

ISSN 2733-7529 (Print)
ISSN 2733-7537 (Online)

Poles & Globe

극지와 세계

2023 SEPTEMBER
Vol. 03

국가환경시료은행,
남극 시료 확보·저장으로
남극 환경 지킴이에 나선다

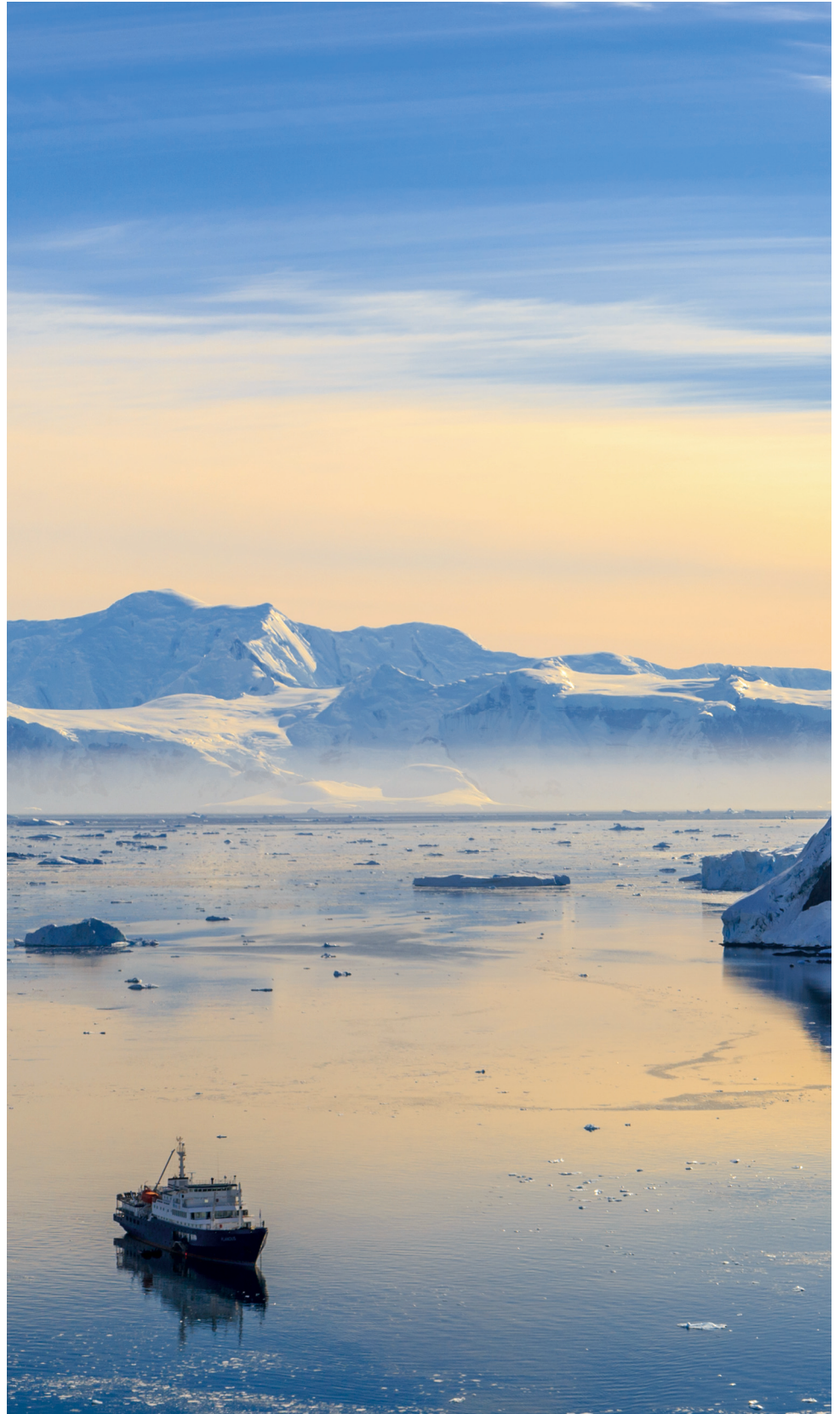
이장호
국립환경과학원

우주 행성 자원탐사의 시작
남극 빙하 시추

유병현
한국건설기술연구원

국가관할권 한계 바깥 지역
해양생물다양성(BBNJ) 협정 채택의
의미와 극지에 미치는 영향

이창열
한국해양과학기술원



SEPTEMBER

Vol. 03

03p 이장호 국립환경과학원

국가환경시료은행, 남극 시료 확보·저장으로 남극 환경 지킴이에 나선다

환경부 국립환경과학원에서 운영하는 국가환경시료은행은 2022~2023년 남극 하계연구활동 기간에 남극 세종과학 기지 인근(나레브스키 특별보호구역 포함)에서 국내로 운송해온 지의류, 이끼류, 샷갯조개 등 8종류 167점의 시료를 초저온 저장했다. 국가환경시료은행은 시료를 -150°C 이하로 변질 없이 보관할 수 있는 액체질소 냉동고 등의 시설을 구비하고 있다. 따라서 저장된 시료들은 남극 환경오염 모니터링에 활용될 예정이다. 장기간 보관이 가능한 시료들은 과거에 미처 조사하지 못했던 오염 실태를 실증적으로 파악하는 데 큰 도움을 준다. 