



창립 40주년 기념 특집호

권역별 대기환경연구소 기반의 대기 분야 연구 성과

Major Achievement Based on the Regional Air Quality Research Center in NIER

신혜정*, 송인호, 정해진, 안준영, 김대곤, 박정민

국립환경과학원 기후대기연구부 대기환경연구과

Hye Jung Shin*, In Ho Song, Hae Jin Jung, Joon Young Ahn,
Dae Gon Kim, Jung Min Park

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

접수일 2023년 6월 29일
수정일 2023년 8월 9일
채택일 2023년 8월 9일

Received 29 June 2023
Revised 9 August 2023
Accepted 9 August 2023

*Corresponding author
Tel : +82-(0)32-560-7269
E-mail : shjung@korea.kr

Abstract In order to characterize the fine particles and Asian dust through real-time measurement and comprehensive analysis, air quality research center have been established at 11 regions as of 2023 by the National Institute of Environmental Research, the Ministry of Environment. The research centers have settled up a operation method for newly introduced equipment, verified the reliability of measurement results, and analyzed the characteristics and emission sources of fine particles by region. Furthermore, box model has been developed to quantitatively understand the formation mechanism of secondary pollutants such as fine particles and ozone based on the site-specific measurement data. The infrastructure is actively being used for domestic and foreign joint research. In the future, it plans to expand not only air quality research, but also health research based on a joint utilization of research data.

Key words: Air quality research center, Fine particles, Real-time measurement

1. 대기환경연구소의 구축 및 운영 현황

환경부 국립환경과학원에서는 미세먼지 및 황사 등에 포함된 대기오염물질의 실시간 측정 및 종합적인 분석을 통한 국민 건강피해를 최소화하기 위해 2008년 백령도 대기환경연구소 구축을 시작으로 2023년 현재까지 총 11개소에 대기환경연구소(이하 연구소)를 구축하여 운영하고 있다. 현재 운영 중인 연구소는 백령도, 수도권(서울, 호남권(광주), 중부권(대전), 제주도, 영남권(울산), 경기권(안산), 충청권(서산), 전북권(익산), 강원권(춘천), 충북권(청주) 연구소이다. 연구소별 상세한 현황은 표 1과 같다. 그림 1에서 나타난 것과 같이 2000년대 초부터 황사 관측 일수가 급격히 증가하기 시작하였다. 이에 따라 대기환경보전법 제13조(황사피해방지 종합대책의

수립 등)(‘15.12.1 일부개정)으로 ‘황사’에서 ‘장거리이동 대기오염물질’대책으로 개정)에 따라 「황사피해방지종합대책」 이행을 위하여 황사 중에 포함된 유해 물질을 실시간 감시하기 위해 2007년에 백령도 대기환경연구소를 구축하여 2008년 12월부터 공식적으로 운영을 시작하였다. 이후 황사의 유입과 유출 경로 및 한반도 내에서의 거동을 파악하기 위해서 수도권, 호남권, 중부권, 영남권까지 한반도 내륙의 북서쪽 지역부터 동남쪽 지역까지 연구소를 연차적으로 확충하였다. 또한 한반도 배경지역의 대기질 특성 파악을 위해서 제주도에도 연구소를 구축하여 운영하고 있다.

환경부는 2011년부터 적용되는 「대기오염측정망 운영 계획(‘11~’15)」에 대기환경연구소를 국가대기오염측정망(現 국가대기환경측정망) 중 ‘집중측정망’

Table 1. Current status of air quality research center.

	Region (Date of operation)	Location	Scale (m ²)
1	Baengnyeong Island (Dec. 2008)	Baengnyeong Island, Ongjin-gun	662
2	Seoul metropolitan region (Jul. 2009)	Bulgwang-dong, Seoul	304
3	Honam region (Apr. 2009)	Oryong-dong, Gwangju	330
4	Jungbu region (Oct. 2010)	Munhwa-dong, Daejeon	522
5	Jeju Island (Feb. 2012)	Aewol-eup, Jeju	575
6	Youngnam region (Feb. 2013)	Seongan-dong, Ulsan	456
7	Gyeonggi region (May 2019)	Gojan-dong, Ansan	855
8	Chungcheong region (Nov. 2019)	Suseok-dong, Seosan	598
9	Jeonbuk region (Nov. 2020)	Mohyeon-dong, Iksan	887
10	Gangwon region (Mar. 2021)	Mancheon-ri, Chuncheon	728
11	Chungbuk region (Mar. 2023)	Ochang-eup, Cheongju	925

※ Daegu ('22~'23) and Gyeongbuk regions are scheduled to be established according to the 'Planning of air quality measurement network'

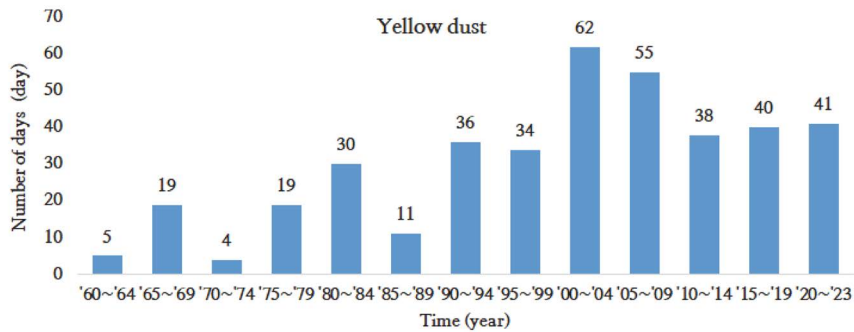


Fig. 1. Periodical number of days for yellow dust occurrence in Seoul ('60~'23).

으로 분류 및 편입하였다. 이에 따라 국립환경과학원에서 연구용 시설로 운영하던 연구소가 국가 대기질 측정 등 법정 업무를 수행하는 국가측정망의 역할을 수행하기 시작하였다. 현재는 대기환경보전법 제3조(상시관측), 동법 시행규칙 제11조(측정망의 종류 및 측정결과 보고)에 근거하여 연구소를 운영하고 있다. 대기환경측정망의 역할 수행을 위하여 운영하고 있는 측정장비는 SO₂, CO, O₃, NO₂ 등 기준성 가스상오염물질 측정장비, 미세먼지 (PM-10), 초미세먼지 (PM-2.5) 질량농도 측정장비 및 초미세먼지 중의 이온성분, 탄소성분, 원소성분 측정장비 등이다.

