THE OCEAN

2025.Vol.17



뜨거워지는 바다

변화하는 기후;
바다의 오늘과 미래를 묻는다

The oceans are getting hotter
Changing Climate; Questioning the
Present and Future of the Sea

ISSN 2466-0566

KMI 한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE



THE OCEAN

Vol.17

편집위원회

편집주간
조정희
한국해양수산개발원

편집위원
김민수
한국해양수산개발원
김종성
서울대학교
서경석
해양수산과학기술진흥원
이강기
한국해양대학교
이성우
한국해양수산개발원
이윤호
한국해양과학기술원
장영수
부경대학교
정명화
한국해양수산개발원
주강현
해양문명사가
최재선
한국연안협회

펴낸곳
한국해양수산개발원
펴낸이
조정희
주소
부산시 영도구 해양로 301번길 26
(동삼동, 한국해양수산개발원)
전화 051.797.4800
팩스 051.797.4810
www.kmi.re.kr

만든곳
도서출판 바다위의정원
oceanos2000@daum.net
02.720.0551

발행일 2025년 10월 31일
등록번호 ISSN 2466-0566

editor's letter

10년을 뒤로하고, 새롭게 만납니다

창간 10주년입니다. 많은 이들로부터 한 번 보고 버리지 않고 꽂아두는 잡지로, 늘 기다리는 잡지로 응원과 사랑을 받고 있습니다. 10년에 걸쳐 열여섯 번 발간, 그 뒤를 잇는 지금, 한 해도 거른 적이 없다는 자부심도 한 켠에 있습니다.

10주년을 맞아 대대적으로 바뀌었습니다. 한글과 영문을 같이 싣는 잡지로 거듭나면서 판형을 비롯해 전체 디자인이 달라졌습니다. 재창간하는 열정으로 독자와 새롭게 만나자는 뜻입니다. 편집위원의 들고남이 함께했습니다. 그동안 수고한 편집위원들께 감사드립니다.

매번 주제별 특집으로 만난다는 기획 방향을 세웠습니다. 이번에는 기후변화입니다. 바다와 기후변화라는 전 지구적 이슈를 다각도로 접근합니다. 기후문제의 중요성은 아무리 강조해도 지나침이 없을 것입니다. 소금밭의 기억을 소환하며 세상에서 가장 아름다운 염전을 눈에 담습니다. 바다도, 한때 바다였던 곳도 둘러봅니다.

크고 작은 여느 매체처럼 저희도 독자의 사랑으로 성장합니다. 바다를 알리고 깊이 이해하는 데 디딤돌이 되고자 하는 저희에게 더 많은 성원 부탁드립니다. 더 재미있는 더 의미 있는 더 나은 매체가 되겠습니다.

편집위원회 드림

이 책의 내용은 한국해양수산개발원의 공식적인 견해가 아닌 집필진의 견해입니다.

Contents

SEA, THE SEA

뜨거워지는 바다
변화하는 기후; 바다의 오늘과 미래를 묻다
The oceans are getting hotter
Changing Climate; Questioning the Present and Future of the Sea

intro — 기후변화의 문명사적 성찰_주강현 — 10
A Civilizational Reflection on Climate Change
문명사적 전환을 보고 있다, 바다도시의 소멸과 이동이라는
Witnessing a Civilizational Transition: The Disappearance and Relocation of Sea Cities

message — **지구온난화의 시대는 끝났다. 이제, 지구가 끓어오르는 시대가 왔다** — 24
The era of global warming is over. Now. the era of the Earth boiling over has arrived

polar — 극지에서 보내는 마지막 경고_신형철 — 28
Final Warnings from the Polar Regions
세상의 끝에서 듣는 지구의 건강 이상 신호와 지구 사용법 설명서
Reading Earth's Distress Signals from the Edge of the World and Writing a proper "user's manual" for living on Earth

fisheries — 수산업의 위기, 사라지는 물고기_정석근 — 42
The Fisheries Crisis: Disappearing Fish
우리 바다에서 잡은 싱싱한 생선을 계속 먹으려면
Enjoing Fresh Fish from Our Oceans

carbon — 탄소를 흡수하는 바다의 힘_남정호 — 52
The Power of the Ocean to Absorb Carbon
해양기후테크와 에너지공간믹스에 과감한 투자가 필요한 때다
Now is the time for bold investment in marine climate tech and energy space mix

art — 2025 동시대 미술의 현장 기후 위기 특별전_전승보 — 68
2025 Site of Contemporary Art Special Exhibition on the Climate Crisis
기다림이 끝나는 날에도
Even on the day when waiting ends

solution — 기후위기에 대한 우리의 대응_이상길 — 74
Responding to the Climate Crisis
'완화'와 '적응', 두 축으로 진행 중
Mitigation & Adaptation: Pursuing the tandem goals



SALT

chef & — **SALT**의 품격: 셰프가 전하는 '소금의 기술'_홍신애 — 82
The Class of Salt: A Chef's Guide to the Art of Salt
짠맛의 강도와 질감에 따라 요리의 맛을 살리기도 해치기도
Enhancing or Ruining a Dish with Its Flavor and Texture

story — 몰던 소금 150년 스토리_서종석 — 94
150 Years of Maldon Salt
유명 셰프는 왜 몰던 소금을 사용하는가
Why Do Top Chefs Choose It

salt flat — **세상에서 가장 아름다운 염전** — 102
The most beautiful salt flat in the world

warehouse — 지금은 사라진, 한국의 소금창고 — 122
The Vanished Salt Warehouses of Korea
우리는 소금을 기억하고, 소금쟁이라 부르던 염부를 소환하며,
사라져가는 소금밭을 호출하는 중이다
We remember salt, recall the salt workers once called yeombu, and summon the vanishing salt fields

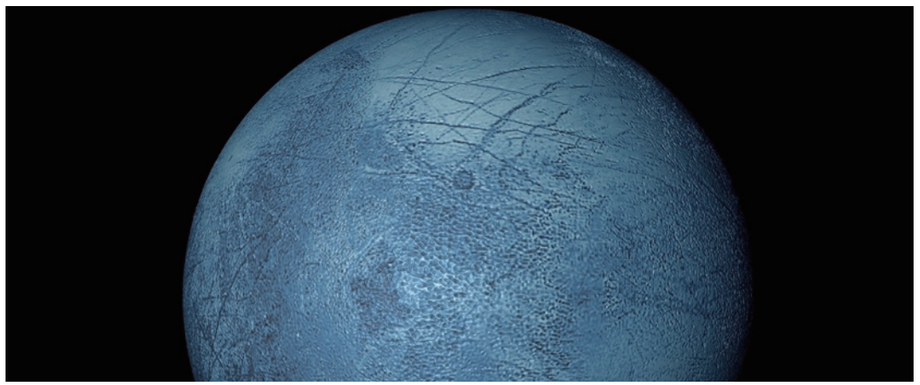


SPACE

TREND & ISSUE

universe 우주의 바다로 간다면_이명현 **128**
Oceans Beyond Earth
어쩌면 우주의 바다는 아주 흔한 존재일지도
Perhaps oceans are quite common in the universe

fossil 한때 바다였던, 화석이 나오는 그곳_백두성 **142**
Once an Ocean: A place Where Fossils Are Found
생명의 기원이 바다라는 것을 알려주는 곳, 서호주 샤크만
Shark Bay, Western Australia, Proving Life Originated from the Sea



robotics AI 시대 해양로봇_장인성 **154**
Marine Robotics in the AI Era
AI와 해양로봇의 융합은 혁신이다. 해양탐사부터 물류, 환경보호까지
The convergence of AI and marine robotics is revolutionary. From ocean exploration to logistics and environmental protection

aquaponics 해양 아쿠아포닉스_김종성 **162**
Marine Aquaponics
기후위기와 식량난을 풀어낼 해법 '아쿠아포닉스 기술'
Aquaponics Technology: A Solution to the Climate Crisis and Food Shortages

Saildrone 무인 해양드론의 쓸모: 미국 세일드론(Saildrone)사_김민규 **170**
The Usefulness of Unmanned Ocean Drones: Saildrone Inc.
세일드론을 미래 해양 무인체계의 핵심 기술로
Saildrone: A Core Technology for Future Unmanned Maritime Systems

SEA,

THE SEA

뜨거워지는 바다

변화하는 기후;
바다의 오늘과 미래를 묻다

The oceans are getting hotter

Changing Climate; Questioning the Present and Future of the Sea

intro

기후변화의 문명사적 성찰
A Civilizational Reflection on Climate Change

문명사적 전환을 보고 있다, 바다도시의 소멸과 이동이라는

Witnessing a Civilizational Transition: The Disappearance and Relocation of Sea Cities

미국의 보수적이고 자유주의적인 공공정책 싱크탱크 '하틀랜드연구소(Heartland Institute)'는 기후변화를 부정한다. 대체로 기후변화의 위기를 논하는 시점에서 기후변화를 부정하는 일련의 움직임이 존재한다. 그들은 소수지만 앞으로도 계속 발언할 것이다. 여기에는 산업자본이 야기한 기후변화를 은폐하려는 어떤 의도가 엿보인다. 그러나 인류문명사적으로 볼 때 기후변화는 지극히 순리적이기도 하다. 거시적 측면에서 볼 때 지구 역사는 단선으로 발전하지 않았다. 계기적으로 변화하면서 굴절해온 역사이기 때문이다. 때로는 완만하게, 때로는 급격하게 변화해왔다. 오늘의 기후변화는 산업화 이후의 산물이라는 점에서, 인류의 긴 역사로 보면 매우 최근에 일어난 일이다.

The Heartland Institute, a conservative and libertarian public policy think tank in the United States, denies the reality of climate change. Whenever the global crisis of climate change is discussed, there are always certain movements that reject its existence. Though they are a minority, they will continue to voice their opinions. This suggests a deliberate attempt to obscure the climate change caused by industrial capital.
From the perspective of human civilization, however, climate change is quite natural. On a macroscopic scale, Earth's history has not progressed in a linear path. Instead, it has been shaped by turning points and disruptions; sometimes gradual and at other times abrupt. The climate change we face today is a product of industrialization and a very recent consequence in the long history of humanity.

주강현 해양문명사가
Kang-hyun Joo Historian of Ocean Civilization



박제된 도도새,
프랑스
진화과학박물관

홀로세인가, 인류세인가

고기후(Palaeoclimate) 연구는 지구의 기후변화가 여러 번에 걸쳐서 반복되었음을 시사한다. 고기후의 비밀은 신화에 많이 남아 있다. 한반도의 서해안과 남해안은 본래 육지였다. 차츰 물이 차오르면서 바다가 되었다. 마고할매 신화는 아주 오래전에 빙하가 녹고 물이 차오르던 모습을 목격했던 인류 조상의 기억을 반영한다.

산업혁명 이래로 대기 중에 잘 혼합되는 이산화탄소, 메탄가스, 아산화질소와 같은 온실가스가 지난 세기 동안 지속적으로 증가했다. 최소한 지난 1만 6000년 동안에는 전례가 없던 일이다. 1만 년 전부터 산업혁명 이전까지 관찰된 대기 중 온실가스는 산업혁명 이후 증가된 양에 비하면 매우 적었다. 이러한 작은 변화도 자연 현상에 의한 것이다.

대기 중 이산화탄소의 농도가 현재보다 높았던 시기에는 기온도 현재보다 높았다. 이러한 사실은

Are We Facing the Holocene or the Anthropocene?

Palaeoclimate research shows that Earth's climate has repeated its cycles of change many times. The secrets of this paleoclimate are largely preserved in myths. The west and south coasts of the Korean Peninsula were once land, but transformed into seas as water levels gradually rose. The myth of Mago Halmi reflects the memory of our ancestors who witnessed glaciers melting and the seas rising long ago.

Since the Industrial Revolution, greenhouse gases such as carbon dioxide, methane, and nitrous oxide, which mix well in the atmosphere, have steadily increased over the past century. This rise is unprecedented in at least the last 16,000 years. The observed atmospheric greenhouse gas concentrations



사하라사막에서 발견된 암모나이트 화석

지난 수백만 년 동안 기후 상태(예를 들면 신생대 제4기 플라이오세, 약 500만~300만 년 전)에 잘 적용된다. 그 이전에도 수십만 년 동안 온난 현상이 지속되었다. 이 두 시기 동안 온난화는 고위도 지역이 훨씬 더 심했다. 오늘날의 온난화가 전혀 이상한 현상이 아닌데, 문제는 산업혁명 이후의 온실가스 배출량 증가에 힘입은 인위적인 것이라는 데 심각성이 있다.

사하라사막도 한때는 동물이 뛰노는 사바나 초원이었다. 시베리아도 온난한 지역이었고 숲이 우거진 밀림 지역이었다. 오늘날 쏟아져 나오는 석탄이 그 증거물이다. 그 시베리아 땅에 다시금 무더위가 몰아닥치고 있는데, 이는 전례 없는 현상이다. 시베리아 사하공화국의 경우, 동토 위에 지은 아파트가 지반이 녹으면서 위험에 처해 있다.

지구 역사에서 간빙기는 빙하기(빙하가 넓게 확장된 시기)와 빙하기 사이에 걸쳐 있는 비교적 따뜻한 시기다. 간빙기에 빙하가 현재처럼 후퇴하여 고위도 지역으로 물러나 있고 평균 기온이 높은 상태가 지속되었다. 우리가 살고 있는 현재는 제4기 빙하기의 간빙기이며, '홀로세'라고 한다. 현재 세계 학계에서는 '홀로세가 끝나고 인류세로 접어들었느냐, 여전히 홀로세냐' 하는 논쟁이 활발하다. 더 이상 자연적인 홀로세가 아니라 산업혁명 이후의 비극적이고 가공할 인류세라는 주장이 강하게 나오고 있다.

from 10,000 years ago until the Industrial Revolution were very small compared to the increases seen after industrialization. Even these minor changes are caused by natural phenomena.

When atmospheric carbon dioxide concentrations were higher than today, global temperatures were also higher. This holds true for climate conditions over the past several million years (e.g., the Pliocene epoch, about five to three million years ago), and for warming that preceded it for hundreds of thousands of years. In both of these periods, warming was much more severe in high latitudes. While today's warming is not entirely unusual, the serious problem lies in its man-made origins, driven by increased greenhouse gas emissions since the Industrial Revolution.

The Sahara Desert was once a savannah where animals roamed freely. Siberia, too, was a temperate region covered with dense forests, as evidenced by the coals extracted today. Today, however, unprecedented heat is sweeping across Siberia once again. In the Sakha Republic, apartments built on permafrost are at risk as the ground thaws.

An interglacial epoch is a relatively warm period between ice ages (when glaciers expanded widely) and glacial periods. During such interglacials, glaciers retreated to higher latitudes, as they do today, and average temperatures remained elevated. We currently live in an interglacial of the Quaternary Ice Age, known as the Holocene. In the global academic world, there is ongoing debate over whether the Holocene ended and we have entered the Anthropocene, or whether we are still in the Holocene. Some argue strongly that it is no longer the natural Holocene, but rather a tragic and alarming Anthropocene after the Industrial Revolution.

증폭되는 온난화, 사라지는 빙하

지구촌 곳곳에서 산처럼 거대한 빙하가 떨어져나간다. 강렬하게 태양열을 반사하는 얼음이 소멸하고 그 대신에 검푸른 바다가 빛을 흡수하면서 온난화는 증폭된다. 1988년 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)가 공공으로 설립한 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)는 심각해지는 위기를 보고했다. 지난 100년 이상 지속된 화석연료 사용이 지구온난화를 유발했으며, 1850~1900년 대비 2011~2020년에 전 지구의 지표면 온도가 1.1℃ 상승했다고 지적했다. 이로 인해 자연과 사람에 대한 거대한 손실과 피해가 발생했다. 2030년까지의 국가결정기여(NDC)에 따르면 2030년대 상반기에 온도는 1.5℃ 상승한다. 21세기 말까지 온도 상승률을 2.0℃ 이하로 제어하기란 매우 어려울 것이다. 2℃가 상승하면 동식물은 제자리에서 생존이 불가능하여 이동해야 한다. 지구온난화가 확산될수록 세계의 모든 지역에서 복합적이고 동시발생적인 위험이 심각하게 나타날 것이다.

다양한 보고서들은 인간이 초래한 지구온난화를 제한하려면 이산화탄소 배출량이 넷제로(Net Zero)가 되어야 함이 급선무라고 지적한다. 앞으로 10년 동안 대응을 잘하여 신속하며 지속적으로 완화시켜 인간과 생태계에 예상되는 손실과 피해를 줄이고, 특히 대기질 개선 효과를 가져와야 할 것이다. 지구온난화를 지연시키지 못해 고배출 기반 시설이 고착되면 손실과 피해는 늘어날 것이다.

현실은 유엔의 보고서보다 더 막막하다. 실제로 2023년 6차 보고서의 내용보다 더 암담한 현실이 펼쳐지고 있다. 저배출 정책을 쓰더라도 2030년에는 북극 빙하가 상당수 소멸하고, 2050년대에는 북극 빙하가 없어질 수 있다는 결과가 나왔다. 즉각적이고 현실적이며 미래적인 대안이 나와야 한다. 인류에게 주어진 시간이 너무 짧다.

Intensified Warming, Vanishing Glaciers

Massive glaciers, as large as mountains, are breaking away across the globe. As the ice, which once intensely reflected sunlight, disappears and the deep blue ocean absorbs that heat instead, global warming accelerates. In 1988, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), a public institution jointly established by the World Meteorological Organization (WMO) and the United Nations Environment Programme (UNEP), reported a serious global crisis. It pointed out that over a century of fossil fuel use has driven global warming, with the global surface temperature rising by 1.1°C between 2011 and 2020 compared to the period from 1850 to 1900. This has resulted in huge losses and damages to both nature and humans. According to Nationally Determined Contributions (NDCs) for 2030, global temperatures are projected to rise by 1.5°C in the first half of the 2030s, and limiting the increase below 2.0°C by the end of the 21st century will be extremely difficult. A 2°C rise would make plants and animals impossible to survive in place, forcing them to migrate. As global warming intensifies, complex and simultaneous risks are likely to emerge across all regions of the world.

Various reports emphasize that achieving net zero carbon dioxide emissions is an urgent priority to limit human-induced global warming. Over the next decade, effective measures must be implemented to swiftly and sustainably mitigate emissions to reduce the anticipated losses and damages to humans and ecosystems, particularly improving air quality. If global warming is not curbed and high-emission infrastructure becomes entrenched, these losses and damages will inevitably increase.



녹고 있는 남극의 빙하



중앙아시아 유목민의 전통적인 주거

재앙인가, 선물인가

북극항로 개척이 뜻밖의 선물인 것처럼 얘기하기도 한다. 분명히 기후변화가 던져주는 선물이기는 하다. 동아시아 극동에서 북극해를 통과하여 유럽에 닿는다는 거리상의 이득을 단순 계산할 때 그렇다. 그러나 계산은 그렇게 간단하지 않다.

한반도에서는 오호츠크해와 베링해를 가로질러 북극해로 진입하는 노선만을 생각하나, 중국은 입장이 다르다. 시베리아를 거쳐서 강상 운하로 직접 최단거리 북극해에 진입하는 방식이 고려된다. 신설되는 북극항로로 한반도만 이득을 독점할 것이라는 생각은 과장된 계산법이다.

지구온난화의 희소식은 빙토 곳곳에서 들려온다. 시베리아 동토가 녹고 그야말로 '그린랜드'로 변화하면서 인구가 증가하고 농업이 시작되는 문명사적인 전환이 일어난다. 이런 땅에서 감자농사를 짓는 일이 보편적이 될 것이다.

자연환경에 기반한 전통 생계 방식을 유지해온 소수민족이 기후변화의 직격탄을 맞고 있다. 이누이트의 경우 바다얼음이 급속히 녹으면서 물개와 바다표범 사냥터가 사라지고 있어 식량 공급망에 심각한 위기를 겪는다. 그린란드는 기존의 삶을 송두리째 바꾸어야 하는 변화에 직면하고 있다.

기후변화는 북극권뿐 아니라 초원에서도 빚어진다. 중앙아시아 유목민의 사계절 목초지 이동 패턴이 무너지고 곳곳에서 가축이 가뭄이나 혹한으로 폐사하고 있다. 아프리카에서는 심각한 사막화와 장기 가뭄으로 식량과 물 부족 문제에 직면하고, 이에 따른 국제적 인종 분쟁과 강제 이주, 즉 환경재앙 디아스포라가 증폭된다. 기후변화는 단순히 환경 문제를 뛰어넘어 생존권, 문화, 인권 등을 종합적으로 위협한다.

The reality is even daunting than the UN report suggests. Conditions are unfolding more grimly than indicated in the 2023 Sixth Assessment Report. Even with low-emission policies, projections indicate that a significant portion of the Arctic ice will vanish by 2030, and may disappear altogether by the 2050s. An immediate, practical, and forward-looking solution must be developed. The time left to humanity is simply too short.

Disaster or Gift?

The development of the Arctic Route is sometimes described as an unexpected "gift." Indeed, it is a gift brought by climate change, at least when simply calculating the distance advantage of connecting the Far East of East Asia to Europe by passing through the Arctic Ocean. However, the calculation is far from simple.

While the Korean Peninsula envisions a route that crosses the Sea of Okhotsk and the Bering Sea to enter the Arctic Ocean, China takes a different approach. It considers a direct, shortest route to the Arctic via the Jiangxiang Canal through Siberia. The belief that the Korean Peninsula will exclusively benefit from the new Northern Sea Route is an overestimation.

Encouraging news about global warming is coming from permafrost regions across the world. As the Siberian permafrost thaws, literally transforming into a "green land," population growth and agriculture will bring about a civilizational shift. Potato farming will become commonplace on this land.



이누이트 사냥꾼의
초상화

기후변화가 가져올 여러 태풍

북극권에 영토를 가지고 있는 나라들이 있다. 북극이사회의 회원국이기도 한 캐나다, 덴마크(그린란드), 핀란드, 아이슬란드, 노르웨이, 러시아, 스웨덴, 미국 8개국이다. 이 국가들은 북극권의 환경보호와 지속 가능한 개발을 위해 협력하며, 북극의 영유권 주장 및 전략적 중요성을 논의하는 주요 주체다. 내용적으로는 북극권 헤게모니와 선취권을 주장하는 논리이기도 하다. 북극권의 권한을 지닌 이들도 북극권 온난화 제어를 위한 최선의 해답을 못 내놓고 있다.

지구온난화와 바닷길 신항로 개척 등으로 북극권의 국제지정학도 변화를 맞고 있다. 중국이 나서고 있으며 한국도 예외가 아니다. 기존 기득권 국가들과 새로이 진입하는 국가들 사이에 장벽도 존재한다.

Indigenous communities that have maintained traditional livelihoods based on the natural environment are being hit hardest by climate change. For the Inuit, the rapid melting of sea ice is destroying seal hunting grounds, putting their food supply chain into a severe crisis. Greenland now faces a transformation that could completely reshape its traditional way of life.

Climate change is affecting not only the Arctic but also the grasslands. The seasonal migration patterns of Central Asian nomads are collapsing, and livestock are dying in many places due to drought or extreme cold. In Africa, severe desertification and prolonged drought are driving food and water shortages, triggering international ethnic conflicts and forced migration, amplifying the diaspora of environmental disasters. Climate change goes beyond a mere environmental issue; it comprehensively threatens the right to survival, culture, and human rights alike.





Storms to Come with Climate Change

There are several countries that possess territory within the Arctic region. These eight countries are members of the Arctic Council: Canada, Denmark (Greenland), Finland, Iceland, Norway, Russia, Sweden, and the United States. These nations cooperate to protect the Arctic environment and promote sustainable development, and are key players in discussions over sovereignty claims and the strategic importance of the region. Their argument, in essence, is a claim to Arctic hegemony and preemptive rights. Yet even those with authority over the Arctic have failed to come up with the best solution to manage the region's warming.

Global warming and the opening of new sea routes are reshaping the international geopolitics of the Arctic. China is taking the lead, and Korea is no exception. However, barriers persist between established Arctic powers and the newly entering states.

Climate change is also driving shifts in Arctic fish species and demanding an inevitable restructuring of the fishing industry. A clear example can be found in Korea, where pollack fisheries along the East Sea coast have disappeared. The loss of

기후변화는 북극권의 어종 변화를 초래하며 필연적으로 수산업 구조의 변화를 요구한다. 손쉬운 예로 한국 동해에서 명태어장이 소멸했다. 전통적 먹을거리로 한국인의 밥상에 안착해온 명태의 소멸은 한국 어업 역사에서 커다란 의미를 차지한다. 제주도의 방어 떼가 이동하고 동해안의 오징어가 서해안으로 이동하는 등 어업권은 심하게 변화하고 있다. 남쪽에서 올라온 참치가 한반도 바다 곳곳에서 어획되어 국제 참치어업 쿼터의 재조정이 요구되고 있다.

기후변화는 거대한 산호초의 소멸도 불러오고 있다. 산호초도 뜨거워진 바다에서 견디기 어려워지고 있다. 오스트레일리아 북동부에 위치한 세계 최대의 산호초 지대 그레이트배리어리프(Great Barrier Reef) 또는 대보초는 대규모 백화현상을 겪고 있다. 수온이 상승하면서 산호가 작은 광합성 조류를 배출하게 되는데, 이 과정에서 하얗게 변하게 된다. 조류를 배출한 산호는 수온이 내려가지 않으면 몇 주 후에 죽게 된다. 지난 20년 동안 산호초의 91%가 백화되고 있으며 지난해에만 전체 산호초의 22%가 백화되었다고 그린피스는 주장한다. 한반도 해역 곳곳에서도 백화현상이 지속되고 있다.

해수면 상승이 가져올 인류의 생존권 위협은 투발루 같은 산호섬에서만 문제가 되는 것이 아니다. 한반도 서남해안 저습지에 건설된 바다도시, 가령 목포나 마산 같은 도시는 벌써 주기적 물난리를 겪고 있다. 매립되어 건설된 낮은 지표면은 백중사리 등에 취약하다. 장기적으로 바다도시의 이동과 소멸이라는 문명사적 전환이 예상된다. 문명사적으로 볼 때 현재 건설된 많은 간척지와 댐은 수몰될 운명이 분명하다. 해안도시의 상당수는 고지대로 옮겨가야 한다. 식물의 천이가 이루어졌듯이 도시의 천이가 다가올 것이다.

pollack, a traditional staple on Korean tables, marks a significant chapter in the nation's fishing history. Fishing rights are undergoing dramatic changes, with schools of yellowtail migrating from Jeju Island and squid from the East Sea moving to the West Sea. Tuna from the south are caught across the Korean waters, prompting calls for a readjustment of international tuna fishing quotas.

Climate change is driving the destruction of vast coral reefs. Coral reefs are struggling to survive in increasingly warmer oceans. The Great Barrier Reef, the world's largest coral reef system located in northeastern Australia, is experiencing severe bleaching. Rising water temperatures cause corals to expel the tiny photosynthetic algae that live within their tissues, turning them white. If the temperature does not drop, corals that have expelled their algae will die within a few weeks. Greenpeace reports that 91% of the reef has experienced bleaching over the past 20 years, with 22% of the entire reef bleached in just the past year alone. Similar bleaching is also occurring in waters around the Korean Peninsula.

The threat to human survival from rising sea levels is not confined to coral islands like Tuvalu. Cities built on the lowlands of Korea's southwestern coast, such as Mokpo and Masan, are already experiencing recurring floods. These low-lying reclaimed lands are vulnerable to events like high tides during Baekjung. In the long term, a civilizational shift is anticipated, with the relocation and disappearance of coastal cities. From a historical perspective, many of the reclaimed



해수면 상승으로 위협받고 있는 투발루섬

기후변화가 가져올 변화는 단기적 영향만이 아닌 중장기적으로 다가올 새로운 재앙까지 예상해야 한다. 기후변화는 생각 이상으로 요동치고 있으며, 우리 눈에 보이지 않는 바다 속에서는 이상 징후가 빈번하게 나타나고 있다. 인류가 쌓아온 산업기술 문명의 후과로 자연의 역습이 시작된 것이다. 특히 그 역습의 가장 심각하고도 치명적인 징후가 바다에서 벌어지고 있음은 널리 알려졌다. 그래서 기후변화 대응에서 바다가 중요하다.

한국에서는 여전히 기후변화 대처가 기존의 기상 대책 수준으로 움직이고 있다. 지구에서 펼쳐지는 수많은 기후변화의 징후 가운데 큰 것은 대부분 바다에서 시작된다. 지구 자체가 수구라는 조건에서 필연적이기도 하다. 한국도 산업 재앙을 일으키는 책임 국가로서 제 역할을 해야 한다.

이제 홀로세의 해양문명만을 생각하는 단기 지속적 사고에서 벗어나 인류세의 해양문명까지 예견하는 사고로 전환해야 한다. 그 사고 전환의 핵심에 바다가 놓여 있음은 두말할 나위도 없다.

lands and dams currently in operation are destined to be submerged. A significant number of coastal cities will have to move to higher ground. Just as plant succession has occurred, urban succession is imminent.

The changes brought about by climate change require anticipation not only of short-term impacts but also of new disasters that will emerge in the mid- to long-term. Climate change is fluctuating more violently than expected, and abnormal phenomena are occurring more frequently in the ocean, beyond human sight. Nature has begun to strike back as a consequence of the industrial and technological civilization humanity has cultivated. The most severe and deadly signs of this backlash are unfolding in the seas. This is why the ocean is crucial in responding to climate change.

In Korea, responses to climate change remain largely at the level of conventional weather countermeasures. Among the many signs of climate change occurring across the globe, most of the significant ones originate in the oceans. This is inevitable given that the Earth is fundamentally a water planet. Korea, as a nation accountable for industrially driven disasters, must also fulfill its responsibility.

We must now move beyond the short-term, sustainable mindset focused solely on the maritime civilization of the Holocene, toward thinking that anticipates the maritime civilization of the Anthropocene. Needless to say, the ocean lies at the core of this shift in thinking.



message

기후변화에 직면한 인류에게 보내는 경고

지구온난화의 시대는 끝났다. 이제, 지구가 끓어오르는 시대가 왔다

The era of global warming is over. Now. the era of the Earth boiling over has arrived

"기후변화는 지금 여기에 있으며,
가장 가난한 이들이 그 대가를 치르고 있다.
2015년 유엔 총회 연설

우리가 사는 세상은 붕괴하고 있으며,
임계점에 가까워지고 있다. (…) 이것은
전 세계적 사회문제이고 인간 생명의
존엄성과 밀접하게 관련된 문제다."
2023년 바티칸

프란치스코 교황(Pope Francis)
제266대 가톨릭 교황

"지금 우리는 자연이 숱한 세월에 걸쳐
빚어낸 석탄, 가스, 석유를 단번에 실컷
소비하고 있어요. 이것이 지구온난화의
원인이지요. (…) 책임을 지는 삶은 소박한
삶, 자족하는 삶입니다. 자연을 거스르지
않고, 자연과 협동하고 자연과 함께 일하고
살아가야 하는 법을 익혀야만 해요."
《단 하나뿐인 우리의 집》, 산현재

텐진 갸초 달라이 라마(Tenzin Gyatso Dalai Lama)
티베트 불교 최고지도자

"당신들은 자녀를
가장 사랑한다고 말하지만,
기후 변화에 적극적으로
대처하지 않는 모습으로
자녀들의 미래를
훔치고 있다."
2018년 제24차 COP29

그레타 툰베리(Greta Thunberg)
환경운동가

"우리는 여섯 번째 대멸종의
한가운데에 있다. 자연을
복원하고 기존 숲을 보호하기
위해 할 수 있는 일이 많으면
많을수록 좋다."
2024년 BBC 라디오 4 〈인사이드 사이언스〉와 한 인터뷰

제인 구달(Jane Goodall)
동물행동학자, 환경운동가

"인류에게 주어진 건 길어봤자 5년,
짧으면 3년이다.
싸우거나 논쟁할 시간도,
절망할 여유도 없다."
2023년 《뉴요커》 인터뷰

앨 고어(Al Gore)
미국 제45대 부통령, 환경운동가

“기후위기 대응은
단순한 의무가 아닌
엄청난 기회다.”