국가환경시료은행은 2009년에 건립되어 2012년부터 국내 27곳에서 소나무, 잉어, 갯이갈매기 알 등 9종의 시료를 채취·보관하고, 국내 환경오염 실태를 조사·평가하는 데 활용되고 있다. 환경부는 우리나라 지정 남극특별보호구역 환경관리 담당 부처로서 2010년부터 보호구역과 그 주변의 생물 서식 실태 등을 조사해 오고 있다. 이에 더해 서식 생물이 오염 물질에 얼마나 많이 노출되어 있는지를 파악하고자 이번에 국가환경시료은행에서 시료를 채취·저장하게 되었다. 아울러 저장된 시료들로 오염물질을 분석하고 그 결과를 남극과학위원회와 공유하는 등 남극 환경오염 모니터링 국제협력에 적극적으로 동참하고자 한다.

06p 유병현 한국건설기술연구원

우주 행성 자원탐사의 시작 남극 빙하 시추

인류의 지구 밖으로의 탐사는 영원한 도전과 과학 발전을 토대로 이뤄지는 과정이다. 우주의 신비와 미지의 세계를 탐험하려는 인류의 노력은 과학 기술 발전과 함께 지속적으로 이루어지고 있다. 남극은 남위 60도 이상의 육지·빙봉 및 수역과 그 상공으로 이루어져 있고 독특한 지리적 조건과 자연환경으로 우주탐사기술 개발에 매우 중요한 역할을 수행할 수 있다. 남극이 가진 극한의 자연환경은 우주 탐사를 위한 기술과 장비를 테스트하기에 적합한 요소이기도 하다. 또한 남극은 매우 추운 기후와 강한 바람, 거대한 빙하로 이루어져 있으며 이는 우주 운송, 탐사 및 보호 장치의 신뢰성과 내구성 검증 및 우주기술 개발에 있어 매우 유리하다.