2015년 초미세먼지 환경기준을 설정하고 국가대기질 예보제를 실시하면서 초미세먼지에 대한 국민의 관심도가 급증하였다. 아울러 장기간 지속되는 초

미세먼지 고농도 사례의 발생으로 초미세먼지에 의한 국민의 우려가 급증하고, 정부가 이를 해결하기 원하는 국민적 요구에 부응하기 위해 환경부에서는 2016년 미세먼지 특별대책, 2017년 미세먼지 관리종합대책 등을 마련하였다. 이러한 대책의 일환으로 2017년에는 추경예산(10,000백만 원)을 편성하여 수도권 및 수도권 인근 다 배출지역인 경기권, 충청권에 연구소를 추가 구축하였다. 이후 「대기오염측정망 운영 계획('16~'20) (일부 개정) ('18년)」, 「대기오염측정망 운영 계획('21~'25)」에 따라 국내 주요 권역별(전북권, 강원권, 충북권)로 지속적으로 연구소를 추가 구축 중에 있다(그림 2). '23년 8월 현재 12번째 연구소인 대구권 대기환경연구소를 건축 추진 중이며, '24년 개소할 예정이다.

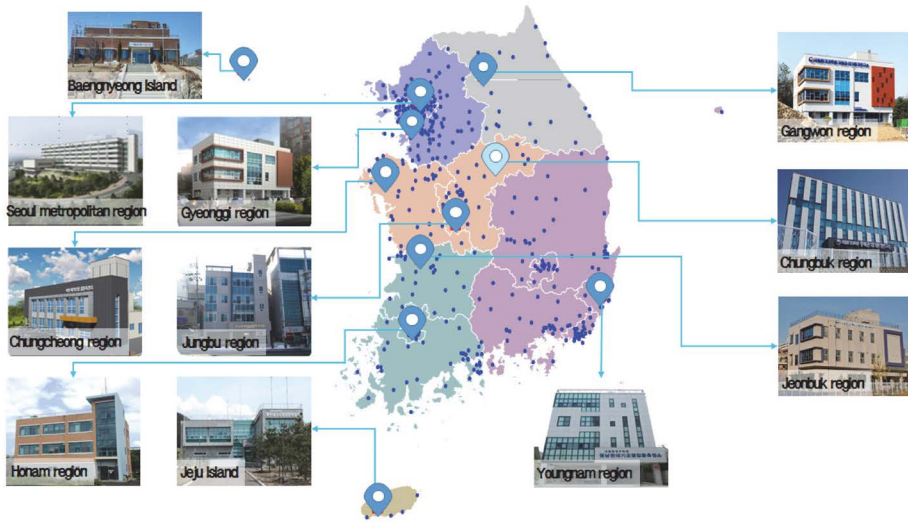


Fig. 2. Network of air quality research center by region.

2015년 8월 중국 텐진항 폭발사고로 시안화나트륨이 대량 누출되고 이후 중국 산둥성 화학공장 폭발로 인한 아디포니트릴 누출 등 이어지는 대규모 화학사고로 인해 국내에서는 장거리이동대기오염물질에 대한 피해방지 필요성이 대두되었다. 이에 따라 2015년 황사피해방지종합대책과 관련된 대기환경보전법 제13조~제15조가 각각 ‘장거리이동대기오염물질피해방지 종합대책의 수립 등’, ‘장거리이동대기오염물질대책위원회’ 및 ‘장거리이동대기오염물질피해 방지 등을 위한 국제협력’으로 개정(이후 제13조~제14조는 제11조(대기환경개선 종합계획의 수립 등), 통합 후 조항 삭제, '22.12.27)되었고 이를 근거로 장거리이동대기오염물질에 대한 상시 모니터링 체계가 마련되었다. 백령도, 수도권, 제주도 연구소는 장거리이동대기오염물질 23종에 대한 모니터링 역할 수행을 위해 2017년부터 추가적으로 불화수소, 시안화수소, 염화수소, 포름알데히드 및 11종의 휘발성유기화합물을 측정하기 위한 장비를 구축하여 운영 중에 있다(NIER, 2019b). 연구소는 위에서 언급한 법정 모니터링 대상 물질 외에도 미세먼지에 대한 배출원 및 특성 분석에 관한 연구를 수행하기 위한 목적으로 미세먼지의 입경분포 측정장비, 광학특성 측정장비를 운

영하고 있다. 각 연구소에서 운영하고 있는 장비에 대한 상세 현황은 표 2에 제시하였다.

2. 대기환경연구소 자료 공개 현황

연구소에서 측정하고 있는 미세먼지, 초미세먼지 질량농도와 그 구성 성분 측정 결과에 대한 일반 국민 및 환경·보건 분야 연구자들의 관심은 상당히 높다. 이러한 국민적 요구를 고려하여 2015년부터 연구소의 미세먼지 성분자료를 실시간으로 공개하기 시작하였다. 1차로 공개를 시작한 항목은 환경기준이 설정되어 있는 물질인 납(Pb)과 황사의 지표 물질로 황사의 정확한 유입 시점 파악에 활용될 수 있는 물질인 칼슘(Ca)이다. 연구소의 확충 시점, 운영 현황 등을 고려하여 2015년에는 백령도, 중부권, 2016년에는 호남권, 제주도, 2017년에는 수도권, 영남권(17.6) 순으로 관측자료를 실시간으로 공개하기 시작하였다. 국민의 자료 접근성을 높이기 위하여 국가 측정망 자료를 공개하고 있는 에어코리아 누리집을 통해 연구소의 성분자료도 함께 공개하고 있다. 실시간 자료 공개 시점 이후에 구축된 연구소의 경우는 구축

Table 2. Details for measurement system installed in air quality research center.

