

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

Poles & Globe

극지와 세계

2023 JUNE
Vol. 02

**초소형위성,
극지 온난화 대응의
패러다임을 바꾸다**

김현철
극지연구소 원격탐사빙권정보센터

**백만 년 된 빙하를 시추한다는 것:
심부빙하코어
연구 동향과 시사점**

한영철
극지연구소 빙하환경연구본부

**새롭게 떠오르는
극지과학 분야로서의 의학**

이어진
서울과학종합대학원 /
대한극지의학회



JUNE

Vol. 02

03p 김현철 극지연구소 원격탐사빙권정보센터

초소형위성, 극지 온난화 대응의 패러다임을 바꾸다

초소형위성의 개발과 활용은 다양하고 정확한 과학적 관측 자료와 정보를 제공함으로써 연구자와 정책 입안자들에게 지구환경에 미치는 기후변화의 영향을 더 잘 이해시키고 빠르게 대응하는 데 중요한 역할을 할 수 있다. 특히 급변하는 극지환경을 빠르게 이해하기 위해서는 저비용으로 단기간에 개발 및 운용이 가능한 극지 관측용 초소형위성을 활용하여 극지 온난화에 의한 해빙의 변화를 능동적으로 추적 감시해야 한다. 이는 재난 대응 및 이상기후의 영향 완화 노력에 중요한 거시적 정보를 제공함으로써 기후변화 영향을 최소화하기 위한 정부의 노력을 지원해 지역사회와 생태계에 미치는 재해를 줄이는 데 획기적인 역할을 할 수 있다. 또한 초소형위성은 광역 통신망 구축, 해양 선박 감시, 자원 탐사 및 우주 탐사와 같은 다양한 분야에서 과학과 기술의 발전에 크게 기여할 수 있다. 초소형 위성 개발 및 활용에 대한 투자는 비용 효율성, 다기능성, 신속한 배치, 군집 운영에 따른 다양한 분야의 동시 협업 가능 및 과학적 발전 측면에서 상당한 이점을 제공할 수 있기 때문에 정부와 민간기업 모두가 투자할 만한 가치가 있다. 이처럼 초소형위성의 개발과 활용은 기후변화에 대응하기 위한 다양한 가치의 관측기구 확대를 통해 과학자들의 이해 능력을 확장할 수 있으며, 온난화로 빠르게 변화하는 환경에 적응하기 위한 전 세계적인 노력에 크게 기여할 것이다.

06p 한영철 극지연구소 빙하환경연구본부

백만 년 된 빙하를 시추한다는 것: 심부빙하코어 연구 동향과 시사점

빙하는 지구 스스로가 기록한 자서전과 같다. 지난 60여 년 동안 과학자들은 빙하를 시추하여 빙하코어(ice core)를 얻고, 그 안에 기록된 지구의 과거를 읽어내어 기후 시스템에 대한 인류의 지식을 크게 향상시켰다. 이제 빙하코어는 과거 기후와 환경을 이해하고 현재의 급격한 변화를 진단하는 데 필수적인 재료로 인식되고 있다. 최근 극지 연구 선도국들은 남극에서 백만 년 이상의 기록을 가진 빙하를 찾아 시추하고자 “Oldest Ice” 프로젝트를 경쟁적으로 추진하고 있다. 관련된 최신 동향과 우리에게 주는 시사점을 생각해 본다.

09p 이어진 서울과학종합대학원 / 대한극지의학회

새롭게 떠오르는 극지과학 분야로서의 의학

극지과학으로서의 의학 분야는 극한 환경에서 인간이 생존하고 건강을 유지하기 위한 학술연구와 실천 사항인 의료(진료)가 결합한 것이 특징이다. 극지활동 진흥에 따른 극지 인구 증가는 필연적으로 의료 수요 증가를 초래하므로 전체 극지 안전망에는 의료지원체계가 반드시 포함되어야 한다. 여기에 기초 및 응용의학 연구 성과가 더해지면 발전된 극지 의료서비스가 현장에 환류된다. 곧 다가올 의료-바이오-제약산업의 성장은 극지 의생명과학의 응용과 활용에 있어서도 기회의 발판을 마련할 것이다. 대한민국이 확실한 극지 선도국가로 도약하기 위해서는 남북극의 ‘체계적인 의료 지원’, ‘융복합 의학 연구’ 두 축을 중심으로 극지의학 분야의 전반적인 성장과 발전을 위한 정책적 노력을 기울여야 한다.