2024년 COP29

키어 스타머(Sir Keir Starmer)
영국 총리

“기후변화는 우리 인류의
운명을 결정짓는 쟁점이다.
그것은 우리 모두의 행복을
결정할 것이다.”

2018년 《가디언》

앙겔라 메르켈(Angela Merkel)
전 독일 총리

“기후변화의 파국적인 피해는
우리에게 있다. 최전선이
황폐해지면 군대 전체가
전멸된다. (…) 우리는 지속
불가능한 미래에 돈을 그만
걸어야 한다.”

2018년 《가디언》

안토니우 구테흐스(António Guterres)
유엔 사무총장

“3년 이상 북극이 극심한 온난화를 겪으면 늦여름에 얼음
없는 날이 발생할 수 있으며, 일련의 기상이변이 있을 경우
200만 제곱킬로미터 이상의 해빙이 단기간에 녹을 수 있다.
그러나 온실가스 배출량을 대폭 줄이면 얼음 없는 북극이
오는 시기를 늦추고, 얼음 없는 북극해가 유지되는 기간도
줄일 수 있을 것이다.”

2024년 《네이처 커뮤니케이션스》

알렉산드라 얀 & 셀린 호이제(Alexandra Jahn and Céline Heuzé)
미국 볼더 콜로라도대학, 스웨덴 예테보리대학 기후·해양학자

“이 문제에 대해서는
전 세계적 의식이 가장 중요하다.
문제를 해결하기 위한 해법은
이 행성과 미래를 포용하는
시각이 필요하다.
왜냐하면 우리는
이 온실 안에 살고 있기
때문이다.”

1985년 미국 의회

칼 세이건(Carl Sagan)
천문학자, 과학저술가

세상의 끝에서 듣는 지구의 건강 이상 신호와 지구 사용법 설명서

Reading Earth's Distress Signals from the Edge of the World and Writing a proper "user's manual" for living on Earth

이제 남북극발 기후위기 소식은 너무 흔하다. 다 지구가 급격하게 더워져서 생기는 일이다. 평균보다 두세 배 심지어 다섯 배까지 빠른 속도로 북극과 남극의 온도가 올라가고 있다. 대륙 위에 얹혀 있는 거대한 얼음덩어리가 녹아서 주저앉고 바다로 미끄러져 들어간다. 떨어져 나온 빙산이 바다를 떠다니다 펭귄이 둥지를 틀고 새끼를 기르는 번식처 앞에 걸려 얹히기라도 하면 어미들이 새끼를 위해 먹이를 물고 오는 길을 막아 그해 펭귄의 자식 농사를 망가뜨린다. 얼어붙은 북극 바다가 빠른 속도로 녹으면서 얼음판이 차지하고 있던 자리는 화물선이 다니고 어선이 조업할 공간이 된다.

News of climate crises from the Arctic and Antarctic has become all too common. These are all driven by the Earth's rapid warming. Temperatures in the polar regions are rising at rates two, three, or even up to five times faster than the global average. Massive ice sheets on continents are melting, collapsing, and sliding into the ocean. When a broken-off iceberg drifts and lands in front of a penguin nesting colony, it can block the parents' path to bring food for their chicks, devastating that year's entire breeding season. As the Arctic sea ice rapidly retreats, the spaces once occupied by ice are opening up as new routes for cargo ships and fishing vessels.

신형철 극지연구소 소장
Hyoung Chul Shin President of the Korea Polar Research Institute (KOPRI)



남극 빙상과 해안선이 맞닿아 있는 경계면. 빙하가 떨어져 바다로 녹아들고 있다.

기후변화의 시발점이자 종착역, 극지

눈과 얼음의 세상인 극지가 기후변화에 민감하게 반응하는 것은 생각해보면 너무 당연하다. 극지를 지구 환경 변화의 바로미터, 기후위기의 카나리아로 비유하기도 하지만, 그저 감응기에 지나는 정도가 아니다. 극지는 사실 기후변화의 시발점이고 종착역이다. 한번 시작된 온난화의 추세를 잠재우거나 되돌리기는 어렵다. 바다를 덮고 있던 흰 얼음 반사판이 사라지고 난 뒤 남은 검푸른 바다 속으로 햇빛에너지가 더 무섭게 지구의 속을 파고 들어오면 해빙은 더 녹을 것이고 결국 온난화는 가속 페달을 밟는다.

지금 북극과 남극 모두 증폭된 온난화를 겪고 있다. 대기뿐 아니라 해양의 온도도 상승하고 있다. 단단한 빙벽이 더 이상 미끄러져 내려오려는 빙상을 막아주는 버팀목이 되지 못하고 속절없이 빙하는 바다 속으로 녹아 들어간다. 빙상 위에 내려 쌓이는 눈의 양보다 더 많이 바다로 들어간다면, 그래서 해수면을 높인다면 세계 곳곳의 대도시가 저지대 순으로 물에 잠길 위험에 노출된다. 남극에서도 서쪽 절반은 온난화가 유난히 빠르게 진행되고 있는데, 남극 서쪽의 스웨이츠 빙하는 '세계가 끝나는 날' 빙하로 불리고 있다. 마치 코르크 마개가 열려 병 안에 담긴 물이 쏟아져 나오듯 남극의 빙상 안에 담긴 거대한 담수의 저장고를 열고 닫는 밸브가 터진 셈이다.

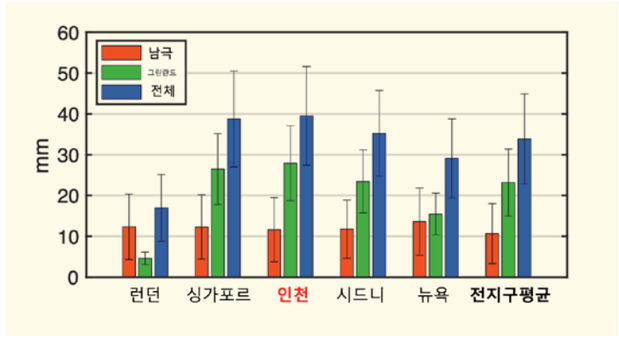
지금 북극 해빙은 위성 관측이 시작된 1979년 이래 절반 조금 넘게 남아 있는 정도다. 북극 바다를 가리는 얼음판의 면적만 좁아지고 쪼그라드는 것이 아니라 해빙의 두께도 더불어 얇아지고 있다. 여러 해 동안 녹고 얼기를 반복해서 만들어진 다년빙이 없어진다는 얘기는 날씨가 추워져도 예전처럼 북극 바다를 다시 단단히 얼리기가 점점 어려워진다는

The Polar Regions: Origin and Terminus of Climate Change

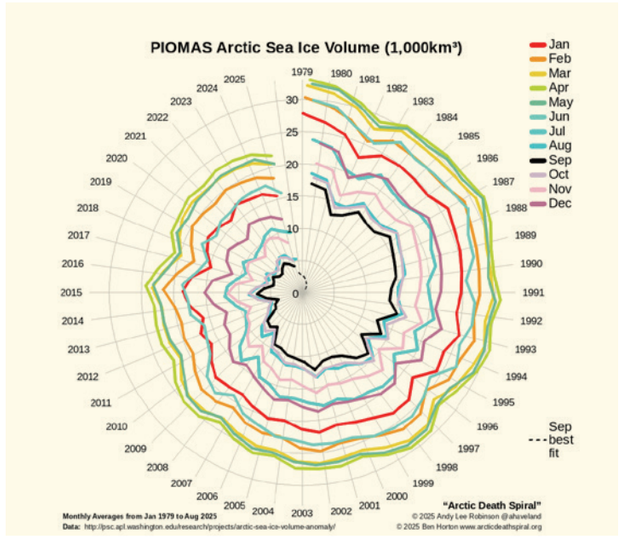
It is only natural that the polar regions, worlds of snow and ice, are so sensitive to climate change. While the polar regions are often likened to barometers of global environmental change or the canary in the coal mine, they are far more than mere sensors. In fact, the polar regions are both the starting and ending points of climate change. Once the warming trend begins, it is difficult to halt or reverse. As the white ice reflectors that once covered the oceans disappear, more sunlight will penetrate the Earth through the dark blue ocean left behind, melting the sea ice further and ultimately accelerating global warming.

Both the Arctic and Antarctic are currently experiencing accelerated warming. Temperatures are rising not only in the atmosphere but also in the oceans. Solid ice cliffs can no longer act as buttresses to hold back the sliding ice sheets, and the glaciers are inevitably melting into the sea. If more snow-turned glacier flows into the ocean than snow accumulates on the ice sheets, raising sea levels, major cities around the world, starting with low-lying areas, face the risk of inundation. The western half of Antarctica is also warming at particular speed, and the Thwaites Glacier in West Antarctica now being dubbed the "Doomsday Glacier." Like a cork being removed from a bottle, a valve controlling the vast reservoir of freshwater within the Antarctic ice sheet has burst.

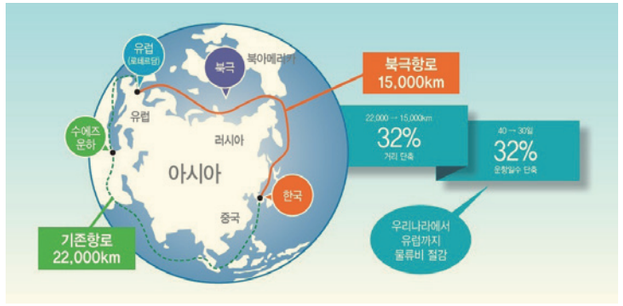
Arctic sea ice currently remains at just a little over half its extent in 1979 when the satellite observations began. Not only is the ice sheet covering the Arctic Ocean shrinking, but its thickness is also thinning. The loss of multi-year ice, formed through repeated melting and freezing over many years, means that it will become increasingly difficult for the Arctic Ocean to refreeze as solidly as it once did, even when the temperatures drop. The melting of the frozen Arctic Ocean is an undeniable reality. Although scientists use the best available models to predict sea ice, actual observations show greater melting than predicted. Some reports point out a slowdown in the decline



세계 5개 해안도시별 2050년 해수면 상승 예측값과 남극과 그린란드 빙하 유실에 따른 해수면 기여도



PIOMAS(범북극빙해 모델링 및 동화시스템)가 측정한 북극해 해빙량



북극항로, 해양수산부

뜻이기도 하다. 얼어붙은 북극 바다가 녹기 시작한 것은 부인할 수 없는 현실이다. 과학자들이 당대 최선의 노력으로 모델링을 통해 해빙을 예측하지만 정작 그때 가면 현실 관측값은 모델이 예측한 것보다 더 녹아 있었다. '북극 해빙의 하락세가 주춤하다'는 보고가 있지만, 그런 연구를 포함해서 아무도 이 추세의 역전을 얘기하는 경우는 없다. 정부 간 기후변화 패널 IPCC 보고서는 얼음으로 덮이지 않은 여름의 북극 바다를 2050년까지 한 번은 보게 될 것이라고 했지만, 보고서가 발간된 이후의 다른 후속 연구는 그 시점이 점점 당겨지는 방향으로 예측하고 있다. 화물 수요를 비롯한 경제적 요인과 아직 풀릴 기미가 보이지 않는 지정학적 긴장 때문에 현실 세계는 한결 복잡해지겠지만 북극항로가 현실이 될 수 있는 물리적 요인은 훨씬 갖춰졌다.

of Arctic sea ice, but none, including those studies, suggest a reversal of the trend. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) report predicted that we will witness an ice-free Arctic Ocean in summer at least once by 2050, but subsequent studies have increasingly moved that timeline is brought forward. While the real world will become more complicated by economic factors, including cargo demand, and geopolitical tensions that show no signs of recovery, the physical conditions that could make the Arctic Route a reality are largely in place.



장보고 기지 인근 황제펭귄 집단서식지. 펭귄이 남긴 분변과 흔적이 보인다. ©신형철





금세기 말 황제펭귄이 멸종할 수 있다

남북극의 찬 바다를 덮고 있던 해빙이 사라진다는 것은 열에너지가 오고가는 바다와 대기 사이 경계면의 차단막이 없어진다는 의미지만 생물에게는 겨울을 넘기는 중요한 서식처가 혹은 그들의 일생에서 다음 단계를 준비하며 기다리는 은신처가 사라진다는 뜻이기도 하다. 그 결과는 이미 나타나고 있다.

올해 6월 발표된 연구 결과에 따르면 펭귄 가운데 몸집이 가장 큰 황제펭귄의 개체수가 남극 대륙의 주요 집단 서식지에서 2009년부터 2024년까지 거의 4분의 1가량 감소했다. 인공위성으로 촬영한 고해상도 이미지를 사용하여 남극반도, 웨델해, 벨링스하우젠해에 있는 16개 집단 서식지를 평가한 결과다. 위성으로 관찰한 펭귄의 수는 컴퓨터 모델링을 사용하여 현재 개체 수를 가장 비관적으로 추정해본 것보다 약 50% 이상 적다. 펭귄이 딛고 있는 얼음 바닥이 살얼음판이 되고 불안정해지며 새끼가 모두 죽거나 혹 얼어붙은 바다에 적응할 만큼 자라기 전에 바다에 빠져 익사했다. 펭귄을 사냥한 것도 아니고 직접적인 서식지 파괴나 오염 없이도 그저 날씨가 따뜻해지고 얼음이 녹는 것만으로 이런 일이 빚어질 수 있다. 위성 이미지에 의존하긴 했지만 실제로 펭귄 수를 세어보니 모델 예측값보다 더 적었다면 금세기 말이면 황제펭귄이 멸종할 수 있다는 것이 이전의 예측이다. 이것이 현실이 되면 어쩌지 하겠지만, 이는 기우가 아니다.

기후변화의 영향을 받는 것으로 치면 남극해 생태계의 중추를 이루고, 크릴새우라고도 하는 크릴 역시 예외가 아니다. '고래 싸움에 새우 등 터진다' 할 때 그 새우다. 크릴의 주어장이기도 한 남서대서양에 면한 남극 바다에서 1970년대 이후 크릴의 수만 줄었고 또 고밀도 어군도 줄어드는 현상이 현저해졌다. 이러한 감소는 크릴 조업이 미치는 영향을 강화시켜 감소하는 펭귄과 천천히 회복 중인 고래 개체군에 대한 위험을 더욱 악화시킬 수 있다.

그렇다면 바다 위 얼음 조각에 힘겹게 매달려 있거나 털이 빠져 말라비틀어진 모습으로 기후변화의 충격적 상징으로 등장하는 북극곰은 어떨까. 인용하는 자료에 따라 멸종 위기를 경고하는 메시지와 세 배 가까이 증가했다는 보고서가 엇갈리지만 해빙 위에서 물개 같은 먹잇감이 숨을 쉬기 위해 떠오르는 순간을 노려 사냥하는 방식으로 살아가는 북극곰에게 사라지는 해빙은 냉혹한 현실이다. 누구는 곰들이 육지에서 새를 잡아먹고 심지어 식물을 먹고 살 길을 찾을 것이라고 주장하기도 하지만, 고지방 바다 식단에 적응한 북극곰은 해빙이 줄어들면 어쩔 수 없이 육지에 머무는 시간이 길어지고 먹이 사냥 효율은 낮아지게 되어 있다.

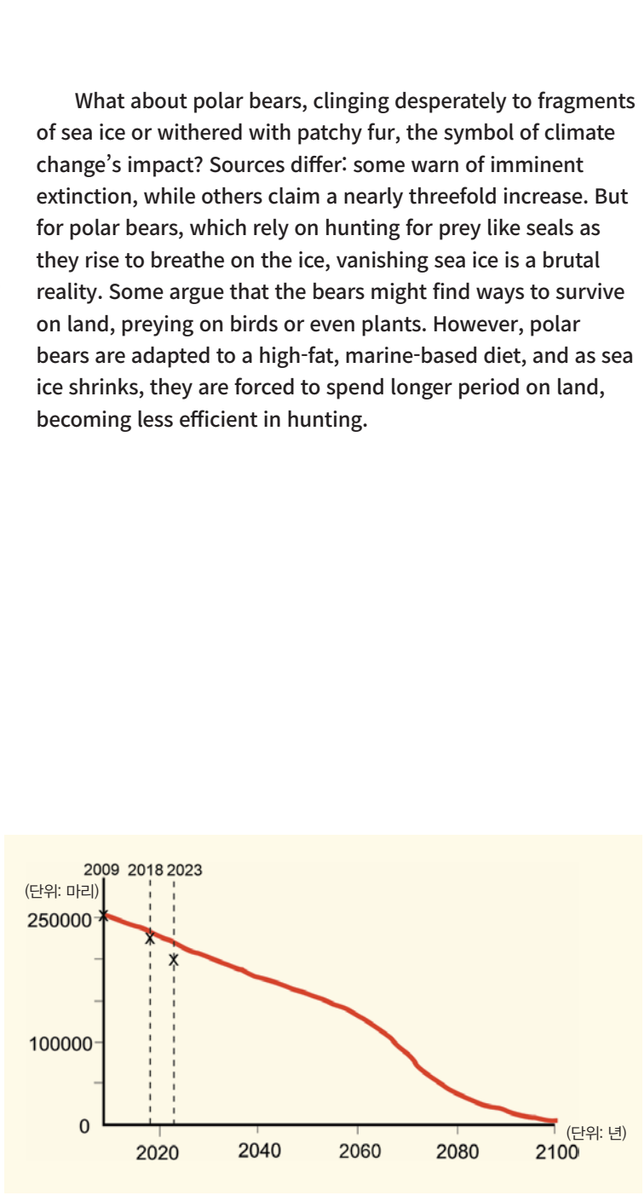
Emperor Penguins Could Become Extinct by the End of This Century

The disappearance of the sea ice that once covered the cold polar oceans removes the barrier between the ocean and the atmosphere where heat energy is exchanged. For living organisms, it also means the loss of critical winter habitats, or refuges where they wait and prepare for the next stage of their life cycle. The consequences are already visible.

A study published in June of this year found that the population of emperor penguins, the largest of all penguin species, has declined by nearly a quarter in major colonies across Antarctica between 2009 and 2024. Using high-resolution satellite imagery, the research analyzed 16 colonies in the Antarctic Peninsula, the Weddell Sea, and the Bellingshausen Sea. Satellite-based observations of penguins was more than 50% lower than even the most pessimistic computer modeling estimates of their current population. As the ice beneath the penguins' feet becomes thin and unstable, chicks die or drown before they are mature enough to adapt to the frozen sea. This decline is occurring not because of hunting, direct habitat destruction, or pollution, but simply due to warmer temperatures and melting ice. Although the study is based on satellite imagery, the fact that actual counts were lower than model estimates reinforces earlier predictions warning that emperor penguins could become extinct by the end of this century. It may sound alarming, but it is not groundless.

Krill, a shrimp like animal species, form the backbone of the Antarctic marine ecosystem and are no exception to the effects of climate change. They are literally the "shrimp" in the saying, "A fight between whales breaks the shrimp's back." In the Antarctic Ocean bordering the Southwest Atlantic, where krill are most abundant, their overall numbers and the density of large swarms have declined significantly since the 1970s. This decline may add to the impact of krill fisheries, further exacerbating the risks faced by shrinking penguin populations and slowly recovering whale species.

What about polar bears, clinging desperately to fragments of sea ice or withered with patchy fur, the symbol of climate change's impact? Sources differ: some warn of imminent extinction, while others claim a nearly threefold increase. But for polar bears, which rely on hunting for prey like seals as they rise to breathe on the ice, vanishing sea ice is a brutal reality. Some argue that the bears might find ways to survive on land, preying on birds or even plants. However, polar bears are adapted to a high-fat, marine-based diet, and as sea ice shrinks, they are forced to spend longer period on land, becoming less efficient in hunting.



황제펭귄의 개체수 변화
개체수 변화를 2100년까지 예측하고 멸종의 가능성까지 언급한 선행연구와 2023년 관측값을 비교했을 때 예측값보다 뚜렷하게 낮은 것을 볼 수 있다



남극 크릴새우

더 늦기 전에 지구 환경을 개조한다고?

기후대응이 계속 늦어지면서 더 늦기 전에 지구 환경을 바꾸는 극단적 조치로 문제를 해결해야 한다는 주장도 나온다. 지구 생태계와 환경을 인위적으로 바꿔 원하는 결과를 얻어내는 지구공학이 그것이다. 대표적으로 지구 대기로 들어오는 태양에너지를 크게 감소시켜 기온을 낮추는 태양지구공학이나 인위적으로 바다의 이산화탄소 흡수율을 높이는 해양공학 등이 있다. 극지역이 지구온난화에 가장 민감하게 반응하다 보니 인위적인 기술로 기후변화를 늦추려는 착안들도 극지역 적용을 염두에 두고 제안되는 경우가 많다. 성층권에 햇빛을 반사하는 입자를 뿌리는 '성층권 에어로졸 주입', 수온이 높은 해수가 상승해서 빙하를 밑바닥부터 녹이지 못하도록 인공적으로 가로막는 장벽을 세우는 '해양 커튼', 철분과 같은 비료를 뿌려 광합성을 대폭 촉진하고 다시 심해로 탄소를 가라앉히는 '해양 비옥화', 지구공학 기술의 목록도 제법 길다. 비용도 어마어마하게 들겠지만 예상하지 못한 이변으로 새로운 환경문제를 불러오지 않을지 아무도 정확히 내다볼 수 없다.

심각한 기후위기의 와중에 인류가 할 수 있는 것은 뭐라도 해봐야 하는 지금, 이론적인 모의시험이나 완벽하게 제어되는 조건에서 국지적인 실험까지 완전히 문을 닫을 필요는 없겠지만 이러한 착안들 때문에 '탄소 배출 감축'이라는 근본적 해결책으로부터 눈을 돌리거나 회피할 수는 없다. 불확실한 기술에 기대를 거느니 탄소 감축에 모든 자원과 노력을 집중해 제로 탄소 배출을 실현하면 '약 20년 내 지구 온도 상승세를 꺾을 수 있고, 극지도 회복될 수 있다'는 과학자들의 말을 허투루 들을 수 없다.

Altering the Earth before it is too late?

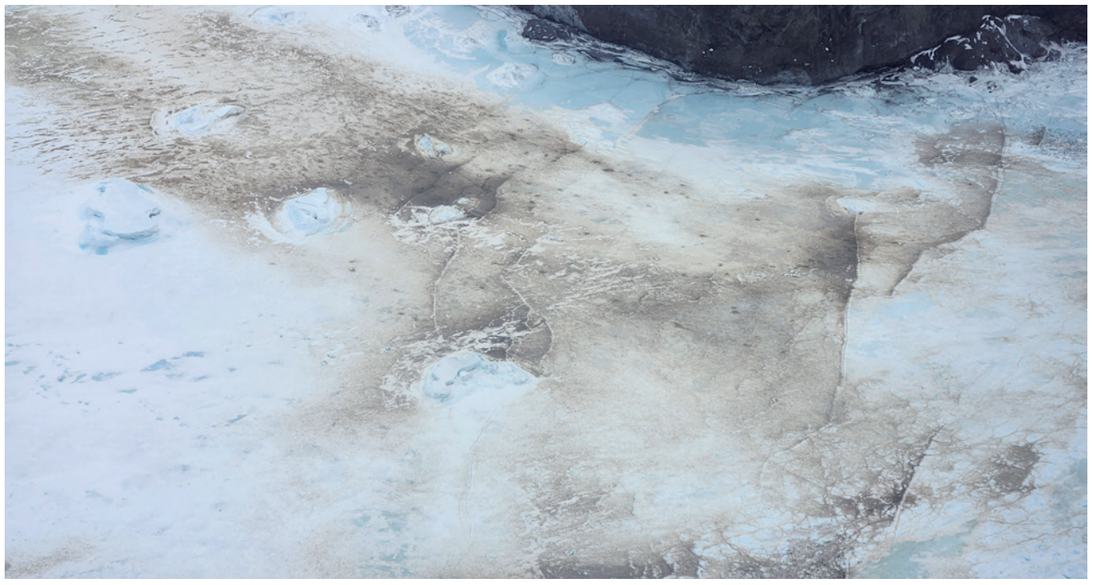
As climate response continues to lag, some argue that we must take drastic measures to alter the global environment before it's too late. This is the idea behind geoengineering: artificially manipulating the Earth's ecosystem and environment to achieve desired outcomes. Representative examples include solar geoengineering, which significantly reduces the amount of solar energy entering the Earth's atmosphere to lower global temperatures, and ocean engineering, which artificially increases the ocean's capacity to absorb carbon dioxide. Because the polar regions are most sensitive to global warming, many proposals for mitigating climate change using artificial technologies are designed with potential applications in these areas. Such technologies include stratospheric aerosol injection, which sprays sunlight-reflecting particles into the stratosphere; ocean curtains, artificial barriers that block warm sea water from melting glaciers from below; and ocean fertilization, which applies natural fertilziers like iron to significantly stimulate photosynthesis and sink carbon back into the deep ocean. The list of geoengineering technologies is quite extensive. Not only will the costs be enormous, but no one can predict with confidence whether unexpected events will create new environmental problems.

Amid the severe climate crisis, humanity must take every possible actions. While it may not be necessary to completely abandon theoretical simulations or even localized experiments under perfectly controlled conditions, such considerations must not distract us from the fundamental solution of "reducing carbon emissions." Instead of relying on uncertain technologies, we should not take lightly scientists' warning that if we focus all resources and efforts on carbon reduction and achieving net-zero emissions, "global temperature rise could be curbed within about 20 years, and even the polar regions might recover."

Polar climate change will create new transport routes, affect global supply chains, offer potential for resource

극지역 기후변화가 가져올 새로운 운송로의 등장과 세계 공급망에 가져올 효과, 자원의 채굴과 활용 잠재력, 인간 활동 증가로 인한 여파와 지역사회에 미치는 영향, 이로 인한 지정학적 환경의 변화는 예상할 수 있는 일이고 기회지만 동시에 위협이다. 특히 북극의 경우 긴 세월 질기게 삶과 문화를 이어온 400만 북극 원주민이 있고 이들을 못 본 척한 채 지속 가능한 북극 개발을 이어갈 수 없음도 자명하다. 얼음으로 덮이지 않은 북극 바다는 인류가 처음 목도하는 풍경이다. 배와 사람이 새 세상을 찾아 드나드는 것도 좋지만 노출의 역사가 짧은 북극은 외부에서 들어온 오염 물질을 소화할 수도 없고 그 충격을 그대로 떠안을 것이다. 만에 하나 환경 재앙과 그 치명적 영향이 걷잡을 수 없이 퍼지는 것을 제어할 준비를 하고 북극 활동을 시작해야 하는 것은 절대적 의무다.

extraction and utilization, and increase human activity with corresponding impacts on local communities, all of which will drive shifts in the geopolitical landscape. These changes are predictable and present opportunities, but they also pose significant threats. In the Arctic in particular, it is clear that sustainable development cannot proceed without recognizing the presence of some four million indigenous people who have sustained their lives and cultures for centuries. An ice-free Arctic Ocean is a landscape unseen by humanity. While it is beneficial for ships and people to explore new worlds, the Arctic's relatively brief history of exposure means it cannot handle incoming pollutants and will bear the full brunt of their impact. It is an absolute obligation to prepare for controlling the potential environmental disasters and their devastating consequences before initiating any Arctic activities.



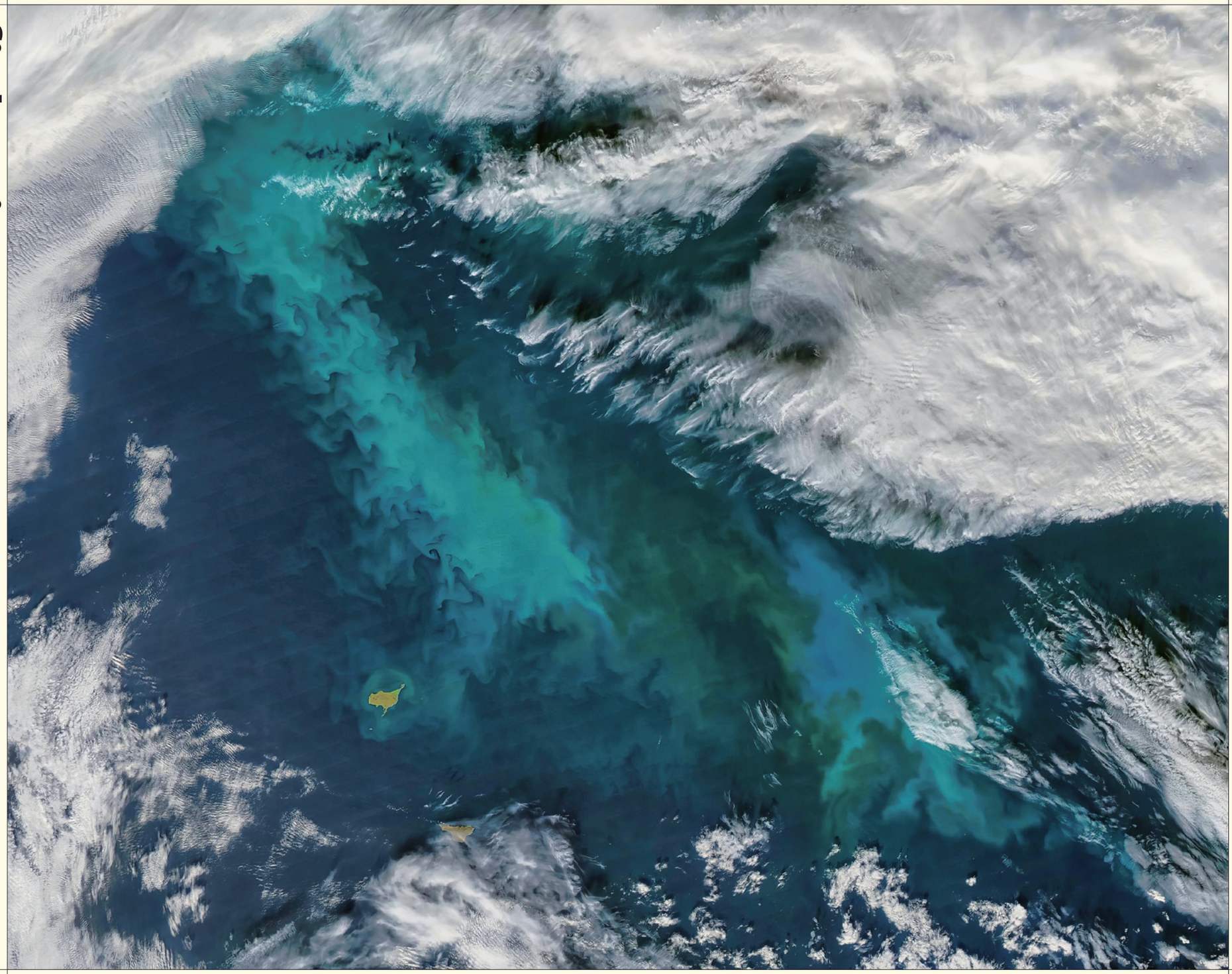
하늘에서 내려다본 펭귄 집단서식지. 고해상도 위성 이미지를 활용하면
펭귄 집단서식지의 위치와 크기, 펭귄들의 개체수까지 셀 수 있다.©신형철

극지의 환경변화 감시는 지구의 정기 건강검진

기후위기의 현실은 외면할 수 없는 단계에 이미 와 있다. 지금 지구 환경변화는 주기적이고 순환적인 자연현상으로 믿어보려 하기에는 그 속도가 너무 가파르다. 녹아내리는 남북극이 지구가 오랜 세월 유지해온 균형을 격하게 흔드는, 특히 인류가 경험해본 시간 안에서 접해본 적 없는 변화를 가져오지만 동시에 묻혀 있던 여러 가지 잠재력과 위험 요인이 한꺼번에 쏟아져 나오고 있다. 역설적으로 방지와 저감만을 고집할 수 없고 적응도 챙기지 않을 수 없고 그 적응에는 기후위기에서 파생되는 기회의 활용 또한 포함시키지 않을 수 없다. 완화와 저감 비용이 피해 비용보다 낮을 것을 알면서 적응에도 이제 투자하지 않을 수 없는 아이러니가 혼란스럽다. 연구선과 과학 거점을 기반으로 수행되는 극지의 환경변화 감시는 지구의 정기 건강검진이다. 하지만 세상의 끝이 보내는 위험 신호를 포착하는 것에 그치지 않고 지구 사용법 설명서를 잘 쓸 일이다. 남북극을 잘 이해하는 것 그리고 인간 활동을 지혜롭게 펼치는 것은 우리가 자연과 어떻게 건강하고 행복하게 공존할지 보여주는 시금석이 될 것이다.