Measurement equipment	Measurement component	Measurement method	Cycle	Baeng-nyeong	Seoul	Jungbu	Honam	Young-nam	Jeju	Gyeong-gi	Chung-cheong	Jeon-buk	Gang-won	Chung-buk	
AWS	Wind direction & speed, temperature, humidity, precipitation	-	Real time (1 min)		○	○	○	○	○	○		○	○	○	
	SO ₂	Pulse U.V fluorescence			○		○		○	○	○	○	○	○	
	O ₃	U.V photometric			○		○	○	○	○	○	○		○	
Gas	CO	Non-dispersive infrared	Real time (5 min)		○	○	○		○	○	○	○	○	○	
	NO _x	Chemiluminescence			○		○		○		○	○		○	
	NO _y	Chemiluminescence			○	○	○		○	○	○	○	○		○
	NH ₃	Cavity ring-down spectroscopy			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Particle	PM _{2.5}	Beta-ray attenuation	Real time (1 hour)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	PM ₁₀	Beta-ray attenuation			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Particle (sampler)	PM ₁₀	Impaction	1 day		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	PM _{2.5}	Impaction			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
AIM	Ion in PM _{2.5}	Ion chromatograph			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
SOCEC	Carbon in PM _{2.5}	Thermal-optical transmittance	Real time (1 hour)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
XRF	Element in PM _{2.5}	X-Ray fluorescence spectroscopy			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Aethalometer	Black carbon	Optical attenuation	Real time (5 min)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Nephelometer	Scattering coefficient	Optical attenuation			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
SMPS	Particle count (0.01~0.5 μm)	Differential mobility analyzer	Real time (5 min)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
APS	Particle count (0.5~20 μm)	Time of flight			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Long-range transport air pollution	HCHO	Hantzch reaction	Real time (5 min)		○	○			○					○	
	HCl	Cavity ring-down spectroscopy			○	○			○						
	HF				○	○			○						
	HCN			○	○			○							
	Hg	Cold vapor atomic fluorescence spectrophotometer			○										
	VOCs	Gas chromatograph	Real time (1 hour)		○	○			○						

후 정상 가동 및 정도관리가 완료되면 즉시 자료의 실시간 공개를 시작하였다. 경기권의 경우 2000년 7월, 충청권 및 전북권 각각 2021년 3월 및 12월, 강원권 2022년 7월부터 자료가 공개되고 있다.

2019년 국가기후환경회의에서 미세먼지 문제 해결을 위한 국민 총의를 모아 제안한 국민이 만든 미세먼지 대책 중 하나로 ‘주간예보 시행과 함께 질적 성분 정보 공개’가 선정되었다(NCCA, 2019). 이에 따라, 미세먼지 종합계획(‘20~’25)의 세부 추진 과제로 ‘연구소의 측정성분 공개’가 선정되어 매년 공개 현황이 관리되고 있다. 국가 재난안전사업 성과목표 및 지표로도 ‘연구소 확충 및 측정항목 공개’가 선정되어 관리되고 있다. 또한 국가 주요 사업의 성과 목표 및 지표로 선정되어 연구소 측정항목 중 실시간 공개되는 항목을 지속적으로 확대하고 있다. 자료의 불변성, 상시운영의 적절성, 시간변동의 안정성, 수동 측정 방법과의 비교를 통한 상관성, 대기 중 농도 수준 등을 검토하고, 공개되는 자료가 가지는 정보의 유의성 등을 고려하여 2019년 12월부터는 망간(Mn), 니켈(Ni), 아연(Zn)을 공개항목으로 추가하였다. 연구소에서 초기에 도입하여 운영하고 있는 실시간 측정장비에 비해 내구연한 경과 후 최근에 신규로 도입한 실시간 측정장비의 성능 향상으로 인해 측정 결과의 정확도가 향상되어, 향후 추가 항목에 대해서도 공개가 가능할 것으로 판단된다.

실시간으로 공개되는 항목 이외에도 국가 측정망의 법정 모니터링 항목은 확정이 완료된 후 연구 목적으로 자료를 필요로 하는 연구진에게 공개하고 있다. 연간 측정자료의 확정시 정도관리를 목적으로 여과지에 포집하여 분석한 수동 측정자료와 연구소의 실시간 측정자료를 비교 검토하게 된다. 이 과정으로 인해 수동 측정자료의 실험실 분석이 완료된 이후 자료의 연간 확정 절차가 완료되고, 외부 전문가 그룹의 최종 검토 후 자료가 최종 확정된다. 연구소의 측정 자료는 익년 8월경에 최종 확정되어 공개되고 있다. 현재 2012년부터 2021년 연구소별 최종 확정 자료가 공개되고 있다. 2022년의 최종 확정자료는 올해

8월 이후 공개되고 있다.

3. 대기환경연구소의 주요 연구 성과

3.1 연구협약 체결

대기환경연구소는 2019년 5월 서울대학교 등 13개 기관(경북대학교, 고려대학교, 목포대학교, 서울대학교, 울산과학기술대학교, 울산대학교, 이화여자대학교, 전남대학교, 전북대학교, 제주대학교, 한국외국어대학교, 한국과학기술원, 한국표준과학연구원)의 14개 연구팀과 연구기능 강화를 위한 연구협약을 체결하였다. 2019년 11월에는 대·내외적인 수요에 발맞추어 기존의 모니터링 기능 중심에서 연구기능 강화를 위한 방향성을 담아 ‘대기오염집중측정소’라는 명칭을 대기환경연구소로 변경하였다. 이후 2020년 5월 국립축산과학원, 2020년 6월 부산연구원, 2020년 12월 한국화학연구원과 추가적으로 업무협약을 체결하였다. 2021년 3월 강원권 대기환경연구소의 개소와 아울러 강원대학교와도 업무협약을 체결하여, 현재 총 17개 기관 18개 연구팀과 연구협약하에 연구를 수행 중에 있다. 연구협력기관과 미세먼지 측정자료의 신뢰성 향상 및 권역별 미세먼지 특성과 발생원인 파악을 위한 공동연구를 수행하고 있으며, 미세먼지와 관련된 연구 성과의 공유와 활용을 위한 세미나와 워크숍 등을 공동으로 개최하는 등 연구기능 강화를 위해 지속적으로 협력하고 있다.

