를 기계학습을 통해 변환하여 산출된 미세먼지·초미세먼지·이산화질소의 지상 추정 농도 자료를 제공하고 있다(그림 7). 따라서, 지상 대기오염 측정망이 부족한 해상 및 산간 지역의 지상 농도를 참고하여 대기질 예보 등에 활용할 수 있다(Kim *et al.*, 2021).

또한, 환경위성센터에서는 환경위성으로 관측된 대기오염물질의 농도를 배출량으로 변환하는 연구를 수행하고 있다. 대기질 모델의 입력자료로는 기상장, 대기오염물질 배출량, 초기·경계장이 있으며 최종 결과로서 대기오염물질 농도의 예측 결과가 산출된다(Lee *et al.*, 2021). 이는 대기오염물질 농도 대신 환경위성에서 관측된 농도를 y 값으로 하고 배출량 자료를 역산하는 방식이다. 따라서, 지역별 대기오염물질별 배출량을 산정하므로 기존 대기오염물질 배출량과 상호 보완될 수 있을 것으로 기대되며, 환경위성센터의 대용량 전산 자원을 활용하므로 기존 국가 대기오염물질 배출량보다 배출량 산정 기간을 단축할 수 있을 것으로 예상된다(Kim *et al.*, 2020).

환경위성은 태양광이 지표면에서 반사되어 우주로 되돌아가는 빛의 파장대별 대기오염물질 특성(복사량)을 이용하여 관측하므로 야간 관측은 불가능하다. 이를 보완하기 위해 환경위성센터에서는 정지궤도 기



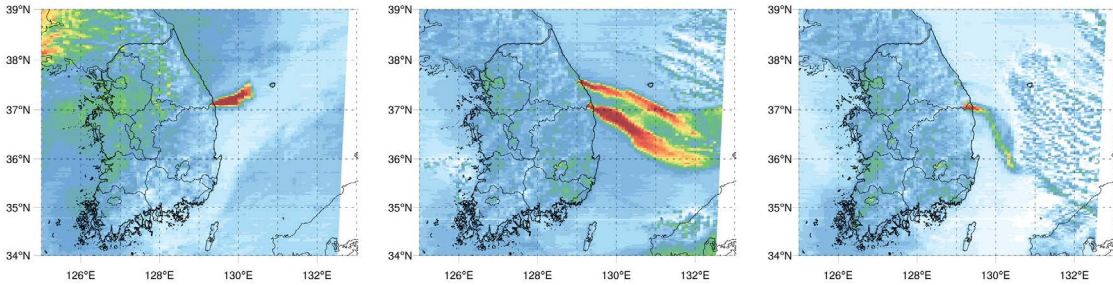


Fig. 8. Observation images of UV aerosol index from wildfire in east coast of ROK (2022.3.4~13).

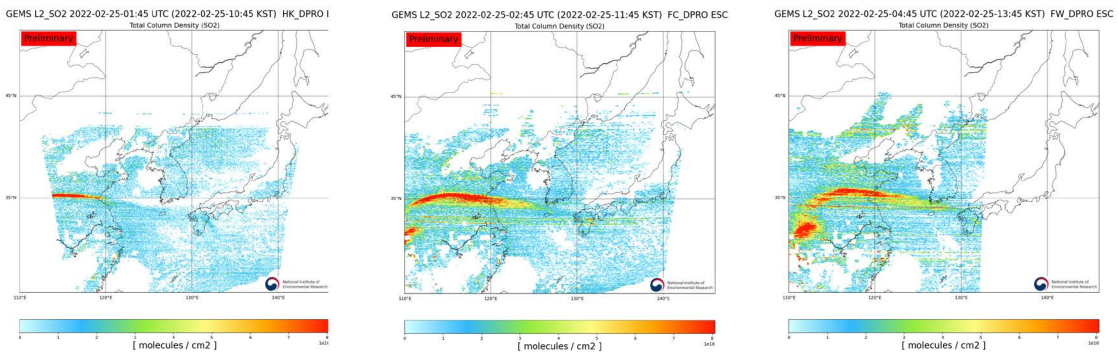


Fig. 9. Observation images of SO<sub>2</sub> total column density from volcanic eruption in etna volcano of Chile (2022.2.25).

상위성을 이용한 기계학습 등을 통해 야간 관측 영상 생산 등을 준비 중이다.