Monitoring Environmental Changes in the Polar Regions: The Earth's Regular Health Checkup

The reality of the climate crisis has reached a point where it can no longer be ignored. The pace of global environmental change is far too steep to be dismissed as a cyclical or natural process. The melting of the Arctic and Antarctic is violently shaking the Earth's long-held balance, bringing about changes unprecedented in human history. Simultaneously, they are unleashing a multitude of previously hidden potentials and risks. Paradoxically, we cannot focus solely on prevention and mitigation; we must also consider adaptation, and that adaptation must include leveraging the opportunities arising from the climate crisis. It is a confusing irony that, even knowing the costs of mitigation and reduction are lower than the cost of damage, we are compelled to invest in adaptation. Monitoring environmental change in the polar regions, conducted from research vessels and scientific stations, is a regular health checkup for the planet. However, we must go beyond detecting warning signals from the end of the world and write a proper "user's manual" for living on Earth. A thorough understanding of the polar regions and the wise implementation of human activities will become the true touchstone for how humanity can coexist healthily and happily with nature.



식물성 플랑크톤, 베링해

우리 바다에서 잡은 싱싱한 생선을 계속 먹으려면

지금 세계 기후변화 평가는 유럽환경계획(United Nations Environment Programme, UNEP)과 세계기상기구((World Meteorological Organization, WMO)가 공동 설립한 기후변화에 관한 정부간협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)를 중심으로 이루어지고 있다. 유엔 산하 IPCC는 1990년부터 약 5년 주기로 기후변화 평가 보고서를 펴내고 있다.

Enjoying Fresh Fish from Our Oceans

Today, global climate change assessments are mainly coordinated by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), jointly established by the United Nations Environment Programme (UNEP) and the World Meteorological Organization (WMO). This UN-affiliated panel has been issuing climate change assessment reports roughly every five years since 1990.

정석근 국립제주대학교 해양생명과학과 교수
Sukgeun Jung Professor of Fisheries Science, Jeju National University

쓰시마 난류 해역을 덮친 생태계 체제변이

지금까지 IPCC의 평가 보고서는 지구 온도 상승으로 많은 생물종이 멸종해 생물종 다양성이 변하고, 바다 수온 상승과 해양 산성화에 따른 해양생태계 변화와 어류 서식지 이동으로 바다 어업뿐만 아니라, 내수면 어업도 큰 영향을 받을 것으로 내다보고 있다. 최근 평가보고서에 따르면, 기후변화로 바다의 해양생물 서식지가 이동하고 계절적 활동, 회유 유형, 개체수가 변하면서 생물종 사이의 상호작용도 바뀌고 있다. 또 기후변화에 대한 취약성과 민감도는 사회 경제와 같은 기후변화 외 요인들 때문에 지역적으로, 또 나라마다 달라지며, 따라서 그 위험도도 달라질 것이다.

우리나라의 주변 해역도 지구온난화에 따라 지난 40년 동안 남한 지표면 기온은 약 1.3℃, 해양 표층 수온은 약 1.0℃ 상승하여 세계에서도 수온 상승이 가장 빠른 곳 중 하나다. 이에 따라 우리나라 수산어종에도 큰 변화가 일어나고 있다.

우리 바다가 속한 북서태평양(FAO Fishing Area 61)은 세계적으로 어획 생산량이 가장 높을 뿐만 아니라, 인구밀도와 인구 그리고 1인당 수산물 소비량도 세계에서 가장 높은 곳이다. 1960년대 후반부터 지금까지 지구온난화 영향으로 표층 수온이 올라가면서 동시에 10년 규모의 생태계 체제변이(Regime Shift)가 크게 네 번 일어났다. 지난 40년 동안 우리나라 연근해 수온, 염분, 동물플랑크톤 변화 양상을 해역별로 비교해보면 쓰시마 난류 영향을 받는 동해와 남해는 함께 변화하는 경향을 보이는 반면, 담수 유입의 영향을 많이 받는 서해는 상대적으로 독립적으로 변화하는 것으로 나타났다. 특히 남해와 서해는 동해에 비교해 인간 활동의 영향을 더 받는 것으로 평가되었다.

Ecosystem Shift in the Tsushima Warm Current Region

To date, IPCC assessment reports predict that rising global temperatures will drive many species to extinction, altering overall biodiversity. Furthermore, increasing ocean temperatures and acidification will reshape marine ecosystems and shift fish habitats, significantly affecting both marine and inland fisheries. The latest assessment report points out that climate change is shifting marine habitats, phenology, migration patterns, and population sizes, thereby reshaping interactions among species. In addition, vulnerability and sensitivity to climate change will vary by region and country due to factors other than climate change, such as socioeconomic conditions, resulting in different degrees of risk.

Over the past 40 years, the waters surrounding the Korean Peninsula have increased due to global warming, with land surface temperatures rising by about 1.3°C and sea surface temperatures by roughly 1.0°C, making the region one of the hotspot areas experiencing the fastest-rising water temperature in the world. As a result,Korea's marine species are undergoing significant changes.

The Northwest Pacific Ocean (FAO Fishing Area 61), which includes Korean waters, not only boasts the highest fishery production globally but also has the highest population density, total population, and per capita seafood consumption. Since the late 1960s, global warming has caused surface water temperatures to rise, simultaneously triggering four major, decadal-scale regime shifts in the ecosystem. Comparing changes in water temperature, salinity, and zooplankton in coastal waters around Korea over the past 40 years reveals that the East and South Seas, influenced by the Tsushima Current, have tended to change together, whereas the Yellow Sea, strongly affected by freshwater inflows, has shown relatively independent changes. In particular, the Koreat Strait and the Yellow Sea are assessed to be more affected by human activities than the East Sea.



기후변화에 민감한 어종: 명태, 꽁치, 정어리, 살오징어, 대구, 참조기

지구온난화에 따른 우리나라 연근해의 표층 수온 증가가 연근해 수산업에 미치는 영향을 간단히 정리하면, 기후변화에 따라 전체적인 어획량은 큰 변화가 없으나 어종과 어업, 해역에 따라 긍정과 부정이 교차할 것으로 보인다.

지난 70년 동안 우리나라 연근해의 어획 대상 어종 변동을 살펴보면, 전체 어획량은 큰 변화가 없으나 개별 어종 어획량 변동은 큰 것으로 나타난다. 1950~1970년의 연간 어획량은 1950년대 초 약 10만 톤에서 1960년대 말 약 40만 톤으로 네 배 정도 증가했다. 1968~2008년에는 1968년의 약 40만 톤에서 2008년 130만 톤으로 세 배 이상 증가했고, 1986년의 170만 톤을 정점으로 해서 전체 어획량은 100만 톤 수준에서 안정화된 것으로 보인다. 어획량의 증가 원인은 자원량이 증가했다기보다는 산업화가 진행되면서 어업 기술과 잡는 능력이 발전한 것이 가장 큰 요인인 것으로 보인다.

1980년대 이후 우리나라 연근해의 전체 어획량은 안정화된 것으로 나타나지만, 다변량분석기법의 하나인 대응분석 결과를 보면 어종별 어획량은 큰 변동을 했으며, 그 주기는 10년 단위였음을 보여주고 있다. 대응분석에서 각 시기를 대표하는 어종은 1968~1976년은 꽁치, 1977~1982년은 명태, 1983~1990년은 정어리, 1991년 이후는 살오징어, 2020년대 들어서는 다시 정어리가 우점하고 있다. 이렇게 대표 어획어종이 바뀌는 이유는 우리나라 연근해 수온 상승 및 기후변화와 관련한 체제변이와 관련이 있는 것으로 보인다. 기후변화에 따라 민감하게 어획량이 변하는 어종은 앞서 언급한 명태, 꽁치, 정어리, 살오징어 외에 대구와 참조기를 꼽을 수 있다.

Fish Species Sensitive to Climate Change: Pollack, Saury, Sardine, Squid, Cod, and Yellow Croaker

In summary, the rise in surface water temperatures in coastal waters of Korea due to global warming is expected to have mixed effects on coastal fisheries. While the overall catch is unlikely to change significantly, there will be both positive and negative outcomes depending on the species, fishery type, and region.

Fish species caught in Korea's coastal waters over the past 70 years shows that while the total catch remained relatively stable, the annual catches individual species changed significantly. Annual catch between 1950 and 1970 quadrupled, from roughly 100,000 tons in the early 1950s to around 400,000 tons by the late 1960s. From 1968 to 2008, the catch rose more than 3 fold, from about 400,000 tons to 1.3 million tons, peaking at 1.7 million tons in 1986 before stabilizing at approximately 1 million tons. This increase appears to be primarily due to advancements in fishing technology and capabilities resulting from industrialization, rather than an increase in fish stocks.

While the overall catch in coastal waters of Korea appears to have remained relatively stable since the 1980s, correspondence analysis, a type of multivariate analysis technique, reveals significant fluctuations in catches by species, following roughly 10 year cycles. According to the analysis, the dominant species in each period were: saury from 1968 to 1976, pollack from 1977 to 1982, sardine from 1983 to 1990, squid after 1991, and sardine again in the 2020s. These shifts in dominant species appear to be related to regime shifts by rising water temperatures and climate change in Korea's coastal waters. In addition to pollack, saury, sardine, and squid, other species sensitive to climate change include cod and yellow croaker.

These 6 species are primarily caught in waters influenced by the Tsushima Current. Thus, the greatest factor affecting the composition of Korea's fish catches is the fluctuation of the





이 여섯 가지 어종은 쓰시마 난류 영향 해역에서 주로 잡힌다. 따라서 우리나라 어획물 종 조성에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 기후변화에 따른 쿠로시오 난류의 지류인 쓰시마 난류의 변동이다. 해수 순환 모델로 전망해본 대한해협의 수온 변화와 경험적인 회귀식으로부터 구한 어종별 조업 어장 중심의 위도 변화는 소형 부어류보다 대형 부어류에서 클 것으로 나타났다. 기후변화에 가장 민감하게 반응하여 어장이 북상될 것으로 예상되었던 어종은 방어, 삼치, 참다랑어 등 대형 부어류와 무척추동물인 살오징어다. 반면 소형 부어류인 고등어, 전갱이 그리고 저어류인 청어, 갈치 등은 약 10년 주기로 주어장이 북상과 남하를 반복하는 패턴을 보이나 지구온난화에 따라 어장 위치가 크게 바뀌지는 않는 것으로 평가했다.

Tsushima Current, a branch of the Kuroshio Current, driven by climate change. Projected temperature changes in the Korea Strait using an ocean circulation models and latitude shifts in major fishing grounds for each species, derived from empirical regression equations, indicate that shifts were found to be greater for large pelagic fish than for smaller ones. The species predicted to respond most sensitively to climate change and expected to show northward shifts in fishing grounds include large pelagic fish such as yellowtail, Spanish mackerel, and bluefin tuna, as well as the invertebrate squid. In contrast, small pelagic fish such as makerel and horse mackerel, and demersal fish like herring and hairtail, showed a pattern of northward and southward shifts in their fishing grounds on roughly a 10 year cycle, but their locations were assessed not to change significantly due to global warming.



일제강점기에 시작된 어업 규제 완전 폐기해야

경직된 어업 규제와 기후변화로 연근해어업 어획량은 꾸준히 줄어들고 있지만, 어업 경비인 인건비와 기름값은 계속 올라 경영 악화를 더 이상 견디지 못한 어민들이 어업을 포기하고 있다. 이대로 가다가는 10년 안에 우리 바다에서 근해어선은 자취를 감추고 연안어업도 어촌 인구 감소와 고령화로 겨우 명맥만 유지할 것으로 보인다. 적자를 견디지 못한 어민은 나쁜 날씨에도 무리하게 고기를 잡으러 나가 최근 어선 침몰 사고가 급증하고 있다.

지난 30년 동안 꾸준히 어업 경영이 악화하고 어가 소득과 인구가 줄어든 이유는 어민이 기후변화로 달라진 새로운 어업 환경에 적응하려고 해도 100년 전 일제강점기에 비롯된 온갖 어업 규제가 족쇄로 남아 있기 때문이다. 촘촘한 어업 규제 때문에 어민은 새로운 어종이 나타나도 잡는 어종이나 어구어법을 바꿀 수 없으며, 새로운 어장에서 고기가 많이 잡혀도 조업 장소를 바꿀 수가 없다. 어선에 복지시설을 늘리고 장비를 현대화하여 더 효율적으로 또 더 안전하게 고기를 잡는 것도 어선 크기 상한 규제에 묶여 불가능하다.

큰 혁신 없이 이대로 가다가는 10년 뒤 우리 식탁 위에 오를 생선은 모두 수입 냉동 수산물로 바뀔 것이다. 현장 여건이 충분히 반영되지 못한 정책으로 지난 40년 동안 우리 바다의 어획량은 꾸준히 줄어든 반면 수입량은 늘어 2024년 기준 연근해어업 어획량은 마지노선 100만 톤의 한참 아래인 84만 톤이었고, 수산물 수입량은 약 두 배인 140만 톤이었다. 지금 우리가 먹고 있는 생선의 3분의 2는 이미 수입산이며, 100%가 될 날도 멀지 않았다.

우리 바다에서 잡은 싱싱한 생선을 계속 먹으려면 보다 실효성 있는 어업 규제 완화를 통해 어민이 자유롭게 고기를 잡아 어업 경영을 개선하고 어가 소득을 크게 높일 수 있도록 해야 한다.

Abolish Fishing Regulations Dating Back to the Japanese Colonial Period

Rigid fishing regulations and climate change are steadily declining coastal and nearshore catches, while rising labor and fuel costs, the primary expenses in the fishing industry, are forcing fishers to abandon their businesses, unable to endure worsening business conditions. At this rate, coastal fishing vessels may disappear from Korean waters within the next decade, and coastal fisheries will barely survive due to a declining and aging fishing population. Unable to withstand the financial losses, some fishers venture out to sea even in dangerous weather, leading to a recent surge in boat sinking accidents.

The steady decline in fisheries management, fishers' incomes and population over the past 30 years has been largely due to various fishing regulations dating back to the Japanese colonial period more than a century ago, hindering adaptation to the new conditions caused by climate change. Strict regulations prevent fishers from changing the species they catch or their fishing gear and methods even when new species appear, or moving to new fishing grounds producing abundant catches. Additionally, upgrading vessels with welfare facilities and modernized equipment for safer, more efficient fishing is also impossible under the restrictions on vessel size.

Without significant innovation, all the fish on our tables could be imported frozen seafood in just ten years. Over the past 40 years, our seas' catch has steadily declined due to policies that failed to adequately reflect on-site conditions, while imports have increased. As of 2024, coastal fishery catches stood at 840,000 tons, well below the one-million-ton threshold, whereas seafood imports nearly doubled to 1.4 million tons. Two-thirds of the fish we eat today are already imported, and it won't be long before that figure reaches 100%.

If we want to continue eating fresh fish from our waters, we must implement more effective deregulation of fisheries to allow fishermen to freely catch fish, thereby improving fishery management and significantly increasing household income.

해양기후테크와 에너지공간믹스에 과감한 투자가 필요한 때다

Now is the time for bold investment in marine climate tech and energy space mix

변화는 우리가 일상에서 마주하는 하나의 현상이다. 보통의 변화는 착실한 일상의 대책만으로 위험 발생을 억제할 수 있다. 그러니 문제될 것이 없다. 위기는 변화 자체나 변화의 크기가 크다고 나타나지 않는다. 위기는 변화에 대응할 마땅한 수단이 없을때 모습을 드러낸다. 지금 상황이 딱 그렇다. 기후변화는, 예측 가능했고 많은 전문가들이 변화에 숨겨진 재난을 경고했다. 안일한 사고와 어설픈 대응 때문에 현상으로 그칠 일이 화이트 스완(White Swan)이 되어버렸다.

Change is a constant part of our daily lives, and in itself, it is not a problem. A crisis does not occur simply from the change itself or from its magnitude. It arises when we lack the means to respond to change. That is exactly the situation today. Climate change was predictable, and many experts warned of the hidden disasters it could bring. Complacency and inadequate responses have turned what could have been a simple change into a "White Swan," escalating it into a full-blown crisis.

〈참고문헌〉

- Boettcher M, Brent K, Buck HJ, Low S, McLaren D and N. Mengis, 2021, Navigating Potential Hype and Opportunity in Governing Marine Carbon Removal. Front. Clim. 3:664456. doi: 10.3389/fclim.2021.664456
- da Silva Copertino, M., 2011, Add coastal vegetation to the climate critical list. Nature 473: 255.
- IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 ° C: Summary for Policymakers. Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 ° C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_version_stand_alone_LR.pdf
- IPCC, 2022, Summary for Policymakers [H.-O. Portner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Loschke, V. Moller, A. Okem (eds.)]. In Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Portner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Loschke, V. Moller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 33p.
- Liu, Z., Deng, Z., Davis, S.J. et al., 2022, Monitoring global carbon emissions in 2021. Nat Rev Earth Environ 3, 217–219. HYPERLINK "https://doi.org/10.1038/s43017-022-00285-w"https://doi.org/10.1038/s43017-022-00285-w
- McKinsey & Company, 2022, Blue carbon: the potential of coastal and oceanic climate action.
- Nam, J., J. Yim, JY Park, B-O. Kwon, and J.S. Khim, 2024, Determining the Likelihood of Mangrove Introduction to Korean Coastal Areas, J. of Coastal Research, J. of Coastal Research 116(sp1):323-327.
- WEF(World Economic Forum), 2025, The Global Risks Report 20th Edition.

남정호 한국해양수산개발원 선임연구위원
Jungho Nam Senior Research Fellow, Korea Maritime Institute

기후위기 티핑포인트 2029년, 더 빨리 올 수도 있다

The Climate Crisis Tipping Point: 2029, or Even Sooner

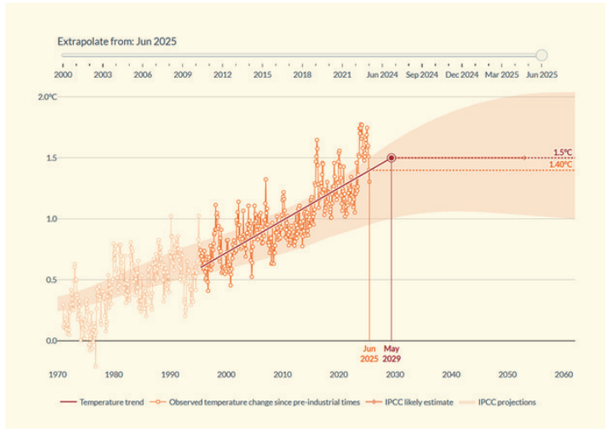
양적, 질적 변화가 꾸준히 축적되어 회복하거나 돌이킬 수 없는 상태나 상황을 티핑포인트(Tipping Point)라고 한다. 기후변화 티핑포인트인 1.5℃ 상승 시점은 계속 앞당겨지고 있다. 2018년 기후변화에 대한 정부간 협의체(IPCC)가 발간한 기후변화 특별보고서는 티핑포인트 도달 시점을 2030~2052년으로 예측했으나, 2022년 제6차 기후변화평가보고서는 2021~2040년으로 예측했다. 10년이 앞당겨진 것이다.
최근에 발표한 연구 결과는 우려가 현실이 될 것이라고 경고한다. 유럽연합 기후감시기구인 코페르니쿠스기후변화서비스(C3S, Copernicus Climate Change Service)는 2024년 티핑포인트 도달 시점을 2032년으로 예측했으나 올해 6월 2029년으로 3년을 앞당겼다. 위기 시계는 과학기술의 추적을 따돌리고 빠르게 다가오고 있다.

우리나라에 서식하지 않는 아열대 생물종 출현이 빈번해지는 것은 위기 시계가 빠르게 움직이고 있다는 것을 보여준다. 아열대 해안에만 서식하는 맹그로브(홍수림)가 우리나라 해안에 빠르면 2040년대에 서식할 것으로 예측한 연구도 있다(Nam et al,, 2024). C3S의 예측이 맞는다면, 2030년대 후반에 바닷가에서 맹그로브를 볼 수 있을 것이다.

A tipping point is a state or situation where quantitative and qualitative changes accumulate accumulate to the extent that recovery or reversal becomes impossible. The 1.5°C temperature threshold, the tipping point for climate change, continues to be reached earlier than expected. The 2018 Special Report on Climate Change projected that we would reach this point between 2030 and 2052. However, the IPCC Sixth Assessment Report released in 2021 estimated it to be reached between 2021 and 2040, advancing the timeline by about a decade.

Recent studies warn that these concerns are on the verge of becoming reality. The Copernicus Climate Change Service (C3S), the European Union's climate monitoring agency, had previously predicted in 2024 that the tipping point would arrive around 2032. This June, however, that estimate was revised three years earlier to 2029. The Climate Clock is rapidly ticking, outpacing scientific and technological progress.

The increasingly frequent appearance of subtropical species not native to Korea indicates that the climate clock is ticking faster. One study (Nam et al., 2024) even predicts that mangroves (flood forests), typically found only along subtropical coasts, will establish themselves along Korean coasts as early as the 2040s. If C3S prediction proves accurate, the day may come even sooner.



코페르니쿠스기후변화서비스 2025년 6월 티핑포인트 시점 예측 결과
출처: https://apps.climate.copernicus.eu/global-temperature-trend-monitor/?tab=plot



맹그로브



육상 중심, 배출 감축 중심 대책으로는 한계가 있어

이산화탄소 순배출이 없는 넷제로(Net-Zero)는, 파리기후변화협정에 따라 각국이 제출한 NDC (국가온실가스감축목표) 대책을 차질 없이 시행하더라도 2050년이 되어야 달성 가능하다. 넷제로보다 티핑포인트가 20년 앞서서 우리 일상을 지배하게 될 것이다. 육상 산업 활동의 배출감축 비중이 크지만, 사회경제 구조를 바꾸기는 쉽지 않다. NDC에 기반한 2050넷제로는 달성이 어렵거나 설사 달성하더라도 위기 시계를 느리게 만들지는 못할 것이다.

이를 보여주는 과학연구 결과도 있다. 2020년 코로나19라는 전대미문의 블랙 스완으로 글로벌 경제 활동은 크게 위축되었다. 온실가스 배출 데이터를 분석하기 전까지는 코로나19로 배출량이 크게 줄었을 것이라고 추정했지만, 실제 배출량 모니터링 자료를 분석한 결과 전년 대비 5.7%만 줄었다.

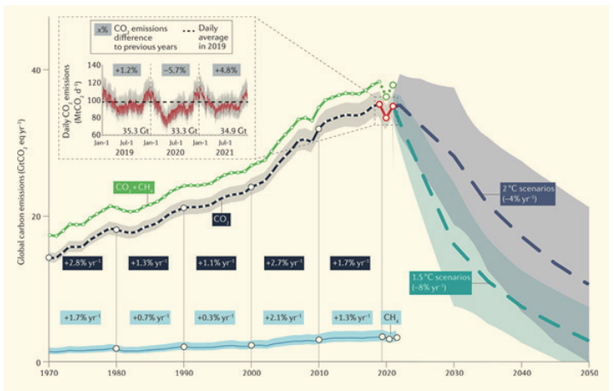
다음 해인 2021년에는 반등하여 전년 대비 배출량이 4.8% 늘어났다. 육상에서 이동을 억제하고 사회경제활동이 눈에 띄게 줄었는데도 배출량 변화가 미미했다는 것은, 육상에서의 감축 중심 대응만으로는 한계가 있다는 것을 시사한다.

The Limitations of Land-Based, Emissions Reduction-Focused Measures

Net-zero emissions, or zero carbon dioxide emissions, will not be achievable until 2050, even if each country faithfully implements its Nationally Determined Contributions (NDCs) under the Paris Agreement. Yet the climate tipping point will begin to dominate our daily lives roughly 20 years before NDC targets are met. While land-based industrial activities account for a large share of emissions reductions, transforming socioeconomic structures remains a challenge. Achieving net-zero by 2050 based on NDCs is unlikely, or even if achieved, will have little impact on the ticking climate clock.

There is scientific evidence supporting this point. In 2020, the unprecedented Black Swan event of the COVID-19 caused a major contraction in the global economy. Prior to analyzing greenhouse gas emissions data, it was widely assumed that emissions would have decreased significantly compared to the previous year. However, an analysis of actual emissions monitoring data showed that emissions fell by only 5.7% year-on-year.

In 2021, the following year, emissions rebounded, rising 4.8% compared to the previous year. The fact that reductions were minimal despite restrictions on land travel and a significant decrease in the intensity of socioeconomic activities indicates that a land-based reduction strategy alone has its limitations.



코로나 전후 전 세계 탄소 배출량 변화
출처: Liu et al.,(2022)

탄소를 흡수하는 바다에서 대안을 찾을 수 있을까

세계경제포럼(WEF, World Economic Forum)이 매년 발표하는 전지구위험보고서(Global Risks Report)는 극한기상 사태를 가장 중대한 미래 위험으로 규정하고 있다.

2010년대 중반 이후로 기후 위험이 최상위 위험에서 빠진 적이 없다. 환경단체가 아닌 경제단체의 우려는 기후위기가 기업 활동에서 최대 난제가 될 것이라고 판단했기 때문일 것이다. 국제사회는 사회경제활동 과정에서 에너지 효율성을 높이고, 온실가스 배출량을 줄이며, 재생에너지 비중을 확대하는 데 적극적이다. 탄소 흡수원을 확대하는 투자는 자연기반해법(NbS, Nature-based Solution)에서 중심축이 되었다. 특히 세계경제포럼이나 매킨지 컨설팅, 애플 등을 비롯한 경제 관련 단체는 탄소 흡수원으로서 바다의 역할에 주목하고 있다.

맹그로브, 해초대, 염습지와 같은 해양생태계의 탄소 흡수량을 높이는 블루카본 사업은 육상의 그린카본보다 잠재력이 더 큰 자연기반해법으로 평가받고 있다. 육상보다 단위면적당 탄소 저장 잠재력이 15배나 많고, 탄소 흡수 속도는 10~50배나 빠르다고 한다(da Silva Copertino, 2011).

매킨지컨설팅은 연안 지역뿐만 아니라 외해 해초 양식, 저층 트롤 관리, 중층 어류 생태계 보호, 고래 보호와 같은 새로운 자연기반해법의 잠재력에 주목하고 있다.

Can We Find An Alternative in the Carbon-Absorbing Oceans?

The World Economic Forum's (WEF) annual Global Risks Report identifies extreme weather events as the most significant future risk.

Climate risk has remained on the top risk list since the mid-2010s. The concern of economic organizations, rather than environmental groups, likely stems from their perception that the climate crisis will become the greatest challenge for business operations. The international community has been actively working to enhance energy efficiency, reduce greenhouse gas emissions, and increase the share of renewable energy in socioeconomic activities. Investments in carbon sinks have become a central pillar of Nature-based Solutions (NbS). In particular, economic organizations and institutions, including the World Economic Forum, McKinsey & Company, and Apple, are focusing on the role of the oceans as carbon sinks in addressing the climate crisis.

Blue Carbon projects, which enhance the carbon sequestration capacity of marine ecosystems such as mangroves, seagrass meadows, and salt marshes, are regarded as nature-based solutions with greater potential than terrestrial green carbon. Typically, they store up to 15 times more carbon per hectare than terrestrial soils, and sequester carbon 10–50 times faster (da Silva Copertino, 2011).

McKinsey & Company has highlighted the potential of new nature-based solutions, not only in coastal areas but also in offshore seaweed farming, bottom trawl management, mid-water fish ecosystem protection, and whale conservation.







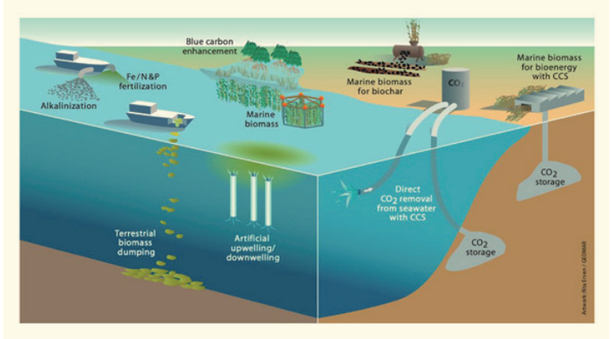


염습지

해양기후테크에 과감한 투자가 필요한 때다

'NDC 예정대로 진행, 넷제로 2050년 달성을 위한 지속적인 노력'은 정책 의제뿐만 아니라 인류가 지향하는 이정표로서 여전히 의미가 있다. 그러나 현재의 NDC와 2050 넷제로 달성은 2015년 당시 파리기후변화협정 시점의 인식이 반영된 것으로 보인다. 여기에만 기대어 위기 시계를 늦추기 위한 과감한 도전을 하지 않는다면 화이트스완을 마주할 가능성이 매우 크다. 영화 〈투모로우〉가 현실화될 것이라는 연구 결과가 《네이처》나 《사이언스》에 연달아 발표되었고, 티핑포인트 도달 시점은 매년 앞당겨지고 있어 과감할 정도로 전환적 행동이 필요한 시점이다. 유럽, 미국, 캐나다 등 기후 선진국은 해양의 기능을 이용하여 탄소를 저감하는 해양기후테크(mCDR) 개발을 추진하고 있다.