3.2 관측 및 분석 인프라 강화

연구소의 장기 관측 결과에 따르면, 국내·외 배출량 감축 정책 등의 효과로 그림 3과 같이 국내 황산염의 농도는 지속적으로 감소하고 있으나, 질산염의 농도는 증가하는 추세이다(NIER, 2022). 또한, 초미세먼지 고농도 현상 발생 시 국내 정체로 인한 질산염의 급격한 증가가 관측되는 등 질산염이 초미세먼지 농도를 결정짓는 주요한 성분으로 고려되고 있다. 관측 결과를 바탕으로 초미세먼지의 주요 성분인 질산

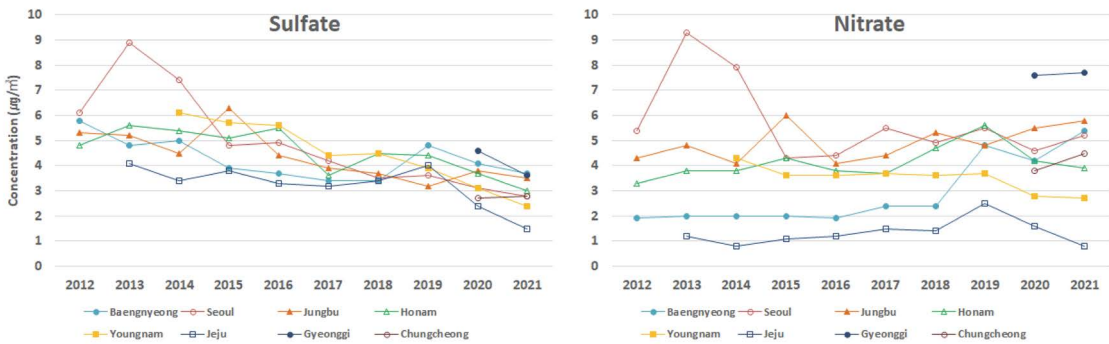


Fig. 3. Changes in annual average concentration of sulfate (left) and nitrate (right) by region (2012~2021).

염 생성기작을 규명하기 위한 인프라를 확충하기 시작하였다. 2020년부터 질산염 생성의 전구물질 중 하나인 암모니아를 연속적으로 측정하기 위한 측정장비(CRDS, PICARRO社, USA)를 10개 연구소에 설치하여 전국의 암모니아 농도 현황을 파악하는 연구를 수행하고 있다(NIER, 2019a, 2020b). 아울러 질산염 생성의 중간 생성물인 질산(HNO₃)을 측정하고, 야간의 질산염 생성에 관여하는 N₂O₅, ClNO₂ 등을 측정하기 위한 공동연구를 추진 중에 있다. 또한, 초미세먼지 및 오존 등 2차 생성 대기오염물질의 생성 메커니즘을 정량적으로 이해하고 모사하기 위한 박스모델(OCABOX)을 개발 중에 있다. 개발 중인 OCABOX 모델은 3차원 광화학 모델과 달리 배출량 불확도를 보완하기 위해서 1차 오염물질 및 반응의 중간 생성물의 실측자료를 입력할 수 있도록 구성하고, 모사된 유·무기 2차 오염물질에 대한 주요 생성 프로세스 및 반응 경로를 상세하게 파악할 수 있도록 구현되어 있다(Lee *et al.*, 2022).

연구소의 지속적인 기능 확대에 따라 운영해야 할 측정장비의 수는 증가함에도 불구하고 대부분의 연구소는 3명 내외의 연구인력으로 20여 대의 측정장비를 운영 중에 있다. 특히 백령도, 수도권, 제주도 연구소의 경우 장거리이동대기오염물질 측정을 위해 타 연구소보다 더 많은 장비를 운영하고 있다. 신뢰성 있는 측정자료의 확보를 위해서 장비별로 일간, 주간, 월간, 연간 점검을 수행해야 하며 아울러 정도

관리를 위한 교정, 검정 등을 주기적으로 수행하고 있어 제한된 인력으로 측정장비의 정상적인 운영 및 유지관리만으로도 한계가 있다. 향후, 다양한 대기오염물질의 정확한 생산과 정보공개, 연구성과 확대를 위해서는 인력증원이 절실하다.

3.3 권역별 대기질 특성 분석

권역별 대기질의 상시, 동시 관측으로 광역적으로 발생하는 대기 현상에 대한 분석이 가능하다. 특히 장거리 이동 측정에 있어 중요한 관측 지점으로 운영 중인 백령도 대기환경연구소의 자료를 기반으로 대기오염물질의 장거리 이동 특성을 확인할 수 있다. 특히 황사의 경우 그림 4와 같이 지표물질인 칼슘농도 관측 자료와 기류 분석을 통해 황사의 국내 유입 시점 및 국내 이동 경로 특성을 분석하고 있다(NIER, 2020a).

또한, 울산지역의 경우 국내 대부분의 지역과 달리 하절기에 미세먼지 고농도 발생이 잦은 특성을 보이고 있어, 그림 5와 같이 고농도 특성 확인 및 원인 분석에 활용되기도 한다(Lee *et al.*, 2023; Choi *et al.*, 2021). 제주지역의 경우 타 연구소와 달리 중국 남서 지역에서 유입되는 기류의 영향 및 일본 남동쪽 해양에서 유입되는 기류 영향을 직접적으로 받는 지역으로, 그림 6과 같이 화산활동에 의한 국내 영향 사례 파악에 활용되기도 한다(NIER, 2022).

