

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

# POLES & GLOBE

## 극지와 세계

2024 JUNE  
VOL. 02



남극해 '잔물' 생성 정밀 관측을  
통한 전 지구 해양 변화 예측  
능력 향상

윤승태  
경북대학교

극한환경 생존의 대명사,  
완보동물을 통한 극지연구

김지훈  
극지연구소 빙하지각연구본부

아라온호, 성과와 미래

김춘식  
극지연구소 쇄빙선운영실



SNAPSHOT

03p 윤승태 경북대학교

**남극해 '잔물' 생성 정밀 관측을 통한 전 지구 해양 변화 예측 능력 향상**

남극해에서는 지구상에서 가장 무거운 '잔물'인 고염대륙붕수가 생성된다. 이 해수는 전 지구 해양 순환의 핵심 중 하나인 남극저층수의 특성을 결정하는 '마중물' 같은 존재이다. 최근 급격해진 기후변화의 영향으로 표층에서 만들어지는 '잔물' 고염대륙붕수와 '잔물'의 영향을 받는 남극저층수의 특성 변화가 꾸준히 관측되고 활발하게 보고되고 있다. 지구상에서 가장 무거운 해수인 남극저층수의 특성 변화로 인해 무게(밀도)가 변하게 된다면 전 지구 해양 순환 변화 및 해수면 변동까지 초래할 수 있다. 따라서 전 지구 해양 순환 및 해수면 변동 예측 능력을 향상하기 위해서는 남극해 고염대륙붕수의 생성 기작과 과정을 면밀히 파악하는 것이 매우 중요하다. 하지만 남극의 극한 환경 조건으로 인해 현장 관측이 매우 제한적이었기 때문에 지금까지는 하계 선박 관측 자료에서 확인된 고염대륙붕수 특성 변화를 통해 간접적으로 해수의 생성 정도와 분포 특성 등을 규명해왔다. 그러나 최근 경북대학교, 극지연구소, 미국 컬럼비아대학교, 뉴질랜드 국립수문대기연구소 등으로 구성된 국제 공동연구팀은 도전적 관측 시도로 약 1년 동안 연속 모니터링에 성공하여 고염대륙붕수의 생성 과정을 상세히 규명하고, 정량적인 수치를 기반으로 고염대륙붕수 생성에 영향을 미치는 주요 요소들을 밝혀냈다. 겨울철 고염대륙붕수 생성 과정을 직접 관측하여 해수 생성량과 그 영향 요소를 정량적으로 제시한 것은 이번이 처음이며, 본 연구는 향후 전 지구 해양 순환 변화와 해수면 변동 예측 연구에 크게 기여할 것으로 기대한다.

07p 김지훈 극지연구소 빙하지각연구본부

**극한환경 생존의 대명사, 완보동물을 통한 극지연구**

완보동물은 극한의 환경조건에서 살아남는 능력을 가졌지만 눈에 보이지 않을 정도로 크기가 작은 동물로 알려져 있다. 이러한 적응 능력을 토대로 전 세계 어디에서든 다양한 종이 발견되며, 특히 남극과 북극의 육상 생태계에서 주요 구성원으로 자리 잡고 있다. 극한의 조건에서 살아남는 생물의 대표 종으로 인식되는 완보동물은 동물계에서 종 수로 가장 큰 분류군인 탈피동물군에 속하는데, 이 분류군의 진화사를 밝히는 데 중요한 역할을 한다. 또한 잘 알려진 모델 종들을 이용해 실험한 결과, 상당수의 육상 완보동물이 열에 취약한 것으로 밝혀져 기후변화로 인한 극지 생태계의 충격과 변화를 알려주는 지표 역할도 할 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 생리학적, 생태학적, 진화생물학적 중요성에도 불구하고 국내에서는 한동안 연구 활동이 없었지만, 극지연구소가 그린란드의 완보동물 연구를 시작한 이래로 점차 세계적 수준의 연구 역량을 갖추어 가고 있다. 지속적인 연구를 통해 극지에서의 생물의 적응과 지구온난화에 따른 생태계의 변화, 그리고 동물 진화에 있어서 완보동물이 중요한 과학적 기여를 할 수 있으리라 기대한다.

10p 김춘식 극지연구소 쇄빙선운영실

**아라온호, 성과와 미래**

아라온호는 우리나라 극지연구의 활동 범위 확장과 독자적인 연구 진행을 위해 건조된 아라온 쇄빙연구선으로 2009년 11월 2일 첫 항해를 시작해 지금까지 15년간 전 세계 바다를 누비고 있다. 총톤수는 7,507t으로 길이가 111m에 달한다. 항해 속력은 12노트(22.2km)로 결빙 지역에서 1m의 해빙을 시속 3노트(약 5.6km)의 속력으로 깨뜨리며 항해할 수 있는 국내 최초의 쇄빙연구선이다. 아라온호는 음향음심장치(Mui-beam echo sounder), 탄성파장비(Seismic system), 해수분석장비(CTD) 및 해저퇴적물채취장비를 비롯한 60여 종의 연구 장비를 장착하고 있다. 또한 15년 동안 남극과 북극 간 총 69만 마일을 오가며 “아라오나의 발견” 및 2023년 “남극 빙하 녹이는 바닷물 계절 변동성 최초 규명” 등 총 204건의 연구 활동을 지원하였다. 그뿐만 아니라 남극해에서는 조난 어선과 인명을 구조하여 “남극산타”라는 별명을 얻기도 했다. 아라온호는 남극과 북극에서 연구 활동을 지원하여 우리나라 극지연구의 위상 제고를 견인하는 핵심 인프라일 뿐만 아니라 차세대 쇄빙선이 인도되기 전까지 국내외 연구자들의 다양한 연구 수요를 수용하여 우수한 연구 성과가 도출될 수 있도록 지속적인 지원을 하고 있다. 지구온난화 현상으로 갈수록 어려워지는 극지에서의 남극과학기지 보급 업무를 성공적으로 지원하여 극지연구의 미래를 함께하고자 한다.

# 남극해 '짠물' 생성 정밀 관측을 통한 전 지구 해양 변화 예측 능력 향상

윤승태 경북대학교

남극해에서는 지구상에서 가장 무거운 '짠물'인 고염대륙붕수가 생성된다. 이 해수는 전 지구 해양 순환의 핵심 중 하나인 남극 저층수의 특성을 결정하는 '마중물' 같은 존재이다. 최근 급격해진 기후변화의 영향으로 표층에서 만들어지는 '짠물' 고염대륙붕수와 '짠물'의 영향을 받는 남극저층수의 특성 변화가 꾸준히 관측되고 활발하게 보고되고 있다. 지구상에서 가장 무거운 해수인 남극 저층수의 특성 변화로 인해 무게(밀도)가 변하게 된다면 전 지구 해양 순환 변화 및 해수면 변동까지 초래할 수 있다. 따라서 전 지구 해양 순환 및 해수면 변동 예측 능력을 향상하기 위해서는 남극해 고염대륙붕수의 생성 기작과 과정을 면밀히 파악하는 것이 매우 중요하다. 하지만 남극의 극한 환경 조건으로 인해 현장 관측이 매우 제한적이었기 때문에 지금까지는 하계 선박 관측 자료에서 확인된 고염대륙붕수 특성 변화를 통해 간접적으로 해수의 생성 정도와 분포 특성 등을 규명해왔다. 그러나 최근 경북대학교, 극지연구소, 미국 컬럼비아대학교, 뉴질랜드 국립수문대기연구소 등으로 구성된 국제 공동연구팀은 도전적 관측 시도로 약 1년 동안 연속 모니터링에 성공하여 고염대륙붕수의 생성 과정을 상세히 규명하고, 정량적인 수치를 기반으로 고염대륙붕수 생성에 영향을 미치는 주요 요소들을 밝혀냈다. 겨울철 고염대륙붕수 생성 과정을 직접 관측하여 해수 생성량과 그 영향 요소를 정량적으로 제시한 것은 이번이 처음이며, 본 연구는 향후 전 지구 해양 순환 변화와 해수면 변동 예측 연구에 크게 기여할 것으로 기대한다.