해양기후테크는 1990년대 철 시비(Iron Fertilization)가 원조라고 할 수 있다. 해양에 철을 투입하여 1차 생산자인 식물플랑크톤을 대량 증식시키면 해양이 대기 중 이산화탄소를 빠르게 흡수할 수 있어 지구온난화를 억제할 수 있다는 것이다. 이후 과학기술의 발달로 현재 해양기후테크는 블루카본을 비롯하여 해양탄소 직접 포집, 알칼리도 증진, 대규모 해조류 양식, 인공 용승 등으로 다양해졌다.



해양기후테크
출처: Boettcher et al.(2021)

Bold Investment in Ocean Climate Tech is Necessary

"Proceeding with NDCs as scheduled and continuing efforts to achieve net zero by 2050" remains meaningful not only as a policy agenda but also as a milestone for humanity. However, current NDCs and the 2050 net-zero goal appear to reflect the sense of crisis at the time of the Paris Agreement in 2015. If we remain complacent with this goal and fail to take bold action to slow down the climate clock, we are highly likely to encounter a White Swan event. Research published consecutively in Nature and Science suggest that scenarios like the movie "The Day After Tomorrow" could become reality, and the tipping point is moving earlier every year, requiring a shift in response strategies. Climate leaders such as Europe, the United States, and Canada are pursuing the development of Marine Carbon Dioxide Removal (mCDR) technologies that leverage the functions of the ocean to reduce carbon emissions.

Marine climate technology can be traced back to iron fertilization in the 1990s. The idea was that adding iron to the ocean would stimulate the mass growth of phytoplankton, the ocean's primary producers, which enables the ocean to absorb atmospheric carbon dioxide more rapidly, thereby helping mitigate global warming. Since then, advancements in science and technology have diversified marine climate technology to include blue carbon, direct ocean capture (DOC), alkalinity enhancement, large-scale algae farming, and artificial upwelling.



해조류 양식

올해 3월 캐나다 밴쿠버, 5월 벨기에 리에주에서 개최한 해양기후테크 국제회의에서 해양기후테크에 과감한 투자가 필요하다는 목소리가 높았다. 국제사회는 해양기후테크가 기후 위기라는 전 지구 난제 해결의 해법 중 하나가 될 것이라는 데 인식을 같이 하고 있다. 한편 해양기후테크는 해양에서 대규모로 진행해야 효과가 있어, 해양생태계에 미치는 영향에 대한 우려도 크다. 유럽해양위원회(EMB, European Marine Board) 주도로 해양기후테크의 생태계 영향을 최소화할 수 있는 모니터링–보고–인증(MRV, Monitoring–Report–Verification) 체계를 개발 중에 있고, 올해 11월에 결과물을 발표할 예정이다.

At international conferences on marine climate technology held in Vancouver, Canada in March and Liège, Belgium in May this year, there were strong calls for bold investment in marine climate technology. European society views it as a new solution to address the climate crisis. However, since marine climate technology is only effective when implemented on a large scale in the ocean, concerns are growing about its impacts on marine ecosystems. The European Marine Board (EMB) is currently developing a Monitoring-Report-Verification (MRV) system to minimize ecological impacts, with the findings expected to be announced in November of this year.



에너지 안보와 기후위기, 해상풍력–해상태양광 하이브리드 정책으로 대응 가능

해양기후테크에 대한 과감한 투자와 더불어 에너지 안보에서 해양의 역할에 주목할 필요가 있다. 기존 해양공간 이용과 갈등, 이전 정부의 기후에너지 정책 후퇴로 한동안 주춤했던 해양풍력에너지 개발은 기후위기 자체에 대한 대책이기도 하지만 재생형 지속가능성(Regenerative Sustainability)을 지원할 수단이기도 하다. 해상풍력을 확대하는 것과 함께 유럽연합의 과학기술개발 사업인 호라이즌2020(Horizon 2020)으로 네덜란드가 주도하여 추진하는 해상부유식 태양광발전에 주목할 필요가 있다.

태양광발전 패널을 풍력발전단지 안에 설치하기 때문에 공간 갈등을 최소화하고, 공간 활용의 효율성과 집약도를 높일 수 있다. 세계 최초의 풍력발전단지 내 태양광발전 사업으로 15개 유럽 기관이 참여하며, 2024년 1월에서 2026년 12월까지 700만 유로를 투자한다고 한다. 이미 올해 9월에 150MW 부유식 태양광발전 패널 설치 작업을 마쳤다. 유럽연합은 이 사업의 성과를 표준 모델로 활용하여 2027년부터 GW급 부유식 태양광발전사업으로 확대할 계획이다.

기후위기는 에너지 안보와 떼어놓고 생각할 수 없다. 에너지 사용을 획기적으로 줄일 수 없는 사회경제 시스템에서 에너지 안보는 핵심 의제다. 계획했던 해상풍력발전사업의 진행 속도를 높이고, 해상풍력발전과 해상부유식태양광발전 확대를 서둘러야 할 이유다.

기후위기는 인류의 늑장 대응을 기다려주지 않는다. 기후 시계가 티핑포인트에 도달할 시점은 점점 앞당겨지고 있다. 온난화가 심해져 바닷물 온도가 높아지면 바다의 탄소 흡수 능력도 현저히 떨어진다. 하나의 해법에 의존해서는 문제를 해결할 수 없다. 서두르지 않으면 해결할 기회조차 갖지 못한다. 해상풍력발전단지 확대를 포함한 해양재생에너지 사업과 해양기후테크 개발에 과감하게 투자해야 할 이유다.

Energy Security and the Climate Crisis: A Hybrid Offshore Wind-Solar Power Policy Response

Marine climate technology is a transformative agenda for addressing the climate crisis. Offshore wind energy development, which has slowed for some time due to conflicts over existing marine space utilization and the previous government's retreat from climate and energy policies, serves not only as a response to the climate crisis itself but also as a means to promote regenerative sustainability. In addition to expanding offshore wind power, particular attention is required for offshore floating solar power, led by the Netherlands as part of Horizon 2020, the European Union's science and technology development program.

As solar panels are installed within existing wind farms, this approach minimizes spatial conflicts and enhances the efficiency and intensity of marine space utilization. This project is the world's first solar power generation within a wind farm, involving 15 European organizations and a total investment of 7 million euros from January 2024 to December 2026. The installation of 150MW of floating solar panels was completed in September 2025. Starting in 2027, the European Union plans to expand the initiative into gigawatt-scale floating offshore solar power projects, using the outcomes of this project as a standard model.

The climate crisis cannot be separated from energy security. In a socioeconomic system unable to drastically reduce energy consumption, energy security becomes a central agenda. This is why we must accelerate planned offshore wind power projects and expedite the expansion of offshore wind and floating solar power generation.

The climate crisis will not wait for humanity's slow response. The tipping point of the climate clock is approaching even faster. As global warming intensifies and ocean temperatures rise, the ocean's capacity to absorb carbon will drop sharply. No single solution can resolve this problem. If we hesitate, we may lose the chance to solve it at all. Now is the time to boldly invest in marine renewable energy projects, including the expansion of offshore wind farms, and in the development of marine climate technologies.

기다림이 끝나는 날에도

Even on the day when waiting ends

올해는 미술관 주변의 공원에서 봄철 내내 꽃과 함께 벌, 나비를 제대로 보지 못했다. 기온이 낮고 두 차례의 대설을 포함해 눈이 내린 날(9일), 비 오는 날(30일)이 잦았기 때문이다. 게다가 지난해에 이어 올여름도 37℃를 웃돌기가 예사다. 이미 오래전부터 지구온난화와 생태 환경에 관한 경고를 들어왔지만 우리는 남의 일로만 여겼다. 심리적으로 긴 시간 뒤의 일은 자신의 문제로 생각하지 않기 때문이다. 그래서인지 '재생에너지'와 '탄소중립' 같은 말은 피부에 와 닿지도 않았고 '온난화로 날씨가 더워지면 좀 참아야지' 정도로만 여겼다.

This year, I didn't properly see bees or butterflies among the spring flowers in the park surrounding the museum. This was because temperatures were low, and there were frequent days with snow (including two heavy snowfalls on the 9th) and rain (on the 30th). Moreover, following last year, this summer too, temperatures regularly exceeded 37 degrees Celsius. We've long heard warnings about global warming and the ecological environment, but we treated them as someone else's problem. Psychologically, we don't consider events far in the future to be our problem. That's probably why terms like 'renewable energy' and 'carbon neutrality' never resonated with us, and we just thought, 'If the weather gets hotter due to warming, we'll just have to endure it.'

전승보 경기도미술관 관장
Seungbo Jeon Director, Gyeonggi Museum of Modern Art
사진 경기도미술관



올라퍼 엘리아슨 〈Methane matter〉, 2019, 종이에 수채, 인디언 잉크, 231.6x155x8cm, PKM갤러리 소장
Olafur Eliasson, rMethane matter, 2019, watercolor and Indian ink on paper, 231.6x155x8cm, Courtesy of PKM Gallery

열대우림의 폭포는 관습적인 우리의 관점을 전복시킨다

예술가는 이런 이상 기후에 어떤 반응을 보이는지 궁금하다. '가치 있는 목적을 위해 충격을 주는 것'도 괜찮지만, 은유와 상징으로 관람객이 그 여운을 길게 가져가는 것도 좋을 듯했다. '예술에 들어 있는 통찰'은 사람들에게 긴 설명 없이 다가설 수 있다. "좋은 예술의 표지(특징)는 예상을 예기치 않았던 방식으로 추상화하고, 과장하고, 뒤엎는 데 있다"라고 한다. 그래서 '예술로서 기후위기를 어떻게 표현할 것인가?'라는 고민의 출발은, 지금 우리가 경험하는 기후 대변동의 시대를 살아가는 예술가에게 당연한 질문일 것이다.

경기도미술관의 전시 〈기다림이 끝나는 날에도〉(7월 24일~10월 26일)에는 '재생에너지'와 관련한 주제의 작품이 여럿 나왔다. 바다(물)와 땅(흙)을 다룬 작품을 비롯해 플라스틱 폐기물로 만든 축음기 LP판과 기후 예측 시뮬레이션 같은 것이다. 22명(팀)이 참여한 전시 공간에서 작품들을 곰곰이 바라보고 간단한 해설을 읽다 보면 다양한 상상 속에 빠져든다. 전시실 입구에 들어서자마자 마주치는 거대한 영상은 호주 작가 대니 멜러의 〈암흑별 폭포〉다. 열대우림의 폭포는 관습적인 우리의 관점을 전복시키고, 덴마크 출신의 세계적 거장인 올라퍼 엘리아슨의 〈메탄 문제〉는 종래의 잘 알려진 설치 작업이 아닌, 얌전한 수채화로

Asking the Artist: Even When the Waiting Ends

I wonder how artists respond to this abnormal climate. While 'shocking for a worthy cause' is acceptable, it seemed equally valuable for viewers to carry the lingering resonance through metaphor and symbolism. 'Insight embedded in art' can reach people without lengthy explanation. "The hallmark of good art lies in abstracting, exaggerating, and overturning expectations in unexpected ways." Therefore, the starting point for the question, 'How should we express the climate crisis as art?', is a natural one for artists living in this era of climate upheaval we are experiencing now.

The exhibition <Even When the Waiting Ends> (July 24th - October 26th) at the Gyeonggi Museum of Modern Art featured several works related to the theme of 'renewable energy'. These include works dealing with the sea (water) and land (soil), a phonograph LP made from plastic waste, and a climate prediction simulation. As you contemplate the works and read the brief explanations throughout the exhibition space, featuring 22 artists (teams), you become immersed in diverse imaginations. The massive video installation greeting visitors at the entrance is Australian artist Danny Meller's <Dark Star Falls>. The tropical rainforest waterfall subverts our conventional perspective, while Danish



우주+림희영, 〈Song from Plastic〉, 2022, 폐플라스틱 스테인레스 스틸, 철, 모터, 전자장치, 음향장치, 인체 감지센서, 에나멜 도색, 가변설치, (기계장치 220x140x180cm), 작가소장
WOOHLIMHEEYOUNG, Song from Plastic, 2022, discarded plastic, stainless steel, iron, motor, electronic components, sound system, motion sensor, enamel paint, variable installation (mechanical structure: 220x140x180cm), courtesy of the artists



더그 에이트킨 〈수중 파빌리온〉, 2017, 싱글채널 비디오, 컬러, 사운드, 6:53, 국립현대미술관 제공
Doug Aitken, Underwater Pavilions, 2017, single-channel video, color, sound, 6:53, courtesy of the National Museum of Modern and Contemporary Art, Korea

관객을 맞이한다. 마치 지구 대기에 퍼져가는 메탄가스처럼 종이에 물 자국이 번져나갔다. 전시실의 외진 곳에 설치된 박제된 영양의 유리 진열장 그림은 임희재의 그림이다. 사물의 실체 혹은 그 의미를 제한하는 '박제'는 기후 위기에 처한 우리의 상황을 떠오르게 한다. 이외에도 어떤 인위적인 영상 기법 없이 촬영된 더그 에이트킨(미국)의 환상적인 〈수중 파빌리온〉 영상과 함께, 한윤정의 〈보이지 않는 바다〉는 바다의 플라스틱 오염과 기후변화를 뉴미디어 기술로 제작한 영상이다. 플라스틱에서 나온 미생물이 진화한 하이브리드 생명체가 바다 속을 떠도는 모습이다.
오다교(한국) 작가의 '안산시 흙'으로 만들어진 그림은 자연 그 자체의 특별함을 만나게도 한다. 여기에 우주+림희영(한국)의 〈플라스틱의 소리〉는 벽면에 부착된 수십 점의 플라스틱 용기들이 죽은 고래의 배에서 나온 것임을 암시하며, 폐기물로 만든 LP판은 아이들의 목소리, 노랫소리, 일상의 소리 등을 기록하여, 과거에 멸종된 존재의 소리를 고래가 남긴 플라스틱으로 상기시킨다. 미술관 1층 로비에 있는 이지연의 〈잿소리〉는 타고 버려진 연탄으로 분수를 만들어 생명의 순환을 느끼게도 하며, 미술관 주변 호숫가를 산책하는 동안 자연의 리듬을 느끼게 하는 박선민의 〈늪의 노래-사운드 드리프팅〉을 체험할 수 있다.

master Olafur Eliasson's <Methane matter> greets the audience not with his signature large-scale installation, but with a modest watercolor painting. Like methane gas spreading through the Earth's atmosphere, water stains bleed across the paper.
The painting of a glass display case containing a stuffed impala, installed in a secluded corner of the exhibition hall, is by Lim Hee-jae. The act of 'stuffing,' which limits the essence or meaning of an object, evokes our situation facing the climate crisis. Additionally, alongside Doug Aitken's (USA) fantastical <Underwater Pavilion> video, shot without any artificial visual effects, Han Yun-jung's <The Invisible Sea> is a video created using new media technology addressing ocean plastic pollution and climate change. It depicts hybrid lifeforms, evolved from microorganisms originating in plastic, drifting through the sea. Oda Kyō's (Korea) painting made from 'Ansan City Soil' also invites us to encounter the inherent uniqueness of nature itself. Here, Uju + Lim Hee-young's (Korea) <The Sound of Plastic> suggests that dozens of plastic containers attached to the wall originated from the belly of a dead whale, transforming waste into art.



‘완화’와 ‘적응’, 두 축으로 진행 중

바다에서 일어나는 기후변화는 우리나라에서도 일상이 되고 있다. 동해안에서 아열대 지역에서나 볼 수 있었던 수십 킬로그램짜리 참치가 잡힌다든지 백상아리가 출현한다는 보도가 낯설지 않다. 이처럼 바닷속 생태계의 변화는 물 밖에서 보는 것보다 매우 급격한 속도로 진행되고 있다. 해수면 상승, 해양 산성화, 해수 온도 변화는 해양 생태계와 수산업의 근간을 뒤흔들고 있다. 그렇다고 해서 바다는 단순히 기후변화로부터 피해를 받기만 하는 것은 아니다. 동시에 바다는 탄소 흡수와 에너지 전환의 큰 몫을 담당하면서 기후변화를 조절할 수도 있는 희망을 보유한 공간이다. 우리 정부는 바다를 기후변화와 긴밀하게 상호작용하는 복합적인 공간으로 인식하고, ‘완화(Mitigation)’와 ‘적응(Adaptation)’ 두 축으로 기후변화 대응을 강화하고 있다.

Mitigation & Adaptation: Pursuing the tandem goals

Climate change in the oceans has become a part of daily life in Korea. It is no longer unusual to hear reports of tuna weighing tens of kilograms, once found only in subtropical waters, being caught along the East Coast and the sighting of great white sharks. Changes in the marine ecosystem are occurring much faster than what we observe from land. Rising sea levels, ocean acidification, and changing seawater temperatures are shaking the foundations of marine ecosystems and the fishing industry. However, the ocean is not merely a victim of climate change. It also holds the potential to moderate climate change, playing a crucial role in carbon absorption and energy conversion. Recognizing the ocean as a complex space closely interacting with climate change, the Korean government is strengthening its response through the two pillars of “mitigation” and “adaptation.”

이상길 해양수산부 해양정책과 과장
Sangkil Lee Director of Marine Policy Division, Ministry of Oceans and Fisheries





기후변화를 완화하기 위해

기후변화를 완화하기 위한 정책은 해양생태계를 통한 탄소 흡수 기능을 확대하고, 해양산업 전반에서 탄소 배출을 줄이는 데 중점을 둔다. 이에 따라 우리 정부는 갯벌, 잘피숲, 염생식물 등 연안 생태계를 블루카본(Blue Carbon) 자산으로 보고 보전하거나 확대하는 사업을 적극 추진하고 있다. '제3차 해양수산 기후변화 대응 종합계획(2023~2027)'에 따라, 2030년까지 잘피숲 50㎢, 염생식물 군락지 10㎢를 추가 조성하고 있다. 특히 주목할 점은 '비식생 갯벌'도 새로운 블루카본 흡수원으로 인정받기 위해 시도하고 있다는 것이다. 식물이 자라지 않는 갯벌 또한 탄소를 효율적으로 저장한다는 연구 결과를 2026년까지 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)에 공식 제안하여 인정받을 계획이다.

UN 국제해사기구(IMO)는 전 세계 탄소배출량의 3%를 차지하는 국제해운산업이 2050년까지 탄소중립을 달성하도록 결의했다. 해양수산부는 이러한 국제 환경규제를 계기로 친환경 선박 보급을 통해 우리 해운과 조선산업이 글로벌 경쟁우위를 선점할 수 있도록 정책 지원을 강화하고 있다. 2024년에는 우리 민간 부문의 친환경 선박 전환을 촉진하기 위해 총 2422억 원을 투입해 친환경 선박 45척을 건조하고 30척을 개조하는 등 실행 계획을 발표했다. 동시에 '친환경 선박 전주기 혁신 기술 개발' 등 다양한 R&D 사업을 진행하고 있으며, 수소·암모니아 혼합 연료 기술과 전기 추진 차도선 및 이동식 전원 공급 시스템 개발 등 미래 선박 기술 확보에도 집중하고 있다. 또한 2024년에 시범 운영하던 저탄소 선박 인증제도를 확대하여 시장에 인센티브를 제공할 예정이다.

탄소 배출을 줄이기 위한 노력

수산업 분야에서도 탄소 배출을 줄이기 위한 노력을 다각도로 추진하고 있다. '에너지 절감형 친환경 어선 개발' R&D를 통해 어업 효율을 높이고, 스마트 양식 클러스터를 구축하여 자동화 및 인공지능(AI) 기반 에너지 절감 시스템을 보급하고 있는 것이다. 이러한 완화 노력에도 급속하게 진행되는 기후변화에 적응하기 위해서는 해양환경 변화와 재해로 인한 피해를 최소화하고, 지속 가능한 해양 생태·산업 체계를 구축하는 것이 시급하다.

해수 온도 상승으로 인한 급격한 어종 이동과 수산자원 감소에 대응하기 위해, 우리 정부는 어선 감척을 지속적으로 추진하고 있다. 종전의 어종과 어법별로 규율하던 어업규제 방식을 총허용어획량(TAC)제도로 전환하여 과학적 자원관리 시스템으로 혁신을 꾀하고 있다. 동시에 '연안어장 환경 실시간 모니터링 시스템'을 발전시키고, 기후변화에 적응력 높은 양식 기술(R&D) 개발을

Mitigating Climate Change

Policies to mitigate climate change focus on enhancing the carbon absorption capacity of marine ecosystems and reducing carbon emissions across the entire maritime industry. Accordingly, the Korean government is actively implementing projects to conserve and expand coastal ecosystems, including tidal flats, seagrass meadows, and halophytes, recognized as Blue Carbon assets. Under the "Third Master Plan for Climate Change Response in the Maritime and Fisheries Sector (2023-2027)," it is creating an additional 50㎢ of seagrass forests and 10㎢ of halophyte communities by 2030. Notably, the government is also attempting to have "non-vegetated tidal flats" officially recognized as new Blue Carbon sinks. Korea plans to submit research findings demonstrating that even tidal flats without vegetation can efficiently store carbon to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) by 2026 for approval.

The International Maritime Organization (IMO) has resolved that the global shipping industry, responsible for around 3% of total carbon emissions, should achieve carbon neutrality by 2050. Building on these international environmental regulations, the Korean Ministry of Oceans and Fisheries is strengthening policy support to help the country's shipping and shipbuilding industries gain a global competitive edge by adopting eco-friendly vessels. In 2024, the Ministry announced an action plan to invest KRW 242.2 billion in building 45 eco-friendly ships and retrofit 30 others to accelerate the transition to eco-friendly vessels in the private sector. Simultaneously, the Ministry is conducting a range of R&D projects, including the "Development of Innovative Technologies for the Full Life Cycle of Eco-Friendly Ships," focusing on future ship technologies such as hydrogen-ammonia hybrid fuel technology, electric car ferries, and mobile power supply systems. Furthermore, it plans to expand the low-carbon ship certification system, piloted in 2024, to provide stronger incentives for the market.

Efforts to reduce the impact of Climate Change

The fisheries sector is also pursuing multifaceted efforts to curb carbon emissions. Korea is improving the efficiency of fishing operations through R&D on the development of energy-efficient, eco-friendly fishing vessels while building smart aquaculture clusters to deploy automated and AI-based energy-saving systems.Despite these mitigation efforts, adapting to rapidly accelerating climate change demands urgent measures to minimize the impacts of marine environmental changes and disasters, and to establish a sustainable marine ecosystem and industrial system.

확대하며, 고수온 등 재해 대비와 재해 상습 발생 어장에 대한 관리를 강화하고 있다.

해수면 상승과 태풍 등 연안 재해에 대비하기 위해 '기후변화 기반 연안관리 종합계획'에 따라 연안 침식 위험 평가를 진행하고 방재 시설을 보강하고 있다. 2024년부터는 침수 위험이 높은 저지대 항만과 어촌에 '스마트 해안방재 시스템' 도입을 확대하여 예측 및 대응 능력을 강화하고 있다. 또한 '순환 적응형 연안 침식 관리 기술' 개발을 통해 해안 침식에 대한 근본적인 해결책을 마련하고, '국민안심해변'을 도입하여 연안 침식 위험이 높은 지역을 완충지대로 확보하고 있다.

기후변화로 가속화되는 해양 산성화에 대응하기 위해 해양수산부는 해양 산성화 장기 관측망을 확대하고, 패류 자원 보호를 위한 인공부화장 기술 개선 R&D를 강화하고 있다. 더불어 해양보호구역 확대를 통해 해양생물 다양성 보전과 생태계 회복력 증진을 위한 노력을 지속하고 있다. 그리고 2024년부터는 세계 최초로 어구·부표 보증금제 도입을 추진하여 폐어구로 인한 해양 오염을 줄이고 자발적인 수거를 유도하고 있다.

To address the rapid migration of fish species and declining marine resources due to rising sea temperatures, the Korean government is continuously reducing the number of fishing vessels. It is reforming its fisheries regulation system, which was regulated by species and fishing method, into a Total Allowable Catch (TAC) system, fostering innovation in scientific resource management. At the same time, the government is developing a real-time coastal fishing ground environment monitoring system, expanding R&D for aquaculture technologies highly adaptable to climate change, and strengthening disaster preparedness for high water temperatures and management of fishing grounds vulnerable to disasters.

To prepare for coastal disasters such as sea level rise and typhoons, Korea is assessing coastal erosion risks and reinforcing disaster prevention facilities under the "Master Plan for Coastal Management Based on Climate Change." Since 2024, the "Smart Coastal Disaster Prevention System" has been introduced to low-lying ports and fishing villages highly vulnerable to flooding, strengthening prediction and response capabilities. Furthermore, the government is developing "Cyclic Adaptive Coastal Erosion Management Technology" to provide fundamental solutions to shoreline retreat, and has introduced "National Safety Beaches" to secure buffer zones in areas at high risk of coastal recession.



To address the accelerating ocean acidification driven by climate change, the Ministry of Oceans and Fisheries is expanding its long-term ocean acidification monitoring network and strengthening R&D on improving artificial hatchery technologies to protect shellfish resources. In addition, the Ministry continues efforts to conserve marine biodiversity and enhance ecosystem resilience by expanding Marine Protected Areas (MPAs). Starting in 2024, the Ministry has adopted the world's first fishing gear and buoy deposit-refund system to reduce marine pollution caused by discarded fishing gear and encourage voluntary collection.



글로벌 해양문제에 주도적인 역할을

바다는 전 세계와 연결되어 있어 바다의 문제는 어느 한 나라가 해결할 수 없고 세계가 협력해야만 진전을 이룰 수 있다. 이러한 점에 주목하여 우리 정부는 국제사회가 함께 기후문제와 해양문제를 해결하는 데 협력을 주도하고 있다. 2024년에는 제29차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP29)에 참가하여 녹색 해운 항로 구축, 블루카본 연구 및 정책 방향, 해양 기후변화 감시·예측 등에 대해 국제사회와 논의하며 협력 관계를 강화했다.

특히 2025년 부산에서 개최된 '제10차 아워 오션 콘퍼런스(Our Ocean Conference)'와 이어서 프랑스 니스에서 개최된 '제3차 UN 해양총회'를 통해 글로벌 해양 문제 해결에 대한 대한민국의 구체적인 행동과 약속을 국제사회에 촉구했다. 2028년 우리나라에서 '제4차 UN 해양총회'를 유치하여 기후변화와 연계한 글로벌 해양문제 해결에 주도적인 역할을 할 계획이다. 우리 정부의 기후변화 대응 정책은 바다를 기후위기의 피해자에서 적극적인 해결자로 재인식하는 데 주목하고 기술, 생태, 산업, 외교 등 다층적 분야를 아우르며, 글로벌 리더십까지 갖추기 위해 나아가고 있는 중이다.

Taking a Lead Role in Global Ocean Issues

The ocean is interconnected with the entire world, and no single country can solve its issues alone; progress can only be made through global cooperation. Recognizing this, the Korean government is leading international cooperation in addressing climate and ocean issues. In 2024, Korea participated in the 29th Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP29), strengthening cooperative relationships through discussions with the international community on issues such as the establishment of Green Shipping Corridors, the advancement of blue carbon research and policy directions, and the enhancement of marine climate change monitoring and prediction.

Korea demonstrated its concrete actions and commitments to tackle global ocean issues at the 10th Our Ocean Conference held in Busan in 2025, and at the subsequent 3rd UN Ocean Conference in Nice, France. The country plans to host the 4th UN Ocean Conference in 2028, strengthening its leadership in addressing global ocean issues linked to climate change. The Ministry of Oceans and Fisheries' climate change response policy emphasizes rediscovering the ocean not as a victim of the climate crisis, but as an active problem solver. This approach encompasses multiple fields, including technology, ecology, industry, and diplomacy, and is advancing toward global leadership.

SALT

소금

짠맛의 강도와 질감에 따라 요리의 맛을 살리기도 해치기도

수박에 소금을 살짝 뿌리는 이유, 솔티드 캐러멜이 사랑받는 이유를 아시는지. 단맛을 위해서 소금이 필요하다고? 단맛을 돋보이게 하는 건 단연 소금이기 때문이다. 베이킹에는 일정한 맛을 보장하는 정제염이나 구운 소금이 적합하다. 하지만 아이스크림이나 티라미수처럼 입안에서 부드럽게 녹는 디저트라면 얇고 큰 결정의 크리스털 소금을 추천한다. 짠맛과 단맛의 대비가 깊은 여운을 남기며, 바스락거리는 질감이 새로운 경험을 선사하기 때문이다. 이렇게나 다양한 소금의 세계라니!

Enhancing or Ruining a Dish with Its Flavor and Texture

Do you know why we sprinkle a little salt on watermelon, or why salted caramel is so beloved? Do we need salt for sweetness? It is definitely salt that brings out the sweetness. Refined or roasted salt is suitable for baking, to ensure a consistent flavor. But for desserts like ice cream or tiramisu that melt softly in the mouth, thin, large-crystal salt is recommended. The contrast between salty and sweet leaves a deep, lasting taste, and the crunchy texture offers a new experience. What a surprising world of salt!

홍신애 셰프, 국립휴양원 '수락 휴' 식음료 총괄
Shinae Hong Chef. Head of food and beverage for Surak Hue

소금, 단순한 짠맛이 아니다

소금은 단순히 짠맛을 내는 조연이 아니다. 어떤 소금을, 어떻게, 언제 사용하느냐에 따라 요리의 완성도가 달라진다. 소금을 '조미료'가 아닌 '풍부한 맛의 원천'으로 바라보자. 특히 완성도 높은 요리를 위해서는 소금을 다루는 기술이 필요하다. 흔히 '소금은 짠맛'이라고 하지만, 사실 소금은 감칠맛과 깊이감을 표현할 수 있는 거의 유일한 재료다. 풍미를 높이기 위해 넣는 MSG나 굴소스의 주성분도 결국 나트륨이다. 인간의 뇌는 소금 없이는 맛을 온전히 인지하지 못한다고 해도 과하지 않다.

원하는 맛을 내려면 먼저 소금을 이해해야 한다. 어떤 원료에서 채취했는지, 입자의 크기는 어떤지에 따라 소금은 완전히 다른 역할을 한다. 소금은 단순히 짠맛을 내는 재료가 아니라, 짠맛의 강도와 질감에 따라 요리의 맛을 살리기도 하고 해치기도 한다.

Salt: More Than Just a Salty Taste

Salt is not just a supporting ingredient that makes food salty. The kind of salt you use, and how and when you use it can change the completeness of a dish. It's time to view salt not as a mere "seasoning," but as a "source of rich flavor." Mastery of salt is especially important for creating truly exquisite dishes. While salt is often said to be "salty," it is actually the only ingredient capable of expressing savory taste and depth. Even MSG and oyster sauce, used to enhance flavor, are primarily composed of sodium. It is not an exaggeration to say that the human brain cannot fully perceive taste without salt.

To achieve the desired flavor, you must first understand salt. Depending on its source and the size of its crystals, salt can play completely different roles. It is not just an ingredient that makes food salty; its intensity and texture can either enhance or ruin the flavor of a dish.

ⓒ홍신애

염전에도 요리사의 섬세함을 닮은 소금 장인이 있다

전라남도 신안 증도. 끝없이 펼쳐진 소금밭은 마치 하얀 사막 같다. 햇살에 반짝이는 흰 땅과 수평선 너머의 푸른 하늘이 맞닿아 장관을 이룬다. 바로 염전이다. 오늘날 우리나라의 염전은 대부분 일제강점기 이후 본격적으로 조성됐다. 그전에는 전통 방식인 '자염'이 주로 사용됐다. 자염은 바닷물을 끓여 수분을 날린 뒤 소금을 얻는 방식이다. 흔히 바닷물을 자연 증발시켜 소금을 얻는 것이 오래된 전통처럼 생각되지만, 대규모 천일염 생산은 사실 근대 이후의 일이다.