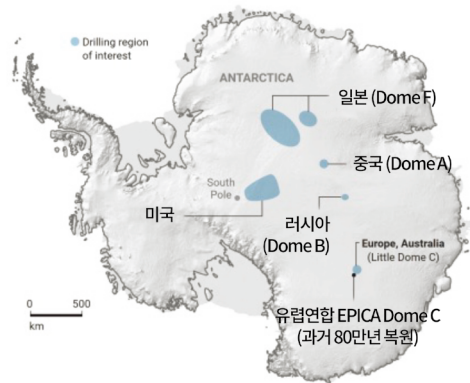


백만 년 된 빙하를 시추한다는 것: 심부빙하코어 연구 동향과 시사점

빙하는 지구 스스로가 기록한 자서전과 같다. 지난 60여 년 동안 과학자들은 빙하를 시추하여 빙하코어(ice core)를 얻고, 그 안에 기록된 지구의 과거를 읽어내어 기후 시스템에 대한 인류의 지식을 크게 향상시켰다. 이제 빙하코어는 과거 기후와 환경을 이해하고 현재의 급격한 변화를 진단하는 데 필수적인 재료로 인식되고 있다. 최근 극지 연구 선도국들은 남극에서 백만 년 이상의 기록을 가진 빙하를 찾아 시추하고자 “Oldest Ice” 프로젝트를 경쟁적으로 추진하고 있다. 관련된 최신 동향과 우리에게 주는 시사점을 생각해 본다.

빙하는 층층이 쌓인 적설이 다져져서 만들어진다. 빙하의 나이는 적설된 후 경과한 시간으로 볼 수 있다. 오래전에 내린 눈(이 다져진 얼음)은 대개 빙하의 심부에 위치하므로 심층으로 갈수록 빙하의 나이도 증가한다. 따라서 빙하를 표층부터 수직으로 시추해 들어가면, 연령이 연속적으로 증가해 가는 빙하코어를 얻을 수 있다. 빙하코어는 시시각각 변화해 온 지구 대기의 구성 물질(온실가스, 에어로졸, 수증기 등)들을 연속해서 간직하고 있다. 이를 분석하여 복원한 과거로부터 지구의 기후 시스템을 이해할 수 있다. 복원된 기록은 길이가 길수록, 바뀌 말해 시추가 빙하의 심층에 다다를수록 우리가 얻을 수 있는 지식은 풍부해진다. 이렇게 얻은 지식은 지구를 사용하는 단계에 이른 현 인류에게 현재 상황을 진단하고 향후 대응책을 마련할 수 있는 과학적 근거를 제공한다.

IPICS(International Partnerships in Ice Core Sciences)는 빙하 코어 연구자들의 국제 네트워크로서 협력을 강화하고 자원을 효율적으로 공유하여 빙하코어 연구를 촉진하는 것을 주된 목표로



[그림 2] 국가별 Oldest Ice 관심 지역(Modified from Voosen(2021), Science)

삼고 있다. IPICS는 빙하코어 주요 연구 현안을 6개 항목으로 정리하고 있다. 그 가운데 현재 가장 역점을 두고 추진하고 있는 주제는 지구상에서 가장 오래된 얼음(Oldest Ice) 연구에 관한 것이다.

지구상에서 가장 오래된 얼음, “Oldest Ice” 프로젝트

Oldest Ice 프로젝트의 핵심 목표는 빙하코어로부터 최소 100만 년, 최대 150만 년 이상의 연속된 기록을 복원하는 것이다. 이는 유럽 10개국이 공동으로 1999년부터 2003년까지 남극 Dome C 지역에서 EPICA(European Project for Ice Coring in Antarctica) 프로젝트를 수행하면서 3,260m의 빙하를 시추하여 얻은 80만 년 기록을 두 배 가까이 확장하려는 것이다. 여러 국가가 Oldest Ice 프로젝트에 뛰어든 가운데 현재는 유럽연합이 추진하는 BE-OIC(Beyond EPICA Oldest Ice Core) 프로젝트가 가장 앞서