09p 이창열 한국해양과학기술원

국가관할권 한계 바깥 지역 해양생물다양성(BBNJ) 협정 채택의 의미와 극지에 미치는 영향

2023년 6월, 유엔은 국가관할권 한계 바깥 지역 해양생물다양성 보전과 지속가능한 이용에 관한 유엔해양법협약 하의 협정(Agreement under the United Nations Convention on the Law of the Sea on the conservation and sustainable use of marine biological diversity of areas beyond national jurisdiction)을 채택하였다. 동 협정은 국가의 배타적관할권이 미치지 않는 공해와 심해저에서의 해양생물다양성을 보전하고 지속가능하게 이용하려는 데 목적이 있다. 이 협정은 이러한 목적을 달성하기 위하여 해양보호구역과 같은 보호 대상 구역을 찾아 인간의 활동을 규제하는 일정한 조치를 취할 수 있는 국제적 절차 규정을 마련하고, 공해와 심해저에서 각국이 계획하는 활동으로 인하여 발생하는 해양환경의 영향을 검토하여 그 영향을 저감할 수 있는 조치 등을 강구하는 환경영향평가 과정을 규정하고 있다. 동 협정이 적용되는 지리적 범위는 공해와 심해저로서, 북극 한가운데 존재하는 공해에도 해당된다. 또한 남극조약과 남극해양생물자원보존협약의 해석에 대한 견해차에 따라 남극대륙 주변 해역에도 적용된다고 볼 수 있다. 따라서 국가관할권 한계 바깥 지역의 해양생물다양성 협정 이행과 관련하여 극지에 대한 제도 보완, 그리고 남극 관련 조약과의 관계에 관한 문제 검토가 요구된다.

이장호 국립환경과학원



국가환경시료은행, 남극 시료 확보·저장으로 남극 환경 지킴이에 나선다

환경부 국립환경과학원에서 운영하는 국가환경시료은행은 2022~2023년 남극 하계연구활동 기간에 남극 세종과학기지 인근(나레브스키 특별보호구역 포함)에서 국내로 운송해온 지의류, 이끼류, 삿갓조개 등 8종류 167점의 시료를 초저온 저장했다. 국가환경시료은행은 시료를 -150°C 이하로 변질 없이 보관할 수 있는 액체질소 냉동고 등의 시설을 구비하고 있다. 따라서 저장된 시료들은 남극 환경오염 모니터링에 활용될 예정이다. 장기간 보관이 가능한 시료들은 과거에 미처 조사하지 못했던 오염 실태를 실증적으로 파악하는 데 큰 도움을 준다. 국가환경시료은행은 2009년에 건립되어 2012년부터 국내 27곳에서 소나무, 잉어, 갯이갈매기 알 등 9종의 시료를 채취·보관하고, 국내 환경오염 실태를 조사·평가하는 데 활용되고 있다. 환경부는 우리나라 지정 남극특별보호구역 환경관리 담당 부처로서 2010년부터 보호구역과 그 주변의 생물 서식 실태 등을 조사해 오고 있다. 이에 더해 서식 생물이 오염물질에 얼마나 많이 노출되어 있는지를 파악하고자 이번에 국가환경시료은행에서 시료를 채취·저장하게 되었다. 아울러 저장된 시료들로 오염물질을 분석하고 그 결과를 남극과학위원회와 공유하는 등 남극 환경오염 모니터링 국제협력에 적극적으로 동참하고자 한다.

저장된 시료를 활용한 환경오염 모니터링의 필요성

연구 시료를 장기간 안정적으로 보관해 두면 쓸모가 많은데, 당장 확인하지 못한 사항을 나중에 분석해 볼 수 있다는 점이 그중 하나이다. 예를 들면, 현재는 관심 밖인 화학물질이지만 나중에 유해물질로 판명될 때 과거 당시에는 오염 농도가 어느 정도였는지를 알 수 있다. 그리고 환경오염 사고가 발생한 후 생태계를 어느 수준까지 복원할 수 있을지를 예측할 때도 사고 전에 저장해 둔 시료가 유용하게 활용된다.