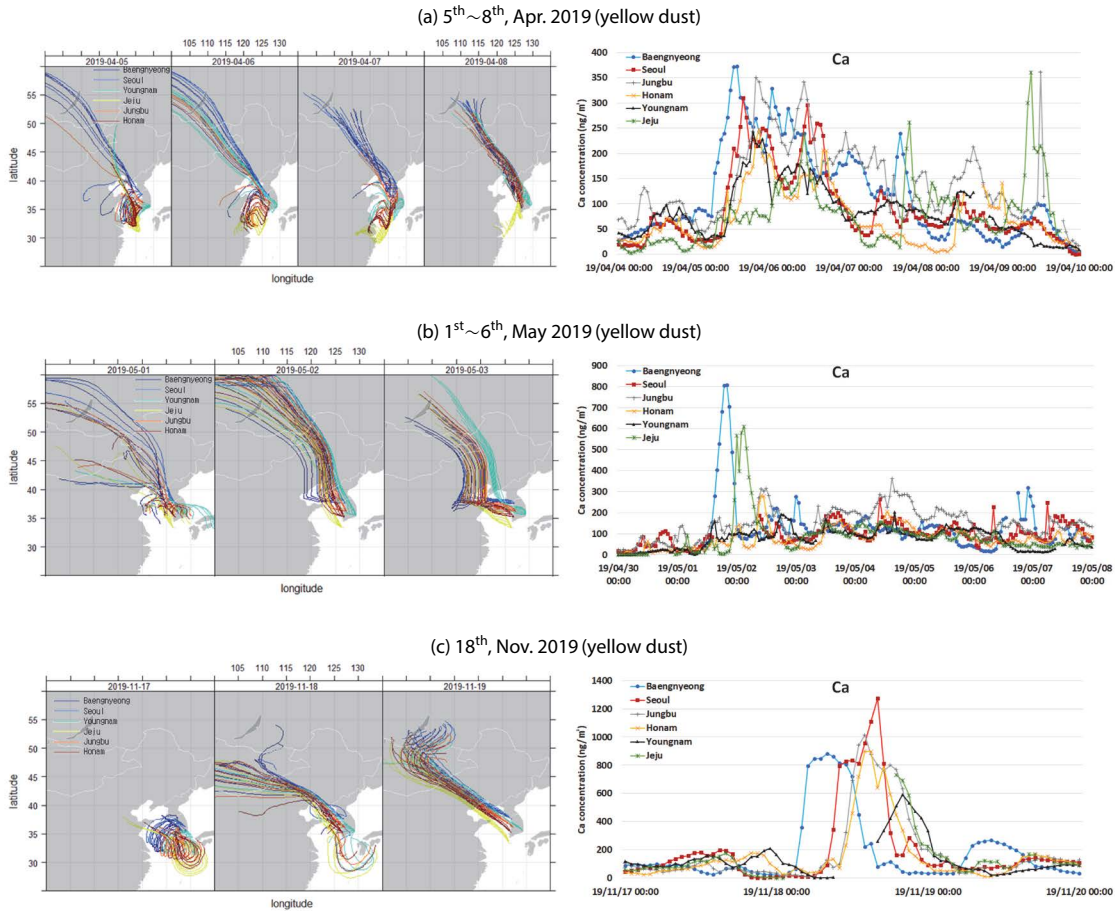


Fig. 4. Analysis result of backward trajectory (left) and time variation of calcium concentration (right) in yellow dust episode by region.

3.4 국내·외 대기질 공동연구

연구소의 인프라를 기반으로 한 관측 플랫폼은 과학원 중심의 연구협력 체계뿐만 아니라, 국내·외 공동연구에 적극적으로 활용 중에 있다. 2016년 5~6월 미국 NASA와 공동으로 수행한 KORUS-AQ (KORea-US Air Quality Study) 프로젝트에서 전국 권역별 연구소가 지상관측 플랫폼으로 포함되어 초미세먼지에 대한 특성 이해(그림 7), 초미세먼지 농도 및 오존 저감을 위한 저감 방안 도출 등에 기여하였다(NIER, 2017). KORUS-AQ 이후 미세먼지에 대한 과학적 이해 및 저감 방안 마련을 위해 기획·구성된 다부처 기술개발사업인 미세먼지 범부처 프로젝트('17~'19)

추진 시에도 연구소의 자료를 공유하여 국내 연구진의 연구를 지원하였다. 프로젝트의 세부사업인 '미세먼지 과학적 규명 및 예측' 과제의 세부과제로 추진된 '현안이슈 대응을 위한 미세먼지 발생원인 및 정량적 기여도 규명' 사업은 권역별 연구소의 자료를 적극적으로 활용하여 성과를 도출한 사업 중 하나이다. 이후 후속으로 추진하고 있는 '동북아 지역 연계 초미세먼지 대응 기술개발 사업단('20~'24)'과의 공동연구 일환으로 중국, 일본, 몽골과 우리나라의 수도권, 충청권 연구소를 집중 관측 플랫폼으로 포함하는 '동북아 국제공동측정을 통한 고농도 초미세먼지 발생 특성 규명 연구('20~'24)' 과제를 수행하고 있다.

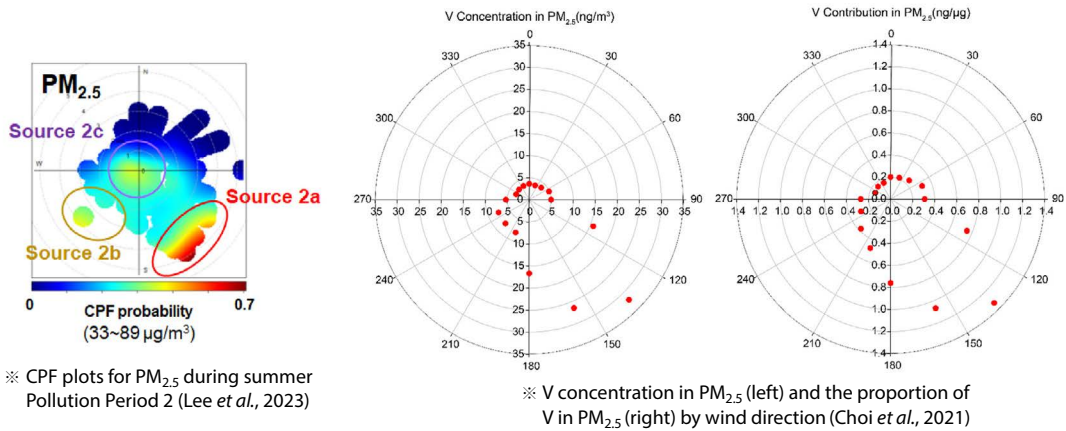


Fig. 5. Characteristics of high PM concentration episode in summer, Ulsan.