1. 가장 오래된 얼음(연속된 과거 150만 년 기록)
2. 마지막 간빙기(약 13만 년 전)의 기후와 지구 시스템
3. 수 만년 규모의 기후변화
4. 과거 2천년 기후변화
5. 과거와 현재의 빙하 흐름
6. 빙하코어 시추 신기술



[그림 1] IPICS에서 제시한 6가지 연구 현안

있다. BE-OIC 프로젝트는 Dome C 콩코르디아 기지에서 약 30km 떨어진 Little Dome C에서 시추를 진행하고 있으며, 2022/23년 남극 하계기간에 7주간의 시추로 약 800m 깊이에 도달했다. 뒤를 이어 호주의 MYIC(Million Year Ice Core) 프로젝트가 BE-OIC 시추지점에서 약 5km 떨어진 곳에서 시추를 준비 중이다. 호주는 앞서 시추 거점 구축용 물자들을 자국에서 Casey 해안 기지로 해상 운송하였고, 2022/23 하계에 시추지점까지 왕복 2,300km 거리를 육상 운송하였다. 돌아오는 2023/24 하계부터 본격적으로 거점을 구축하고 시추를 시작할 예정이다. 일본은 Dome F 기지에서 약 5km 떨어진 지점을 선정하여 최근 시추 거점 구축을 완료하였다. 미국은 2019년에 COLDEX(Center for Oldest Ice Exploration) 프로젝트에 착수하여 1단계 5년 동안 약 300억 원의 예산을 Oldest Ice 연구에 투자하고 있다.

Oldest Ice 프로젝트의 핵심기술(1): 탐사

흥미로운 점은 과거 기록을 두 배 가까이 복원하기 위하여 선정된 시추지점들의 빙하 두께가 2,800m 내외로 상대적으로 얇다는 점이다. 이는 보다 두꺼운 빙하의 최심부는 지열로 인한 변질 가능성이 커서 의미 있는 결과를 얻기 어렵기 때문이다. 호주 이외의 국가들은 이미 더 깊은 빙하를 시추한 경험이 있으므로 사실상 위 Oldest Ice 프로젝트들의 성공은 최심부에 백만 년 이상의 고기후 기록을 잘 보존하고 있는 지점을 찾아내는 것에 달려 있다고 할 수 있다. 각국은 최적의 위치를 선정하기 위하여 지난 수십 년 동안 축적한 탐사 자료를 기반으로 추가적인 레이더 탐사와 모델링을 반복적으로 수행하여 범위를 좁혀나가는 방식으로 시추지점을 도출하였다. 유럽의 BE-OIC는 이 과정을 위해 3년 동안 별도의 연구 프로젝트 (BE-OI: Beyond EPICA Oldest Ice)를 앞서 수행하였다. 호주 MYIC는 BE-OI 프로젝트에 초기부터 참여하여 탐사를 공동으로 수행하였다. BE-OI 프로젝트의 결과로 Little Dome C 내 두 지점이 선정되었고, BE-OIC와 MYIC가 각각 하나씩을 맡아 시추를 추진하고 있다. 일본은 6년간 추가 탐사와 해석을 거쳐 현 지점을 결정하였다. 미국 COLDEX는 1단계 5년 동안 다양한 탐사 활동을 수행하고, 그 결과를 바탕으로 시추지를 선정할 계획이다.

Oldest Ice 프로젝트의 핵심기술(2): 시추

심부빙하 시추 기술은 물류 운송, 거점 구축, 시추 역량을 종합적으로 아우르는 개념으로 보는 것이 적절하다. 여러 해에 걸쳐 진행되는 심부빙하 시추의 특성상 안정적인 시추 캠프 구축과 효율적인 캠프 운영 및 유지가 요구되는데, 여기에는 육상, 해상, 항공을 아우르는 운송망이 필수적이다. 물론 심부빙하 시추기를 설계, 제작하고 이를 실제 극지 현장에서 운용할 수 있는 기술력이 핵심 전제 조건인 것은 자명한 사실이다. 이와 관련된 두 가지 사례를 소개한다.