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 천일염이 익숙하지만, 세계적으로 보면 천일염은 전체 소금 생산량의 극히 일부(약 10% 내외)에 불과하다. 대부분은 광산에서 캐는 암염이나 호수에서 채취한 호수염이다. 여기에 정제 및 가공 방식에 따라 소금은 나라별, 용도별로 다양하게 나뉜다.

Artisans of the Salt Farms: Masters of the Craft with a Chef's Delicacy

On Jeungdo Island, Sinan, Jeollanam-do, the endless salt fields stretch out like a white desert. The sunlit white ground meets the blue sky beyond the horizon, creating a splendor – this is the salt farm. Most of Korea's salt farms today were developed in earnest after the Japanese colonial period. Before that, the traditional method of "jayeom" was commonly used, which is a process of boiling seawater to evaporate the moisture and collect the salt. While the practice of naturally evaporating seawater to obtain salt is often thought of as a longstanding tradition, large-scale solar salt production actually began in the modern era.

Surrounded by the sea on three sides, Korea is familiar with solar salt. However, on a global scale, such salt accounts for only a small fraction around 10% of total salt production. Most salt is either rock salt from mines or lake salt harvested from salt lakes. Additionally, depending on refining and processing methods, salt is classified differently by country and intended use.



천일염은 바닷물을 햇볕에 말려 수분을 증발시키는 방식으로 얻는다. 원하는 입자 크기를 만들기 위해 건조 시간, 햇빛 노출량, 물리적 처리 과정을 조절한다. '간수 빼기'로 알려진 에이징 과정을 거치면 잡맛이 사라지고 부드러운 짠맛을 가진 소금이 된다. 함초 등 해양식물을 섞어 풍미를 더하기도 한다.

영국의 '몰던 소금' 역시 바다 소금이지만, 자염처럼 끓여 만드는 방식과 결정화 과정에서 차별성을 가지고 있다. 같은 염전에서 나온 소금이라도 가공 방식에 따라 완전히 다른 풍미로 변신할 수 있다. 염전에도 요리사의 섬세함을 닮은 소금 장인이 있는 이유다.

암염의 대표는 히말라야 핑크솔트다. 분홍빛은 철분(산화철) 때문인데, 이외에도 광물의 종류와 함량에 따라 파란빛의 블루솔트, 화산 활동으로 생긴 블랙 라바솔트 등 다양한 암염이 존재한다.

Solar salt is obtained by drying seawater under the sun to evaporate the moisture. The drying time, amount of sunlight, and physical processing are controlled to achieve the desired crystal size. After undergoing an aging process known as "bittern removal," off-flavors are eliminated, resulting in a salt with a smooth, mild saltiness. Marine plants such as hamcho(glasswort) are sometimes added to enrich the flavor.

The Maldon Salt of the UK is also a sea salt, but it differs in its boiling process and crystallization similar to jayeom (boild salt). Even salt from the same farm can develop entirely different flavors depending on how it is processed. This is why even salt farms have artisans with the precision of a chef.

The most well-known rock salt is Himalayan pink salt, whose pinkish tint comes from iron oxide. There are various other rock salts, such as blue salt, colored by the type and content of minerals, and black lava salt, formed through volcanic activity.



©홍신애



신안군 증도, 태평소금 농장

“8년 동안 간수를 뺀 귀한 소금이에요”, 토판염

많은 사람들이 셰프인 나는 실제로 어떤 소금을 쓰는지 궁금해한다. 운영하는 식당과 집 모두에 여러 종류의 소금이 구비돼 있지만, 가장 자주 쓰는 것은 두 가지 정도다.

우선 가장 많이 사용하는 건 8년 동안 간수를 뺀 토판염이다. 요즘 흔한 타일이나 장판처럼 빠르게 소금을 얻기 위해 새로 만든 바닥이 아니라, 흙바닥에서 채취한 소금이다. 덕분에 불순물을 빼는 과정이 더 오래 걸리지만, 미네랄 함량이 높아 많이 짜지 않고 뒷맛이 은근히 달다는 장점이 있다. 굵고 공기 함량이 많은 형태라 고기나 생선회를 찍어 먹는 용도로 쓰거나, 토마토소스·크림소스 등 소스를 만들 때도 자주 사용한다.

가장 매력적인 활용법은 완성된 요리 위에 보이도록 뿌리는 것. 하얀 보석처럼 빛나는 소금이 요리에 색과 질감을 더한다. 예를 들어 생선구이나 스테이크를 낼 때 먹기 직전에 소금을 얹으면 맛의 상상력을 자극한다. 여기에 “8년 동안 간수를 뺀 귀한 소금이에요. 입안에서 같이 씹히는 맛이 최고랍니다”라는 한마디를 더하면, 그 맛은 배가된다.

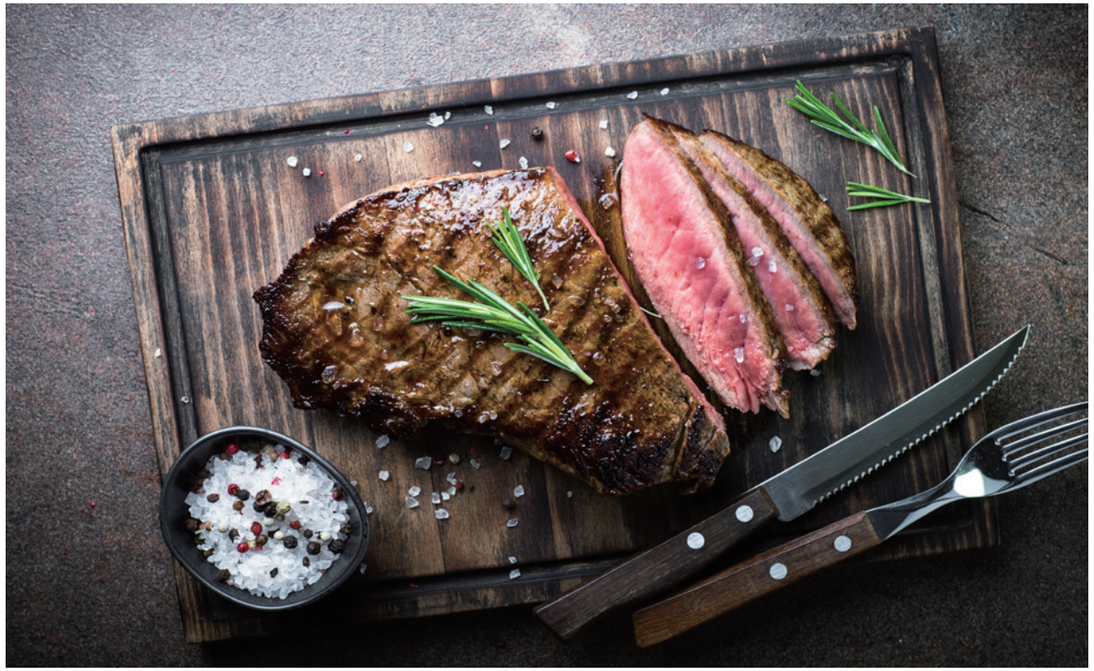
“This is precious salt that has been aged for eight years to remove bittern” - Topanyeom

Many people ask me, as a chef, what kind of salt I actually use. I keep a variety of salts both at my restaurant and at home, but there are two kinds I use most often.

The salt I use most often is Topanyeom, aged for eight years to remove the bittern. Unlike newly constructed surfaces like tiles or vinyl commonly used for quick production, this salt is harvested from the natural clay floors. This makes the process of removing impurities longer, but it has the advantage of retaining a high mineral content, giving a taste not too salty, and a subtly sweet aftertaste. Its coarse, airy texture makes it ideal for dipping meat or raw fish, as well as for making sauces such as tomato or cream sauces.

The most appealing way to use it is to sprinkle it visibly over a finished dish. The white, jewel-like brine adds color and texture to the dish. For example, adding the salt just before serving grilled fish or steak will stimulate the diner’s imagination of taste. Adding a few words like, “This is a precious salt that has had the bittern removed for eight years. The crystals are wonderful to chew,” enhances the taste.







ⓒ홍신애



ⓒ홍신애



ⓒ홍신애

은은한 단맛과 복합적인 감칠맛, 함초소금

일상 요리에 가장 많이 사용하는 건 함초소금이다. 함초는 염전에서 자라는 식물로, 어느 정도의 염도를 가진다. 이를 말려서 갈면 함초소금이 되는데, 입자가 곱고 진한 회색빛을 띤다. 식물에서 온 성분들이 더해져 짠맛뿐 아니라 은은한 단맛과 복합적인 감칠맛이 있다. 그래서 소금으로 간을 완성하는 시금치나물, 감자볶음, 콩나물 같은 요리에는 무조건 사용한다. 특히 함초소금이 빛나는 순간은 '감자샐러드'다. 감자를 삶을 때부터 물에 함초소금과 버터를 함께 넣어 요리하면, 감자는 삶아지는 순간부터 은은한 감칠맛을 머금는다. 이렇게 삶은 감자는 당연히 맛의 깊이가 남다르다.

반면 콩나물이나 숙주나물은 다르다. 삶을 때 소금을 넣으면 재료가 가진 수분이 너무 빨리 빠져 질겨지고 맛이 없어진다. 콩나물의 경우 데칠 때 소금을 넣으면 수용성 맛 성분이 국물로 빠져나가, 나물은 아무 맛도 없고 데친 물만 맛있어질 수 있다. 이런 수분 많은 채소나 나물은 소금을 마지막에 넣어야 본연의 맛을 보존할 수 있다. 이때는 재료에 스며들기 좋은 고운 입자의 함초소금이 제격이다.

Subtle Sweetness and Complex Savory Flavor, Hamcho Salt

The salt I use most in everyday cooking is hamcho salt. Hamcho is a plant that grows around salt farms and has a certain degree of salinity. When dried and ground, it becomes hamcho salt, fine and deep grayish. The plant's components gives not just the saltiness but also a delicate sweetness and a complex savory flavor. That is why I always use it for dishes like seasoned spinach, stir-fried potatoes, and bean sprouts that are seasoned with salt. The moment when hamcho salt truly shines is in potato salad. Add hamcho salt and butter to the water for boiling potatoes. As the potatoes cook, they will absorb the gentle savor and result in an exceptional depth of flavor.

On the other hand, it is different for bean sprouts and mung bean sprouts. Adding salt while boiling makes them lose moisture too quickly, resulting in a tough texture and bland taste. For bean sprouts, salting the water during blanching can draw out water-soluble flavor compounds into the broth, leaving the sprouts tasteless and only the water to taste good. For moisture-rich vegetables and greens like these, salt should be added at the very end to preserve their natural taste. Fine-grained hamcho salt works best here, as it seeps into the ingredients.

소금 무덤법

가끔 소금구이를 즐기기도 한다. 대하철이 되거나 조개를 굽는다면 다량의 소금이 필요하다. 소금을 좋은 조리 도구처럼 활용하는 방식이라, 이때는 가성비 좋은 꽃소금을 쓴다. 특히 생선을 통째로 굽거나 닭·오리를 촉촉하게 굽기 위해 '소금 무덤법'을 쓴다. 커다란 오븐용 그릇에 소금을 깔고 재료를 올린 뒤, 소금으로 완전히 덮어 꾹꾹 눌러준다. 그리고 200℃ 오븐에서 한두 시간 굽는다. 소금이 뚜껑 역할을 하여 내부 수분이 대류하면서 잡내 없이 촉촉한 구이가 완성된다. 먹기 직전, 커다란 소금 껍질을 깨고 드러나는 재료를 보는 순간도 맛의 일부다. 자연스러운 간 배임은 덤이다. 이제 소금구이를 할 때 바닥에만 깔지 말고, 무덤처럼 묻어 굽는 방법을 시도해보길 추천한다.

Salt-burial Technique

I enjoy salt–roasted dishes every now and then. When the prawn season comes or for grilling clams, you'll need a large amount of salt. This method uses salt like a cooking tool, so I use cost–effective table salt. I especially use the "salt burial" technique to roast a whole fish, chicken or duck so they remain juicy. Spread a layer of salt in a large oven dish, place the ingredient on top, and then cover it completely with more salt, pressing down firmly. Bake in a 200℃ oven for an hour or two. The salt acts as a lid, circulating internal moisture and cooking a juicy dish without any off–flavors. The moment when you crack open the large salt crust just before eating, revealing the dish inside, becomes part of the entire experience. The natural seasoning that seeps in is a bonus. I recommend burying your ingredients instead of just lining the bottom with salt when you try salt–roasting.



ⓒ홍신애

유명 셰프는 왜 몰던 소금을 사용하는가

Why Do Top Chefs Choose It

영국 에식스주의 작은 해안 마을 몰던(Maldon). 런던에서 멀지 않은 블랙워터강 하구는 민물과 바닷물이 만나는 기수(汽水) 환경이다. 평평하게 드러나는 염습지, 건조하고 강한 바람, 낮은 강우량은 소금 생산에 최적의 조건이다. 이 때문에 몰던은 오랜 세월 소금 산지로 명성을 이어왔다.

Maldon, a small coastal town in Essex, England. The Blackwater Estuary, not far from London, has a brackish environment where fresh and sea water meet. Its flat salt marshes, dry, strong winds, and low rainfall create ideal conditions for salt production. This is why Maldon has long enjoyed a reputation for its salt.

서종석 MSC 해양관리협의회 한국 대표. 부경대학교 해양수산경영경제학부 겸임교수
Jongseok (Mark) Seo Korea Program Director at Marine Stewardship Council, Adjunct Professor in Marine and Fisheries Business and Economics at Pukyong National University

블랙워터강 하구에서 피어난 하얀 결정 그리고 오즈번 가문

1086년 잉글랜드의 토지조사서에는 이미 에식스 해안을 따라 수많은 소금가마와 염전이 존재했다고 기록되어 있다. 그러나 그 뿌리는 훨씬 더 깊다. 2000년 전 로마인이 염수를 모으기 위해 만든 웅덩이(Brine Pit)와 납으로 된 소금가마(Salt Pan)가 이 지역에서 발굴된 것이다. 몰던은 수천 년 동안 소금을 품어온 땅이었던 셈이다.

몰던 제염소의 역사는 1882년에 시작된다. 회사를 설립한 창업주는 따로 있었으나, 지난 150여 년 동안 회사를 지켜내고 지금의 세계적 브랜드로 키운 것은 오즈번(Osborn) 가문이다. 특히 현재 회사를 이끄는 스티브 오즈번의 이야기는 흥미롭다. 그는 20대 시절 런던에서 금융인으로 일했으나 젊은 나이에 고향으로 돌아와 가업을 이었다. 아버지 클라이브 역시 한때 런던에서 세일즈맨으로 일했기에,

White Crystals from the Blackwater Estuary and the Osborne Family

The 1086 Domesday Book of England already recorded numerous salt pans and salterns along the Essex coast. Yet, their roots go even deeper. Brine pits and lead salt pans, created by the Romans nearly 2,000 years ago to collect seawater for salt, have been excavated in the area. Maldon has been a land bearing salt for millennia.

The history of the Maldon Salt Works begins in 1882. Although the company was founded by someone else, it is the Osborn family that has maintained it for over 150 years and developed it into the global brand it is today.

The story of Steve Osborne, who currently leads the company, is particularly intriguing. He worked as a financier in London in his twenties but returned to his hometown at a young age to continue the family business. His father, Clive, had once worked as a salesman in London, making father and son's choices similar. After Steve took over, the number of salt pans increased from just three to forty-five. His bold expansion and modern sensibility have brought a new leap forward to the Maldon salt business.



오즈번 부자가 소금가마에서 채염하는 모습. https://maldonsalt.com





1882년 해안마을 몰던에서 만들기 시작한 소금



부자의 선택은 닮은꼴이었다. 스티브가 경영을 맡은 뒤 단 세 개뿐이던 소금가마는 45개로 늘어났다. 그의 과감한 확장과 현대적 감각은 몰던 소금 사업에 새로운 도약을 가져왔다.

하얀 피라미드, 몰던 소금의 비밀

몰던 소금은 자연의 리듬에 따라 생산된다. 강우량이 적은 봄철, 블랙워터강 한가운데 바지선을 띄워 약 4주간 바닷물을 퍼 올린다. 이때 염도가 높고 불순물이 적은 중간 수심에서 채취가 이루어진다. 이후 바닷물은 여섯 개의 침전조와 여과 과정을 거쳐 최종적으로 소금가마로 옮겨진다.

정제된 바닷물은 전통적인 강철판 소금가마에서 가열된다. 한 변이 2.75m, 깊이 30cm 남짓한 정사각형 강철판을 달구면 바닷물이 천천히 증발한다. 과거에는 석탄을 연료로 사용했으나, 클라이브 오즈번이 천연가스로 전환하면서 효율과 친환경성을 동시에 높였다. 가마의 불은 세밀하게 조절되며, 소금이 충분히 농축되면 온도를 천천히 낮춘다. 마침내 피라미드 모양의 소금 결정체가 형성되면 작업자들이 특수 제작된 갈퀴로 긁어낸다.

이후 24시간 동안 건조 과정을 거치면 제품이 완성된다. 흥미로운 점은 운반과 포장 과정에서 결정이 부서지며, 이것이 몰던 소금 특유의 바삭한 플레이크 식감을 만들어낸다는 것이다. 모든 과정은 여전히 수작업으로 이루어지며, 이는 몰던 소금의 정체성이기도 하다.



몰던 소금의 결정

The White Pyramids: The Secret of Maldon Salt

Maldon salt is produced according to nature's rhythm. In spring with little rainfall, barges are floated into the center of the Blackwater Estuary to collect seawater for around four weeks. The water is drawn from mid-depth, where the salinity is high and impurities low. The seawater then passes through six settling tanks and filtration processes before finally being transported to the salt pans.

The refined seawater is heated in traditional steel-plate salt pans. When the square pans, each measuring about 2.75 meters on a side and about 30 centimeters deep, are heated, the seawater slowly evaporates. Coal was used as fuel in the past, but Clive Osborne switched to natural gas, improving both efficiency and eco-friendliness. The pans' heat is carefully controlled, and once the salt is concentrated enough, the temperature is gradually lowered. Finally, pyramid-shaped salt crystals form, which workers scrape out with specially designed rakes.

After a 24-hour drying process, the salt is ready. Interestingly, the crystals break during transport and packaging, creating the distinctive crispy flake texture that Maldon salt is known for. The entire process remains handcrafted, a defining feature of Maldon salt.

세계가 사랑한 바삭한 플레이크

몰던 소금의 진정한 매력은 그 형태와 맛이다. 역피라미드 모양의 플레이크는 입안에서 가볍게 바스러지고, 짠맛은 섬세하고 부드럽다. 칼슘, 마그네슘, 칼륨 같은 바다 미네랄이 그대로 남아 있어 풍미 또한 자연스럽다. 특히 요리의 마무리 소금으로 사랑받는다. 육즙이 살아 있는 스테이크나 고르게 구운 생선 위에 뿌리면 맛의 깊이가 배가되고, 한우구이와도 탁월한 조화를 이룬다.

이 소금은 셰프들의 '비밀 무기'로 자리 잡았다. 최근 고든 램지(Gordon Ramsay)가 언급하며 다시 주목받았지만, 그 시작은 훨씬 이전이다. 루스 로저스(Ruth Rogers), 델리아 스미스(Delia Smith), 제이미 올리버(Jamie Oliver) 같은 영국의 스타 셰프들은 이미 1990년대부터 몰던 소금의

Crispy Flakes Loved Worldwide

The true charm of Maldon salt lies in its shape and flavor. The inverted pyramid–shaped flakes crumble lightly in the mouth, and the saltiness is delicate and mild. Sea minerals like calcium, magnesium, and potassium remain intact, resulting in a natural flavor. It is especially cherished as a finishing salt for dishes. Sprinkled over a juicy steak or evenly grilled fish, it deepens the flavor, and pairs exceptionally well with grilled Hanwoo beef.

Maldon salt has become a "secret weapon" for chefs. It recently gained attention again after Gordon Ramsay mentioned it, but its origins go back much further. British



가치를 알아보았다. 특히 제이미 올리버는 내가 몸담고 있는 MSC(Marine Stewardship Council, 해양관리협의회)와 협력해 지속 가능한 수산물을 널리 알리며, 몰던 소금의 세계적 인지도 확산에도 기여했다. 이후 몰던 소금은 스페인, 미국을 비롯한 세계무대에서 빠르게 입소문을 탔다. 스페인에서는 1996년 셰프 페란 아드리아(Ferran Adrià)가 소개하며 큰 인기를 끌었고, 미국에서는 까다로운 음식 비평가와 할리우드 배우에게까지 지지를 얻었다. 캐머런 디아즈는 가방에 몰던 소금을 넣고 다녔으며, 귀네스 팰트로는 자신의 라이프스타일 브랜드 '구프(Goop)'에서 극찬했다.

star chefs like Ruth Rogers, Delia Smith, and Jamie Oliver recognized the value of Maldon salt as early as the 1990s. Jamie Oliver, in particular, collaborated with the Marine Stewardship Council (MSC), where I work, to promote sustainable seafood, contributing to the global recognition of Maldon salt. Since then, Maldon salt has quickly gained recognition around the world, including in Spain and the United States. In Spain, the salt garnered immense popularity in 1996 when chef Ferran Adrià introduced it. In the U.S., it won the favor of discerning food critics and even Hollywood stars. Cameron Diaz was known to carry Maldon salt in her bag, and Gwyneth Paltrow praised it on her lifestyle brand, Goop.



기업가 정신 그리고 지속 가능성

스티브 오즈번의 경영은 단순한 생산 확대에 머물지 않았다. 포장 디자인을 세련되게 바꾸고, 마케팅 전략을 젊은 셰프들과 음식 인플루언서 중심으로 재편하며 미국을 포함한 글로벌 시장에서 폭발적인 성장을 이끌었다. 현재 연간 생산량은 약 3000톤, 1000만 상자에 이르며, 그중 60%가 50여 개국으로 수출된다.

그러나 스티브는 거대한 투자자의 러브콜에도 독립성을 지켰다. 그는 "몰던은 투자자의 수보다 자연의 시간에 따라야 한다"라고 말한다. 이러한 철학 속에서 몰던은 '맛의 완성'을 넘어 환경적 책임과 지속 가능성을 기업 문화의 핵심으로 삼고 있다. 이미 매립 폐기물 제로(Zero Waste to Landfill)를 달성했고, 2050년까지 탄소 순배출량 제로(Net-Zero)를 목표로 하고 있다. 또한 플라스틱 포장재 사용을 자발적으로 줄이며, 소금 한 상자가 판매될 때마다 세계토지신탁(World Land Trust)에 기부해 멸종 위기 서식지와 야생동물을 보호한다. 지역사회의 생물다양성 보전 역시 중요한 과제로 삼고 있다. 이렇게 몰던 마을에서 태어난 하얀 결정들은 오늘도 지속 가능성이라는 가치를 담아 전 세계 미식가들의 식탁에 오른다.

Entrepreneurship and Sustainability

Steve Osborne's management went beyond simply expanding production. He refined the packaging design and reestablished marketing strategies to focus on young chefs and food influencers, leading to explosive growth in global markets, including the U.S. Today, Maldon's annual production reaches approximately 3,000 tons, or 10 million boxes, with 60% exported to more than 50 countries.

However, Steve maintained the company's independence despite numerous offers from major investors. He says, "Maldon should adhere to natural processes, rather than prioritizing the number of investors." Under this philosophy, Maldon goes beyond pursuing "the perfect taste" and places environmental responsibility and sustainability at the core of its corporate culture. The company has already achieved Zero Waste to Landfill and aims for Net-Zero carbon emissions by 2050. It also voluntarily reduces plastic packaging and donates to the World Land Trust with every box of salt sold to help protect endangered habitats and wildlife. Conserving local biodiversity is another key priority. These white crystals born in the village of Maldon continue to grace the tables of gourmets around the world, embodying the value of sustainability.

salt flat

세 상 에 서
가 장
아 름 다 운
염 전

The most beautiful salt flat in the world





Guérande, France

프랑스 게랑드







Bolivia Uyuni

볼리비아 우유니





Salineras de Maras Peru

페루 살리네라스데마라스




포르투갈 알가르브
Algarve
Portugal





Kutch, Gujarat India

인도 구자라트 쿠치



Lac Rose
Senegal

세네갈 락로즈



jeonnam jeungdo
korea

한국 전남 증도



우리는 소금을 기억하고, 소금쟁이라 부르던 염부를 소환하며, 사라져가는 소금밭을 호출하는 중이다

We remember salt, recall the salt workers once called yeombu, and summon the vanishing salt fields

을씨년스러움이 온통 폐허의 소금밭을 뒤덮고 있다. 수인선 철길이 끊긴 지 오래되어 잡초만 무성하다. 염부들이 떠난 폐염전이 고즈넉하다 못해 음산하기까지 하다. 경인 지방의 대표 명물이었던 소래염전의 소금창고가 연출하는 풍경이다.

무너져 내린 소금창고만이 얼마 전까지 소금을 만들었던 노동의 역사, 염부의 역사를 말해줄 뿐이다. 남아 있던 소금창고마저 골프장을 만든다며 모두 부숴버렸고, 한 동만이 남았을 뿐이다. 아파트가 들어서면서, 태양광발전소가 들어서면서, 너른 소금밭은 속속 환금 대지로 변해가는 중이다.

염습지 소금밭에는 갈대가 우거져 있고, 어디서 나타났는지 고라니 한 마리가 갈대 속으로 몸을 낮춘다. 염판에 깔던 옹기편만이 햇빛에 반짝거리며 화려했던 옛 시절을 말해준다. 소금창고는 생존에 없어서는 안 되는 보석 같은 백색의 결정체를 보관하는 중요한 공간이었다. 한때 소금은 전매품으로 귀중하게 취급되어 창고에 단단히 보관되었다.

A gloomy air hangs over the ruined salt fields. The Suin railway line has long been cut off, leaving only overgrown weeds. The abandoned salt farms, now deserted by the workers, are so silent they almost seem eerie. This scene is created by the salt warehouses of the Sorae Salt Field, once a proud landmark of the Gyeongin region.

Only the collapsed salt warehouses remain to tell the story of the labor of salt production, the history of the salt workers. The remaining salt warehouses were torn down to make way for a golf course, leaving just one. The construction of apartment complexes and solar power plants are rapidly converting the vast salt fields into land for profit.

Reeds grow thick across the salt marshes, and a water deer, appearing from nowhere, lowers its body. Only the shards of pottery once used to line the salt pans, glittering in the sunlight, speak of the glorious days. The salt warehouses were vital spaces storing the jewel-like white crystals essential for survival. Salt was once a government monopoly, securely garded in these warehouses.

편집부
Editor



©Archive–JOO

한국에서 제일 먼저 도입된 천일염은 인천의 주안염전에서 시작되었다. 1907년 일본 대장성에서 인천의 주안에 중국인 기술자를 고용하여 시험용 염전(1정보)을 만들고, 부산 동래에는 시험용으로 전통 소금인 전오염(졸여낸 소금) 염전을 설치한다. 주안의 성적표는 비교적 우수했으며, 그 결과에 따라 대대적으로 염전 건설에 나섰다. 남쪽보다는 평안도에서 가장 먼저 천일염이 시작되었다. 이렇게 북쪽에서 시작된 염전이 남쪽으로 내려와 충청도 태안반도의 염전을 거쳐서 마침내 호남의 신안염전까지 이르렀다.

The first solar salt production in Korea began an the Juan Salt Fields in Incheon. In 1907, the Japanese Ministry of Finance hired Chinese technicians to build a trial salt farm about one jeongbo (approximately 2.5 acres) in Juan, and another test site producing traditional Jeonoyeom (boiled salt) was established in Dongrae, Busan. The Juan farm performed relatively well, and the success led to a large-scale construction of salt farms. Solar salt production first began in Pyeongan-do, rather than in the south. From there, the salt farms in the north spread southward, through the salt fields of the Taean Peninsula in Chungcheong-do and eventually reached the salt farms of Sinan in Honam.

소금창고는 글자 그대로 소금을 보관하는 창고다. 겉으로는 허름해 보이지만 목재가 소금에 절여져서 단단한 목질로 변했다. 염전밭에 외롭게 서 있는 소금창고는 그 자체로 경관의 미학을 연출한다.

우리는 소금을 기억하고, 소금쟁이라 부르던 염부를 소환하며, 사라져가는 소금밭을 호출하는 중이다. 그 건축적 징표로서 소금창고는 어느덧 근대 문화유산이 되었다. '어제 같은 옛날'의 한 상징으로 우리 기억 속에 남아 있다.

A salt warehouse is literally a place for storing salt. Though it may look shabby on the outside, its wooden frame has been soaked in salt over time, turning into a sturdy, solid substance. Standing solitary amid the salt fields, the warehouse itself creates a beautiful landscape.

We remember salt, recall the salt workers once called yeombu, and summon the vanishing salt fields. As architectural marks, the salt warehouses have now become a modern cultural heritage. They linger in our memories as symbols of "the old days that feel like yesterday."



©Archive–JOO

SPACE

스페이스

어쩌면 우주의 바다는 아주 흔한 존재일지도

달 표면에는 '고요의 바다'가 있다. 인류가 지구를 떠나서 처음으로 찾아간 천체는 달이었다. 인간을 태운 미국의 유인 달 탐사선 아폴로 11호가 착륙한 곳이 바로 달 표면의 '고요의 바다' 지역이었다.

Perhaps oceans are quite common in the universe

There is a "Sea of Tranquility" on the Moon's surface. The first celestial body humans visited beyond Earth was the Moon. Apollo 11, the U.S. manned lunar mission, landed in the region known as "Sea of Tranquility" on the planet's surface.

이명현 천문학자. 과학콘텐츠그룹 갈다 대표
Myung Hyun Rhee Astronomer and CEO of Science Content Group Galda

달에 바다가 있고, 외계인이 살고 있었으면

닐 암스트롱과 버즈 올드린이 인류 역사상 처음으로 다른 천체에 발자국을 남겼다. 아폴로 11호가 착륙한 지역에 '고요의 바다'라는 이름이 붙은 것은 17세기 유럽의 천문학자들이 망원경을 사용해 달 표면을 본격적으로 관측하면서부터라고 알려져 있다. 이 지역은 검고 평평하고 넓게 퍼져 있는데, 마치 지구의 바다를 연상시킨다고 해서 '고요의 바다'라는 이름이 붙여졌다. 물론 그곳에는 바다가 없다. 달에는 대기가 없고 표면을 흐르는 바다도 존재하지 않는다. 현무암이 흘러서 검게 보이는 편평한 지역을 천문학자들은 바다라고 불렀다. 달에 바다가 존재하고 외계인이 살고 있었으면 하는 바람의 투영이었을지도 모른다.