## 남극해 남극저층수<sup>1)</sup>와 고염대륙붕수<sup>2)</sup>

최근 급격해진 기후변화 영향으로 표층에서부터 수심이 깊은 해양까지 전달되는 저온, 고염의 해수[그림 1] 특성이 큰 변화를 보이고 있으며, 이를 이해하기 위하여 남극해 연구가 활발히 진행되고 있다.

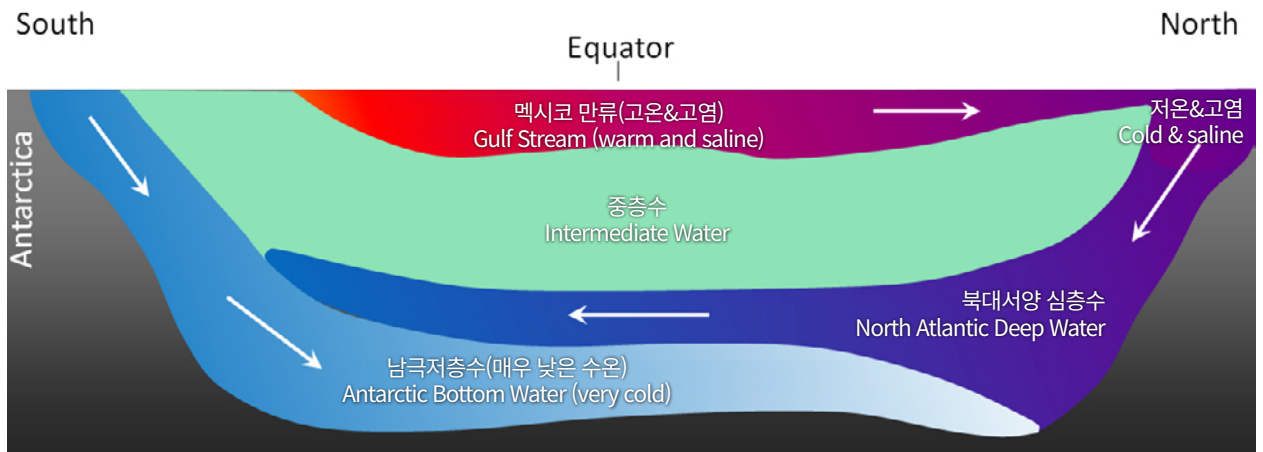
남극해의 해양 순환은 전 지구 기후와 해양 및 생지화학적 순환, 그리고 남극 용융 변화에 중대한 영향을 미치고, 특히 남극해에서 생성되는 남극저층수는 전 지구 해양 순환에서 가장 무거운 해수로 전 지구 해양 순환의 세기 결정에 주요한 역할을 한다. 또한 남극저층수의 물성 및 생성률 변화는 전 지구 해수면과 해수의 열량 변화에도 큰 영향을 미친다.

남극의 로스해는 웨델해와 더불어 남극저층수를 생성하는 대표적인 해양 중 하나로 남극저층수의 약 25%를 생성하는 곳이며, 로스해 연안 폴리냐(Polynya; 해빙이 없는 해양)에서

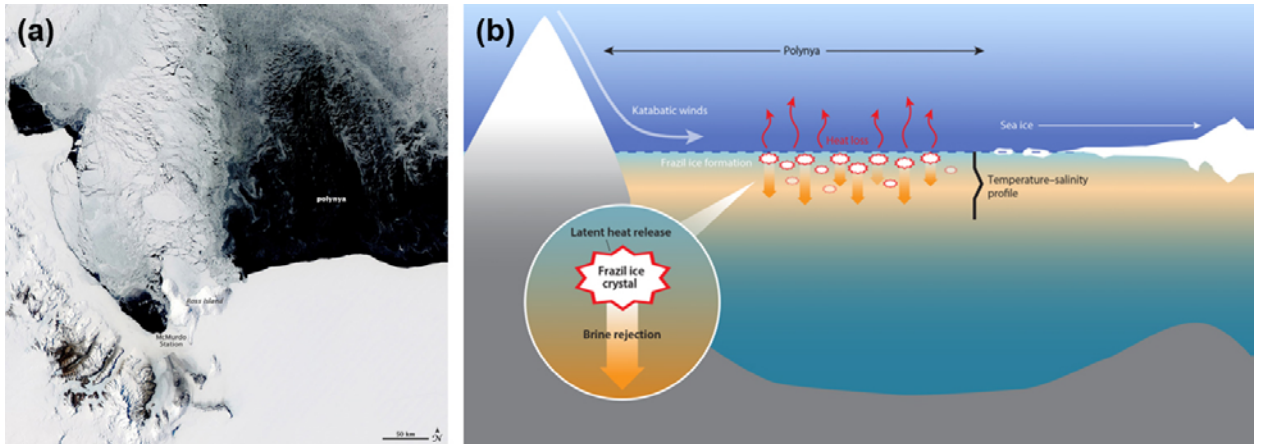
생성되는 고염대륙붕수가 남극저층수의 기원으로 알려져 있다. 기존 연구들에 따르면 고염대륙붕수는 남반구 겨울철 남극 대륙에서 발생하는 활강바람(Katabatic wind)에 의해 생성되며, 활강바람의 세기 및 지속 시간에 따라 해양-대기 간 열속 및 해빙(sea-ice) 생성량이 변화하고 그에 따라 고염대륙붕수의 특성도 결정된다. 그러나 관측 자료의 한계로 활강바람 세기, 폴리냐 발달 정도, 해빙 생성량, 고염대륙붕수 생성량 간의 정량적(Quantitative) 관계에 대해서는 밝혀진 바 없었다.

## 기후변화 영향에 따른 고염대륙붕수 특성 변화

최근 급격해진 기후변화에 따른 전 지구 해양 순환의 변동을 이해하기 위하여 로스해 고염대륙붕수 특성의 변화는 장기간 관측되어 왔다. 하계 기간 획득된 선박 관측 자료에 따르면 1950년대부터 2010년대까지는 기후변화 영향에 따른 서남극



[그림 1] 전지구 해양 순환 중 대서양 순환 모식도. 수심이 가장 깊은 곳에 남극저층수가 존재 (출처: Physical Geology book by Karla Panchuk and Steven Earle (2015))



[그림 2] (a) 남극해 로스해 연안에서 발달하는 폴리나 위성 사진(출처: NASA) (b) 활강바람에 의한 고염대륙붕수 형성 모식도 (출처: Thompson 등(2020)의 figure 1)와 남극해 내 로스해의 위치 지도(출처: 윤(2022)의 figure 1)

아문센해 빙붕 용융 증가로 인해 얼음 녹은 물이 로스해로 흘러들어오면서 고염대륙붕수 염분이 지속적으로 감소하는 경향을 보였다. 이와 연계하여 남극저층수 염분 역시 감소하는 추세였고 미래 전 지구 열염 순환 세기의 약화 가능성도 함께 제기되었다. 그러나 2010년대 중반부터 고염대륙붕수 및 남극저층수 염분이 2000년대 초반과 유사한 수준으로 회복되었음이 새롭게 관측됨으로써 일명 ‘염분 재증가(Salinity rebound)’ 현상이 보고되었다. 이는 2015~2018년에 유지되었던 전례 없는 대기 환경조건에 의한 것(서풍 강화 현상)으로, 아문센해에서 로스해로의 해빙 이동이 억제되면서 평년보다 로스해 연안 폴리나 활동이 활발해졌기 때문이다. 이처럼 로스해 고염대륙붕수와 남극저층수의 특성은 최근 급격해진 기후변화에 매우 민감하게 반응하고 있다. 따라서 향후 기후변화에 따른 전 지구 해양 순환[그림 1] 변화 예측 능력을 향상하기 위해서는 고염대륙붕수의 염분 특성 변화뿐 아니라 고염대륙붕수 생성 기작 및 생성량에 대한 명확한 이해가 요구된다.