중국은 남극 내 고도가 가장 높은 Dome A에서 2012년에 심부빙하 시추에 착수하였다. 일본 시추기를 도입하여 초기에는 일본

기술진과 협력하였으나 시추 캠프 구축과 운영은 단독으로 진행해 왔다. 그 결과를 Hu et al.(2021)에 논문으로 보고한 바에 따르면, 시추 중에 발생한 여러 문제 때문에 진행이 다소 느려 현재까지 약 800m 깊이를 시추하였다고 한다. 가장 큰 문제로 논문에서는 시추 인력의 기술 부족을 꼽고 있다. 중국은 Dome A에 곤륜(Kunlun) 기지를 지어 거점을 확보하였고 아울러 육해공 물류 운송망을 갖추었으나 연구 논문에서 흔히 쓰이지 않은 표현 (“too many novices”)을 사용할 만큼 시추 기술력 부족을 경험한 듯하다. 다른 사례는 BE-OIC 프로젝트 홈페이지에 게시된 내용이다. BE-OIC는 심부빙하 시추기의 드릴 모터로 덴마크와 독일이 각각 준비한 것을 사용하고 있는데, 2022~23년 시즌 초에 덴마크 모터가 고장이 나서 독일 모터를 사용해 오던 중 이 모터에도 문제가 발생하였다. 하지만 다시 덴마크 모터로 대체하여 시추를 이어갈 수 있었다. 이는 앞서 고장 직후 덴마크에서 수리에 필요한 부품을 준비하여 이를 뉴질랜드 크라이스트처치-미국 맥머도 기지-이태리 마리오주켈리 기지-Dome C 콩코르디아 기지를 거쳐 Little Dome C까지 운송하였고, 시추 현장에서 기술진이 해당 부품을 수리하였기에 가능한 일이었다. 실제로 심부빙하 시추 중에는 혹독한 현장 환경 특성상 예기치 못한 문제가 빈번하게 발생하는 것을 볼 수 있으며, 따라서 이에 대한 대처 역량이 시추 기술의 핵심이라고 하여도 과언이 아니다.



[그림 3] BE-OIC 2022/23 시추 캠프 사진(<https://www.beyondepica.eu/>)

Oldest Ice 프로젝트의 핵심 기술(3): 분석

Oldest Ice 시추가 성공적으로 진행되어 빙하코어를 얻는다면 80만 년 이전의 기록은 최하부 100m 남짓한 구간에 밀집되어 있을 것으로 추정된다. 다시 말해 최심부 빙하코어 1m가 1만~2만 년 정도의 긴 기간에 해당한다는 뜻이다. 두께가 얇은 빙하에서 더 오래된 기록을 찾아내고 있기 때문이다. 따라서 이 구간에 대한 분석은 과거 어떤 심부빙하보다 더 정밀한 분석이 필요하며, 필연적으로 Oldest Ice 프로젝트들에는 앞으로 얻게 될 오래된 얼음을 정밀하게 분석하기 위한 분석법 개발 연구가 포함되어 있다. 종합하여 정리하면, Oldest Ice 프로젝트는 시추지 선정, 심부빙하

시추, 정밀 분석 기술 각 분야 가운데 하나라도 미흡하면 성공할 수 없는 연구 주제라고 할 수 있다. 그리고 그 프로젝트가 문제없이 진행된다면 4년간 지속될 시추의 마지막 해, 그리고 가장 마지막에 획득한 최심부 빙하코어의 분석 결과가 나온 후에야 성공 여부를 판단할 수 있을 것이다. 가장 앞서 있는 BE-OIC 프로젝트는 빠르면 2026년쯤에 성패를 확인할 수 있을 것으로 예상된다. 물론 표층부터 최심부까지 모든 빙하코어가 장기간에 걸쳐 분석될 것이며, 이 경우 Dome C 인근에서는 과거 80만 년 동안의 기록이 추가로 2개의 코어에서 복원되어 해당 기간에 대한 과학적 이해 역시 개선되리라 기대된다.

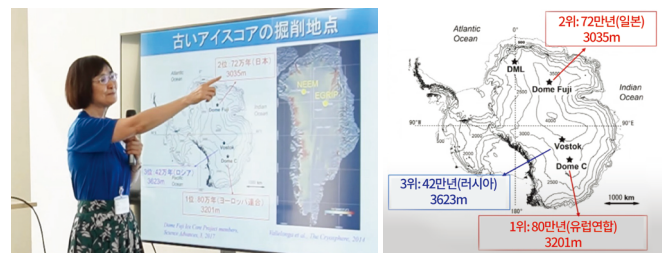
우리에게 주는 시사점

Oldest Ice 프로젝트는 백만 년 전 즈음에 빙하기-간빙기 주기가 4만 년에서 10만 년으로 바뀐 원인을 규명하는 것을 핵심 목표로 꼽고 있다. 하지만 이 프로젝트에 경쟁적으로 투입되는 막대한 예산과 인력을 과학적 의미만으로 이해하기에는 충분치 않아 보인다. 위에서 열거한 내용을 포함해 극지 연구 역량을 가늠하는 척도로서 심부빙하코어가 갖는 의미도 내포되어 있을 것이며, 순위로 환산하여 의미를 부여한 아래 사진은 그 하나의 예이다.

