



보도 일시	2022. 9. 7.(수) 조간 2022.9. 6.(화) 11:00	배포 일시	2022. 9. 6.(화) 06:00
담당 부서	해양정책관 해양개발과	책임자	과 장 노재옥 (044-200-5240)
		담당자	사무관 유윤진 (044-200-6182)

## 바다는 어떻게 남극의 얼음을 녹일까?

- 따뜻한 바닷물이 남극 빙붕 하부를 녹이는 '소용돌이 기작' 밝힌  
연구결과, 국제학술지 '커뮤니케이션스 지구와 환경' 게재-

기후변화로 인해 남극의 빙하가 전례 없이 빠르게 녹아내리는 최근, 해양수산부(장관 조승환)와 극지연구소(소장 강성호)는 남극 빙하가 얼마나 빨리 녹을 것인지 예측할 수 있는 열쇠를 찾았다. 여름철 남극 해안가에서 발생하는 소용돌이가 바다 표층의 따뜻한 물을 빙붕 아랫부분으로 흘러보내는 과정을 세계 최초로 발견한 것이다. 그간 지구온난화로 인해 따뜻해진 바다가 남극의 얼음을 녹인다는 사실은 잘 알려져 있었으나, 바다 표면의 따뜻한 물이 어떻게 수백 미터 두께의 빙붕 아래로 흘러들어가는지는 구체적으로 밝혀지지 않았다.

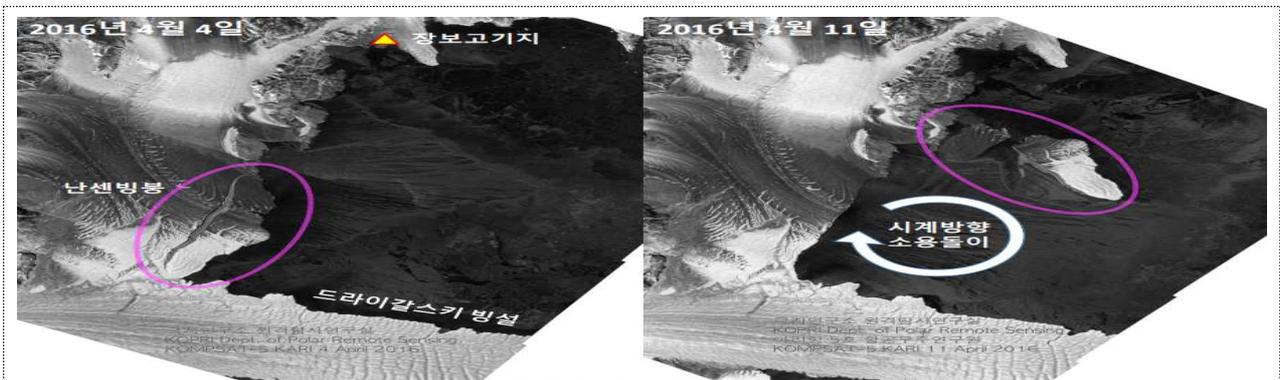
빙붕(ice shelf)은 남극대륙 위에 놓인 빙하(glaicer)에서 이어져 바다에 떠 있는 200~900미터 두께의 거대한 얼음덩어리로, 빙하가 바다에 빠지는 것을 막는 역할을 한다. 육지에 놓인 빙하가 바다로 들어가면 그 규모만큼 해수면을 끌어올리기 때문에, 빙붕의 붕괴는 해수면 변화의 주요 요소이다.

한편, 남극의 빙하가 전부 녹으면 지구의 해수면은 약 58m 상승한다고 알려져 있다. 이는 인천이나 부산, 뉴욕 같은 해안가 도시는 물론 서울이나 런던 같은 도시들도 잠길 수 있는 높이로, 따라서 남극 빙붕이 녹는 원인을 분석하고 미래를 예측하는 것은 기후변화 대응에 있어 매우 중요하다.

이번 연구 결과는 극지연구소 이원상 박사 주도의 국제공동 연구팀이 2019년부터 해양수산부 R&D 사업을 통해 남극 빙붕이 녹는 원인에 대한

연구를 진행하면서 이루어낸 성과이다. 이 연구팀에는 극지연구소와 더불어 국내 대학(경북대)과 미국(캘리포니아 대학교, 컬럼비아 대학교), 뉴질랜드(오클랜드 대학교) 대학 등이 참여하고 있다. 연구팀은 2019년 쇄빙연구선 아라온호로 난센 빙봉에 접근하였고, 무인 수중글라이더를 활용해 육안으로 파악하기 어려운 바닷속을 관측하였다.