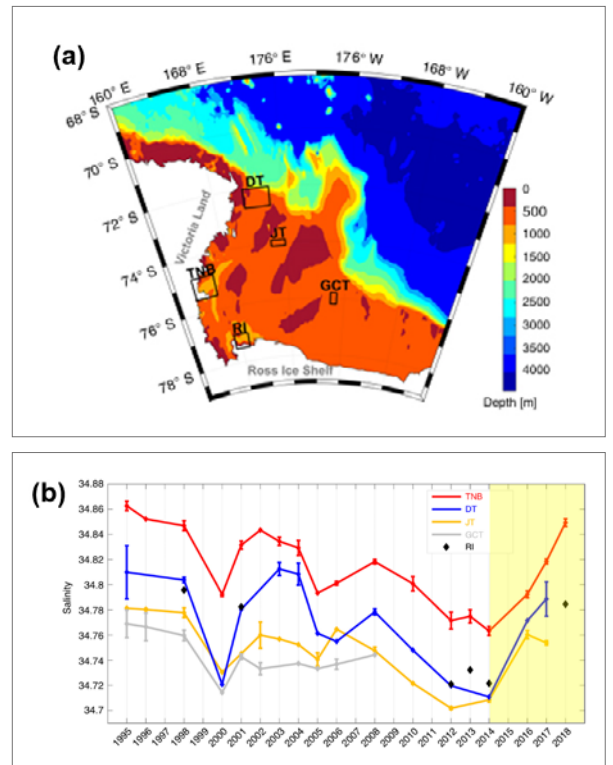
**고염대륙붕수 생성 과정 및 기작발견**

로스해 서부의 테라노바만(Terra Nova Bay)은 연안 폴리나가 발달하는 해역으로, 로스해 고염대륙붕수 중 약 33%가 테라노바만 폴리나 활동으로 생성되는 것으로 알려져 있다. 따라서 고염대륙붕수 특성 및 생성량 변화를 명확히 파악하기 위해서는 겨울철 테라노바만 관측이 필수적이다. 하지만 겨울철 극한 환경조건에 따른 현장 관측의 한계로 그동안은 여름철 선박 기반 관측 자료나 해양 모델링 결과에 의존하여 고염대륙붕수의 생성과 특성 변화를 추정하였다. 이에 2017년 경북대학교, 극지연구소, 미국 컬럼비아대학교, 뉴질랜드 국립수문대기연구소 등으로 구성된 국제 공동연구팀은 겨울철 고염대륙붕수 생성 과정과 생성량을 직접 확인하기 위해 매우 도전적인 관측을 시도하였다.

일반적으로 남극에서는 빙산을 피해 수심 400m 아래에 장비들을 설치하지만, 본 연구팀은 난센빙붕으로부터 불어오는 활강바람이 가장 집중적으로 영향을 미치는 위치를

파악하고 해당 위치의 수심 47~360m 구간에 정밀 관측망을 구성하였고, 1년 연속 관측에 성공해 고염대륙붕수 생성 과정을 직접 확인하였다.

또한 정밀 관측망을 통해 겨울철 난센빙붕에서 테라노바만으로 불어오는 활강바람에 의해 표층에 해빙이 생성되고 해빙 생성 과정에서 방출된 염(brine rejection)이 47m 수심의 염분부터 360m 수심의 염분까지 서서히 증가시키는 것을 직접 관측하였다. 또한 기존에는 겨울철 활강바람 이벤트가 발생하는 시기에 항상 표층 해빙 생성으로 염이 방출되어 고염대륙붕수가 생성되는 것으로 여겨졌으나 본 정밀 관측에서 활강바람 이벤트보다 폴리나 면적의 확장이 고염대륙붕수 생성량 결정에 더 중요한 요소임을 확인하였다. 다시 말해,



[그림 3] (a) 로스해 대륙붕 해양 내 관측 자료 위치 (b) 로스해 대륙붕 해양 내 고염대륙붕수 염분의 최근 20년간 변화 (출처: Castagno 등(2019)의 figure 1, 2)



[그림 4] 남극 로스해 테라노바만 관측장비 설치 위치(노란색 원) (출처: Miller 등(2024)의 figure 1)

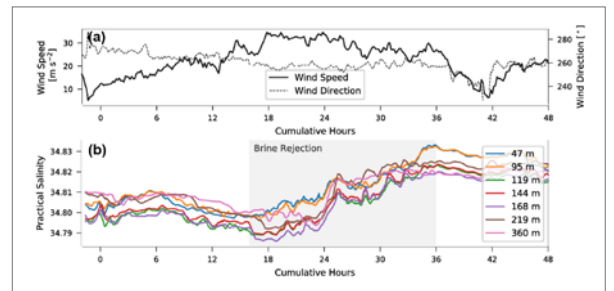
활강바람 이벤트가 발생하더라도 테라노바만 외해역에 발달한 두꺼운 얼음 등으로 인해 폴리냐가 넓게 확장되지 못한다면 고염대륙붕수 생성량은 크게 증가하지 않는다는 것을 의미한다.

정밀 관측 자료를 활용함으로써 궁극적으로 기존 연구들과 비교해 더욱 유의미한 고염대륙붕수 생성량 수치를 계산하였다. 또한 이를 기반으로 표층 순열속<sup>3)</sup> 자료를 활용하여 고염대륙붕수 생성량 추정식을 수정 및 개선하였다. 이어 연간 고염대륙붕수 생성량 변화도 기존 연구에 비해 작은 표준편차 범위로 재산출하여 고염대륙붕수 생성 과정, 생성 기작, 생성량 규명에 최종적으로 성공하였다.

**연구 중요성과 미래 고염대륙붕수 변화 전망**

본 연구팀은 세계 최초로 고염대륙붕수 생성 과정을 직접 관측하고, 이로써 고염대륙붕수 생성량 추정 방법을 개선하여 과거 연구들보다 정확한 고염대륙붕수 생성량을 도출했다는 점에서 큰 의의가 있다. 특히 국내 연구진이 관측 및 자료 분석에 참여해 해당 성과를 공동으로 이루어냈다는 점에서 향후 전 지구 해양 순환과 해수면 상승 예측 연구 등에서도 국내 연구진들의 활약이 기대된다.

본 연구에서 추정된 연간 고염대륙붕수 생성량 변화에 따르면 최근 10년간 염분 재증가 현상과 일치하게 테라노바만 고염대륙붕수 생성량도 2배 이상 증가했음이 확인되었다. 이는 기후변화 영향으로 예측되는 염분 감소 및 생성량 감소와는 반대되는 결과이며, 2018년 이후 확인되는 고염대륙붕수 생성량 증가는 2015~2018년에 유지되었던 전례 없는 대기



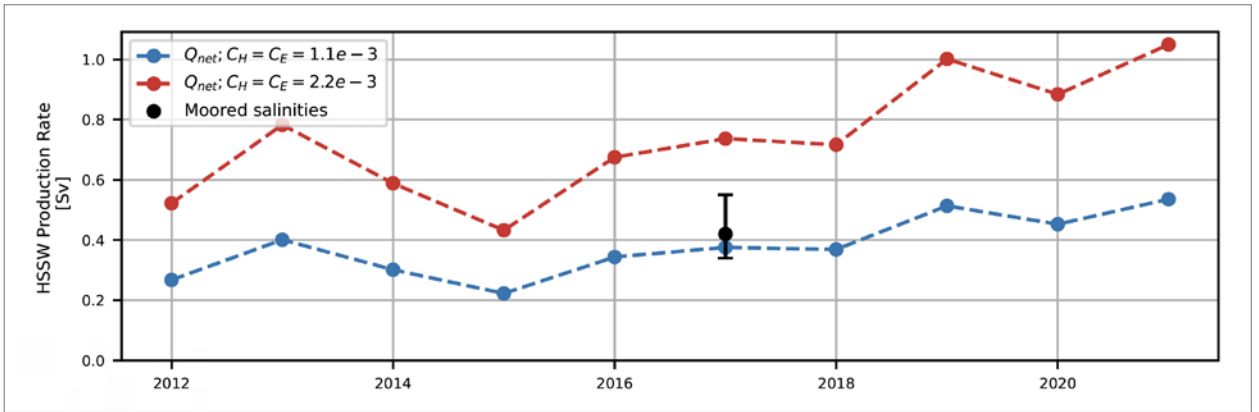
[그림 5] 겨울철 활강바람 이벤트와 염분 증가 관측 모습 (출처: Miller 등(2024)의 figure 3 일부 발췌)