아울러, 환경위성에서 관측되는 SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, 에어로졸 광학두께 (AOD)를 이용하여 산불·화산 분화에 의해 발생하는 대기오염물질의 자동탐지 및 추적 기법을 개발 중에 있다. 그림 8은 2022년 3월 강원도 및 경북 산불에 의한 대기오염물질의 이동경로를 UV aerosol index로 관측한 영상이고, 그림 9는 2022년 2월 칠레 에트나 화산 분화에 의해 발생한 SO<sub>2</sub>의 이동경로를 SO<sub>2</sub> total column density로 관측한 영상을 나타낸 것이다.

환경위성은 300~500 nm의 파장대를 0.2 nm 단위로 분광하는 초분광 센서를 이용하므로 기존 산출물 외에 신규 산출물의 개발이 가능하다. 이에 따라 BrO, H<sub>2</sub>O, HONO, IO의 관측이 가능함을 확인하였으나 정확도가 낮은 IO를 제외한 3가지 물질에 대한 자료처

리 알고리즘을 개발하고 있으며, 향후 이러한 신규 산출물에 대한 관측 영상을 제공할 예정이다.

또한, 환경위성 관측영상의 기간별 평균장에 대한 처리 기술을 연구하고 있으며, 2023년에는 NO<sub>2</sub> 평균장을 공개할 예정으로 월별, 계절별, 주중과 주말의 차이를 분석할 예정이다.

이와 더불어 대기질 문제를 해결하기 위해 환경위성 자료, 대기환경 자료, 지표면 자료, 교통정보, 기상정보, 보건 정보 등의 빅데이터를 활용한 연구도 수행 중에 있다.

### 2.6.2 기후 분야 활용기술 개발 현황

환경위성은 기후변화 대응 및 미세먼지 등 대기오염물질에 대응하고자 추진된 위성으로서 단기체류 기후변화 유발물질을 관측하고 있으며, 환경위성의 국가별, 지역별 장기간 관측자료를 이용하여 기후변화



유발물질 농도 추세 분석을 수행할 예정이다.

기후변화에 따라 고위도 지역에서는 기온 상승으로 온도차 감소가 발생하는데, 이는 대기 안정도 증가 및 대기 정체를 유발하며 대기질 악화를 초래하고 다시 기후변화에 영향을 미치게 된다. 대기질과 기후변화 상호작용 메커니즘을 분석하기 위해 국내 기상위성, 국외 온실가스 관측위성 자료를 이용한 연구를 수행할 예정이다.

또한, 오존 생성 민감도에 따라 실시간으로 특정 지역을 VOCs-limited, Transition, NOx-limited 지역으로 구분하여 오존 저감 정책을 지원하고자 한다. 과거 특정 지역에 대한 오존 생성 원인 분석 연구는 있었으나 시간에 따라 변화하는 일사량 등 기상 조건과 전구체 물질의 농도에 따른 오존 생성 원인 분석에는 한계가 있으므로 환경위성 자료를 이용한 빠른 정보제공으로 오존 저감의 실마리를 모색할 계획이다.

우리나라는 정지궤도 환경위성 이외에 정지궤도 해양위성과 기상위성을 보유하고 있으며, 각 위성센터에서는 상호간 위성자료 공유를 통해 위성자료 융·복합기술 개발<sup>6)</sup>을 추진하여 시너지 효과를 창출할 예정이다. 정지궤도 환경위성으로는 온실가스인 이산화탄소나 메탄의 관측은 불가능하므로 환경위성센터에서는 환경위성 관측항목인 이산화질소 농도를 이산화탄소 등의 농도로 변환하는 연구를 수행 중에 있다.

## 2.7 환경위성 기반 국내외 협력 사업 추진 현황

### 2.7.1 국내 협력 사업 현황

환경위성센터에서는 20개소의 아시아 지역 판도라 네트워크 구축 추진과 함께 국내 9개소의 국내 네트워크 구축도 추진 중이다. 이를 위해 2023년 4월 부경대, 수원대, 한국외국어대, 공주대와 업무협약을 체결하여 국내 네트워크 4개소를 구축하였으며, 나머지 5개소도 연내에 구축 완료할 예정이다.