무인 수중글라이더는 아라온호가 빙봉에 접근해있는 동안 바닷속 넓은 지역을 돌아다니면서 센서를 통해 수온, 염도, 산소포화도 등의 정보를 수집하였다. 연구팀은 무인 수중글라이더가 관측한 자료를 토대로 바닷물의 방향과 속도 등을 분석하였고, 그 결과 시계방향으로 회전하는 직경 10km의 소용돌이가 따뜻한 바닷물 표면의 열을 빙봉 하부로 전달하는 과정을 알아낼 수 있었다.



난센 빙봉: 남극 장보고과학기지 인근의 빙봉으로, 지구온난화로 인해 2016년 4월 214km<sup>2</sup>의 얼음덩어리(왼쪽 사진의 동그라미)가 떨어져 나가 바다로 떠내려간 바 있음 (오른쪽 사진의 동그라미, 아리랑 위성영상에서 관측한 모습)

그간 따뜻한 표층의 바닷물이 빙봉 하부로 전달됐을 것이라는 추정은 있었지만, 그 과정이 관측되거나 규명된 것은 이번이 세계 최초이다. 난센 빙봉 앞 소용돌이는 남반구 여름철에만 일시적으로 나타나는 자연 현상으로, 남극 내륙에서 바다로 부는 바람(대륙 활강풍, katabatic winds)과 해안을 따라 흐르는 연안류, 빙봉 아래에서 빙하가 녹아 뿜어져 나오는 물인 용빙수 등의 요인이 복합적으로 작용해 형성된 것으로 확인된다. 이 소용돌이가 차가운 중층수를 위로 끌어올리는 동시에 표층의 따뜻한 바닷물을 아래로 끌어내려 빙봉이 녹는 속도를 가속화하는 것이다.

이번 연구는 앞으로 소용돌이의 존재를 파악함으로써 빙하가 녹는 속도를 보다 정확히 예측할 수 있게 되었다는 데 의미가 있다. 소용돌이가 발견되는

지역에서는 빙하가 기존의 예상보다 더 빨리 녹을 것으로 예측할 수 있기 때문이다. 연구팀은 빙하 하부가 해수면보다 낮은 곳에 위치해 남극에서도 기후변화에 가장 취약한 지역인 서남극 스웨이트(Thwaites) 빙하에서도 이러한 소용돌이가 작용할 것으로 예상하고, 2023년 말부터 현장탐사를 진행할 계획이다.

이번 연구결과는 국제학술지 '커뮤니케이션스 지구와 환경(Communications Earth&Environment)' 6월호에 게재되었다. 해당 호에는 '바다가 남극을 녹이는 과정(How the ocean melts Antarctic ice)'에 대해 극지연구소의 연구결과와 더불어 일본과 벨기에의 연구결과까지 논문 3편이 동시에 실렸으며, 기후변화에 민감하게 반응하는 해수면 변동 연구의 시급성을 강조하는 글<sup>붙임1</sup>도 별도로 소개됐다.

해양수산부 송명달 해양정책실장은 “남극의 극한 환경 속에서도 남극 현장의 변화를 관측하는 우리나라 연구팀의 노고가 있었기에 바닷물이 어떻게 남극의 얼음을 녹이는지 세계최초로 밝혀내는 훌륭한 연구성과를 낼 수 있었다.”라며, “앞으로 연구 범위를 남극 전역으로 확대하여, 남극 빙하가 녹는 원인과 속도를 밝히고, 이에 따른 전 지구 해수면 상승 예측 등 관련 연구도 지원하여 기후변화에 적극적으로 대응해나갈 수 있도록 하겠다.”고 말했다.

## How the ocean melts Antarctic ice

Ariaan Purich | School of Earth, Atmosphere and Environment, Monash University, Australia

기후변화로 남극의 얼음이 전례 없이 빠르게 녹고 있다. 이로 인한 해수면 상승과 남극의 얼음이 녹으면서 발생하는 해양 특성의 변화는 남극 주변뿐만 아니라 전 지구적으로 영향을 미친다. 하지만 극지는 너무 멀리 떨어져 있고 극한 환경이라 관측결과 획득이 매우 제한적이다. 이 때문에 미래 예측을 위한 수치모델 개선에도 어려움이 많다. 최근 '커뮤니케이션스 지구와 환경' 학술지에 따뜻해진 남극 바다가 얼음을 어떻게 녹이는 지에 관한 3편의 논문이 나란히 게재되어 기후변화로 인한 남극발전 지구 영향에 관한 이해의 폭을 넓히는 계기가 되었다.