If There Was Oceans on the Moon and Aliens Lived There

Neil Armstrong and Buzz Aldrin became the first humans in history to leave footprints on another celestial body. The area where Apollo 11 landed was named the "Sea of Tranquility," which dates back to the 17th century, when European astronomers began using telescopes to observe the Moon's surface in earnest. The region appeared dark, flat, and expansive, reminiscent of Earth's oceans, hence the name. Of course, there is no actual sea there. The moon has no atmosphere, and there are no water flowing on its surface. Astronomers called the flat, dark areas, formed by basalt flows, the "seas." Perhaps it may have been a reflection of the wish that the Moon might have seas and maybe even extraterrestrial life.



화성

금성과 화성에도 바다가 있을까

우주 탐사 기술이 발달하면서 태양계 내의 천체를 더 자세히 관측할 수 있게 되었고, 우주탐사선도 보내기 시작했다. 태양에 가장 가까운 행성인 수성은 달과 비슷한 천체다. 대기가 없고 바다도 없다. 질량과 크기가 작아서 대기를 붙잡아두거나 표면에 바다를 품고 있기에는 역부족으로 보인다.

태양에서 두 번째로 가까운 행성인 금성은 질량과 크기가 지구와 비슷하다. 외계인 천문학자들이 태양계를 관측한다면 지구와 금성을 쌍둥이 행성이라고 부를지도 모른다. 금성은 이산화탄소로 이루어진 두꺼운 대기에 휩싸여 있다. 온실효과가 작동해서 금성의 표면은 470℃에 이른다. 액체 상태의 바다가 표면에 존재할 수 없는 조건이다.

태양계의 다음 행성은 우리가 살고 있는 지구다. 표면에 액체 상태의 물로 이루어진 바다가 존재한다. 액체 상태의 물은 생명체의 탄생 및 번성과 관련이 깊다. 지구 밖 다른 천체에서 외계 생명체를 찾고 있는 과학자들에게 액체 상태의 물은 곧 생명이 존재할 수 있는 필요조건 중 하나다. 과학자들이 다른 천체에서 물을 찾는 데 열심인 이유가 여기에 있다.



화성의 빅 스카이 착륙 지점에 있는 탐사선 큐리오시티

Could There Be Oceans on Venus or Mars?

With advances in space exploration technology, we have been able to observe celestial bodies within our solar system in greater detail, and even send space probes. Mercury, the closest planet to the Sun, is similar to the Moon. It has no atmosphere or oceans. Its small mass and size make it insufficient to hold an atmosphere or sustain oceans on its surface.

Venus, the second planet from the Sun, is similar in mass and size to Earth. If alien astronomers were observing our solar system, they might call Earth and Venus twin planets. Venus is enveloped in a thick atmosphere composed of carbon dioxide. The greenhouse effect causes its surface temperatures to reach about 470°C, making it impossible for a liquid ocean to exist on its surface.

The next planet in our solar system is Earth, the planet we live on. Its surface contains oceans of liquid water. Liquid water is deeply connected to the origin and flourishing of life. For scientists searching for extraterrestrial life on other celestial bodies beyond earth, liquid water is one of the prerequisites for life to exist. This is why scientists are so eager to find water on other celestial bodies.

If a planet is too close to the Sun, it becomes too hot for liquid water to exist on its surface. If it is too far away, the temperature drops too low for water to remain liquid. The region on a planet's surface that has the conditions for liquid water, or oceans, to exist is called the "habitable zone." It must

태양에서 너무 가까우면 뜨거워서 행성의 표면에 액체 상태의 물이 존재하기 힘들다. 너무 멀면 온도가 낮아서 역시 액체 상태의 물이 행성 표면에 존재하기 어렵다. 행성 표면에 액체 상태의 물, 즉 바다가 존재할 수 있는 조건을 갖춘 지역을 '거주 가능 지역'이라고 한다. 태양으로부터 적당한 거리에 떨어져 있어야 할 것이다. 태양계 내 거주 가능 지역은 계산법에 따라서 약간 다르기는 하지만 금성과 지구와 화성을 포함하는 지역에 걸쳐 있다.

거주 가능 지역에 속한 금성은 두꺼운 대기 때문에 너무 뜨거워서 표면에 바다를 형성하지 못했다. 화성의 표면에는 한때 액체 상태의 물이 흘렀을 것으로 생각된다. 하지만 다른 천체와 충돌한 여파로 대기의 일부가 날아가 버렸고 바다의 물도 그때 말라버린 것으로 추정된다. 화성 표면의 거대한 매리너 협곡은 한때 물이 흘렀던 흔적이다. 지금까지의 관측 결과에 따르면 화성의 지하에는 액체 상태의 물이 존재할 가능성이 높다. 바다를 형성하고 있는지는 분명하지 않다.

지구 밖에서 액체 상태의 물이 발견된 곳

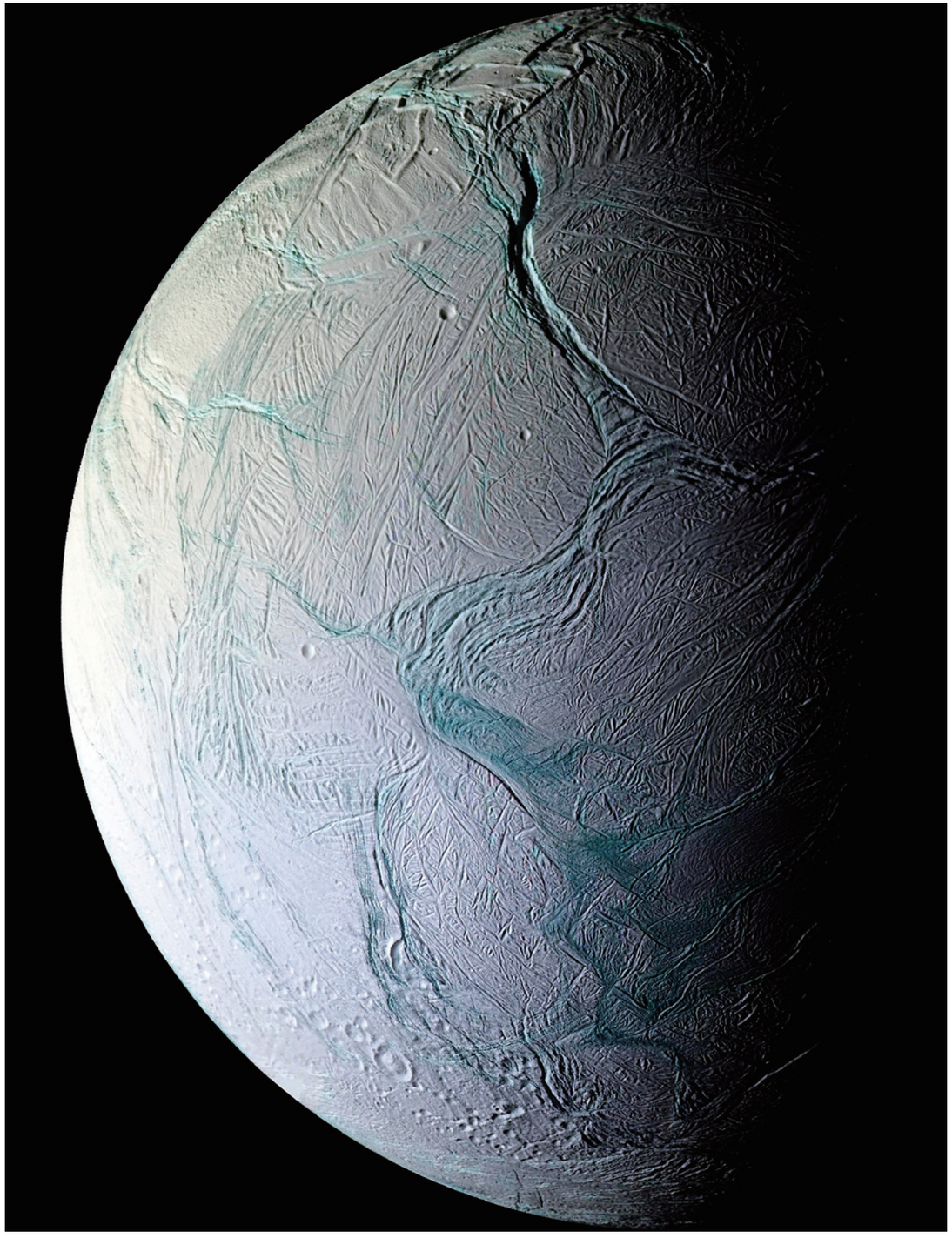
지구 밖에서 액체 상태의 물이 처음 발견된 곳은 토성의 위성인 엔켈라두스(Enceladus)의 표면이다. 엔켈라두스의 표면은 두꺼운 얼음으로 덮여 있다. 토성 탐사선 카시니는 2005년 엔켈라두스의 남극 지역에서 분출되는 물이 풍부한 수증기 기둥을 발견했다. 지구 밖에서 액체 상태의 물을 발견한 최초의 사건이었다. 물론 우주 공간으로 나온 물은 바로 얼어버렸다. 엔켈라두스의 남극 근처의 화산은 초당 약 200kg에 달하는 수증기, 수소 분자, 염화나트륨 결정 및 얼음 입자를 우주로 뿜어내고 있다. 마치 지구의 간헐천 같은 모습이다. 100개가

be located at an appropriate distance from the Sun. The habitable zone within our solar system roughly spans Venus, Earth, and Mars, although the boundaries vary depending on the calculation method.

Venus, located within the habitable zone, is far too hot due to its thick atmosphere to form oceans on its surface. Mars is believed to have had liquid water once flowing on its surface. However, the aftermath of a collision with another celestial body likely blew away part of its atmosphere, and the oceans probably evaporated at the time. The vast Valles Marineries, or Mariner Valley, on the Martian surface is the trace to this once-flowing water. Current observations suggest that liquid water may exist underground on Mars, though it remains unclear whether it formed an ocean.

Where Liquid Water Was Discovered Outside Earth

Liquid water was first discovered outside Earth on the surface of Enceladus, a moon of Saturn. Enceladus' surface is covered in thick ice. In 2005, the Cassini spacecraft discovered a water-rich plume erupting from its south pole, marking the first discovery of liquid water beyond Earth. Of course, the water that was released into space would have frozen immediately. Volcanoes near Enceladus' south pole eject water vapor, hydrogen molecules, sodium chloride crystals, and ice particles into space at a rate of about 200 kilograms per second, much like geysers on Earth. More than 100 geysers have been identified.



엔켈라두스

넘는 간헐천이 발견됐다. 엔켈라두스의 표면은 두꺼운 얼음으로 덮여 있지만 토성의 조석력 때문에 내부에는 열이 발생해서 액체 상태의 물이 흐르는 지하 바다가 존재하는 것으로 추정된다. 그 일부가 표면을 뚫고 나온 것이다.

목성의 위성인 유로파도 바다를 가지고 있다고 알려졌다. 우주탐사선 보이저와 갈릴레오가 관측한 데이터를 분석한 결과 단단하고 두꺼운 유로파의 표면 아래 액체 상태의 물로 가득한 바다가 존재하는 것으로 추정된다. 지구의 바다와 비슷한 염분을 포함하고 있을 가능성이 높다. 유로파의 지하 바다의 부피는 지구 바다 부피의 두세 배에 이르는 것으로 추정된다. 모행성인 목성의 조석력 때문에 내부에서 열이 발생하고 그 열에 의해 액체 상태의 물이 바다를 이루었을 것이다.

유로파에 지하 바다가 있는지 확인하기 위해서 우주탐사선 유로파 클리퍼가 2024년 10월 14일에 발사됐다. 2030년 4월 유로파 근처 궤도에 도달할 예정이다. 유로파의 지하에 액체 상태의 물이 있는지, 생명체의 흔적인 유기화합물이 있는지를 조사하고 에너지원을 탐색하는 것이 유로파 클리퍼의 임무다. 2025년 이후 발사될 예정인 유로파 착륙선의 착륙 지점을 확정하기 위한 데이터를 확보하는 것도 유로파 클리퍼의 목표 중 하나다. 유로파 클리퍼와 유로파 착륙선이 임무를 충실하게 수행한다면 유로파 지하의 바다에 대한 많은 정보를 얻을 수 있을 것이다. 유로파 클리퍼는 역시 지하에 바다가 있을 것으로 추정되는 목성의 다른 위성인 가니메데와 칼리스토도 관측할 예정이다.

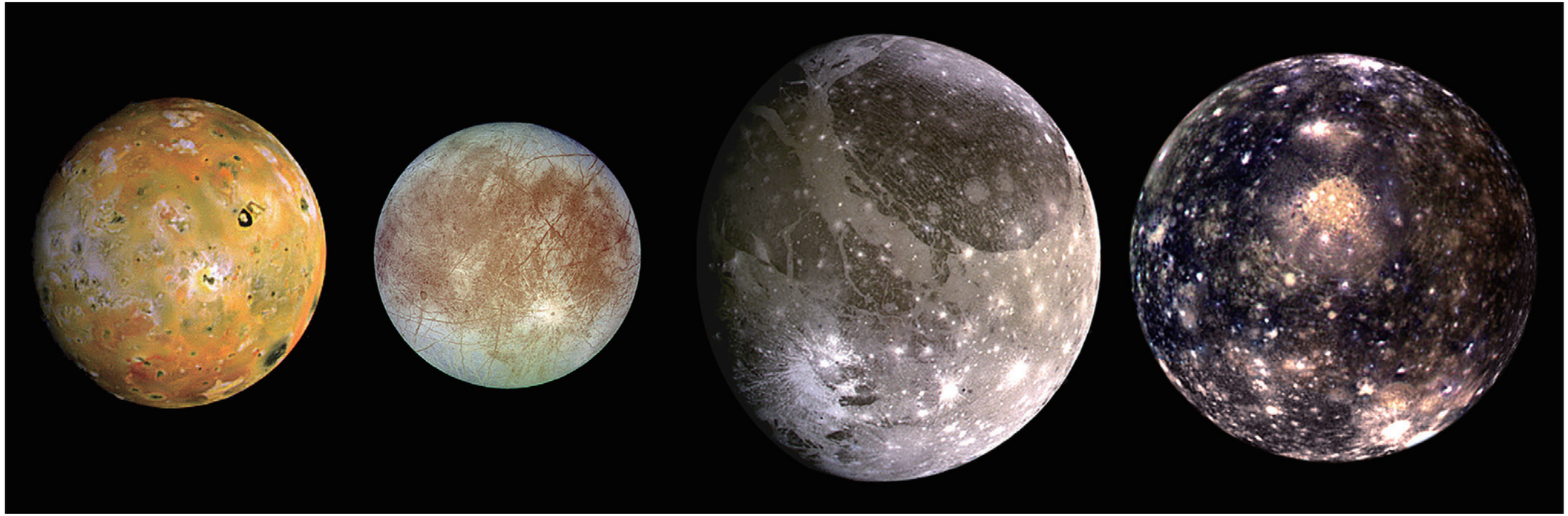
토성의 위성인 타이탄의 표면에는 액체 상태의 물이 아닌 액체 상태의 메탄이 호수와 바다를 이루고 있는 것으로 관측됐다. 목성의 위성 이오에는 용암이 흐르는 바다가 존재할 가능성이 높다. 태양계 내의 천체에는 액체 상태의 물로 존재하는 바다를 비롯해서 다른 형태의 유체가 흐르는 바다도 존재할 가능성이 높아 보인다.

Although Enceladus' surface is covered with thick ice, Saturn's tidal forces generate heat within, suggesting an underground ocean of liquid water. Some of this water has broken through the surface.

Jupiter's moon Europa is also known to have an ocean. Analysis of data observed by the Voyager and Galileo spacecraft suggests that an ocean of liquid water exists beneath Europa's solid, thick surface. It likely contains salinity similar to Earth's oceans. The volume of Europa's subsurface ocean is estimated to be two to three times that of Earth's oceans. Tidal forces of its parent planet, Jupiter, likely generated internal heat, which then formed the liquid water ocean.

The Europa Clipper spacecraft was launched on October 14, 2024, to confirm whether Europa has a subsurface ocean. It is expected to reach orbit near Europa in April 2030. The mission aims to investigate the presence of liquid water and organic compounds, which could indicate signs of life, beneath Europa's surface, and to explore its energy sources. Another goal is to collect data to determine a landing site for the Europa lander, scheduled to launch after 2025. If the Clipper and lander successfully complete their missions, they could gather extensive information about Europa's subsurface ocean. The Clipper will also observe Ganymede and Callisto, other moons of Jupiter believed to have subsurface oceans.

The surface of Titan, a moon of Saturn, has been observed to have lakes and seas of liquid methane, rather than liquid water. Jupiter's moon Io likely has oceans of flowing lava. Celestial bodies in the solar system may harbor oceans of other types of fluids as well as of liquid water.

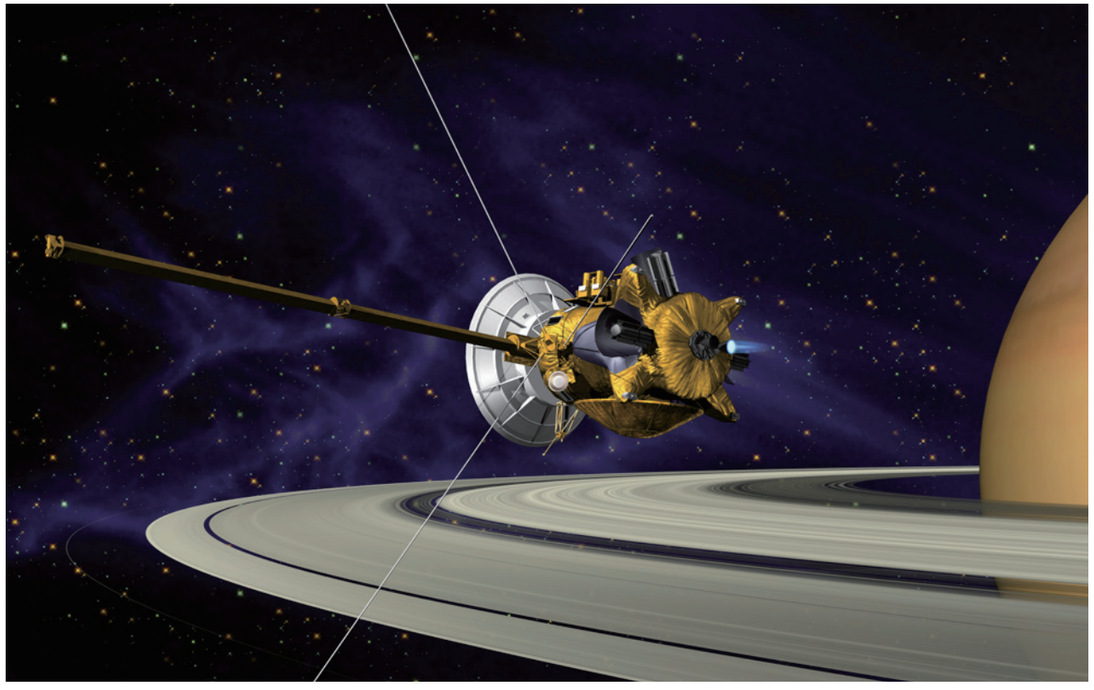


목성의 위성

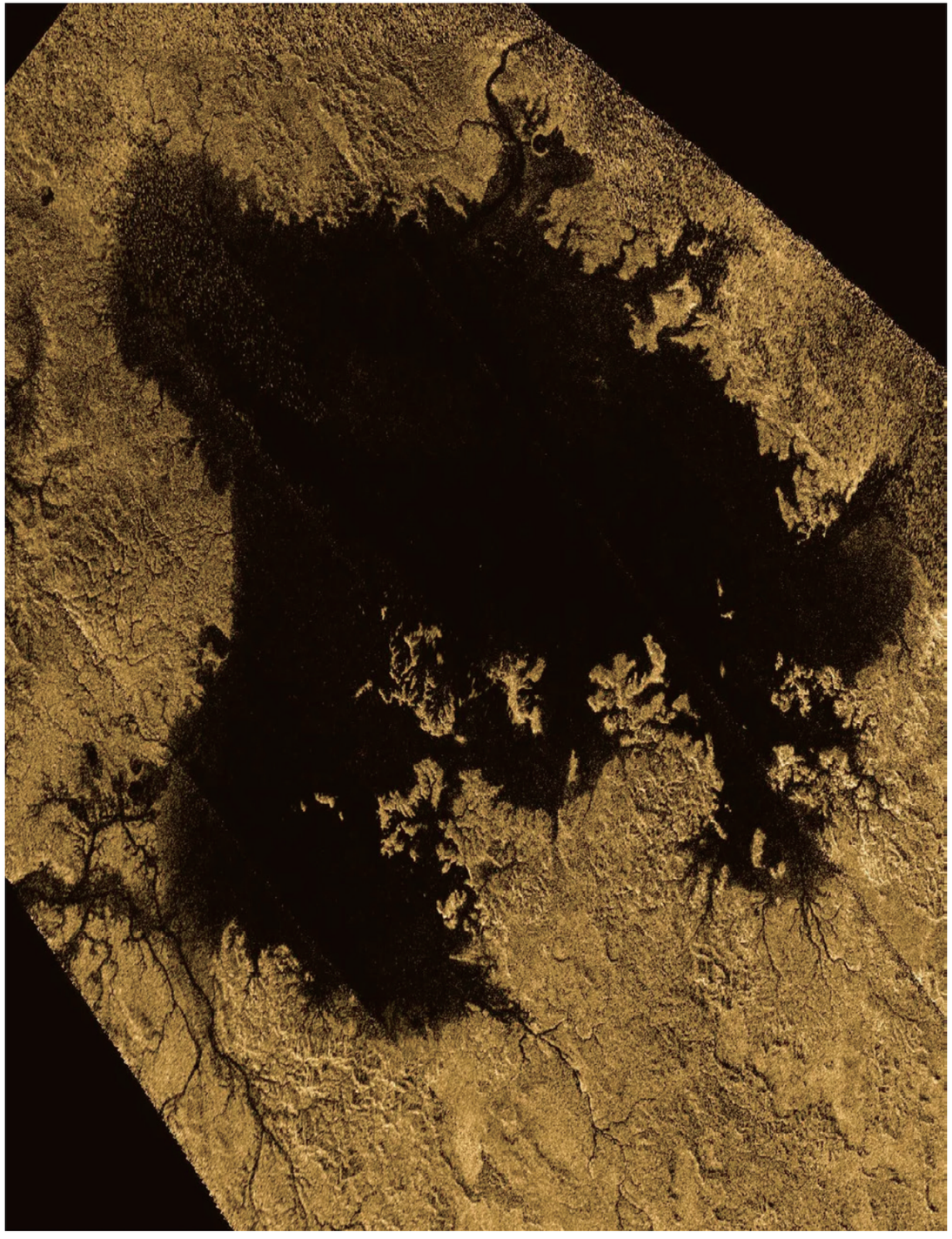




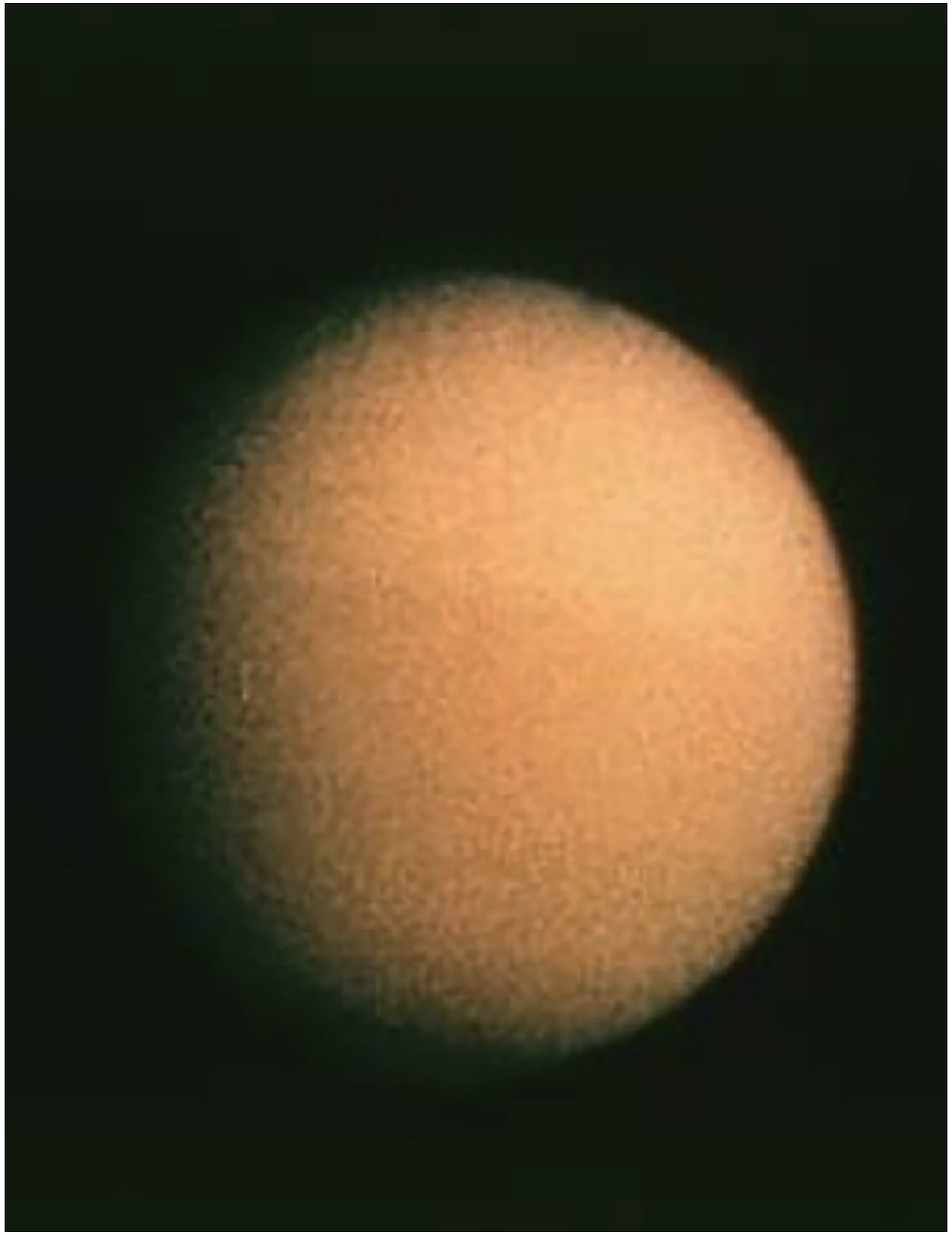
탐사선 유로파 클리퍼의 안테나



토성 탐사선 카시니–하위헌스



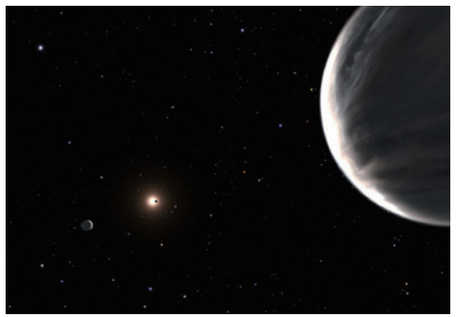
우주탐사선 하위헌스가 관측한 타이탄의 표면. 액체 메탄으로 이루어진 호수, 강 그리고 바다가 관측된다



타이탄. 보이저 우주선 촬영. 2004년 12월 17일. NASA

아주 흔한 존재, 우주의 바다

태양계 같은 항성계가 수천억 개쯤 모인 집단을 은하라 한다. 우리가 살고 있는 은하는 '우리은하'라고 한다. 관측 가능한 우주에는 은하가 1~2조 개 존재하는 것으로 추정된다. 우주의 아주 작은 지역인 태양계 내에서도 바다는 흔한 것처럼 보인다. 태양계 밖에서 발견된 행성을 외계 행성이라고 한다. 외계 행성을 태양계 천체를 관측하는 정밀도로 관측하기는 힘들다. 외계 행성에 바다가 존재할지를 파악하기 위해서 천문학자들은 이들 천체의 대기에 수증기가 존재하는지 살펴보고 있다. 특히 모항성에서 적당한 거리에 떨어진 거주 가능 지역에 속한 지구와 비슷한 외계 행성을 집중적으로 관측하고 있다. 고무적인 것은 상당히 많은 외계 행성이 바다를 가지고 있을 가능성을 보여주고 있다는 것이다. 특히 TOI–1452 b, Kepler–138 c 그리고 Kepler–138 d는 질량의 상당 부분이 물로 구성되어 있다고 알려졌다. 거대한 암석 행성인 LHS 1140 b를 모델링한 결과는 표면이 깊은 바다로 덮여 있을 수 있음을 시사하고 있다. 우리가 알고 있는 확실한 바다는 지구의 바다지만, 어쩌면 우주의 바다는 아주 흔한 존재일지도 모른다.



케플러–138 d가 앞쪽에, 왼쪽에는 행성 케플러–138 c, 중심별을 통과하는 실루엣으로 보이는 행성 케플러–138 b

A Very Common Presence: Oceans of the Universe

A galaxy is a collection of hundreds of billions of star systems like the Solar System. The galaxy we live in is called the Milky Way. It is estimated that there are one to two trillion galaxies in the observable universe. Even within our solar system, a tiny region of the universe, oceans appear to be common. Planets discovered outside the solar system are called exoplanets. It is difficult to observe exoplanets with the same precision as observing solar system bodies. To determine whether oceans exist on exoplanets, astronomers are examining their atmospheres for the presence of water vapor. They particularly focus on observing Earth-like exoplanets within the habitable zone, at an appropriate distance from their parent stars. Encouragingly, a significant number of exoplanets show the potential for oceans. Notably, TOI-1452 b, Kepler-138 c, and Kepler-138 d are known to contain a significant portion of their mass composed of water. Modeling results for the giant rocky planet LHS 1140 b suggest that its surface could be covered by a deep ocean. While the only confirmed ocean we know is the ocean on Earth, perhaps oceans are quite common throughout the universe.

생명의 기원이 바다라는 것을 알려주는 곳, 서호주 샤크만

Shark Bay, Western Australia, Proving Life Originated from the Sea

나는 바다생물의 화석을 연구했다. 포항 지역에서 발견되는 해양미생물 화석인 유공충(Foraminifera) 화석이다. 포항은 우리나라 신생대 화석의 대표적인 산지다. 나무가 화석이 된 규화목이나 나뭇잎 화석과 같은 육지생물 화석도 발견되지만, 물고기와 불가사리, 성게 그리고 고래 화석도 발견되는 곳이다. 어떻게 해양생물 화석과 나뭇잎 화석이 같이 발견될까?

I studied fossils of marine organisms. These are Foraminifera fossils, marine microorganisms found in the Pohang region. Pohang is a representative site for Cenozoic fossils in Korea. While fossils of terrestrial life, such as petrified wood and leaf fossils, are found, so too are fish, starfish, sea urchins, and even whales. How is it possible for marine fossils and leaf fossils to be discovered together?

히말라야산 꼭대기에서도 발견되는 바다생물 화석

육지에 살던 나무에서 잎이 떨어져 개울과 강을 거쳐 바다로 흘러들어가서 가라앉아 해양생물 화석과 함께 발견된다. 흔히 착각할 수 있는 것이 포항이 바닷가라서 바다생물 화석이 발견되는 것이 아닐까? 하는 생각이다. 현재의 포항 바닷가 지층은 2000만 년 전에는 바닷가가 아니라 깊은 바다였던 곳이다. 바다에서 살다 죽은 생물이 화석이 된 지층이 쌓여 있다가 침식작용으로 노출되어 지금의 바닷가에서 혹은 산속 계곡에서 화석을 발견하게 된 것이다. 그래서 히말라야산 꼭대기에서도 암모나이트 같은 바다생물 화석을 발견할 수 있다. 잘 찾아보면 몇 달러짜리 실물 화석도 판매되고 있으니 히말라야산(産) 화석을 손에 넣는 일도 그렇게 어렵지는 않다.