### 2.7.2 국외 협력 사업 현황

환경위성센터에서는 환경위성 자료의 정확도 검증 을 위해 2020년부터 북미, 유럽, 아시아의 20개 연구 기관<sup>7)</sup>과 협력하고 있으며, 이를 위해 유럽 우주기상 위성센터와 업무협약을 체결한 바 있다.

아울러, 국내외 위성 및 대기질 분야 전문가들과의 정보공유와 협력 사업 추진을 위해 환경위성 국제 학술회의를 2010년부터 매년 개최하고 있다.

미국 NASA 및 유럽 EUMETSAT과의 업무협약을 2019년과 2020년에 각각 체결하였으며, 국제 우주공간 연구위원회, UN 우주공간평화이용위원회, UN 재난관리 및 비상 대응을 위한 우주 기반 정보 플랫폼, IGAC의 오존 평가를 위한 TOAR II, 국제 오존 심포지움 등과도 협력하고 있다.

또한, 아시아 각국과 환경위성 및 판도라 자료를 공유하고 이를 기반으로 한 아시아 대기질 개선을 위해 UN ESCAP과 KOICA와 공동으로 국제협력 사업을 수행하고 있다. 환경위성 관측 영역 내 아시아 8개국 20개소에 대기질 지상원격 관측장비인 미국산 판도라 장비를 이용한 네트워크를 구축하고 있으며 판도라 아시아 네트워크 구축 대상국가의 목록은 표 3에 나타낸 바와 같다. 2023년 4월 현재까지 9개소에 판도라 설치를 완료하였으며, 나머지 11개소에 대해서는 2024년 상반기까지 설치 완료를 목표로 하고 있다.

## 2.8 환경위성 활용 관련 과학적·정책적 시사점

기존 극궤도 환경위성 자료는 일 1회 대기질 정보를 제공하여 동일지역의 연속감시에 한계가 있었으나, 정지궤도 환경위성은 동일지역의 대기오염물질 농도를 일평균 8회 관측함으로써 아시아 대기질의 연속감시가 가능해졌다. 또한, 실시간 위성 관측자료 및 위성기반 대기질 분석자료를 제공함으로써 대기질 예보정확도 향상에 기여할 수 있게 되었고, 환경위성 기반 아시아 대기오염 상시 감시체계 구축을 통해 아시

<sup>6)</sup>정지궤도 환경·기상·해양 위성 간 융복합 활용협력 업무협약 체결('22.10.30, '22.3.29)

<sup>7)</sup>북미 (NASA, 해양환경청 등) 8팀, 유럽 (독일 막스플랑크연구소, 벨기에 왕립우주국 등) 7팀, 아시아 (일본 해양연구개발기구, 중국 과학기술대학 등) 5팀

**Table 3.** Target countries for Pandora Asia Network establishment.

Countries			Countries			Countries		
KOICA non-aid	(Korea)	○	Thailand	○	KOICA-aid	Bangladesh	○	
	China		Vietnam	○		Myanmar		
	Japan		Indonesia	○		Butane		
	Malaysia		Mongolia	○		Nepal		
	(Singapore)	○	Cambodia	○		India		
	Brunei		Philippines	○		Sri Lanka		
		Laos	○					

아 대기환경 개선 및 국제협력의 주도가 가능하게 되었다.

환경위성 자료를 기반으로 기상정보를 융합한 미세 먼지 이동량 산정기술 개발과 인공지능 기법을 적용한 지상 초미세먼지 및 미세먼지 추정농도 기술 개발을 통해 미세먼지 이동량 및 지상 초미세먼지 추정농도 자료를 준실시간으로 제공할 수 있게 되었으며, 미세먼지의 공간분포 및 일변화 분석이 가능하게 되었다. 이를 통해 고농도 대기오염물질 발생원인 및 현황 파악이 가능하여 대기질 예보정확도 향상에 기여할 수 있으며, 광범위한 지역에서의 지상농도를 한눈에 알 수 있어 지상 대기측정망이 부족한 사각지대의 미세먼지 농도를 파악하여 효과적으로 대응할 수 있게 되었다.

과학적 시사점으로는 대기오염물질 배출량 산정, 기후변화 영향분석, 화산·산불 등 재난상황 감시, 야간관측자료의 생산, 대기·건강·교통량·지표정보 등 빅데이터를 활용한 대기오염물질 생성원인 분석기술 등 다양한 분야에서 활용가능한 연구기반 마련 등을 들 수 있다.