환경부 국립환경과학원에서 운영하는 국가환경시료은행(이하 '환경시료은행')은 환경오염 등을 조사·평가하기 위한 시료를 확보·저장·활용하는 시설이다. 유사한 이름의 시설로 환경부 국립생물자원관에서 운영하는 국가야생생물소재은행이 있다. 이곳은 유전자원, 천연물, 배양체, 종자를 보관하여 생물의 다양성을 보전하고 다양한 성분을 추출하여 의약품이나 식품 등의 개발에 활용토록 지원하는 곳이다. 환경오염을 조사·평가하기 위해 시료를 확보하는 환경시료은행과는 차이가 있다. 환경시료은행의 핵심 시설은 시료 초저온 저장 설비이다. 초저온 액체질소(끓는점 -196도)를 공급하는 탱크(8.7톤 용량)와 고압가스 배관, 시료 저장냉동고(71기 설치 규모) 등으로 구성되어 있다. 액체질소를 이용하면 -150도 이하의 온도로 시료를 변질 없이 장기간 보관할 수 있다. 환경오염 등을 조사하기 위해 시료를 보관하는 시설로는 국내에서 유일하다. 채취한 시료는 크기, 무게, 연령 등 생체특성치를 측정 후 분쇄·균질화 작업을 거쳐 분말로 제작한다. 동일한 성상을 지닌 균질화된 분말은 많은 연구자들이 활용할 수 있도록 수십 개의 바이알 용기에 나눠 담아 저장한다.



[그림 1] 국가환경시료은행 주요 운영 방식

남극 시료도 장기간 보관했다가 연구에 활용하기 위해서 이번 22~23년 시즌에 채취하였다. 이번 시즌에는 남극 세종과학기지 인근에서 지의류, 이끼류, 삿갓조개 등을 채취하였다. 지의류와 이끼류는 대기에서 흡착되는 오염물질을 모니터링하는 데 적합한 시료다. 삿갓조개는 연안의 오염상태를 모니터링하는 데 사용한다.



[그림 2] 세종과학기지 화석봉 인근에서 낫깃털이끼를 채취하는 모습

국가환경시료은행의 핵심, 초저온 저장

환경시료은행은 초저온 액체질소를 사용해서 시료를 안정적으로 보관하고 있다. 초저온은 -150도 이하의 온도로서 시료의 이화학적 변화가 없는 상태로 알려져 있다. 액체질소(끓는점 -196도)가 기체로 변하면서 냉각 효과가 나타나 저온 상태가 유지된다. 그리고 저장 냉동고 내부는 기체질소로 채워지면서 산소가 줄어들게 되어 미생물 활동이 더욱 제약을 받게 된다. 일반적으로 많은 실험실에서는 -20도의 냉동고에 시료를 보관하지만 미생물 등에 의한 변질 등으로 장기간 보관할 수는 없다. 환경시료은행의 주요 시료 종류는 생물이다. 어떤 환경에서든 물이나 대기 같은 매체는 흘러가거나 바람이 불면 즉시 깨끗해지지만, 그곳에 서식하는 생물은 체내에 오염물질이 장기간 축적되기 때문에 적은 양의 오염물질도 감지할 수 있다는 이점이 있다. 우리나라 관악산, 낙동강, 백령도 등 생물 서식지 27곳에서 2012년부터 소나무, 잉어, 갯이갈매기 알 등 9종의 생물 시료를 채취·보관해 오고 있다.