연구 목록	활용 자료	추정 기간	테라노바만 고염대륙붕수 생성량*
Miller 등 (2024)	현장 정밀 관측	7~10월 2017	0.43 Sv; 95% 신뢰구간 [0.34, 0.55]
Miller 등 (2024)	매개변수화된 표층 순열속	2012~2021	0.38~0.74 Sv; 표준편차 [0.10~0.20]
Fusco 등 (2009)	매개변수화된 표층 순열속	1990~2006	1.2 Sv; 표준편차 [0.3]
Jendersie 등 (2018)	해양 모델 실험	해당 없음	0.28 Sv

[표 1] 고염대륙붕수 생성량 추정 결과 비교 (출처: Miller 등(2024)의 Table 1)

\* 테라노바만 표층에서 추정 기간에 평균적으로 생성되는 고염대륙붕수 양을 의미함.

※ 1Sv는 1초에 100만 m<sup>3</sup>의 해수가 수송되는 것을 의미하며, 1Sv는 아마존강 수송량의 약 5배임.



[그림 6] 2012년부터 2021년까지(10년) 표층 순열속 자료로 추정된 고염대륙붕수 생성량 연간 변동(빨강: 최대 추정치; 파랑: 최소 추정치) 및 정밀 관측을 통해 추정된 2017년 고염대륙붕수 생성량 수치(검은색 점; 검은색 선은 오차 구간) 비교(출처: Miller 등(2024)의 figure 5)

환경조건과도 관련이 없을 것으로 예상된다. 따라서 향후 테라노바만 고염대륙붕수가 남극저층수 특성 변동에 미치는 영향을 파악하고, 전 지구 해양 순환 및 해수면 상승 예측 능력을 향상하기 위해 테라노바만 폴리냐 해역 및 로스해 대륙붕 해역에서의 도전적인 관측이 꾸준히 시도되어야 할 것이다. 해당 목표를 달성하기 위해 국내에서는 지속적인 국제 협력형 연구과제의 기획 및 개발이 추진되어 안정적인 연구 지원 환경이 구축될 수 있기를 기대한다.

※ **일러두기**

본고의 내용에는 해양수산부 ‘급격한 남극 빙상 용융에 따른 근미래 전 지구 해수면 상승 예측기술 개발’의 연구비 지원을 받아 수행된 연구 결과가 포함되어 있으며, 해당 연구 결과는 국제저명학술지 네이처커뮤니케이션즈紙에 2024년 1월 16일 게재됐다 (<https://doi.org/10.1038/s41467-023-43880-1>).

- 1) 남극저층수는 일반적으로 AABW(Antarctic Bottom Water)로 정의되며, 전 지구 해수 중 가장 무거운 해수이다.
- 2) 고염대륙붕수는 일반적으로 HSSW(High Salinity Shelf Water)로 정의되며, 남극 연안에서 생성되고 AABW의 마중물에 해당한다.
- 3) 순열속(Net heat flux)은 해양 표면에서 발생하는 해양-대기 간 열교환량을 수치로 표현한 값(단위: Watt/m<sup>2</sup>)을 의미한다.

# 극한환경 생존의 대명사, 완보동물을 통한 극지연구

김지훈 극지연구소 빙하지각연구본부

완보동물은 극한의 환경조건에서 살아남는 능력을 가졌지만 눈에 보이지 않을 정도로 크기가 작은 동물로 알려져 있다. 이러한 적응 능력을 토대로 전 세계 어디에서든 다양한 종이 발견되며, 특히 남극과 북극의 육상 생태계에서 주요 구성원으로 자리 잡고 있다. 극한의 조건에서 살아남는 생물의 대표 종으로 인식되는 완보동물은 동물계에서 종 수로 가장 큰 분류군인 탈피동물군에 속하는데, 이 분류군의 진화사를 밝히는 데 중요한 역할을 한다. 또한 잘 알려진 모델 종들을 이용해 실험한 결과, 상당수의 육상 완보동물이 열에 취약한 것으로 밝혀져 기후변화로 인한 극지 생태계의 충격과 변화를 알려주는 지표 역할도 할 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 생리학적, 생태학적, 진화생물학적 중요성에도 불구하고 국내에서는 한동안 연구 활동이 없었지만, 극지연구소가 그린란드의 완보동물 연구를 시작한 이래로 점차 세계적 수준의 연구 역량을 갖추어 가고 있다. 지속적인 연구를 통해 극지에서의 생물의 적응과 지구온난화에 따른 생태계의 변화, 그리고 동물 진화에 있어서 완보동물이 중요한 과학적 기여를 할 수 있으리라 기대한다.

“우리들은 (달에) 완보동물이 생존했을 가능성이 있으며, 매우 높다고 믿는다.” -노바 스피박(Nova Spivack)

2019년 2월 21일 지구에서 출발한 이스라엘의 민간 달 착륙선 베레시트(Beresheet)는 두 달간의 긴 여행 끝에 마침내 달 궤도에 무사히 진입하였으며, 4월 12일 ‘고요의 바다’ 지역에 착륙을 시도하였다. 하지만 불운하게도 착륙 과정 중 엔진에 문제가 발생하며 베레시트는 달 표면에 추락하며 파괴되었다. 이 탐사는 실패로 끝나면서 아쉬움만 남기고 세간의 관심에서 점차 멀어지는 듯했다. 그런데 같은 해 8월 5일 아치미션 재단(Arch Mission Foundation) 의장 노바 스피박의 인터뷰가 세계 유수의 여러 언론을 통해 소개되며 베레시트가 다시 한번 화제의 중심에 서게 되었다. 베레시트 임무에 참가 하였던 아치미션 재단은 지구를 포함한 태양계 곳곳에 인간의 기록이 담긴 도서관을 세우는 것을 목표로 설립된 비영리 단체로, 베레시트 내부에 지구를 대표하는 동물로 선정된 완보동물 수천 마리를 넣었다고 전해진다. 이 단체의 대표인 노바 스피박이 베레시트 안에 실린 완보동물이 추락 과정에서 죽지 않고 살아남았을 가능성을 제기한 것이었고, 이 이야기는 ‘인간 활동에 의한 달 표면 오염이 옳은가?’에 대한 주제로까지 확장되기도 하였다. 이후 영국의 한 연구팀이 탄환 속에 완보동물을 넣고 쏘아보는 실험을 통해 아마도 완보동물이 베레시트의 추락 과정에서 모두 죽었을 것으로 추정된다는 실험

결과를 발표하면서 이 논란은 일단락되었다. 완보동물이 대체 어떤 동물이길래 달에서의 생존 가능성에 관한 이야기까지 나오는 것일까.