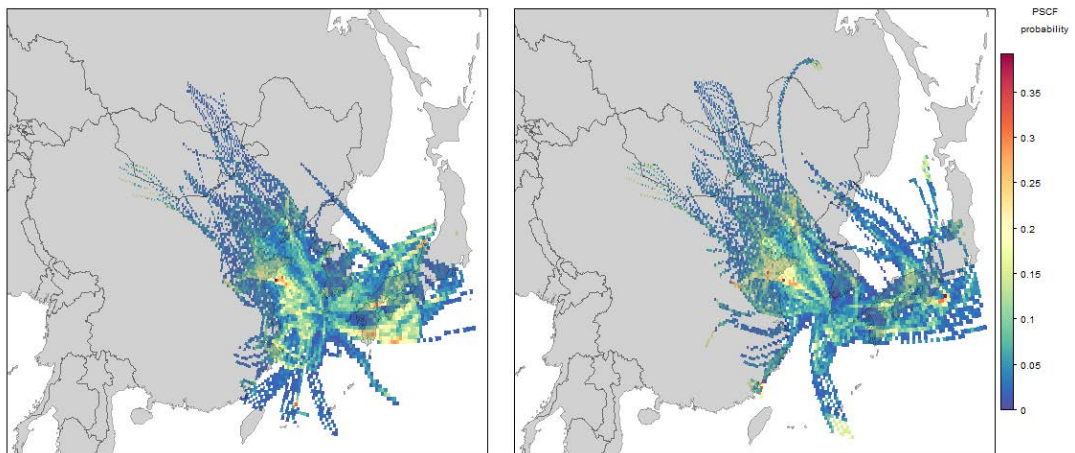


Fig. 6. Backward trajectory of sulfate (left) and sulfate excluding volcanic impacts (right) in 2021.

KORUS-AQ 캠페인의 후속으로 2024년 2월에 추진되는 SIJAQ (Second International Joint campaign for Air Quality monitoring) 캠페인에서도 백령도 및 경기권 연구소가 지상관측 플랫폼으로 참여할 예정이다.

연구소의 측정자료는 대기질 모델 검증 및 예보 현업에도 활용되고 있다. 대기환경연구소에서 생산되는 미세먼지 성분자료는 현업 예보관이 사용하는 『대기질예보 의사결정 지원 시스템』으로 실시간 연계되어 예보모델 참조와 모델 성능개선을 위한 자료로 지

속적으로 활용되고 있다. 또한, 미세먼지정보센터에서 미세먼지 저감 정책의 효과를 분석하기 위해 운영하고 있는 정책모델의 검증시 대기환경연구소 미세먼지 성분자료를 이용하고 있다.

최근 미세먼지특별위원회에서 계절관리제, 미세먼지 종합계획 등 대기질 저감정책의 효과 분석 시 배출량 감축 효과와 아울러 대기 중의 오염물질 농도 저감 효과를 관측자료 기반으로 분석할 것을 요구함에 따라 미세먼지 저감을 위한 산업발전, 수송, 생활 등 분야별 저감 정책이 실질적인 오염물질 농도에 미

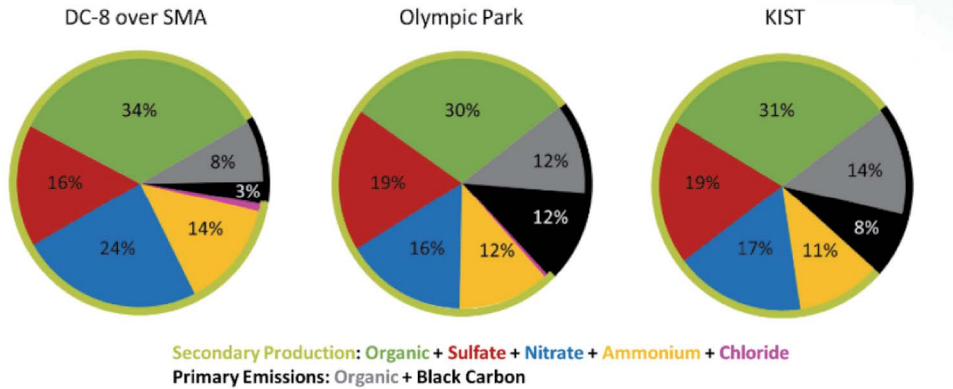


Fig. 7. Average composition of PM_{1.0} observed during KORUS-AQ by each research group (Source: NIER, 2017).

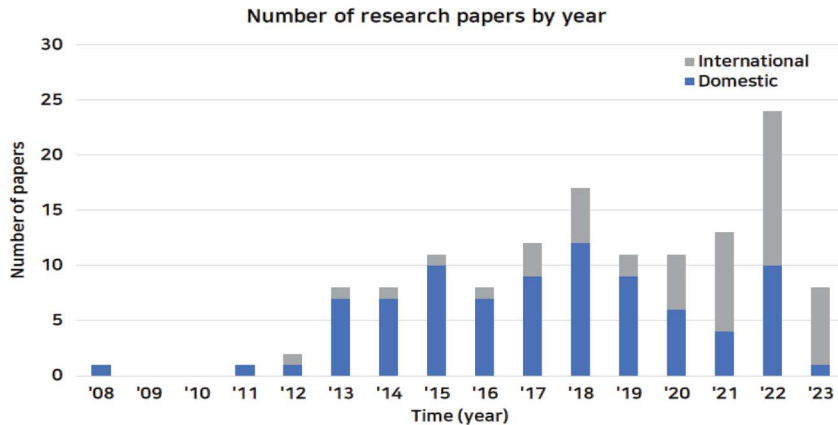


Fig. 8. Number of papers using data from air quality research center by year.