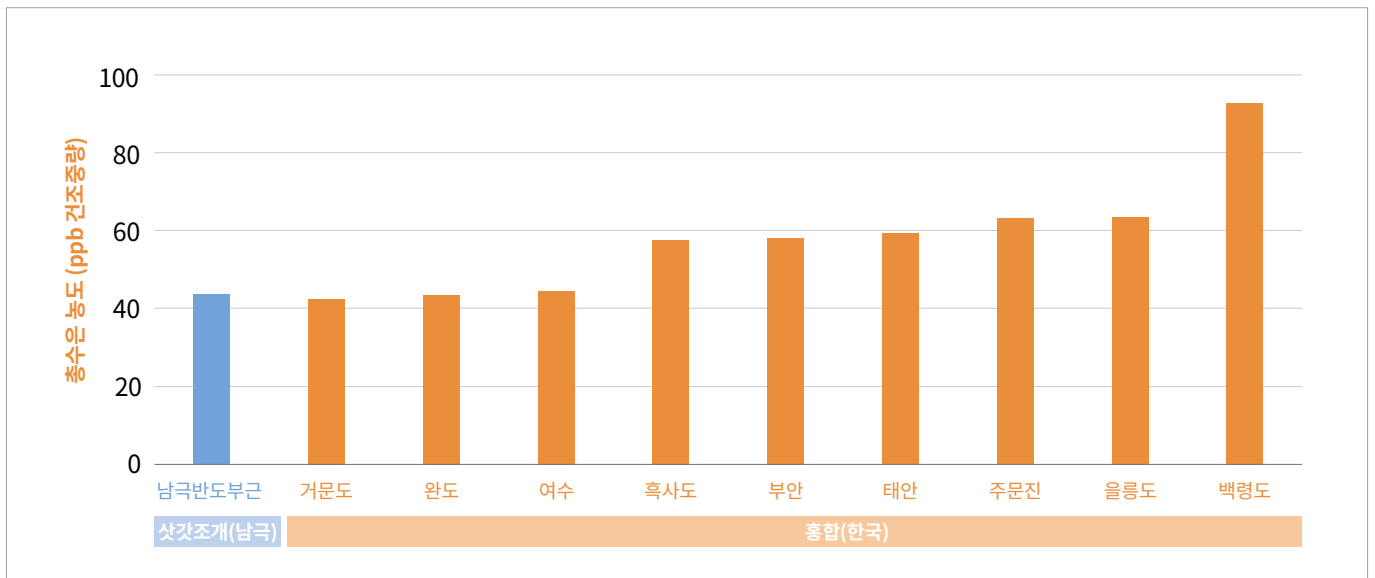
저장한 시료는 환경오염 모니터링에 활용된다. [그림 3]은 남극 삿갓조개(*Nacella concinna*)와 우리나라 홍합(*Mytilus coruscus*)의 수은 농도를 비교한 그래프다. Castro-Fernández 등(2021)이 조사한 남극 삿갓조개의 총 수은 농도는 평균 약 43.5 ppb (건조중량)였다. 이에 비해 서해 백령도, 남해 완도, 동해 울릉도 등 9곳의 총 수은 농도는 평균 58.3ppb(건조중량)였다 (2018). 백령도가 92.7ppb(건조중량)으로 가장 높았고, 거문도가 42.3ppb(건조중량)으로 가장 낮았다. 남극 삿갓조개는 거문도 홍합과 비슷한 수준이었다. 남극과 같은 청정지역에 서식하는 생물

일지라도 수은 같은 오염물질의 축적이 가능할 수 있음을 의미한다. 앞으로 수은 농도 증감에 대한 모니터링을 꾸준히 진행할 필요가 있다. 이번에 환경시료은행에서 확보한 시료도 남극 환경 내 오염물질 농도를 지속적으로 모니터링하는 데 활용될 예정이다.

전 지구적 환경오염이 도달하는 곳, 남극

남극대륙은 청정지역이지만 대기의 장거리 이동으로 전 지구적 오염의 영향을 받고 있다. Kang 등(2012)이 2007~2008년에 동남극 내륙의 눈 속에 함유된 유기염소계^{***} 살충제를 조사한 결과, 생물 독성이 커 2009년부터 스톡홀름협약^{****}에 의해 규제되고 있는 γ -HCH(감마-핵사클로로시클로hexan)는 평균 69.9 pg^{****}/L의 농도로 검출되었다. 이 같은 유기염소계 살충제가 청정지역인 남극 내륙에서 검출된 이유를 대기 유입경로 분석기법인 역궤적(backward air trajectory) 분석으로 살펴본 결과, 인도양과 대서양에서 장거리 이동한 대기가 남극 내륙으로 들어와 눈을 매개로 침강되었기 때문으로 밝힌 바 있다.