아울러, 정책적 시사점으로는 환경위성 기반의 아시아 대기오염 상시 감시체계 구축을 통해 위성기반의 아시아 네트워크를 주도하고, 위성 국제협력을 통한 위성 검증·활용의 실질적 주도권 획득을 들 수 있으며, 실시간 위성 관측자료 및 위성 기반 대기질 분석자료를 제공하여 대기질 예보, 미세먼지 등 대기오염물질의 장거리 이동 분석·생성원인·영향분석 등

국가 대기정책 수립에 기여 등을 들 수 있다.

### 3. 환경위성 관측자료의 지속적인 검증 및 개선을 위한 첨단장비 개발

환경위성 정확도의 지속적인 모니터링을 위해서는 미국산 지상 원격관측장비인 판도라의 개선이 필요하다. 다만, 미국산 판도라 장비는 NO<sub>2</sub>, HCHO, SO<sub>2</sub> 등 가스상 물질의 대기 연직 분포와 컬럼 농도 관측이 가능하며, 자료처리는 미국 PGN (Pandora Global Network)에서만 가능하다. 그림 10은 국산 판도라 장비, 항공기 탑재형 환경위성 탑재체(EMSA), 저가형 이산화질소 존재 장비를 나타낸 것이다.

#### 3.1 미국산 지상원격관측 판도라 장비의 국산화

환경위성센터에서는 미국산 판도라 장비의 단점을 극복하기 위해 판도라 장비를 국산화하여 에어로졸의 특성 및 대기 연직 분포, 가스상 물질의 대기 연직 분포 및 컬럼 농도 관측, 국내 자료처리가 가능하도록 H/W와 S/W를 개발하였으며, 2023년 말에 상용화될 예정이다.

#### 3.2 항공기 탑재형 환경위성 탑재체(센서) 개발

환경위성센터에서는 환경위성 센서를 소형화하여 항공기 탑재가 가능한 장비(EMSA)<sup>8)</sup>로 개발하고 2022년 말부터 시험 비행 중에 있다.

<sup>8)</sup>EMSA: Environment Monitoring Spectrometer for Aircraft platform



Home-manufactured Pandora

Home-manufactured EMSA

Home-manufactured Low-price NO<sub>2</sub> Sonde

Fig. 10. Photographs of Home-manufactured high-tech equipment for validation of GEMS.

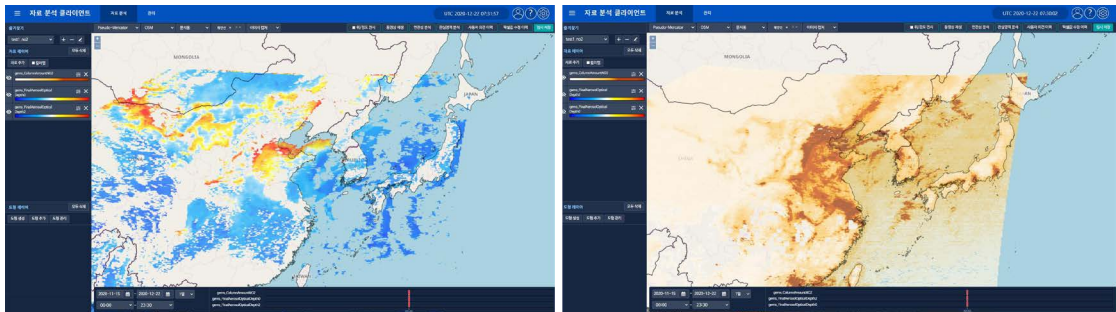


Fig. 11. Examples of analysis program for GEMS utilization.

### 3.3 저가형 오존 및 이산화질소 존데 개발

이 외에도 저가형 오존 및 이산화질소 존데 개발을 2021년부터 추진 중에 있다.

## 4. 환경위성자료 분석·활용 도구 개발 및 배포

### 4.1 환경위성 자료 분석 도구 개발

환경위성센터 내부 전산망에서는 대기질 현황 파악 및 정책지원의 목적으로 환경위성 분석 도구를 개발

하여 사용하고 있다.