## 작고 느리지만 강한 동물, 완보동물

완보동물은 완보동물문(Phylum Tardigrada)에 속하는 동물로 4쌍의 다리를 가지고 있으며 다리 끝에 발톱이 있는 것이 특징이다. 길이가 0.1~1.2mm 정도이기 때문에 현미경으로 보아야 관찰이 가능하며, 현재까지 약 1,500여 종이 공식적으로 보고되었다. 몸길이가 1mm에 달하는 대형 육식완보동물인 *Milnesium tardigradum*을 이용한 실험에 따르면 이 동물은 한 시간에 평균 25mm 정도를 이동하였으며 최대 속도는 1166.4mm/h에 달했다고 한다. 이처럼 매우 천천히 걸어 다니기에 연구자들은 완보동물(緩步動物)이라는 이름을 붙였으며, 곰 같은 느낌 때문에 물곰(water bear)이라고도 부른다. 필름 형태의 아주 적은 양의 물만 있어도 살 수 있어 심해, 고산 지대, 극지에 이르기까지 지구상 거의 모든 환경에서 발견된다. 머리 안쪽에 한 쌍의 문침(stylet)을 가지고 있으며 먹이를 먹을 때 주로 이 침을 이용하여 먹이에 구멍을 뚫고 새어 나오는 세포액이나 체액을 먹는다. 완보동물은 일생에 걸쳐 여러 번의 탈피 과정을 겪기 때문에 탈피를 하는 무척추동물들의 모임인 탈피동물군(Ecdysozoa)<sup>3)</sup>에 속한다. 특히 그중에서도 거미나



[그림 1] 남극 완보동물 *Acutuncus antarcticus*의 활성상태와 가사상태에서의 형태 변화

곤충 같은 절지동물, 유조동물과 가까워 이들과 함께 범절지동물군(Panarthropoda)을 형성한다.

이렇게 작고 단순해 보이는 완보동물이 부각된 것은 이 동물이 가지고 있는 특별한 생존능력 때문이다. 완보동물은 주변 환경이 나빠지면 몸 안의 모든 신진대사를 멈추고 가사상태(cryptobiosis)에 들어간다. 이후 주변 환경이 개선되면 다시 활성상태로 돌아가 생명활동을 재개한다. 가사상태에 들어가는 능력은 바닷속에 사는 해양 완보동물에는 없고, 조간대나 육상에 서식하는 완보동물에만 있는 것으로 알려져 있다.

가사상태의 종류에는 현재까지 건조(anhydrobiosis), 삼투압 변화(osmobiosis), 동결(cryobiosis), 질식(anoxymbiosis), 화학물질(chemobiosis) 등 다섯 가지가 알려져 있다. 자극의 종류에 따라 가사상태로 들어가는 완보동물의 형태가 달라지는데, 예를 들어 산소 농도가 낮아져 질식 가사상태(anoxymbiosis)로 들어가는 완보동물은 몸이 부풀며 완전히 팽팽하게 퍼지는 데 반해 건조로 인한 가사상태(anhydrobiosis)는 눌린 아코디언처럼 몸이 완전히 찌그러들게 된다. 이는 각각의 자극마다 각기 다른 유전자들이 발현하기 때문으로 생각된다. 다섯 가지의 가사상태 중 가장 유명하고 연구가 많이 된 것은 건조 가사상태이다. 주변의 물이 말라 없어지면 완보동물은 체내 수분의 95% 이상을 몸 밖으로 배출하여 몸을 수축시켜 부피가 활성상태의 10% 이하로 줄어들게 된다. 이 형태가 마치 술통(tun)과 유사하다고 하여 '통 상태(tun state)'라고 부른다. 통 상태로 들어간 완보동물은 일반적으로 동물이 살 수 없다고 생각되는 환경조건에서도 생존할 수 있게 된다. 건조 상태로 20년 이상, 151°C의 고온에서 15분, 영하 272°C에서 8시간, 진공에 가까운 저압, 대기압의 74,000배에 해당하는 고압, X선, 감마선, 자외선 등의 방사선, 유독한 유기용매 등 극악의 조건에서도 버텨내다가 물을 넣어주면 활성상태로 돌아가 다시 생명활동을 시작한다. 물이 계속 들어왔다 나갔다 하는 조건대에 서식하는 특정 종의 경우에는 수 초 안에 통 상태로 들어갈 정도로 가사상태 반응이 빠르게 일어나기도 한다.

이렇게 완벽해 보이는 건조 가사상태에도 약점이 존재한다. 자외선과 열이 바로 그 약점인데, 이것은 가사상태의 특징과 연관되어 있다. 가사상태에 들어가면 체내의 모든 반응이 멈추기 때문에 DNA 손상이나 단백질 변형에 대응하는 세포 내 수리기구도 모두 멈추게 된다. 가사상태 동안 자외선이나 열이 가해져 생기는 손상이 바로 회복되지 못하기 때문에 계속 누적되어 어느 수준을 넘어서면 더는 깨어나지 못하게 되는 것이다. 이 때문에 짧은 시간의 열이나 자외선 충격은 견뎌 내지만 가해지는 시간이 길어지면 죽음에 이르게 된다.

또 다른 유명한 가사상태로는 동결 가사상태(cryobiosis)가 있다. 주변에 물이 얼면 완보동물이 동결 가사상태에 들어가는데, 이 경우에는 동물의 형태가 활성상태와 거의 유사하거나 약간 찌그러지는 정도로 통 상태보다 덜 극적으로 변한다. 동결 가사상태와 관련된 가장 유명한 연구는 일본

극지연구소(NIPR)에서 2015년 발표한 실험이다. 일본 연구자들은 1983년 남극 Dronning Maud Land에서 채집한 이끼 표본을 영하 20°C에서 30년간 냉동고에서 얼렸다가 2014년 꺼내 확인하였다. 이들은 해동 이끼 표본에서 *Acutuncus antarcticus*라는 완보동물의 성체 두 마리와 알 한 개를 무사히 깨우는 데 성공하였다. 아쉽게도 성체 한 마리는 사망할 때까지 알을 낳지 않았지만, 나머지 성체와 알은 번식에도 성공하여 현재까지 그 혈통이 세계 여러 실험실에 분양되어 살아 가고 있다.

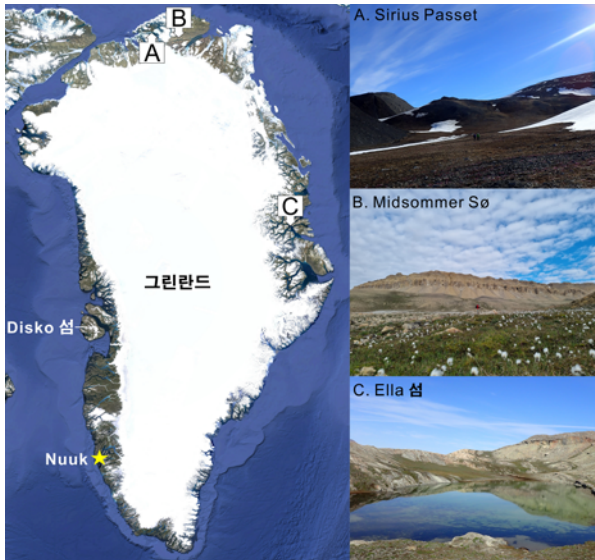
### 극지 완보동물 연구의 중요성

극지 육상 완보동물 중 많은 종이 매우 뛰어난 건조 가사상태와 동결 가사상태 능력을 갖추고 있는 것으로 생각된다. 이 능력을 이용하여 가혹하고 긴 극지의 겨울 동안 다른 동물들이 얼어 죽을 때 살아남아 버티다가 여름이 오면 다시 활성상태로 전환하여 모두 죽어 텅 빈 공간을 빠르게 점유하는 식의 전략을 사용한다. 육상 완보동물 중 상당히 많은 종류가 짝짓기 없이 자신과 똑같은 알을 낳는 처녀생식이라는 번식 방식을 택했기에(때문에 종 전체가 모두 암컷이다), 극지의 짧은 여름 동안에도 순식간에 종이 번성할 수 있다. 그 덕분에 육상 완보동물은 극지 육상 생태계에서 다양한 생태적 지위를 차지하며 매우 중요한 구성원이 되었다.