Marine Fossils Found Even on the Top of the Himalayas

Leaves fall from trees on land, flow through streams and rivers, and eventually sink into the sea, where they can be found alongside marine fossils. A common misconception is that marine fossils are found in Pohang because it is a coastal area. In fact, the current coastal strata of Pohang were part of a deep sea 20 million years ago. The strata of fossilized marine organisms that lived and died in the sea accumulated over time and exposed through erosion, leading to the discovery of fossils in present-day coastal areas or in mountain valleys. This is why marine fossils such as ammonites can be discovered even at the peaks of the Himalayas. If you look carefully, you can even buy real fossils for a few dollars, so obtaining a Himalayan fossil is not particularly difficult.

백두성 지질학자. (주)그래디언트 퍼블리싱 워킹그룹에서 과학 콘텐츠 플랫폼 'SOAK'을 만들고 있다.
Doosung Baek Geologist, Senior Working Group Manager, Gradient Publishing WG

바닷속 화석을 볼 수 있는 곳, 서호주 샤크만

서호주의 샤크만은 고생물학 연구자들의 성지다. 지질학 교과서에서 지구 생명의 기원을 이야기할 때 가장 먼저 소개되는 곳이다. 지구상에서 유일하게 바닷속에서 스트로마톨라이트가 만들어지는 모습을 볼 수 있어 유네스코 세계자연유산으로 등재되어 있다. 스트로마톨라이트는 광합성을 하는 미생물인 시아노박테리아(Cyanobacteria)가 만든 퇴적 구조다. 햇빛이 비치는 얕은 바다의 바닥에 붙어 있는 박테리아가 만든 점액질 물질에 주변에 떠다니던 모래 입자가 붙어서 켜켜이 층을 만들어 형성된 화석이기도 하다.



대형 유공충인 화폐석, 스페인 볼타냐

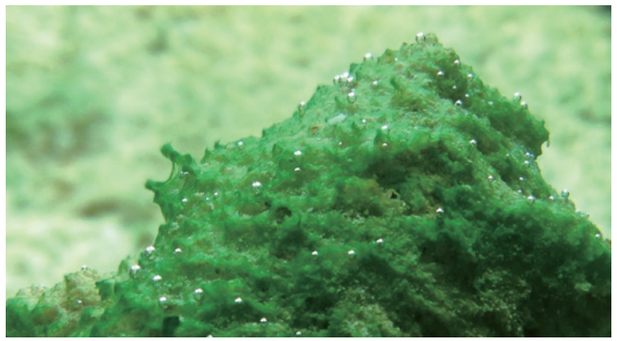
A Place to See Underwater Fossils: Shark Bay, Western Australia

Shark Bay in Western Australia is a sacred site for paleontologists. It is often the first location introduced in geology textbooks when discussing the origins of life on Earth. It is the only place on Earth where stromatolites can be observed forming underwater, earning it a UNESCO World Heritage Site designation. Stromatolites are sedimentary structures created by photosynthetic microorganisms called cyanobacteria. These fossils are formed when sand particles floating nearby adhere to a slimy substance created by bacteria on the sunlit bottom of shallow seas, forming layer upon layer.

Cyanobacteria are microorganisms that have been supplying oxygen to Earth through photosynthesis for the past 3.5 billion years.



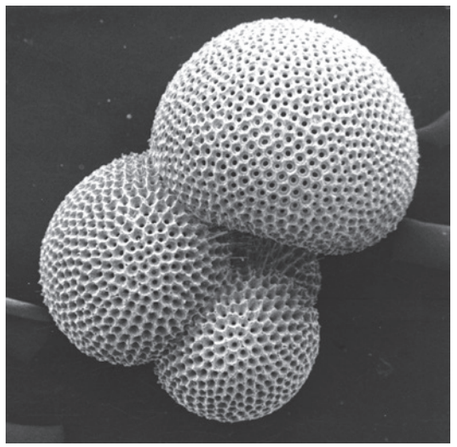
히말라야 산맥에서 채취한 암모나이트



시아노박테리아가 광합성으로 산소를 만드는 모습 ©백두성

시아노박테리아라는 미생물은 35억 년 전부터 광합성을 통해 지구에 산소를 공급한 생물이다. 그전의 지구에는 암석 속에 들어 있는 산소를 제외하면 공기 속에도 물속에도 산소가 거의 없었다. 그런데 시아노박테리아의 광합성을 통해 물속에서 산소가 생성되기 시작했다. 이렇게 만들어진 산소는 그 당시 바닷물 속에 있던 용존철과 반응해서 산화철을 만들었다. 우리가 사용하는 철의 원료인 철광석이 이 당시에 만들어지게 되었다. 호주의 사막이 붉은색인 것도, 밤하늘의 화성이 붉은색인 것도 산화철 때문이다.

Before then, Earth had virtually no oxygen in the air or water, except for what was contained in rocks. However, photosynthesis by cyanobacteria began to produce oxygen in the water. This oxygen reacted with dissolved iron in the seawater at the time, forming iron oxide. Iron ore, the raw material for iron we use today, was created during this period. The red color of the Australian desert and the red color of Mars in the night sky are also due to iron oxide.



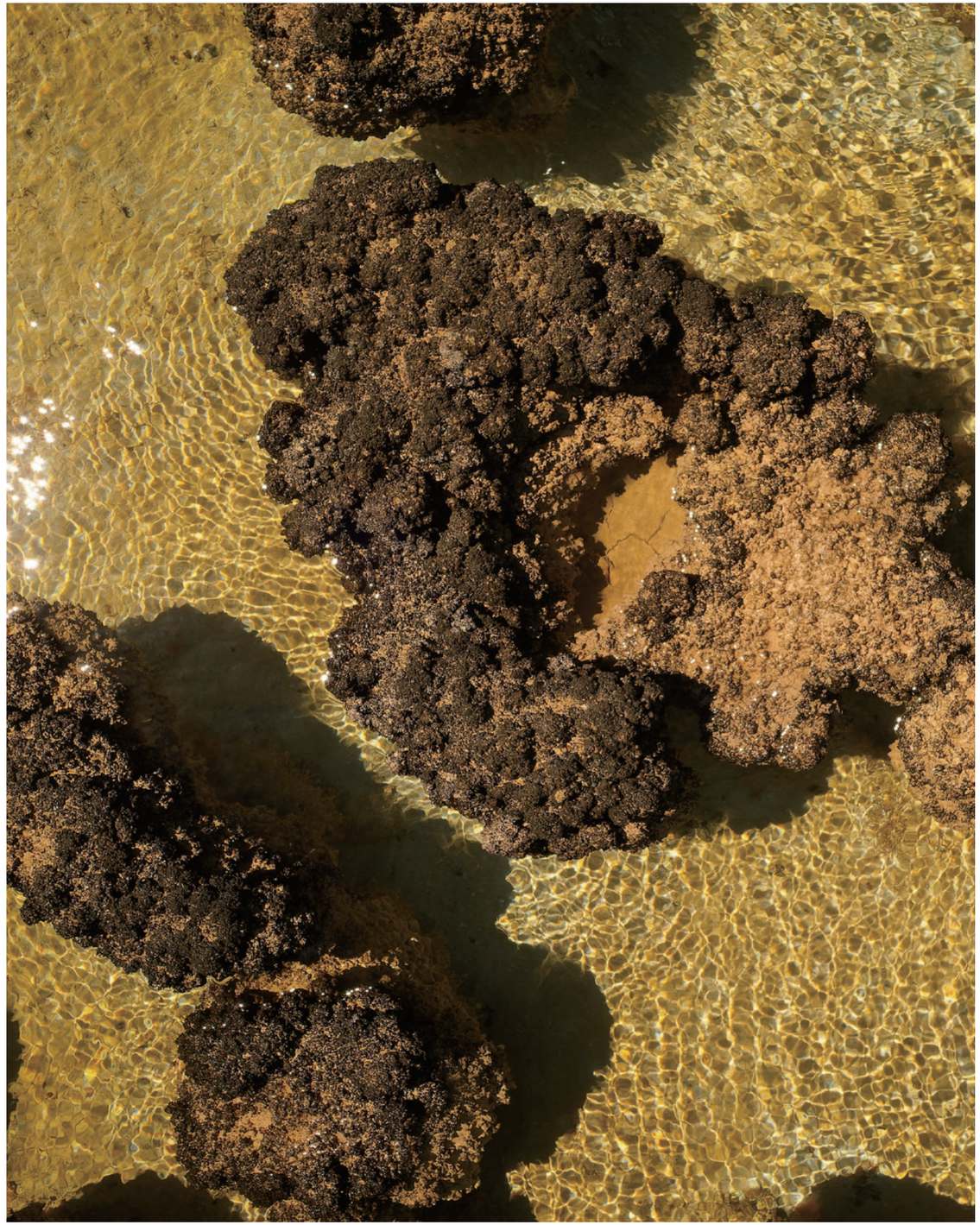
부유공 유공충의 전자현미경 사진 ©백두성



포항 금광동층 신생대 화석산지



살아 있는 해양 스트로마톨라이트





암모나이트 화석

생명의 기원이 바다인 이유

바닷물 속에 더 이상 철 성분이 없게 되자 산소는 물속에 쌓이게 된다. 이 산소는 그 당시 살고 있던 원시생물들을 공격하게 된다. 산소와 접촉하는 것은 생물에게는 독이 된다. 그래서 이런 산소의 공격을 막기 위해 말랑말랑한 몸을 가지고 있던 당시 생물은 자신을 보호할 수 있는 '껍질'을 만드는 방향으로 진화를 시작한다. 삼엽충 같은 껍질을 갖는 생물의 탄생이 그렇게 된 것이다.

이렇게 자신을 산소로부터 보호할 수 있게 된 생물은 산소를 이용하게 된다. 우리가 먹은 음식물에서 호흡을 통해 받아들인 산소를 이용해 에너지를 얻는 대사작용이 이때 시작된 것이다. 그 당시 생물은 산소가 아닌 질소나 황 같은 물질을 이용해서 대사작용을 하고 있었지만, 산소의 '연비'가 훨씬 좋았다. 그 덕분에 고생대 초기의 바닷속 생물은 다양한 형태로 진화할 수 있었다.

산소의 역할은 여기에 그치지 않았다. 바닷속을 채운 산소가 대기를 채우게 되고, 그중 일부가 오존층을 형성하게 된다. 이것이 약 5억 년 전이다. 오존층은 자외선을 막아주는데, 자외선은 생물에게 치명적인 빛이다. 컵 소독기에 자외선램프를 쓰는 것도 이런 원리다. 생명의 기원이 바다인 이유가 바로 여기에 있다. 바닷속까지는 자외선이 미치지 못하니까 바닷속에서 생명이 탄생될 수 있었다. 그 뒤 오존층이 생기기 시작하고 시간이 지나 약 4억 2000만 년 전이 되어서야 육상에 식물이 처음 나타나게 된다. 얼핏 생각하면 이상한 일이지만, 사실은 은행나무보다 상어가 지구상에 먼저 출현했다.

Why Life Originated in the Sea

Once the iron in seawater was depleted, oxygen accumulated in the water. This oxygen attacked the primitive organisms living at the time, as contact with oxygen was toxic to them. To protect themselves from this oxygen attack, the soft-bodied organisms began evolving protective "shells." This led to the emergence of shelled creatures like trilobites.

Organisms that were able to protect themselves from oxygen in this way began to utilize it. This is when the metabolic process of obtaining energy by utilizing the oxygen we inhale from the food we eat began. At the time, organisms were already using substances like nitrogen and sulfur for metabolism, rather than oxygen, but oxygen's "fuel efficiency" was far more efficient. This allowed marine life in the early Paleozoic Era to evolve into diverse forms.

Oxygen's role did not end there. The oxygen accumulated in the oceans filled the atmosphere, and some of it formed the ozone layer about 500 million years ago. The ozone layer blocks ultraviolet rays, which are lethal to living organisms. This is why UV lamps are used in cup sterilizers. This is precisely why life originated in the oceans: ultraviolet rays cannot reach the bottom of the ocean, allowing life to emerge there. Over time, as the ozone layer developed, plants first appeared on land around 420 million years ago. It may seem strange at first, but sharks actually appeared on Earth before ginkgo trees.

지구상에서 가장 오래된 암석과 가장 오래된 화석이 있는 곳

샤크만에서는 지금도 스트로마톨라이트가 만들어지고 있지만, 화석 스트로마톨라이트는 전 세계에서 발견되고 있다. 한국에서도 소청도에서 10억 년 전 스트로마톨라이트가 발견되어 천연기념물로 지정되었다. 그런데 마침 서호주 지역은 지질학적으로 지구상에서 가장 오래된 지층을 가지고 있어서 잭힐스(Jack Hills) 지역에서는 44억 년 전 암석이 발견되기도 하고, 마블바(Marble Bar) 지역에서는 35억 년 전 스트로마톨라이트 화석이 발견되기도 한다.

서호주 지역은 우주 탐사에서도 의미가 있는 곳이다. 1969년 아폴로 11호가 달에 착륙했을 때 휴스턴의 NASA 존슨 우주센터와의 통신을 중계한 것도 서호주의 카나번(Carnarvon) 지역에 있는 우주통신기지였던 OTC 위성지구국(Overseas Telecommunications Commission Satellite Earth Station)을 통해서였다. 달의 고요의 바다에 착륙한 아폴로 11호의 착륙선 이글호에서 휴스턴까지 전파가 직접 전달될 수 없었기 때문에 서호주의 중계소를 통해서 통신했다. 지금도 카나번에 가면 카나번우주박물관(Carnarvon Space and Technology Museum)에 그 당시 통신에 사용된 장비들이 전시되어 있다. 달에 발을 디딘 두 번째 우주인인 버즈 올드린(Buzz Aldrin)이 달에서 통신했던 곳을 방문하고 싶다고 하여 카나번 주민들이 힘을 합쳐 당시 사용한 물품들을 모아 박물관을 만들었다. 2012년에 건립되었고, 지금도 운영되고 있다.

Home to the Oldest Rocks and Fossils on Earth

While stromatolites are still forming in Shark Bay today, fossil stromatolites have been found all over the world. In Korea, stromatolites dating back 1 billion years were discovered on Socheong Island and designated a natural monument. Western Australia, however, boasts some of the oldest geological strata on Earth, with 4.4 billion-year-old rocks found in the Jack Hills region and 3.5 billion-year-old stromatolite fossils in the Marble Bar region.

Western Australia is also a significant location for space exploration. When Apollo 11 landed on the Moon in 1969, it relayed communications to NASA's Johnson Space Center in Houston via the Overseas Telecommunications Commission (OTC) Satellite Earth Station, a space communications base in Carnarvon, Western Australia. Since direct radio transmission from the Apollo 11 lander, Eagle, on the Moon's Sea of Tranquility to Houston was impossible, communications were relayed via the station in Western Australia. Today, the Carnarvon Space and Technology Museum in Carnarvon exhibits the communications equipment used during that time. When Buzz Aldrin, the second man to set foot on the Moon, expressed a desire to visit the site, the local community gathered the artifacts and established the museum. It was opened in 2012 and continues to operate.



OTC 위성지구국

서호주 지역은 지구상에서 가장 오래된 암석과 가장 오래된 화석부터 현생 스트로마톨라이트까지 지구의 역사뿐만 아니라, 달 탐사 역사도 살펴볼 수 있는 과학 탐사 코스로 손색이 없는 곳이라 할 수 있다. 어쩌면 우리가 바다를 바라보면 마치 고향에 온 것 같은 편안함을 느끼는 것은 우리 생명의 기원이 바다이기 때문이지 않을까.

Western Australia is an ideal destination for scientific exploration, offering insights into not only Earth's history, from its oldest rocks and fossils to living stromatolites, but also the history of lunar exploration. Perhaps the sense comfort we feel when gazing at the ocean, as if returning home, stems from the origin of life itself.

TREND & ISSUE

트렌드와 이슈

AI와 해양로봇의 융합은 혁신이다. 해양탐사부터 물류, 환경보호까지

The convergence of AI and marine robotics is revolutionary. From ocean exploration to logistics and environmental protection

인공지능(AI)의 비약적 발전은 해양로봇 기술에도 커다란 변화를 불러오고 있다. 무인수상정(Unmanned Surface Vehicle, USV), 무인잠수정(Unmanned Underwater Vehicle, UUV), 유인잠수정, 해양드론 등 다양한 플랫폼이 AI와 결합하여 자율성과 지능이 강화되고 있으며, 이를 통해 해양 탐사, 구조·구난, 해상 감시, 해양구조물 건설 및 유지관리, 환경 정화, 수산 양식 등 광범위한 분야에서 활용되고 있다. 이러한 변화는 해양산업 전반의 디지털 전환을 가속화하고, 산업 경쟁력 및 국가 해양안보 역량을 동시에 강화하는 추세를 만들고 있다.

The rapid advancement of artificial intelligence (AI) is driving profound changes in marine robotics technology. Various platforms, including unmanned surface vehicles (USVs), unmanned underwater vehicles (UUVs), manned submersibles, and marine drones, are being integrated with AI, enhancing their autonomy and intelligence. This led to their widespread use in diverse areas such as ocean exploration, search and rescue, maritime surveillance, offshore structure construction and maintenance, environmental remediation, and aquaculture. These changes are accelerating the digital transformation of the entire maritime industry, strengthening both industrial competitiveness and national maritime security capabilities.

장인성 한국해양과학기술원 해양신산업연구본부 본부장
In Sung Jang Senior Director, Korea Institute of Ocean Science & Technology



무인 수상정 USV ROV 보트

각국의 해양로봇 개발, 해양 패권 경쟁의 주도권을 노리다

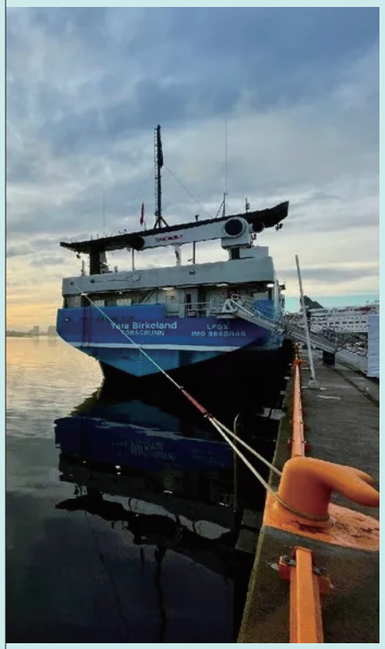
세계의 각 국가는 AI와 해양로봇에 대한 방안을 실제 현장에 투입하여 적용하고 있다. 나라별로 간략하게 정리하면, 미국은 해군 주도의 무인함정 함대 '고스트 플릿(Ghost Fleet)' 개발에 속도를 내고 있다. 40m급 무인수상함 '씨헌터(SEA HUNTER)' 시험 운용을 비롯해 USV와 UUV를 결합한 전력 운용을 실증하고 있으며, 2023년에는 무인함정이 대만해협을 통과해 세계적으로 주목받았다. 해안경비대 역시 AI 기반 해상안전 예측, 조난 위험 해역 분석, AI 시뮬레이션 구조훈련 등 선제적 대응 체계를 도입하고 있다.

Marine Robots Around the World: Competing for Maritime Dominance

Countries around the world are deploying and applying AI-powered marine robotics solutions in real-world operatings. The United States is accelerating the development of its Navy-led unmanned vessel fleet, known as the "Ghost Fleet." This includes the demonstration of the combined capabilities of USVs and UUVs, such as the trial operation of the 40-meter unmanned surface vessel Sea Hunter. In 2023, an unmanned vessel successfully navigated the Taiwan Strait, drawing global attention. The U.S. Coast Guard is also adopting proactive response systems such as AI-based maritime safety prediction, distress risk area analysis, and AI-driven simulation rescue training.

일본은 JAMSTEC을 중심으로 심해자율무인잠수정, 해상보안청의 드론+AI 해상감시 체계를 운영 중이다. 이 시스템은 밀입국 선박의 이상 이동 패턴을 자동 인식하고, AI 음향센서를 통해 추락자의 비명이나 비정상 파도 소리를 감지하여 경보를 발한다. 또한 스마트 항만, 자율운항선박 실증사업 등 해양산업 전반의 지능화에 투자하고 있다.

In Japan, the Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) is leading the operation of deep-sea autonomous unmanned underwater vehicles and the Japan Coast Guard's drone-and-AI maritime surveillance system. This system automatically detects abnormal movement patterns of vessels suspected of illegal entry and issues alerts by recognizing cries for help or unusual wave sounds through AI-powered acoustic sensors. Japan is also investing in the intellectualization of its maritime industries, including smart ports and autonomous ship demonstration projects.



노르웨이 Yara Birkeland



미국 USV Sea Hunter



중국 Zhu Hai Yun

유럽은 친환경 자율운항 선박과 표준화 작업을 선도하고자 한다. 노르웨이의 완전 전기 추진 자율운항 컨테이너선 '야라 비르셀란(Yara Birkeland)'은 연간 4만 대의 트럭 운송을 대체할 수 있으며, 탄소 배출 감축 효과가 크다. 영국, 핀란드, 덴마크 등은 국제해사기구(IMO) 논의에 참여해 자율운항 선박 규제와 안전 기준을 마련하고, 해상풍력 정비·해저자원 탐사에 투입할 로봇 기술 개발을 진행 중이다.

중국은 국가 주도로 대규모 해양로봇 전력을 구축하고 있다. 이미 1만 1000m급 유인잠수정을 개발하고 현장 투입을 꾸준히 진행하고 있는 것과 별개로 88m급 대형 무인드론 모선 '주하이윈(Zhu Hai Yun)'은 50여 대의 무인 항공·수상·수중 장비를 동시에 운용해 3차원 해양 관측이 가능하며, 군사 임무도 수행할 수 있는 듀얼유스 플랫폼이다. 해군은 대형 UUV부터 소형 자폭 드론정까지 다양한 무인 전력을 확보하며 해양 패권 경쟁에서 주도권을 노린다.

자율운항 선박 기술, 스마트 해양물류, 첨단 장비 국산화를 핵심 과제로

우리나라의 경우 해양수산부에서는 2020년대 중반까지 세계를 선도하는 해양모빌리티 강국 도약을 목표로 자율운항 선박 기술, 스마트 해양물류, 첨단 장비 국산화를 핵심 과제로 추진하고 있다. 2013~2022년에는 '해양개발용 수중건설로봇 개발' 사업을 통해 3종의 수중건설로봇을 개발하고 현장에 투입했으며, 포항 영일만에 KIOST 주관 해양로봇실증센터를 구축해 시험·실해역 테스트를 지원하고 있다. 또한 해군에서는 '네이비 씨 고스트(Navy Sea Ghost)' 계획을 추진, 국방과학연구소와 방산기업이 참여하는 군집 무인 전력 개발이 진행 중이다.

Europe aims to take the lead in developing eco-friendly autonomous ships and advancing international standardization. Norway's fully electric autonomous container ship Yara Birkeland can replace 40,000 truck transportation annually, significantly reducing carbon emissions. The UK, Finland, and Denmark are participating in discussions at the International Maritime Organization (IMO) to establish regulations and safety standards for autonomous ships and are developing robotics technologies for offshore wind power maintenance and seabed resource exploration.

In China, the government is leading the large-scale development of a national maritime robotics force. In addition to its continued development and deployment of 11,000-meter-class manned submersible, Zhu Hai Yun, an 88-meter unmanned drone mother ship, can simultaneously operate more than fifty unmanned aerial, surface, and underwater devices, enabling three-dimensional ocean observation and military missions and is a dual-use platform capable of military missions. The Chinese Navy is also expanding its unmanned forces, from large UUVs to small suicide drone boats, to secure maritime dominance.

Korea's Key Agenda: Autonomous Ship Technologies, Smart Maritime Logistics, and Advanced Equipment Localization

IIn Korea, the Ministry of Oceans and Fisheries aims to establish the nation as a global leader in maritime mobility by the mid-2020s by pursuing key tasks of autonomous ship technologies, smart maritime logistics, and the localization of advanced equipment. From 2013 to 2022, the government conducted the "Development of Underwater Construction Robots for Ocean Development" project, deploying three types of underwater construction robots. Additionally, the KIOST-led Marine Robot Demonstration Center was established in Yeongil Bay, Pohang, to support testing and real-sea trials. Meanwhile, the Republic of Korea Navy is implementing its "Navy Sea Ghost" program, which involves the Agency for Defense Development and defense industry companies to develop swarm unmanned forces.

정부 출연 기관들에서도 해양로봇 기술 혁신을 주도하고 있다. 한국해양과학기술원의 수중건설로봇사업단을 비롯하여 선박해양플랜트연구소(KRISO)에서는 심해 자율무인잠수정, 해저 보행로봇(크랩스터 CR 시리즈) 등 연구용 로봇 개발에서 두각을 나타내왔다. 또한 자율운항 선박 표준 규격과 평가기술을 연구하며 상용화를 뒷받침하고 있다.

민간 부문에서는 HD현대의 자회사 아비커스(Avikus)와 스타트업 씨드로닉스(Seadronix)가 대표적이다. 아비커스는 2022년 세계 최초로 대형 LNG 운반선의 대양 횡단 자율운항을 성공시켜 국제적 주목을 받았고, 이를 통해 연료 효율 7% 향상 및 온실가스 5% 저감을 실현했다. 씨드로닉스는 AI 기반 선박 운항 보조 및 항만 자율운항 솔루션을 개발하는 기업으로, 선박 주변 360도 상황 인지 AI 시스템을 상용화하여 기존 선박에도 설치 가능한 운항 모니터링 플랫폼(NAVISS 등)을 공급하고 있다.

해군은 6종의 미래 무인전투함정 디자인을 공개, 다양한 무장 탑재형 전투 무인수상정과 기뢰 제거 로봇정 등을 구상했다. 해경은 AI드론 수색·구명부표 투하 훈련을 실시하며, 환경공단은 무인선 기반 해양쓰레기 수거와 유류 유출 방제 실험을 진행한다. 수산양식 분야에서는 AI 양식로봇과 수중드론을 통한 자동화 관리 사례가 늘고 있다.

Government-funded institutes are also driving innovation in marine robotics technology. In addition to the Underwater Construction Robot Program at the Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST), the Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering (KRISO) has distinguished itself through the development of research robots, including deep-sea autonomous unmanned underwater vehicles and the Crabster CR series of underwater walking robots. These institutes are also researching standards and evaluation technologies for autonomous ships, supporting their commercialization.

In the private sector, Avikus, a subsidiary of HD Hyundai, and the startup Seadronix stand out. Avikus attracted international attention in 2022 by successfully completing the world's first autonomous transoceanic operation of a large LNG carrier, achieving a 7% increase in fuel efficiency and a 5% reduction in greenhouse gas emissions. Seadronix, a company developing AI-based ship navigation assistance and autonomous port operation solutions, has commercialized a 360-degree situational awareness AI system and supplies operational monitoring platforms, such as NAVISS, which can be installed on existing vessels.

The Navy has unveiled designs for six future unmanned combat vessels, envisioning armed unmanned surface vehicles and mine-killer robots. The Korea Coast Guard is conducting AI drone-based search operations and lifebuoy deployment training, while the Korea Environment Corporation is experimenting with unmanned vessels to collect marine debris and respond to oil spills. In the aquaculture sector, automated management practices using AI-powered aquaculture robots and underwater drones are on the rise.



포항 수중로봇복합실증센터



크랩스터 CR-6000



현장 투입 중인 수중건설로봇(URI-T)

해양 분야별 AI·해양로봇 활용 분야 및 경제적 파급 효과

AI와 로봇 기술이 접목된 해양로봇의 적용 사례는 매우 다양하다. AI 기반 경로 계획·센서 융합으로 심해 생태계 조사 등과 같은 해양탐사 분야, AI드론·로봇부이로 골든타임 단축(해경 AI 자율비행 드론, 미국 EMILY 부이 등)과 같은 재난 구조 분야, 드론+AI로 불법 선박 탐지나 AI 음향 식별로 어선 엔진 소리 분석 등과 같은 해상 감시 분야, 해저 구조물·선박 선체 결함 자동 진단이나 해상풍력 하부 구조물 점검 등과 같은 해양 구조물 건설 및 유지관리 분야, 선체 청소로봇이나 적조·유류오염 대응 무인장비 등과 같은 해양 환경 개선 분야, AI 먹이공급 최적화나 질병·성장도 모니터링 등과 같은 스마트 수산양식 분야 등으로 정리할 수 있다.

해양로봇은 위험·고비용 작업을 대체해 생산성 향상과 운영비 절감을 가능케 한다. 자율운항 선박은 연료비를 두 자릿수 절감하고, 수중건설로봇 국산화는 해외 장비 임대료를 절약한다.



EMILY buoy

Applications of AI and Marine Robots by Marine Sector and Their Economic Impact

The applications of marine robots that combine AI and robotics are diverse. These include marine exploration, such as deep-sea ecosystem surveys using AI-based path planning and sensor fusion; disaster relief, such as shortening the “golden time” with AI drones and robotic buoys (e.g., the Korea Coast Guard’s AI autonomous drones and the U.S. EMILY rescue buoy); maritime surveillance, such as detecting illegal vessels using drones and AI-powered acoustic identification to analyze fishing boat engine sounds; marine structure construction and maintenance, such as automated diagnosis of defects in subsea facilities and ship hulls or inspection of offshore wind turbine substructures; marine environmental improvement, such as hull cleaning robots and unmanned equipment for red tide and oil spill response; and smart aquaculture, such as AI-powered feeding optimization and disease and growth monitoring.

Marine robots can replace high-risk and high-cost operations, improving productivity and lowering operational expenses. Autonomous vessels can reduce fuel costs by double digits, and localization of underwater construction robots reduces reliance on overseas equipment rentals.

Improving safety is also essential. Deploying robots in hazardous environments, such as navigating storms and conducting diving operations, reduces human injury and property damage, leading to lower insurance premiums. In terms of industrial transformation, automation is accelerating in ship operations, port unloading, and marine energy development, and the data-driven ocean service industries are rapidly growing. Data collected from autonomous ships can be leveraged to develop marine AI solutions, insurance, and financial services. The global market is projected to grow by over 10% annually, with related industries such as hardware, software, and services expected to grow concurrently.

안전성 향상도 중요하다. 폭풍 속 항해, 잠수작업 등 위험 환경에서 로봇 투입은 인명·재산 피해를 줄이고 보험료 절감으로 이어진다. 산업 전환 측면에서는 선박 운항, 항만 하역, 해양에너지 개발에서 자동화가 가속화되고 있으며, 데이터 기반 해양서비스산업이 성장하고 있다. 자율운항선에서 수집된 데이터는 향후 해양 AI 솔루션, 보험·금융 서비스 개발에 활용 가능하다. 글로벌 시장은 연 10% 이상 성장할 것으로 전망되며, 하드웨어·소프트웨어·서비스 등 연관 산업이 동반 성장할 것으로 보인다.