치는 효과를 관측자료 기반으로 분석하고 있다. 연구소에서 측정된 상세 성분자료를 배출원별 특성을 파악할 수 있는 지표물질로 활용하여 저감정책의 효과와 대기 중 미세먼지 농도 저감과의 인과관계를 분석하고 있다. 분야별 저감정책 중 선박유의 황함유량 강화와 관련된 효과는 모든 연구소에서 중유 연소의 지표물질인 바나듐과 니켈의 농도 감소 추이를 통해 확인할 수 있다. 아울러 농촌지역 불법소각 저감을 위한 정책으로 인해 지역별로 생물성 연소의 지표 물질(포타슘과 염소 이온 등)의 감소 경향도 장기 관측 결과로 확인할 수 있다.

3.5 연구논문 성과

연구소는 측정장비의 운영 및 분석을 기반으로 다양한 연구 성과를 도출하고 있으며, 연구소 자료를 활용한 논문의 현황 및 특성은 그림 8과 그림 9에 각각 나타내었다. 연구소의 초기 구축 시점에는 신규 측정장비 기반의 측정방법 구축 및 측정 결과의 신뢰도 검증 등이 주요한 연구성과였다(Lee *et al.*, 2015a, 2015b; Park *et al.*, 2015; Park *et al.*, 2014; Shin *et al.*, 2014). 연구소에서 운영하고 있는 대기 중 입자상의 물리·화학적 조성을 측정하는 다양한 준·실시간 관측장비에 대한 운영 매뉴얼도 작성하였다(NIER,

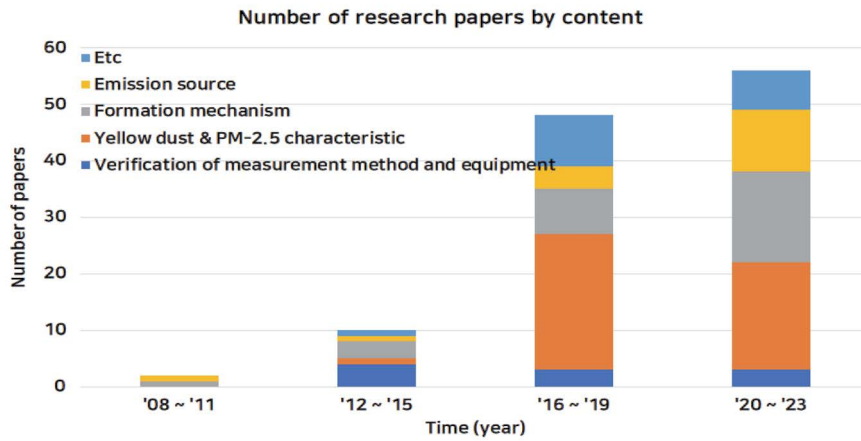


Fig. 9. Number of papers using data from air quality research center by content and period.

2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e, 2015f, 2015g, 2015h, 2015i, 2015j). 연구소별로 장비 운영이 안정화되어 연속된 장기 측정자료를 생산하기 시작한 2010년 후반 이후부터 대기 중 미세먼지의 화학조성 특성을 분석하여 이를 기반으로 지역별 미세먼지의 특성 및 배출원 분석, 장거리 유입 특성을 분석한 연구 결과를 도출하기 시작했다(Kim *et al.*, 2021, 2017; Park *et al.*, 2018; Yu *et al.*, 2018; Shin *et al.*, 2016).

4. 향후 계획 및 제언

국립환경과학원에서 운영 중인 대기환경연구소는 대기질 분야의 첨단 측정 기술이 집적된 연구시설로 장기적이고 안정적인 관측을 바탕으로 대기환경확회를 비롯한 대기 분야의 연구 기반을 강화하는 데 큰 역할을 수행하고 있다. 또한, 국가대기환경측정망으로서의 법정 업무 수행을 위해서 초미세먼지의 화학적 특성 분석 등 상세 성분자료를 연간 상시, 안정적으로 생산하고 있다. 지역별로 시간 해상도의 장기간 연속 측정된 초미세먼지 상세 성분자료를 보유하고 있는 사례는 전 세계적으로도 유일하며, 이러한 자료는 국내 대기질 개선 정책의 방향 설정 및 효과 분석을 위한 근거자료로의 활용 가치가 상당히 높다.

현재까지 연구소 자료는 대기 분야에서 미세먼지 정책과 연관된 연구를 위해 주로 활용되어 왔으나, 앞으로는 인체 건강 위해성을 고려한 환경정책의 방향 설정에도 확장하여 사용이 가능할 것으로 판단된다. 연구소 자료를 보건분야 연구기관 및 연구진과 활발하게 공유하고 공동 연구를 수행할 수 있도록 기반을 마련할 예정이다.

또한, 연구소가 보유하고 있는 인프라 및 연구 자료가 국내·외 대기질 연구기관 및 연구진과 활발하게 공유되고 활용될 수 있도록 체계를 마련하고 공동 연구를 지속적으로 수행하고자 한다.

감사의 글

이 글은 국립환경과학원의 사업(NIER-2021-03-02-013) 기반으로 작성되었습니다.

References

Choi, W.J., Jung, B., Lee, D., Kang, H., Kim, H., Hong, H. (2021) An Investigation into the Effect of Emissions from Industrial Complexes on Air Quality in the Ulsan Metropolitan City Utilizing Trace Components in PM_{2.5}, Applied