심부빙하 시추 기술은 글과 말보다는 현장에서 경험으로 축적되는 암묵적(tacit) 지식의 비중이 크다. 이를 습득하는 빠른 방법은 전문가와의 협업을 통한 관찰과 모방이다. 따라서 “남극 연구 활동 진흥 기본계획” 등에서 패스트 팔로어(fast follower)를 천명하고 있는 우리나라가 수십 년의 격차를 따라잡고자 선도국과의 공동 현장 활동을 추진하는 것은 효율적인 선택이다. 극지연구소는 오랜 심부빙하 시추 역사를 가진 러시아 AARI(Arctic and Antarctic Research Institute)와 함께 Dome B 지역을 후보지로 선정하여 Oldest Ice 프로젝트를 공동으로 진행해왔다. 시추지점 선정을 위한 탐사 계획을 수립하였고, 선행연구로 2021~22년 시즌에 진행된 보스토크 지기(Vostok Station) Oldest Ice 시추에 극지연구소 연구원이 참여하였다. 병행하여 자체적인 심부빙하 분석 기술을 꾸준히 개발 및 축적해왔다. 그러나 코로나19로 해외 연구 협력과 남극 현장 활동이 크게 위축된 데 이어 2022년에 발발한 우크라이나 전쟁의 장기화로 인하여 러시아와의 협력이 불가피하게 중단되었고 현재 대안을 마련하고 있다.

암묵지를 습득하는 다른 방법은 시행착오 경험, 즉 현장에서 성공과 실패를 직접 체험하는 것이다. 심부빙하를 성공적으로 시추한 러시아 Vostok, EPICA Dome C 그리고 일본의 Dome F에도 시추 중에 발생한 문제 때문에 회수하지 못한 시추기가 지금도 빙하심부 어딘가에 여전히 묻혀 있다는 사실은 흥미롭다. 이들 국가는 실패와 극복을 통해 습득한 지식을 발판 삼아 성공을 이뤄 냈고, 지금은 Oldest Ice 프로젝트를 추진하고 있다. 이런 관점에서 볼 때 어쩌면 실패로 평가할 수도 있겠으나 중국이 Dome A에서 보여준 과감한 도전이 후일을 위한 최고의 선택일는지도 모른다. 극지연구소는 별도의 연구 사업으로 K-route를 개척하여 육상 물류

운송망을 확장하고, 심부빙하 시추 후보지를 탐색하기 위해 미답 지역 항공 및 육상 탐사를 추진하여 자체 역량을 강화하고 있다. 또한 남극 내륙 연구 거점을 확보하기 위하여 신규 기지 건설을 계획하는 등 우리나라가 심부빙하 연구 선도국들과 역량을 견주기 위한 기반을 다져가고 있다. 이제 심부빙하 시추 기술을 확보하기 위하여 무엇보다 필요한 것은 풍부한 극지 경험과 공학적 소양, 뛰어난 직관을 보유한 우수 기술 인력이다. 이들에게 현장에서 관찰과 모방을 통하여 경험을 확장하거나 시행착오를 극복해갈 기회와 시간을 제공해야 한다. 물론 그에 앞서 우수한 기술 인력이 혹독한 환경을 감내할 만한 동기가 필요할 것이다. 선도 국가들에는 최초가 주는 의미가 있다면, 우리나라와 같은 패스트 팔로어가 이들에게 부여할 동기에는 어떤 것이 있을지 고민되는 지점이다.



[그림 4] 복원한 기간을 순위로 표현한 일본 국립극지연구소(NIPR) 교육 홍보 영상 캡처(<http://www.nipr.ac.jp>)



9 772733 753003
ISSN 2733-7529 (Print)
ISSN 2733-7537 (Online)



발행일: 2023년 6월
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