AI와 해양로봇의 연계 분야에 집중 투자 필요

AI와 해양로봇의 융합은 해양탐사부터 물류, 환경보호까지 전 분야에서 혁신을 촉진한다. 미국·일본·유럽·중국은 각기 전략에 맞춰 투자와 기술 개발을 이어가고 있으며, 우리나라는 정부 R&D와 민간 혁신으로 일부 분야에서 세계 최고 수준에 도달했다. 앞으로 해양로봇에 대한 시험평가 체계 구축 및 인프라 확충, 국제 표준화, 제도 보완 등이 병행된다면 활용 범위는 더욱 확대될 것이다.

결국 AI와 해양로봇은 ‘안전하고 효율적인 바다’를 구현하는 핵심 기술이며, 이를 선점하는 국가가 미래 해양경제의 주도권을 쥘 것이다. 우리나라에서도 AI와 해양로봇이 연계되는 분야에 보다 집중적인 투자가 필요한 시점이다.

Focused Investment in the Integration of AI and Marine Robots

The convergence of AI and marine robots is driving innovation across all sectors, from ocean exploration to logistics and environmental protection. The U.S., Japan, Europe, and China continue to invest in and develop technologies in line with their respective strategic priorities, while Korea has already reached world-class levels in certain areas through government R&D and private sector innovation. Looking ahead, the scope of applications for marine robots will expand further if testing and evaluation systems are established, infrastructure is expanded, international standardization is promoted, and regulations are improved.

In the end, AI and marine robots are key technologies for realizing a “safe and efficient ocean,” and the country that leads in these areas will hold the initiative in the future marine economy. For Korea, it is a critical moment to increase focused investment in the integration of AI and marine robots.

기후위기와 식량난을 풀어낼 해법 ‘아쿠아포닉스 기술’

Aquaponics Technology: A Solution to the Climate Crisis and Food Shortages

가까운 미래 도심 속 색다른 빌딩을 상상해보자. 마치 수족관과 정원이 공존하는 모습. 수조 안에서 물고기가 유영하고, 그 주변으로 식물이 층층이 자라며 초록빛 향기를 내뿜는다. 물, 공기, 생명이 어우러져 작은 생태계를 이룬 모습은 마치 자연을 압축한 듯하다.

Imagine a unique building in a near-future city – a space where an aquarium and a garden coexist. Fish swim in a clean tank, while plants grow in multiple layers around them, filling the space with a green aroma. Water, air, and various lives come together to form a small ecosystem, reminiscent of a condensed version of real nature.

김종성 서울대학교 지구환경과학부 교수, ㈜아쿠온 대표이사
Jong Seong Khim Professor, School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University; CEO, Aquon Co., Ltd.

도시 한가운데 열린 작은 생태계

메조코즘(Mesocosm, 인공 생태 시스템) 생태계는 신선한 먹을거리를 길러내는 동시에, 사람들이 휴식도 즐길 수 있는 문화 공간이 된다. 지친 일상을 치유하듯 건강과 여유를 동시에 선사하는 새로운 풍경이다. 이를 가능케 하는 기술이 바로 ‘아쿠아포닉스(Aquaponics)’다. 이 작은 메조코즘 기반의 아쿠아포닉스 기술 안에 인류가 직면한 기후위기와 식량난을 풀어낼 해법이 숨어 있다.

A Small Ecosystem in the Heart of the City

The mesocosm, an artificial ecological system, not only produces fresh food but also functions as a cultural space where people can enjoy and relax. It creates a new landscape that simultaneously promotes health and well-being, providing a sense of recovery from the stresses of daily life. The technology that makes this possible is “aquaponics.” Within this small, mesocosm-based aquaponics technology, a potential solution to humanity’s climate crisis and food shortages would be acknowledged.



미래 도심 속 아쿠아포닉스 빌딩 스케치 ©김종성



자연 순환에서 배운 기술, 아쿠아포닉스

아쿠아포닉스는 물고기 양식(Aqua culture)과 수경재배(Hydroponics)의 합성어다. 작동 메커니즘은 단순하다. 어류의 배설물 내 영양염을 미생물이 분해해 식물에 잘 흡수되는 영양염(질산염)으로 바꾸고, 식물이 이를 흡수하여 광합성을 하며 성장한다. 식물은 동시에 물을 정화해주는 역할을 하고, 정화된 물에서 어류도 잘 성장하게 된다. 덕분에 버려지는 물은 없고, 증발분만 보충하면 이 시스템은 자연적으로 유지된다. 물 사용량은 기존 농업 대비 1% 수준에 불과하다. 비료나 항생제도 필요 없다. 농업은 물과 비료에 의존하고, 양식업은 폐수를 안고 가야 하지만, 아쿠아포닉스는 두 산업의 약점을 동시에 극복한다.

Aquaponics: A Technology Inspired by Natural Cycles

Aquaponics is a combination of aquaculture and hydroponics. Its operating principle is simple: microorganisms break down fish wastes into nutrients such as nitrates, which are easily absorbed by plants. The plants then take up these nutrients and grow through photosynthesis. The plants also purify the water simultaneously, allowing the fish to thrive. Consequently, no water is wasted, and the system can sustain itself naturally by simply replenishing evaporative losses. Water usage is only about 1% of conventional agriculture. Further, no fertilizers or antibiotics are required. While traditional agriculture relies on water and fertilizers, and aquaculture must manage wastewater and exotic pathogen, aquaponics overcomes the weaknesses of both industries.





태양광을 결합한 아쿠아포닉스. 두바이

전 세계가 주목하는 아쿠아포닉스

아쿠아포닉스는 20세기 중후반 등장했지만, 본격적인 기술 발전은 2000년대 이후다. 아직 글로벌 스마트팜 시장 점유율은 2%에도 못 미치지만, 전 세계가 주목하는 이유는 명확하다. 기후위기(물 부족), 인구 증가(농촌 문제), 자원 고갈(식량난)이라는 세 가지 난제를 동시에 해결할 수 있기 때문이다.

최근 선진국은 앞 다투어 아쿠아포닉스 기술을 보급하고 있다. 미국은 사막 지대에서 물 절약형 아쿠아포닉스로 신선한 채소를 공급했고, 유럽은 순환경제 전략과 유기농 인증을 결합해 프리미엄 시장을 개척했다. 일본은 연어 양식과 염생식물 재배를 결합해 전통 양식업을 혁신 중이며, 아랍에미리트는 태양광을 결합한 '그린하우스 오아시스 프로젝트'로 사막에 오아시스를 만들었다. 케냐·우간다 등 개발도상국에서는 국제 NGO가 소규모 키트를 보급해 청년과 여성의 소득원을 창출했다. 유엔식량농업기구 역시 아쿠아포닉스를 미래 공동체의 식량안보 모델로 지목했다.

한국의 도전: 바다를 품은 해양 아쿠아포닉스

한국의 아쿠아포닉스 연구도 일찍이 2010년대 초반 시작되었고 최근 기술 개발도 꾸준히 증가세다. 최근에는 바다로까지 확장되고 있다. 해양수산부가 추진하는 '해양 아쿠아포닉스 기반 에너지 절감형 육상 양식 시스템 개발'은 서울대학교와 ㈜아쿠온 등 민간기업이 함께하는 대형 국가 R&D 과제로 올해 착수하여 향후 5년간 기초 기술과 운용 모델을 구축해 2030년대 상용화를 목표로 한다.

연구는 빌딩형·양식장형 해양 아쿠아포닉스 설계부터 AI 기반 운용 소프트웨어, 경제성 평가 모델까지 폭넓게 진행된다. 비록 초기 단계지만, 한국은 해양 아쿠아포닉스 상용화의 주도권을 잡을 잠재력을 쌓아가고 있다.

Aquaponics Capturing Global Attention

Aquaponics emerged in the mid-to-late 20th century, but its technological advancements have accelerated only since the 2000s. Although its share of the global smart farm market remains below 2% at present, the reason it is attracting worldwide attention is clear. Aquaponics simultaneously addresses three major challenges: climate crisis (water scarcity), human population growth (rural issues), and resource depletion (food shortages).

Recently, advanced countries have been actively expanding aquaponics technology. The United States has utilized water-saving aquaponics to supply fresh vegetables in desert regions, while Europe has developed premium markets by combining circular economy strategies with organic certification. Japan is innovating traditional aquaculture by integrating salmon farming with halophyte cultivation, and the United Arab Emirates has created oases in the desert through its "Greenhouse Oasis Project," which combines solar energy. In developing countries such as Kenya and Uganda, international NGOs have distributed small-scale aquaponics kits, creating income sources for young people and women. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) has also recognized aquaponics as a model for food security in future communities.

Korea's Challenge: Marine Aquaponics Embracing the Sea

Research on aquaponics in Korea began in the early 2010s, and technological development has been steadily progressing. Recently, the scope has expanded into the ocean. The "Development of Energy-Saving Land-Based Aquaculture Systems and Operation Technologies Based on Marine Aquaponics" a large-scale national R&D project led by the Ministry of Oceans and Fisheries, is a collaboration between Seoul National University and private companies such as Aquon Co., Ltd. Launched this year, the project aims to establish basic technology and operational models over the next five years, with commercialization targeted for the 2030s.

지역사회에서 피어나는 혁신

해양 아쿠아포닉스의 진짜 가치는 지역에서 드러날 것으로 기대된다. 고령화와 인구 감소로 위기를 겪는 농어촌은 친환경 농업과 스마트 양식이 결합된 아쿠아포닉스 기술로 새로운 기회를 얻는다. 청년 세대는 귀농·귀어를 단순한 생계가 아니라 스마트 농수산 창업의 장으로 바라본다. 해양 아쿠아포닉스 단지는 창업과 교육, 체험, 관광이 어우러진 거점이 되고, 지역 브랜드를 강화하며 안정적인 일자리를 창출한다. 나아가 친환경 먹을거리 생산과 에너지 절감, 탄소 저감 효과까지 제공해 산업 전환을 이끈다. 이는 지역 경제의 구조 자체를 지속 가능하게 바꾸는 동력이 될 것이다.

우리가 그려본 아쿠아포닉스 빌딩 풍경은 먼 미래가 아니다. 한국은 이미 바다를 품은 해양 아쿠아포닉스로 세계적 흐름을 선도하고 있다. 2025년, 이 기술은 제도와 산업 그리고 지역사회 속에 본격적으로 뿌리내리는 원년으로 기록될 것이다.

The research covers a broad spectrum, from building-type and farm-type marine aquaponics designs to AI-based operational software and economic feasibility assessment models. Although still in its early stages, Korea is building the potential to take the lead in the commercialization of marine aquaponics.

Innovation Blooming in Local Communities

The true value of marine aquaponics is expected to emerge at the community level. Farming and fishing villages facing crises due to aging population and demographic decline can gain new opportunities through adopting aquaponics technology, which combines eco-friendly agriculture and smart aquaculture. Younger generations see returning to farming or fishing not simply as a means of livelihood, but as a platform for smart agricultural and fisheries startups. Marine aquaponics complexes can serve as hubs for startups, education, experiences, and tourism, strengthening local brands and creating stable jobs. Furthermore, they will drive industrial transformation by providing eco-friendly food production, energy savings, and carbon reduction. These systems will become a driving force for sustainable transformation of the local economy itself.

The aquaponics building landscape we have envisioned is not a distant future. Korea is already leading the global trend with marine aquaponics, embracing the sea. The year 2025 will be remembered as the first year when this technology truly takes root across institutions, industries, and local communities.



빌딩형 아쿠아포닉스 시스템 ©김종성

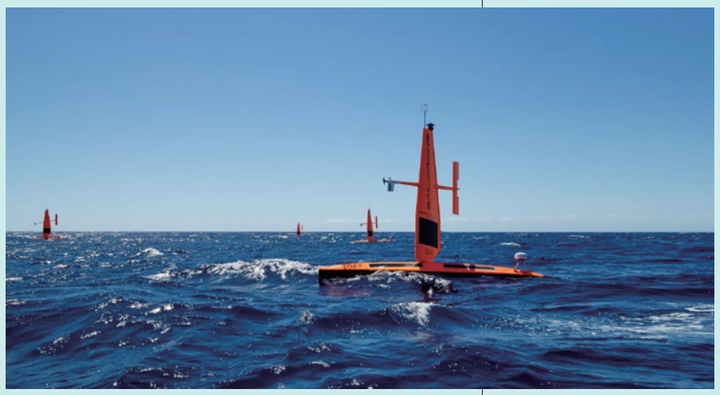
세일드론을 미래 해양 무인체계의 핵심 기술로

Saildrone: A Core Technology for Future Unmanned Maritime Systems

세일드론은 바람과 태양 에너지를 동력으로 삼아 장기간 자율적으로 항해할 수 있는 무인 해양 관측 장비다. 세일드론은 다양한 센서와 위성통신, 자율항법 기술이 융합된 시스템으로, 해양환경 데이터를 실시간으로 수집, 분석하여 기후변화 연구, 해양재난 감시, 국방 및 안보 등 다방면에 활용될 수 있다. 세계 세일드론 시장 규모는 2024년 약 61억 7000만 달러로 추산되며 2032년까지 연평균 2.85%씩 성장해 77억 2000만 달러에 도달할 것으로 전망된다. 기존의 유인 조사 방식이 가진 제약을 극복하고 해양 연구와 감시 분야에 새로운 전기를 마련하고 있는 중이다.

Saildrone is an unmanned marine observation platform powered by wind and solar energy, capable of long-term autonomous navigation. The system integrates various sensors, satellite communications, and autonomous navigation technologies to collect and analyze marine environmental data in real time, supporting applications across diverse fields such as climate change research, marine disaster monitoring, and national defense and security. The global Saildrone market is estimated at approximately USD 6.17 billion in 2024 and is projected to grow at an annual rate of 2.85% to USD 7.72 billion by 2032. It is overcoming the limitations of traditional manned survey methods and opening a new chapter in marine research and surveillance.

김민규 한국해양과학기술원 해양로봇실증센터 선임연구원
Minkyu Kim Senior Researcher, Korea Institute of Ocean Science & Technology







세일드론사의 익스플로러, 보이저, 서베이어 3가지 모델

상업용 세일드론: 익스플로러, 보이저, 서베이어

해외에서 상업적으로 운영되고 있는 세일드론은 자율운항, 무탄소 동력, 첨단 센서 통합을 강점으로 삼아 다양한 공공 및 민간 영역에서 활발히 활용되고 있다. 이 분야를 선도하는 기업은 미국 캘리포니아에 본사를 둔 세일드론사로, 현재 익스플로러(Explorer),

Commercial Saildrones: Explorer, Voyager, Surveyor

Saildrones, currently in commercial operation overseas, are actively utilized in various public and private sectors, leveraging their autonomous operation, zero-carbon power, and integrated advanced sensors. The leading company in this field is Saildrone Inc., headquartered in California, USA, which currently offers three models to the market: Explorer, Voyager, and Surveyor.

These models are designed differently depending on their missions and environments. The Explorer is a 7-meter platform capable

보이저(Voyager), 서베이어(Surveyor)라는 세 가지 모델을 시장에 내놓고 있다.

이 모델들은 임무와 환경에 따라 각기 다르게 설계되었다. 익스플로러는 길이 7m급의 플랫폼으로, 최대 12개월 이상 자율 항해가 가능하다. 현재 NOAA, NASA, WHOI와 같은 주요 연구기관과 협력해 북극과 적도 지역에서 기후변화와 해양 생태계 관련 데이터를 장기간 수집하는 데 사용되고 있다. 보이저는 미국 선급협회에서 자율 무인선 최초로 선박 분류를 획득한 모델이기에 국제 항만에서도 합법적으로 상업 운용이 가능하여 상업적 확장성 측면에서 가장 주목받는 모델이라고 할 수 있다. 서베이어는 20m급 대형 세일드론으로, 최대 11m 수심까지 음향 탐사가 가능해 심해 연구에 특화되어 있다. 특히 글로벌 해저지도 제작 프로젝트인 시베드(Seabed) 2030에 직접 투입되어 과학 연구와 자원 탐사 분야에서 핵심 역할을 하고 있다.

기후변화 대응과 해양 생태계 보전에 효과적인

세일드론은 태양광과 풍력을 동력으로 삼아 움직이는 자율 무인 수상선으로, 기존 선박 운항에서 발생하는 연료 소비와 탄소 배출을 크게 줄여주는 친환경 해양 플랫폼이다. 친환경 기술이 접목된 세일드론은 화석연료를 전혀 사용하지 않기 때문에 운항 중 온실가스가 발생하지 않으며, 결과적으로 기존 조사선에 비해 이산화탄소 배출량을 획기적으로 줄일 수 있다. 또한 장기간 자율 운항이 가능해 연료 보급이나 추가적인 선박 이동이 따로 필요하지 않아 2차적인 탄소 배출까지 줄일 수 있다. 또한 운용 과정에서 발생하는 소음이 거의 없어 고래나 돌고래와 같은 해양 생물에 방해가 되지 않아 친환경적인 관측 도구로 주목받고 있다. 이와 같은 특징 덕분에 세일드론은 기후변화 대응, 해양 생태계 보전, 지속 가능한 산업 혁신 등 국제적 목표 달성에 기여하는 핵심 기술로 평가된다.

of autonomous navigation for over 12 months. It is currently used to collect long-term data on climate change and marine ecosystems in the Arctic and equatorial regions in collaboration with leading research institutions such as NOAA, NASA, and WHOI. The Voyager is the first autonomous unmanned vessel to receive vessel classification from the American Bureau of Shipping, allowing it to legally operate in international ports and making it the most promising model in terms of commercial scalability. The Surveyor is a large, 20-meter Saildrone capable of acoustic surveys at depths of up to 11 meters, making it ideal for deep-sea research. It is deployed in the Seabed 2030 global seafloor mapping project, playing a key role in scientific research and resource exploration.

Effective for Climate Change Response and Marine Ecosystem Conservation

Saildrone is an autonomous, unmanned surface vessel powered by solar and wind energy. It is an eco-friendly marine platform that significantly reduces fuel consumption and carbon emissions compared to conventional ships. Incorporating eco-friendly technology, Saildrone operates without fossil fuels, emitting no greenhouse gases during navigation and dramatically reducing carbon dioxide emissions relative to traditional research vessels. Furthermore, its long-term autonomous navigation eliminates the need for fuel supply or additional vessel movements, further reducing secondary carbon emissions. Moreover, its minimal noise during operation prevents disturbance to marine life, such as whales and dolphins, making it an eco-friendly observation tool. These features make Saildrone a core technology contributing to international goals such as responding to climate change, conserving marine ecosystems, and promoting sustainable industrial innovation.



태양광 패널과 돛이 장착된 친환경 세일드론

자율운항 시스템과 AI 기반 데이터 처리 기술이 핵심이다

세일드론을 운용하기 위해 필요한 핵심 기술로는 자율운항 시스템을 들 수 있다. 자율운항 기술은 풍력과 태양광 기반 운항에 GPS, 자율 항법 알고리즘, 센서 융합을 적용하여 해양 환경에서도 안정적인 항로를 유지할 수 있다. 특히 고정밀 센서 융합 기술은 GNSS, IMU, LiDAR 등 다양한 센서를 통합하여 높은 정확도와 신뢰성을 제공함으로써 자율운항의 핵심 역할을 수행한다.

Autonomous Navigation Systems and AI-Based Data Processing Technologies at the Core

A key technology required for Saildrone operation include autonomous navigation systems. This technology integrate GPS, autonomous navigation algorithms, and sensor fusion with wind and solar-powered propulsion to maintain stable routes in marine environments. High-precision sensor fusion technology, in particular, plays a critical role in autonomous navigation by integrating various sensors, including GNSS, IMU, and LiDAR to ensure high accuracy and reliability.

이뿐만 아니라 AI 기반 데이터 처리 기술도 병행되어야 한다. 딥러닝 기반 알고리즘과 이상 상황 감지 시스템은 영상 음향 데이터를 분석하여 조난자 탐지, 비정상 선박 움직임, 기상 변화 등을 신속하게 파악할 수 있고 지능형 통신 기술을 통해 긴급 데이터는 우선 전송하고 일반 데이터를 압축 요약하여 전송함으로써 통신 효율성과 운영 안정성을 높일 수 있다.

In addition, AI-based data processing technologies must be implemented in parallel. Deep learning-based algorithms and anomaly detection systems analyze visual and acoustic data to rapidly identify distressed persons, abnormal vessel movements, and weather changes. Intelligent communication technologies prioritize the transmission of emergency data while compressing and summarizing routine data, thereby enhancing communication efficiency and operational stability.



슈피리어호에서 어장의 지속 가능한 관리를 지원하는 세일드론



허리케인 샘의 내부 모습을 촬영한 세일드론

이와 같은 기능을 통해 2021년 NOAA와 세일드론사가 협력해 세일드론을 대서양에서 발생한 허리케인 샘(SAM)의 중심부에 투입, 풍속 190km/h와 파고 15m의 극한 상황 속에서도 실시간 데이터를 수집하는 데 성공한 바 있다. 이 사례는 인간이 접근 불가능한 허리케인 내부 정보를 확보해 기상 예측 정확도와 재난 대응 효율성을 높인 최초의 성과로 평가된다.

Leveraging these capabilities, NOAA and Saildrone collaborated in 2021 to deploy a Saildrone into the eye of Hurricane Sam in the Atlantic Ocean, successfully collecting real-time data even under extreme conditions, with wind speeds of 190 km/h and waves reaching 15 meters. This is considered the first achievement of obtaining information from inside a hurricane, inaccessible to humans, thereby improving weather forecast accuracy and disaster response efficiency.

본격적인 상용화 단계에 이르기까지

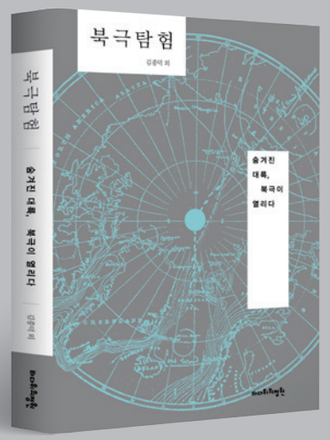
국내에서는 주로 무인수상정이나 자율무인잠수정 개발에 집중해왔으며, 세일드론은 아직 본격적인 상용화 단계에 이르지 못하고 있다. 다만 국제 협력 연구에서는 세일드론이 활용된 사례가 있어 국내 연구기관도 일부 참여한 바 있다. 국내 연구에서는 세일드론과 유사한 개념의 기초적인 시도가 있었지만 해외 상용 모델과는 다소 차이가 있어 진정한 의미의 세일드론으로 보기에는 한계가 있다.

따라서 우리의 기술을 발전시키기 위해서는 민간 참여와 산·학·연 협력을 통한 산업 생태계 조성이 필요하고 또한 해외 선진 기업과의 기술협력, 공동연구, 인력교류를 통해 핵심기술 개발과 글로벌 경쟁력 확보가 요구된다. 궁극적으로는 기술 개발뿐 아니라 제도적 기반과 국제 협업을 유기적으로 추진하여 세일드론을 미래 해양 무인체계의 핵심 기술로 발전시켜야 한다.

Toward Full-scale Commercialization

Korea has primarily focused on the development of unmanned surface vehicles (USVs) and autonomous underwater vehicles (AUVs), while Saildrones have yet to reach full-scale commercialization. However, some domestic research institutions have participated in international collaborative research, demonstrating the use of Saildrones. While domestic research has demonstrated basic approaches similar to Saildrones, they are notable differences from overseas commercial models, making them difficult to consider as true Saildrones.

Therefore, advancing our technologies requires active participation from the private sector and the establishment of an industrial ecosystem through collaboration among industry, academia, and research institutions. Furthermore, it is essential to develop core technologies and secure global competitiveness through technological collaboration, joint research, and personnel exchanges with leading overseas companies. Ultimately, we must organically pursue institutional foundations and international collaboration, in addition to technological development, to position Saildrone as a core technology for future unmanned maritime systems.



‘숨겨진 대륙’으로 불리는 그린란드로 가는 길

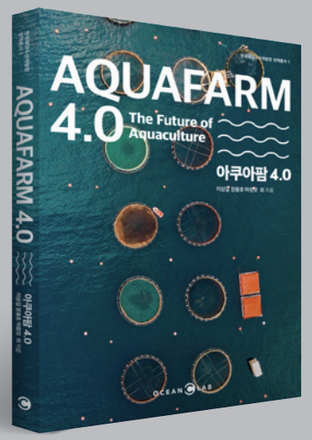
100여 컷의 귀한 사진이 우리를 신비한 그곳으로 안내한다. 북극은 마지막 남은 기회의 땅인가. 이누이트의 눈물과 희귀한 북극동물을 만난다. 폭포와 침엽수가 있는 새로운 바다이기도 한 그린란드에서 만난 풍경. 그리고 빙상, 빙하, 빙산이 궁금하다.

북극탐험
숨겨진 대륙,북극이 열리다
김종덕 외 지음 | 240쪽 | 값25,000원

아쿠아팜 4.0이 만들어 가는 세상이 궁금하다면!

이 책은 IoT · 데이터 · 인공지능 등 첨단 ICT 기술이 양식 현장에 접목되어 기술집약적 산업으로 도약하는 대한민국 수산양식업의 미래 성장모델이다. 이런 의미에서 이 책은 해양수산업에서 새로운 성장 동력을 찾고자 기술기업과 스타트업에게 미래 양식산업의 모습과 방향성을 쉽고 명쾌하게 이해할 수 있는 지침서가 될 것이다.

_ 진홍 한국전자정보통신산업진흥회 부회장



아쿠아팜AQUAFARM 4.0
이상길 장용호 마창모 외 지음 | 240쪽 | 값20,000원



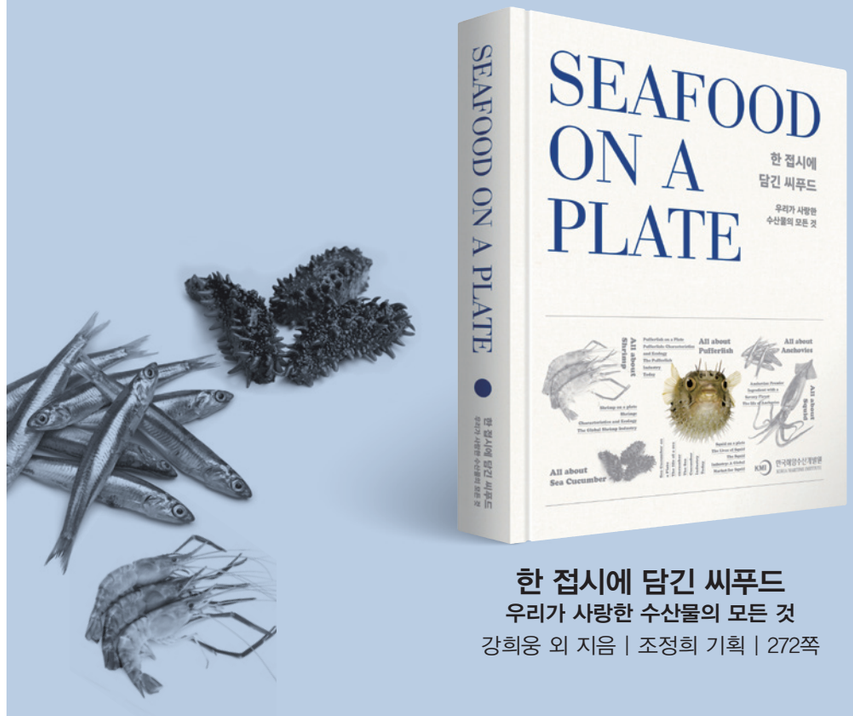
발트해는 바이킹이 지배하는 ‘야만의 바다’인가

전 유럽에 걸친 바이킹의 이동과 정착은 유럽역사 자체를 바꾼 최대의 사건이었다. 한자동맹의 자취, 호박루트, 러시아 혁명 100주년, 중세도시의 변신, 해양박물관, 신화와 도자기와 청어 그리고 크루즈까지 발트해를 둘러싼 모든 것을 다루었다.

발트해
바이킹의 바다, 북유럽의 숨겨진 보석
김융희 외 지음 | 288쪽 | 값19,500원

복어, 해삼, 멸치, 새우, 오징어에 대한 모든 것
All about Pufferfish, Sea Cucumber, Anchovies, Shrimp, Squid

세계 식탁에 오르는 수산물 이야기를 한자리에
Seafood on a Plate: Five Stories



한 접시에 담긴 씨푸드
우리가 사랑한 수산물의 모든 것
강희웅 외 지음 | 조정희 기획 | 272쪽

수산물로 만든 음식의 역사와 종류, 조리법, 취향 등을 다루었다. 더불어 해당 분야의 전문가들이 해양생태 측면에서 수산물의 일생을 이야기한다. 산업 또한 빠질 수 없다. 산업적 이용 실태와 기호도의 변화와 미래 산업적 가치까지 다루었다. 그런 측면에서 이 책은 비록 짧은 내용이지만 각각의 수산물에 관해 거의 모든 것의 핵심만 간추린 셈이다. 시각적인 면을 포함해 총체적으로 쉽게 다가갈 수 있도록 만들었다. 모쪼록 이 책 한 접시에 담긴 다섯 가지 수산물을 마음껏 음미하여 주길 바란다. _들어가는 글 중에서

This book looks at the histories and types of seafood dishes, their recipes, and different seafood preferences. From a marine ecology perspective, experts in relevant fields offer accounts of the lives of the animals that furnish seafood. The associated industries are also an essential part, and these pages look at different industry uses, changing tastes, and future industry value. While brief in content, we see this book as distilling the essence of all you need to know about these different varieties of seafood. It has been designed to be accessible in visual and other terms. Hopefully, these pages will offer an opportunity to truly savor the five types of seafood we have served up. _In the preface

The Establishment and After

KOREA MARITIME INSTITUTE (KMI) was established under the Act on the Establishment, Operation and Fostering of Government-funded Research Institutions. It is a government-sponsored institute under the umbrella of the National Research Council for Economics, Humanities and Social Sciences (NRCS). KMI's origin traces back to the Korea Institute of Shipping Technology, which was founded in 1984. Later in 1997, it was launched under a new name, the Korea Maritime Institute, which integrated the maritime and fisheries policy divisions scattered throughout various research organizations.

Research Divisions

KMI is conducting systematic and comprehensive research on current issues related to the marine, fisheries, shipping and ports industries as well as to national policy. We are reinforcing our demand forecasting function within the industry and the market as part of our efforts to respond preemptively to changes in the domestic and foreign environments. In addition, KMI is collecting, analyzing, and distributing information on the latest trends and relevant industries, consolidating them into a database.

The divisions include Marine Policy Research Department, Fisheries Policy Research Department, Shipping Logistics and Maritime Affairs Research Department, Port Research Department, Global Strategy Research Department, and Fishing Community Research Bureau.

Global Network

The center of a global network, KMI is marching towards the world. KMI is reinforcing its research capacity, leveraging a global research cooperation network while discovering new research agendas. Through this effort, KMI aims to lay the foundation for Korea to become one of the world's top maritime powerhouses, further contributing to national economic development.

The Way Forward

KMI has guided the development of maritime and fisheries for the Republic of Korea. For the last three decades, KMI has driven national maritime and fisheries policy by suggesting countless policy measures. Going forward, KMI will continue in step with the advancement of Korea's maritime and fisheries industry.

KMI 한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

부산광역시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동, 한국해양수산개발원) 전화 051.797.4800 팩스 051.797.4810 www.kmi.re.kr