하지만 완보동물은 추위에 강한 것과 달리 상대적으로 열에 취약한 동물인 것으로 보인다. 코펜하겐대 연구팀은 덴마크에 서식하는 완보동물 *Ramazzottius varieornatus*을 이용하여 이 동물이 온도에 얼마나 강한지에 대한 생존도 실험을 하였다. 이 종은 여러 종류의 가사상태 능력이 매우 뛰어난 종임에도 불구하고, 활성상태의 완보동물 *Ramazzottius varieornatus*은 37.1°C에서 절반이 죽는 것으로 나타났다. 2022년 코펜하겐 최고온도는 35.6°C였는데 코펜하겐이 온난화로 조금만 더 따뜻해진다면 많은 완보동물이 죽게 될 것으로 예상된다. 극지 완보동물은 이보다 더 취약할 것이다. 앞서 언급한 남극종 *Acutuncus antarcticus*는 남극대륙 전역에 걸쳐 대부분의 해안가에 널리 서식하는 것으로 알려진 종으로, 실험실 내 배양 결과로는 25°C에서 전부 죽었다고 알려져 있다. 현재 남극대륙의 최고온도 기록은 2020년 아르헨티나의 남극기지인 Esperanza Station에서 관측된 18.3°C로, 치사 온도까지 얼마 남지 않은 것으로 보인다. 아직 실험 결과는 안 나왔지만 그린란드 서식 완보동물도 마찬가지로 일 것으로 생각된다. 따라서 극지 육상 완보동물 연구는 지구 온난화가 극지 생태계 파괴에 얼마나 영향을 주는지에 대한 지표로 활용될 수 있다.

또한 진화에 대한 연구를 통해 완보동물의 여러 특징에 대한 의문점을 해결할 수 있다. 앞서 이야기하였듯 완보동물은 절지동물, 유조동물과 함께 범절지동물군을 형성하고 있으며 이들은 5억 년 전 캄브리아기에 살던 엽족동물(Lobopodia)로부터 갈라져 나왔을 것으로 생각된다. 엽족동물은 여러





[그림 2] 극지연구소의 그린란드 완보동물 연구지역: Sirius Passet, Midsommer Sø, Ella Island

개의 몸통마디와 다리를 가진 벌레 형태의 해양동물로 그 크기가 1~10cm에 달했지만 전부 멸종하여 현재는 존재하지 않는다. 하지만 현생 완보동물은 소형화(miniaturization)<sup>2)</sup>를 거치며 그 크기가 엽족동물의 100분의 1로 줄어들고 호흡계, 순환계 관련 장기들을 잃어버렸다. 완보동물 진화 연구는 어떻게, 그리고 왜 조상보다 훨씬 작고 단순한 모습을 가지게 되었는지에 대한 실마리를 제공해 줄 수 있을 것이다. 여기에 더해 진화 연구는 해양 완보동물은 가지고 있지 않은 가사상태 능력을 육상 완보동물이 언제, 어떤 과정을 거치며 얻게 되었는지, 이를 통해 어떻게 육지로 올라올 수 있게 되었고, 어떤 경로로 극지로 퍼져나가 어떻게 적응하며 현재 극지역에서 번성하게 되었는지에 대한 궁금증도 풀어 줄 것이다.

**극지 완보동물 연구 성과**

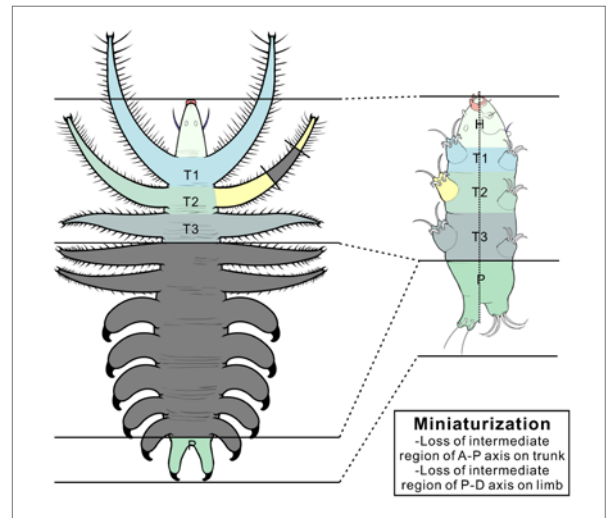
극지연구소는 남북극에 서식하는 육상 완보동물에 대한 다양성, 초미세구조, 생리, 진화 등 여러 방면에서 연구를 수행하고 있다. 서그린란드의 작은 섬인 Disko 섬에서만 현재까지 50종 이상의 완보동물이 서식하는 것으로 알려질 정도로 그린란드는 다양한 완보동물로 유명한 지역이다. 하지만 북/동그린란드는 서/남그린란드보다 접근이 어려워 연구가 거의 이루어지지 않은 실정이다. 특히 북그린란드는 완보동물의 마지막 연구가 1951년이었으며 그 후 60여 년간 연구가 전혀 없었다. 극지연구소는 2016년 캠프를 시작으로, 북그린란드 Sirius Passet, Midsommer Sø, 동그린란드의 Ella 섬 등지에서 현재까지 30종이 넘는 육상 완보동물을 채집하였으며 그중 많은 수는 현재까지 보고된 적 없는 신종으로 파악된다.

또한 극지연구소는 세계적인 캄브리아기 화석산지 북그린란드 Sirius Passet의 화석과 극지 완보동물을 포함한 엽족동물+범절지동물 형태 비교 연구를 통해 완보동물이 Luolishaniid 라는 종류의 엽족동물과 가까우며 어떻게 현재와 같은 몸

기본구조를 가지게 되었는지를 밝혀내었다. 5억 년이라는 시간을 뛰어넘어 같은 공간에서 채집한 캄브리아기 화석과 현생 완보동물을 이용한 연구라는 점에서도 뜻깊은 연구이다. 남극세종과학기지 주변 환경에서도 다양한 완보동물 종이 파악되고 있으며, 이 중 일부 종은 실험실 내 배양이 성공적으로 이루어졌다. 이를 통해 신종 보고 및 새로운 초미세구조 관찰, 분류학적인 문제 제기 등이 이루어지기도 하였다.

**향후 전망과 계획**

앞서 서술하였듯 완보동물은 극지과학 분야에서 중요한 역할을 할 수 있는 동물이다. 캄브리아기 대폭발이라는 동물계의 대사건으로부터 현생동물이 어떻게 진화해 왔는지를 풀 수 있는 열쇠를 품고 있을 뿐만 아니라 극지의 가혹한 환경에 어떻게 적응하고 번식해왔는지, 또 갈수록 심각해지는 기후 변화에 생물들이 얼마나 심대한 타격을 입으며 어떤 반응을 보이는지를 알려줄 수 있다. 특히 북극 지역 중 최북단에 있는 육지인 북그린란드는 이러한 연구가 가능한 지역이면서 현재 극지연구소만이 지속적인 연구를 수행하고 있는 지역이기도 하다. 북그린란드 연구가 지속된다면 고생물학, 진화학, 생리학, 그리고 환경학 분야가 융합된 세계적인 연구가 이루어질 것으로 생각한다.



[그림 3] 2023년 PNAS에 게재된 캄브리아기 엽족동물과 현생 완보동물의 형태 비교를 통한 진화과정에 대한 그림(Kihm et al., 2023)

- 1) 탈피동물군(Ecdysozoa)은 탈피를 하는 무척추동물의 모임으로, 새예동물(Priapulida), 동문동물(Kinorhyncha), 동갑동물(Loricifera), 선형동물(Nematoda), 유선형동물(Nematomorpha), 절지동물(Arthropoda), 유조동물(Onychophora), 완보동물(Tardigrada)이 여기에 속한다.
- 2) 소형화는 동물의 몸길이가 일반적으로 1mm 이하로 작아지는 현상을 말한다. 완보동물문뿐만 아니라 선형동물문, 윤형동물문, 동갑동물문, 복모동물문 등 동물계의 여러 문에서 나타나는 현상이지만 그 원인이나 메커니즘 등에 대해서는 아직 밝혀진 바가 적다.