남극에서 검출된 또 다른 예로 대표적인 살충제인 DDT를 들 수 있다. Bacci 등(1986)의 조사에 따르면, 1985년에 채취한 남극 지의류에서 살충제 DDT의 주요 성분인 *p,p'*-DDT의 농도는 80~900ppt^{*****}(건조중량) 정도로 나타났다. 이후 Zhang 등(2015)이 2009~2011년에 조사한 결과, *p,p'*-DDT의 농도는 지점에 따라 불검출되거나 대부분 31.6 ppt(건조중량) 수준으로 매우 낮게 나타났다. 그 이유로 1990년대 이전까지 전 지구적으로 활발히 사용되었던 DDT는 남극에도 장거리 이동을 통해 유입되었다가 이후에 국제사회에서 사용 및 생산이 규제됨으로써 전 지구적으로



[그림 3] 남극 삿갓조개와 우리나라 홍합 시료의 내 수은 농도

※출처 -삿갓조개: Castro-Fernández, P.D., Cardona, L., Avila, C., 2021. Distribution of trace elements in benthic infralittoral organisms from the western Antarctic Peninsula reveals no latitudinal gradient of pollution. Scientific Reports, 11:16266.

-홍합: 이수용, 이장호, 2018. 연안환경 모니터링을 위한 홍합(*Mytilus coruscus*)의 체내 수은 함량 분석.

J. Environ. Sci. Int., 27(12);1291~1298.

환경 오염 농도가 줄어들면서 남극에서도 유입이 점차 감소했다고 한다.

살충제나 오염방지제 등은 잔류성유기오염물질을 포함하고 있는데, 이들 물질은 내분비계장애 등의 생체 독성을 일으킬 뿐만 아니라 분해가 느려 생태계에 오래 잔류하며, 바람과 해류를 따라 장거리로 이동되는 특징이 있다. 남극연구과학위원회의 ImPACT(Input Pathways of Persistent Organic Pollutants to Antarctica) 그룹은 남극대륙에 유입되는 잔류성유기오염물질에 대한 공동 모니터링 프로그램을 담당하고 있다. 잔류성유기오염물질에 관한 스톡홀름협약이 발효된 2004년 당시에는 10여 종의 오염물질이 규제 대상으로 지정되었는데, 현재는 30여 종으로 늘어났고 앞으로도 그 범위는 더 증가할 것으로 예상된다.

우리나라 지정 남극특별보호구역 환경관리에 활용

환경시료은행은 우리나라 지정 남극특별보호구역을 중심으로 환경오염 모니터링을 수행할 예정이다. 2009년에 지정된 나레브스키 포인트(세종과학기지 인근)와 2021년에 지정된 인익스프레서블섬(장보고과학기지 인근)이 대상이다. 이번 22~23년 시즌은 환경부에서 오염물질 모니터링용 남극 시료를 직접 채취한 첫해다. 나레브스키 포인트와 세종과학기지 인근에서 지의류, 이끼류, 삿갓조개, 펭귄 알껍데기 등 총 167점의 시료를 확보하였고, 국내로 운송하여 초저온으로 저장했다. 대기에서 유입되는 오염물질 모니터링은 지의류와 이끼류 시료가 사용되며, 연안 수질 모니터링에는 삿갓조개 시료를 사용하게 된다. 남극특별보호구역 펭귄의 체내 오염물질 축적은 알껍데기와 깃털 시료를 활용해 간접적으로 조사할 예정이다. 스톡홀름협약에서 2009년 이후 사용규제 물질로 등재한 잔류성오염물질 중 오염방지제 등으로 사용되고 있는 과불화합물과 제품 등이 불에 타지 않게 처리하는 난연제의 일종인 PBDE 등을 우선 분석할 예정이다. 이들 물질은 생태계 위해성 때문에 남극에서도 꾸준히 조사되어 온 물질이다. 앞으로 환경시료은행에서 확보·저장한 시료로 이들 물질을 분석하여 과거 자료와 비교·평가할 예정이다.