### 4.2 환경위성 자료 활용 도구 개발 및 배포

위성 관측 원시자료를 이용한 영상화 및 자료 분석 프로그램은 위성 전문가들을 대상으로 하고 있기 때문에 환경위성 자료를 쉽게 활용할 수 있는 대국민 소프트웨어를 개발 중에 있으며 2023년 상반기 중 환경위성센터 홈페이지에 공개할 예정이다. 그림 11에 환경위성 자료 활용 분석프로그램의 예시를 나타내었다.

## 감사의 글

본 연구는 국립환경과학원 (과제번호 NIER-2023-01-01-023, NIER-2023-01-01-136) 지원으로 수행되었습니다.

## References

- Choi, J., Park, R.J., Lee, H.-M., Lee, S., Jo, D.S., Jeong, J.I., Henze, D.K., Woo, J.-H., Ban, S.-J., Lee, M.-D., Lim, C.-S., Park, M.-K., Shin, H.J., Cho, S., Peterson, D., Song, C.-K. (2019a) Impacts of local vs. trans-boundary emissions from different sectors on PM<sub>2.5</sub> exposure in South Korea during the KORUS-AQ campaign, *Atmospheric Environment*, 203, 196-205.
- Choi, W.J., Moon, K.J., Yoon, J., Cho, A., Kim, S.K., Lee, S., Ko, D.H., Kim, J., Ahn, M.H., Kim, D.R., Kim, S.M., Kim, J.Y., Nicks, D., Kim, J.S. (2019b) Introducing the geostationary environment monitoring spectrometer, *Journal of Applied Remote Sensing*, 12(4), 044005.
- Crawford, J.H., Ahn, J.-Y., Al-Saadi, J., Chang, L., Emmons, L.K., Kim, J., Lee, G., Park, J.-H., Park, R.J., Woo, J.H., Song, C.-K., Hong, J.-H., Hong, Y.-D., Lefer, B.L., Lee, M., Lee, T., Kim, S., Min, K.-E., Yum, S.S., Shin, H.J., Kim, Y.-W., Choi, J.-S., Park, J.-S., Szykman, J.J., Long, R.W., Jordan, C.E., Simpson, I.J., Fried, A., Dibb, J.E., Cho, S., Kim, Y.P. (2021) The Korea - United States air quality (KORUSAQ) field study, *Elementa*, 9(1), 00163.
- Kim, J., Jeong, U., Ahn, M.-H., Kim, J.H., Park, R.J., Lee, H., Song, C.H., Choi, Y.-S. (2020) New Era of Air Quality Monitoring from Space: Geostationary Environment Monitoring Spectrometer (GEMS), *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101, E1-E22. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0013.1>
- Kim, S.M., Koo, J.H., Lee, H., Mok, J., Choi, M., Go, S., Lee, S., Cho, Y., Hong, J., Seo, S., Lee, J., Hong, J.W., Kim, J. (2021) Comparison of PM<sub>2.5</sub> in Seoul, Korea Estimated from the Various Ground-Based and Satellite AOD, *Applied Sciences*, 11(22), 10755. <https://doi.org/10.3390/app112210755>
- Lee, C., Lee, K., Kim, S., Yu, J.H., Jeong, S., Yeom, J. (2021) Hourly Ground-level PM<sub>2.5</sub> Estimation Using Geostationary Satellite and Reanalysis Data via Deep Learning, *Remote Sensing*, 13(11), 2121. <https://doi.org/10.3390/re13112121>
- Zhai, S., Jacob, D.J., Brewer, J.F., Li, K., Moch, J.M., Kim, J., Lee, S., Lim, H., Lee, H.C., Kuk, S.K., *et al.* (2021) Interpretation of geostationary satellite aerosol optical depth (AOD) over East Asia in relation to fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>): Insights from the KORUS-AQ aircraft campaign and seasonality, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2021, 1-24.

## Authors Information

- 장임석 (국립환경과학원 환경위성센터 환경연구관)  
(lschang@korea.kr)
- 유정아 (국립환경과학원 환경위성센터 환경연구관)  
(jayu@korea.kr)
- 정재훈 (국립환경과학원 환경위성센터 환경연구관)  
(jaehoon80@korea.kr)
- 이원진 (국립환경과학원 환경위성센터 환경연구관)  
(wjleeleo@korea.kr)
- 강경희 (국립환경과학원 환경위성센터 환경연구관)  
(k2hee@korea.kr)
- 이동원 (국립환경과학원 환경위성센터 센터장)  
(ex12@korea.kr)