# 아라온호, 성과와 미래



김춘식 극지연구소 쇄빙선운영실

아라온호는 우리나라 극지연구의 활동 범위 확장과 독자적인 연구 진행을 위해 건조된 아라온 쇄빙연구선으로 2009년 11월 2일 첫 항해를 시작해 지금까지 15년간 전 세계 바다를 누비고 있다. 총톤수는 7,507t으로 길이가 111m에 달한다. 항해 속력은 12노트(22.2km)로 결빙 지역에서 1m의 해빙을 시속 3노트(약 5.6km)의 속력으로 깨뜨리며 항해할 수 있는 국내 최초의 쇄빙연구선이다. 아라온호는 음향음심장치(Mui-beam echo sounder), 탄성파장비(Seismic system), 해수분석장비(CTD) 및 해저퇴적물채취장비를 비롯한 60여 종의 연구 장비를 장착하고 있다. 또한 15년 동안 남극과 북극 간 총 69만 마일을 오가며 “아라오나의 발견” 및 2023년 “남극 빙하 녹이는 바닷물 계절 변동성 최초 규명” 등 총 204건의 연구 활동을 지원하였다. 그뿐만 아니라 남극해에서는 조난 어선과 인명을 구조하여 “남극산타”라는 별명을 얻기도 했다. 아라온호는 남극과 북극에서 연구 활동을 지원하여 우리나라 극지연구의 위상 제고를 견인하는 핵심 인프라일 뿐만 아니라 차세대 쇄빙선이 인도되기 전까지 국내외 연구자들의 다양한 연구 수요를 수용하여 우수한 연구 성과가 도출될 수 있도록 지속적인 지원을 하고 있다. 지구온난화 현상으로 갈수록 어려워지는 극지에서의 남극과학기지 보급 업무를 성공적으로 지원하여 극지연구의 미래를 함께하고자 한다.

## 극지에서 쇄빙연구선의 역할과 필요성

얼음을 깨고 항해하는 쇄빙연구선은 남극과 북극의 극지를 기반으로 연구 활동을 수행하는 과학자들에게 결빙 해역에서 연구 활동을 가능하게 하고, 남극과학기지에 연구 장비 운송 및 보급품을 전달하는 역할을 한다.

우리나라에 쇄빙연구선이 없었을 때의 극지 활동은 쇄빙연구선을 보유한 외국의 연구기관에 비싼 사용료를 지급하거나 그 기관의 연구 일정에 맞추어 승선해야 했으므로 해빙이 없는 곳이나 연구자가 원하는 연구 활동을 수행할 수 없었다. 우수한 연구 성과를 기대하기 위해서는 독자적 연구 활동은 물론 남극장보고과학기지 건설과 건설 후 기지 운영에 필요한 보급품을 전달하기 위해 쇄빙연구선이 필요하게 되었다.



## 쇄빙연구선의 건조

쇄빙연구선은 2003년 건조가 착수된 이후 2004년 한국해양연구원에서 개념 및 기본 설계를 추진하였으며, STX조선의 실시 설계 시행으로 2008년 1월 부산 한진중공업에서 건조 착공 후 국내 최초로 진수되었다. 마침내 2009년 11월 2일 취항식에서 선명을 “아라온호”라 명명함으로써 대한민국 최초이자 유일한 쇄빙연구선이 탄생하여 우리의 힘으로 운항할 준비를 완료하였다.

### · 제원

총톤수는 7,507t으로 길이 111m, 폭 19m, 항해 속력은 12노트(22.2km)로 최고 16노트까지 달릴 수 있으며, 결빙 지역에서 1m의 해빙을 시속 3노트(약 5.6km)의 속력으로 깨뜨리며 항해할 수 있는 쇄빙 능력을 갖추고 있다. 한 번의 보급으로 70일간 약 2만 해리(약 3,700km)를 항해할 수 있고 승무원 25명과 연구원 60명이 탑승하여 총 85명이 정원이다.

### · 탑재 연구 장비 및 연구 지원 능력

아라온호에는 음향측심장치(Mui-beam echo sounder), 탄성파장비(Seismic system), 해수분석장비(CTD) 및 해저 퇴적물채취장비를 비롯한 60여 종의 연구 장비가 장착되어 남북극의 결빙 지역에서 전천후로 연구 활동 지원 업무를 수행한다.

### · 특징

아라온호의 선수는 40mm의 저온 고장력 특수강으로 제작되어 있고, 특수강 외부에는 저온과 쇄빙 때 얼음 충격으로부터 선체를 일차적으로 보호하기 위하여 단단한 내빙 도료가 시공되어 있다. 앞부분 아래쪽에는 얼음을 자를 수 있는 아이스 나이프가 장착되어 있으며, 선미에 360도 회전이 가능한 프로펠러 2개가 장착되어 있다. 또한 선수에는 보조 프로펠러 2개가 장착되어 있으므로 결빙 지역에서 배의 조종을 쉽게

할 수 있도록 하여 쇄빙 중 얼음 속에 갇히면 빠르게 탈출할 수 있는 기능도 갖추고 있다. 아라온호의 쇄빙 원리는 강력한 추진기의 추진력을 이용하여 선체와 선수의 아이스 나이프가 얼음을 충돌하여 깨는 것과 충돌로 깨기 어려운 두꺼운 얼음은 아라온호가 얼음 위를 올라타 그 무게로 얼음을 깨는 것이다.

**운항 일정**

남극 항해는 10월 말에 출항하여 남극장보고과학기지의 보급 활동 및 남극에서의 연구 활동 지원을 수행하고 이듬해 4~5월에 다시 모항인 인천항에 귀항한다. 인천항에 돌아오면 시험항해로 아라온호 및 연구 장비를 최적의 환경으로 만든 후 북극 항해는 7월에 출항하여 9월 말에 인천항에 돌아온다.

**·남북극 운항 항적도**

1월	2월	3월	4월	5월	6월
남극					유자보수
7월	8월	9월	10월	11월	12월
수리	북극	대기	남극		

**실적 및 성과**

2009년 11월 첫 항해를 시작한 아라온호는 2009년 항해 4,600마일을 시작으로 쉼 없이 남극 15번과 북극 14번을 오가며 연평균 약 48,000마일, 15년 동안 약 69만 마일 (약 127만 km)의 대장정 항해를 하였다.

**·연구 성과**

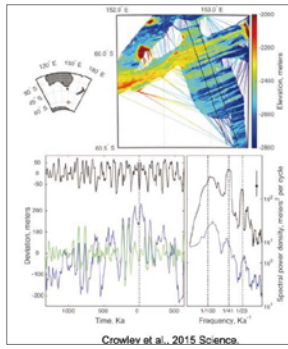
69만 마일을 항해하며 연평균 약 13건의 연구 과제를 수행하는 등 15년 동안 총 204건의 연구 과제를 수행하였다. 204건의 연구 과제 중 대표적으로 2015년 남극 해저에서 신종 생명체 “아라오나의 발견” 및 2023년 “남극 빙하 녹이는 바닷물 계절 변동성 최초 규명” 등 우수한 성과를 도출함으로써 극지 연구에 커다란 양적, 질적 성장에 이바지하였다.