- Sciences, 11(21), 10003. <https://doi.org/10.3390/app112110003>
- Kim, J.H., Park, J.S., Choi, J.S., Park, J.S., Park, S.M., Song, I.H., Shin, H.J., Ahn, J.Y., Kim, S.D. (2017) A study on the characteristics of PM_{1.0} and source of organic components during summertime at Seoul and Baengnyeong Island, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 17(3), 213-230.
- Kim, N.K., Kim, I.S., Song, I.H., Park, S.M., Lim, H.B., Kim, Y.P., Shin, H.J., Lee, J.Y. (2021) Temporal variation of sulfate concentration in PM_{2.5} and major factors enhancing sulfate concentration in the atmosphere of Seoul, Korea, Air Quality, Atmosphere & Health, 14, 985-999. <https://doi.org/10.1007/s11869-021-00993-0>
- Lee, H.J., Kim, D.W., Yeo, M.S., Kim, Y.S., Jung, C.H., Cho, S.G., Park, J.H., Shin, H.J., Park, S.H. (2022) A Box-Model Simulation of the Formation of Inorganic Ionic Particulate Species and Their Air Quality Implications in South Korea, Asian Journal of Atmospheric Environment, 16(4), 54-79. <https://doi.org/10.5572/ajae.2022.119>
- Lee, S.J., Lee, H.Y., Kim, S.J., Kang, H.J., Kim, H., Seo, Y.K., Shin, H.J., Ghim, Y.S., Song, C.K., Choi, S.D. (2023) Pollution characteristics of PM_{2.5} during high concentration periods in summer and winter in Ulsan, the largest industrial city in South Korea, Atmospheric Environment, 292, 119418. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119418>
- Lee, Y.H., Park, J.S., Oh, J., Choi, J.S., Kim, H.J., Ahn, J.Y., Hong, Y.D., Hong, J.H., Han, J.S., Lee, G. (2015a) Field performance evaluation of candidate samplers for National Reference Method for PM_{2.5}, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 31(2), 157-163. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2015.31.2.157>
- Lee, Y.J., Jung, S.A., Jo, M.R., Kim, S.J., Park, M.K., Ahn, J.Y., Lyu, Y.S., Choi, W.J., Hong, Y.D., Han, J.S., Lim, J.H. (2015b) Characteristics of PM chemical component during haze episode and Asian dust at Gwang-ju, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 30(5), 434-448, 157-163. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2015.31.4.330>
- National Council on Climate and Air quality (NCCA) (2019) Public policy proposal of National Council on Climate and Air quality.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2015a) Operation guideline of Intensive Air Quality Monitoring Station (I) - Real time measurement method for carbon component in PM_{2.5}.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2015b) Operation guideline of Intensive Air Quality Monitoring Station (II) - Real time measurement method for metal component in PM_{2.5}.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2015c) Operation guideline of Intensive Air Quality Monitoring Station (III) - Real time measurement method for ion component in PM_{2.5}.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2015d) Operation guideline of Intensive Air Quality Monitoring Station (IV) - Real time measurement method for PM₁₀ & PM_{2.5} mass concentration.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2015e) Operation guideline of Intensive Air Quality Monitoring Station (V) - Real time measurement method for particle size distribution.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2015f) Operation guideline of Intensive Air Quality Monitoring Station (VI) - Real time measurement method for particle size distribution.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2015g) Operation guideline of Intensive Air Quality Monitoring Station (VII) - Real time measurement method for particle size distribution.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2015h) Operation guideline of Intensive Air Quality Monitoring Station (VIII) - Real time measurement method for black carbon in PM_{2.5}.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2015i) Operation guideline of Intensive Air Quality Monitoring Station (IX) - Real time measurement method for particle scattering coefficient.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2015j) Operation guideline of Intensive Air Quality Monitoring Station (X) - Real time measurement method for PM₁₀ & PM_{2.5} mass concentration.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2017) Report on the KORUS-AQ - Emphasis on Ozone and fine particles.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2019a) Characteristics of regional ambient ammonia and its impact on secondary aerosol formation (I).
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2019b) Studies on preparation of test method and guideline for long range transport air pollutants.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2020a) 2019 Annual Report of Intensive Air Quality Monitoring Station.

- National Institute of Environmental Research (NIER) (2020b) Characteristics of regional ambient ammonia and its impact on secondary aerosol formation (II).
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2022) 2021 Annual Report of Air Quality Research Center.
- Park, J.S., Moon, K.J., Park, S.M., Song, I.H., Kim, H.J., Hong, Y.D., Han, J.S. (2014) Possibility of the PM₁₀ and PM_{2.5} concentration monitoring system using SMPS-APS combination, *Journal of Korean Society for Environmental Analysis*, 17(3), 161-172.
- Park, J.S., Park, S.M., Song, I.H., Shin, H.J., Hong, Y.D. (2015) Characteristics of visibility impairment by semi-continuous optical and chemical property monitoring of aerosols in Seoul, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 31(4), 319-329. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2015.31.4.319>
- Park, S.M., Song, I.H., Park, J.S., Oh, J., Moon, K.J., Shin, H.J., Ahn, J.Y., Lee, M.D., Kim, J.H., Lee, G. (2018) Variation of PM_{2.5} chemical compositions and their contributions to light extinction in Seoul, *Aerosol and Air Quality Research*, 18(9), 2220-2229. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2017.10.0369>
- Shin, H.J., Park, S.M., Park, J.S., Song, I.H., Hong, Y.D. Han, J.S. (2014) Comparison and Assessment of Two Different Types of Real Time Atmospheric Water Soluble Ion Analyzers, *Journal of Korean Society for Environmental Analysis*, 17(2), 104-111.
- Shin, H.J., Park, S.M., Park, J.S., Song, I.H., Hong, Y.D. (2016) Chemical characteristics of high PM episodes occurring in spring 2014, Seoul, Korea, *Advances in Meteorology*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/2424875>
- Yu, G.H., Park, S.S., Park, J.S., Park, S.M., Song, I.H., Oh, J., Shin, H.J., Lee, M.D., Lim, H.B., Kim, H.W., Choi, J.Y. (2018) Pollution characteristics of PM_{2.5} observed during winter and summer in Baengryeongdo and Seoul, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 34(1), 38-55. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2018.34.1.038>

Authors Information

신혜정 (국립환경과학원 기후대기연구부 대기환경연구과 연구관) (shjoung@korea.kr)

송인호 (국립환경과학원 기후대기연구부 대기환경연구과 전문위원) (onepiece00@korea.kr)

정해진 (국립환경과학원 기후대기연구부 대기환경연구과 연구사) (haejin13@korea.kr)

안준영 (국립환경과학원 기후대기연구부 대기환경연구과 연구관) (nierair@korea.kr)

김대곤 (국립환경과학원 기후대기연구부 대기환경연구과 연구관) (nierkdg@korea.kr)

박정민 (국립환경과학원 기후대기연구부 대기환경연구과 과장) (ilikepaul@korea.kr)