얼음 하부 용해는 남극에서 가장 대표적인 얼음 손실 과정이다. 물 위에 떠 있는 빙하(海氷)는 녹아도 해수면 상승에 영향을 미치지 않는다. 하지만 빙붕이 소멸하게 되면 대륙의 얼음이 더 빨리 바다로 흘러갈 수 있고, 이는 해수면 상승을 가속화하는 중요한 요인이다. 다양한 관측에 따르면 이러한 현상은 현재 진행형이며, 이 과정은 앞으로 100년 동안 가속화될 것이라는 암울한 전망도 있다. 따뜻해진 바닷물이 어떻게 빙붕 하부로 침투하고 얼마나 많은 얼음을 녹일지 정확히 이해하는 것이 미래 전 지구 해수면 상승 예측에 무엇보다 중요하다.

게재된 3편의 연구 결과는 다양한 관점과 규모에서 해양 온난화가 빙붕 하부 용해에 어떤 역할을 하는지에 초점을 맞추고 있다.

첫 번째 논문에서는 극지연구소 주도의 국제공동 연구진이 2019년 1월 남극 하계탐사에 참여하여 장보고과학기지 인근 난센빙붕 앞 바다와 얼음 아래에 무인수중글라이더를 투입하여 직경 10km의 소용돌이를 발견한 결과를 보고하였다. 이 소용돌이는 차가운 중층수를 끌어올리는 동시에 따뜻한 표층 해수를 아래로 끌어내리는 수직적인 열순환을 유도하여 난센빙붕 하부의 용해를 일으킨다는 중요한 사실을 최초로 규명했다. 지금까지의 연구는 서남극 아문센 해역과 같이 얼음이 매우 빠르게 녹고 있는 지역에 연구 역량이 집중되어 있었던 반면에, 이번 연구를 통해 남극 주변에 보다 많은 빙붕

시스템에서 일어나고 있는 현상을 이해하는데 크게 기여할 것으로 기대한다.

두번째 논문에서 Aoki 등은 2016년 남반구 봄(9~11월)부터 여름철(12월~이듬해 2월)까지 발생했던 기록적 수준의 남극 해빙 면적 감소가 비정상적으로 따뜻해진 표층 해수 온도와 관련이 있음을 밝혀냈다. 태양열을 효과적으로 반사하는 해빙의 면적이 줄어들게 되면 더 많은 태양열이 바다로 흡수되어 표층 해수온이 더욱 상승하게 된다. 이후 더 많은 해빙을 녹이는 과정이 되풀이되면서 점점 상황이 악화된다. 일반적으로 기온이 하강하는 남반구 가을(3~5월)에 해빙이 성장하기 시작하면 표층 해수는 밀도가 높아져 바닥으로 가라앉는다. 남극 바다에서 생성된 차갑고 밀도가 높은 물은 전 세계 바다의 바닥을 가로질러 천천히 이동한다. 이러한 과정을 통해 전 지구 열과 탄소의 순환과정을 조절하는 매우 중요한 역할을 수행한다. Aoki 등이 발견한 현상은 기후변화로 인한 표층 해수온의 상승이 이러한 전 지구적 순화과정을 지연시킬 수도 있음을 시사한다. 또한 지구온난화가 지속된다면 더 많은 빙봉이 녹아 남극 대륙 얼음의 바다로 향하는 흐름을 제어하지 못해 결국 전 지구 해수면 상승이 가속화 될 것으로 예상하였다.

마지막으로 Verfaillie 등은 남반구 전체로 공간적 규모를 확장하여 남반구 극진동(Southern Annular Mode; SAM)이 남극 대륙 주변 해양 순환에 미치는 영향을 수치모델로 설명하였다. SAM의 변동은 인간의 영향에 의한 성층권 오존 파괴와 온실 가스 농도 증가에 기인한다. 지난 세기 동안 가장 두드러지게 관찰된 양의 위상(positive(+) phase) SAM은 따뜻한 중·저위도의 공기를 남극 대륙 방향으로 이동시킨 원인으로 이해되며, 특히 따뜻하고 염도가 높은 해수의 용승을 증가시켜 빙봉 하부 용융을 가속화한다는 결과를 제시하였다. 하지만 남극 주변의 모든 빙봉이 양의 위상 SAM에 동일하게 반응하지는 않는다는 점 또한 지적하며, 남극 빙봉 하부 용융에 대한 다양한 요인의 결합된 영향을 고려할 필요성을 강조하였다.

위 세 가지 연구는 기후변화로 인한 해양 온난화가 얼음 하부를 녹이는 다양한 방식에 대한 중요한 단서를 제공하였다. 또한, 미래에 어떠한 물리적 과정이 이러한 용융을 주도적으로 제어할 것인지에 관하여 현장관측 및 수치모델로 설명하였다. 종합해보면, 남극 빙봉이 녹는 과정에서 다양한 공간적 규모의 영향이 복합적으로 작용하고 있으며, 이를 주도하는 바다의 역할에 관한 이해를 개선하기 위해서는 과학계의 지속적인 현장관측 및 다양한 요소가 결합된 수치모델 개선에 많은 투자가 이루어져야 할 것이다.