[그림 1] 아라온호의 운항 항적도



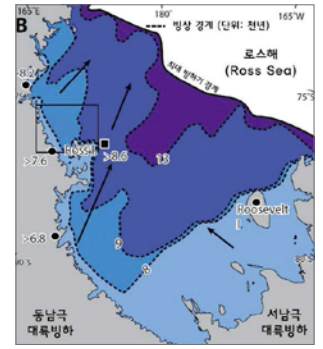
2013 세계 최초 북극 동시베리아 거대 빙상의 흔적 발견



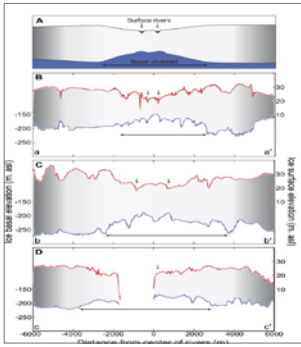
2015 세계 최초 남극 중앙해령 지각의 빙하기-간빙기 순환 증거 발견



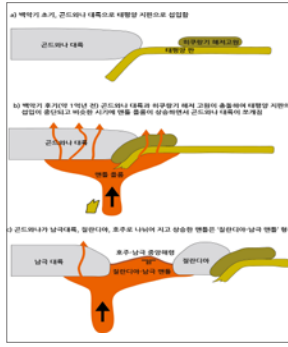
2016 세계 최초 동시베리아해 가스하이드레이트 채취 성공



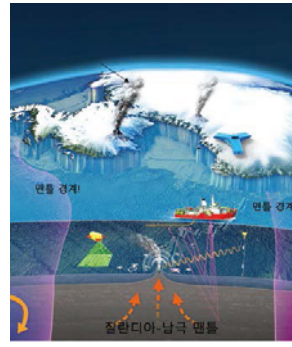
2017 남극 로스해(Ross sea) 빙하 흔적 발견



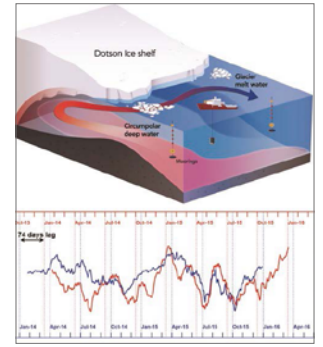
2018 빙봉 하부 채널로 인한 빙봉 상부 하천망 생성 및 빙봉 붕괴 촉진



2019 동위원소적으로 뚜렷이 다른 Zealandia - 남극해 내의 남극 맨틀 영역



2020 신규 맨틀 남극 바다서 세계 최초 발견



2023 남극 빙하 녹이는 바닷물 계절 변동성 최초 규명

[표 1] 아라온호의 주요 연구 성과

· 남극장보고과학기지 운영 및 남극 연구 활동 지원

2014년에 대한민국 최초의 남극 대륙기지인 남극장보고과학기지 건설 사업을 지원하였으며, 이후 매년 장보고과학기지에 남극 항공유 약 600m<sup>3</sup>, 컨테이너 27TEU에 각종 연구 장비, 식자재, 생활용품이나 기지 유지 부속품을 보급해왔다. 또한 특수 중장비를 운송하여 대륙을 기반으로 하는 연구 활동을 지원하였다.

· 연간 승선 인원

극지연구소 연구원, 국내 산학연 연구원 및 해외 연구기관의 연구원을 포함하여 연평균 약 260명, 15년 누계 약 3,756명(국내 3,411명, 해외 345명)이 승선하여 남북극에서 연구 활동을 수행하였다.

· 조난 선박과 인명의 구조 활동

아라온호의 주요 임무는 결빙 지역에서의 연구·보급 활동을 지원하는 것과 남극에서 조업하는 어선이 남극 결빙 지역에서 선체 파공, 화재 및 긴급환자의 발생 등 위험에 빠졌을 때 신속하게 출동해 구조에 성공하여 “남극의 산타”로 불리며 남극에서의 대한민국의 입지와 영향력을 강화해 나가고 있다. 최근 2024년 1월에는 남극에서 조업 중인 우루과이 어선에서 응급환자가 발생하여 아라온호 선장, 아라온호에 승선 중인

선과의 극지의학회 소속 의사와의 협진으로 의료 및 의약품을 지원함으로써 환자가 모항에 무사히 도착할 수 있도록 하여 그간 남극에서 시행해 온 의료 협력 체계를 한 단계 격상시켰음을 확인하였다.

아라온호의 도전

극한 환경인 극지에서의 쇄빙연구선 운항은 해빙에의 간힘, 화재 발생, 선체 파공 등 위험성과 고립성, 취약한 접근성에 노출되어 있다. 따라서 아라온호와 연구원의 안전을 지켜 내는 것은 매우 중요하다. 따라서 운영 연수의 증가로 노후화가 진행되는 연구 장비와 항해 장비의 성능을 유지하고, 위험성에 노출 빈도가 잦은 저온지역에서의 안전사고 예방을 위한 노력과 관심이 중요한 과제가 되고 있다.

코로나19로 쇄빙연구선인 아라온호는 새로운 난관에 직면했다. 바닷길과 하늘길이 중단된 남극과학기지는 유일한 남극 접근 수단이었던 아라온호를 활용하여 연구 활동 지원, 월동 연구대 교대 및 보급품 운송을 수행하여 초유의 무정박, 무보급 140일 항해를 성공적으로 수행하였다. 남극에 코로나19 전파를 차단하기 위한 절차와 경험은 앞으로 유사한 전염병이 창궐하였을 경우 이를 극복할 수 있다는 자신감과 함께 새로운 경험과 과제를 체득하기도 했다.

**앞으로 쇄빙연구선에 대한 기대**

대한민국의 유일한 쇄빙연구선인 아라온호는 2009년 취항 후 15년 동안 우수한 연구 성과를 거두는 데 큰 역할을 하였으며, 최근 신규 연구과제의 지속적인 증가와 외부 기관에서의 극지연구에 대한 관심이 높아짐에 따라 공동 활용의 기회를 제공함으로써 아라온호의 적정 운항 일수인 280일을 넘어 포화 단계에 이르게 되었다.

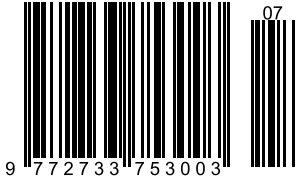
지구온난화 현상으로 발생하는 기후변화 원인 규명 등을 비롯한 다양한 극지연구에 대한 수요는 한 척의 쇄빙연구선으로 감당하기가 어렵게 되었다. 또한 제한된 운항 일정으로 연구과제의 지원, 보급 활동 등 남극의 산타로 역할을 수행하기에는 운항 안전 확보가 위협을 받게 됨에 따라 보다 쇄빙

능력이 강화된 대형 차세대 쇄빙선 건조가 필요하게 되었다. 친환경 선박으로 건조 추진 중인 차세대 쇄빙연구선은 강력한 쇄빙 능력으로 폭넓은 연구지역 항해와 극지 운항기간 연장 또한 가능하다. 아울러 아라온호와 역할 분담으로 보다 쉽게 연구 활동을 지원하고 안정적인 남극과학기지 보급 업무를 수행할 수 있어 극지 연구의 발전에 매진할 것이다.

2024년 5월, 아라온호는 15번째의 남극 항해를 완료하고 다시 모항으로 돌아왔다. 15번째의 성공적인 항해를 완료한 아라온호는 잠시 휴식한 후 개방과 협력으로 극지에서의 대한민국의 영향력을 확장하고, 급변으로 예측 불가한 지구 환경 변화에 대응하기 위한 최일선 지원체계에 16번째의 역사적인 항해를 준비하고 있다.

일시	사고 선명 / 소속	구조 내용	비고
2011.12.15.	스파르타호 / 러시아 어선	해빙과의 충돌로 파손된 어선과 선원 구조	
2012.01.11.	정우 2호 / 국내 어선	화재로부터 위험에 빠진 어선원 구조	
2015.12.17.	센스타호 / 국내 어선	해빙에 갇힌 선박을 얼음이 없는 안전지대로 인도	
2020.01.10.	홍진호 / 국내 어선	조타기 고장으로 해빙에 항해가 불가한 선박을 안전지대까지 인도	
2020.04.20.	○성기업	코로나로 파푸아뉴기니에 고립된 어선원 수송	
2024.01.25.	우루과이 어선 환자	우루과이 어선에서 뇌졸중 응급환자 의료 및 의약품 지원	

[표 2] 아라온호의 주요 구조 활동(출처: 극지연구소, 연합뉴스)



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



**발행일:** 2024년 6월  
**발행처:** 극지연구소 정책개발실 Tel. 032-770-8453  
**주소:** 인천광역시 연수구 송도미래로 26, 극지연구소 ([www.kopri.re.kr](http://www.kopri.re.kr))

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