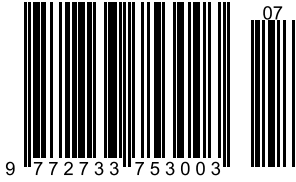
장보고과학기지 인근의 인익스프레서블섬 지역은 23~24년 시즌에 극지연구소 현장 연구자들에게 펭귄 알 등의 시료 채취를 요청할 계획이며, 향후에도 남극 시료 채취를 격년 주기로 시행할 예정이다. 그리고 극지연구소 생명과학연구본부 연구자들의 생물 생리·생태 등의 연구 성과를 바탕으로 오염물질 모니터링에 적합한 시료종 발굴에 극지연구소와 적극적으로 협력해 나갈 계획이다.

남극조약협의당사국회의의 환경보호위원회는 급변하는 남극 환경오염에 대비해 장기적이고 효과적인 모니터링을 하기 위해서는 시료의 체계적인 확보·저장이 필요하며, 이를 위해 각국 환경시료은행의 협력이 어느 때보다 중요한 시점임을 2022년에 공식적으로 밝힌 바 있다.

우리나라도 1989년 남극조약협의당사국 지위를 획득한 이후 남극 환경보호를 위해 적극적으로 노력해 왔다. 앞으로 남극 환경

시료를 체계적으로 확보·저장하고 남극 환경오염 모니터링 정책 추진을 내실 있게 뒷받침하기 위해서는 국가환경시료은행의 역할이 어느 때보다 중요한 시기이다. 지난 30여 년간 남극과학기지 건설 등 남극 환경연구의 인프라가 착실히 구축되어 왔다. 이를 기반으로 이제부터는 남극 환경오염 모니터링의 체계 수립과 국제협력 강화 등을 위한 투자 확대 등 정책적 지원이 필요하다. 이를 통해 남극에 과학기지를 운영하는 당사국으로서 기지와 그 주변의 환경오염 모니터링을 지속적이며 실증적으로 수행하고, 국제사회의 요구에 걸맞은 오염물질 감시 체계를 강화할 수 있을 것으로 기대한다.

-
- * ppb: 농도 단위로서 10억 분의 1 수준(1/10⁹)
 - ** 유기염소계 살충제: 염소를 함유한 유기합성 살충제로 신경독성 작용을 일으킨다.
 - *** 잔류성유기오염물질(Persistent organic pollutants, POPs) 관리를 위한 국제협약인 「잔류성유기오염물질에 관한 스톡홀름협약」(Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants)
 - **** pg: 질량 단위로서 1조 분의 1g(1/10¹²g)
※출처
Kang, J.H., Son, M.H., Hur, S.D., Hong, S.M., Motoyama, H., Fukui, K., Chang, Y.S., 2012. Deposition of organochlorine pesticides into the surface snow of East Antarctica. *Sci. Total Environ.*, 433: 290-295.
 - ***** ppt: 농도 단위로서 1조 분의 1 수준(1/10¹²)
※출처
Bacci, E., Calamari, D., Gaggi, C., Fanelli, R., Focardi, S., Morosini, M., 1986. Chlorinated hydrocarbons in lichen and moss samples from the Antarctic Peninsula. *Chemosphere*, 15(6): 747-754.
Zhang, Q., Chen, Z., Li, Y., Wang P., Zhu, C., Gao, G., Xiao, K., Sun, H., Zheng, S., Liang, Y., Jiang, G., 2015. Occurrence of organochlorine pesticides in the environmental matrices from King George Island, west Antarctica. *Environ. Pollu.*, 206: 142-149.



ISSN 2733-7529 (Print)
ISSN 2733-7537 (Online)



발행일: 2023년 9월

발행처: 극지연구소 정책개발실 Tel. 032-770-8425

주소: 인천광역시 연수구 송도미래로 26, 극지연구소 (www.kopri.re.kr)

Copyright© 2014 KOPRI, All rights reserved.
Cover pages photo credit© KOPRI