



한반도 주변 해양기후변화 통합관측 전망



©, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image IBCAO
Data © 2010 MIRC/JHA
Image © 2010 TerraMetrics

대상 '2020년 기후변화과학 통합 공모전' 지구(地球)가 아닌 수구(水球)(김용진 작)

기상청

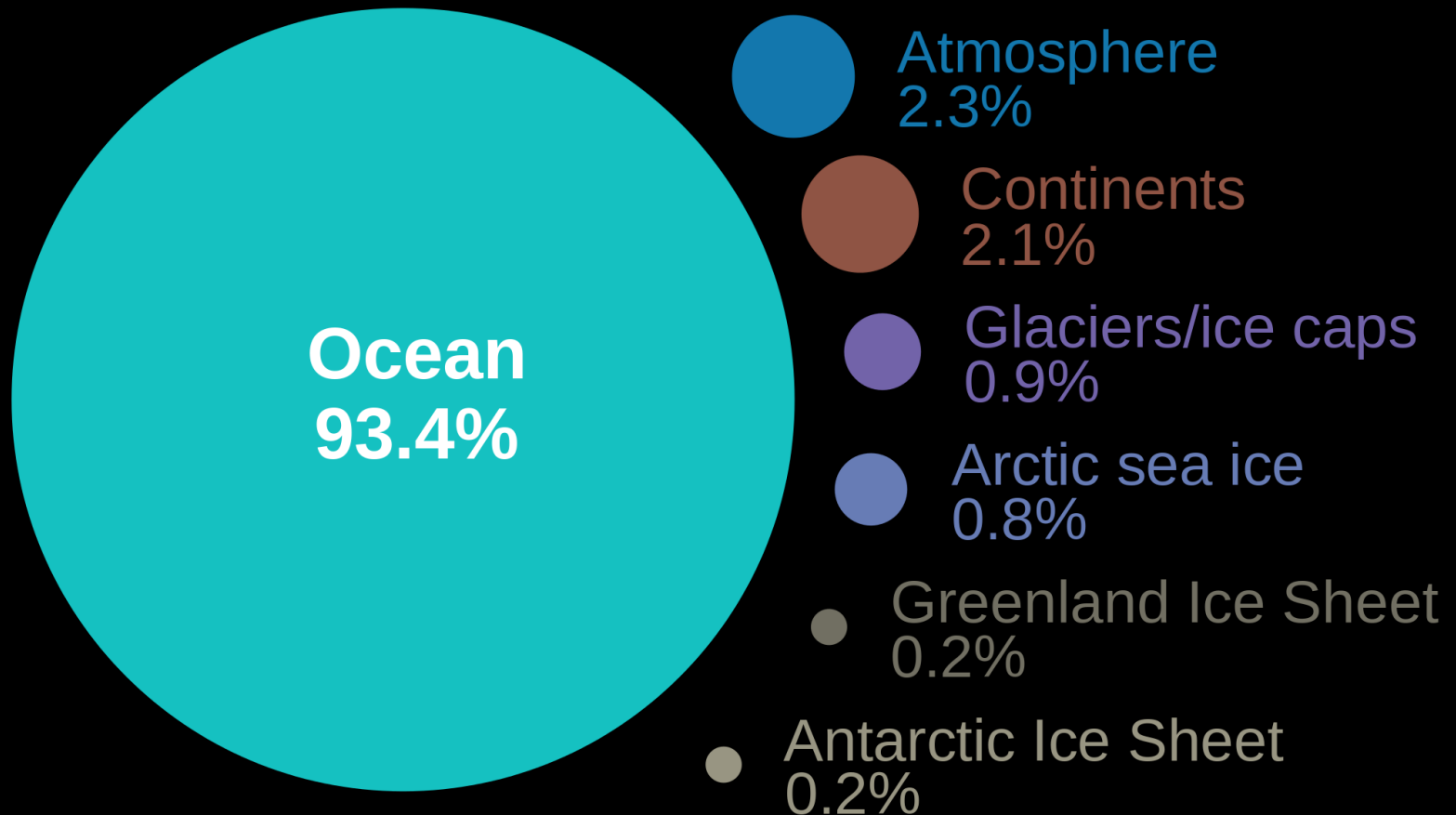
지구 평균기온 1.5°C 이상 상승은?

2100년 우리가 사는 행성은
지구(地球)가 아닌 수구(水球)입니다.

높아진 온실기스로 인한 지구온난화는 해수면 온도를 높이고 해수면 상승을 해안 저지대의 범람으로 이어줍니다.
기후변화 정황으로 해수면이 계속 상승하면 우리나라 곳곳은 물에 잠기게 됩니다.
(2100년 해수면 상승 폭이 10cm 더 높아지면 최만 명의 사람이 위험에 처할 수 있습니다.)
지구온난화 1.5°C 제한 선은 지구를 지키는 최소한 기준입니다.

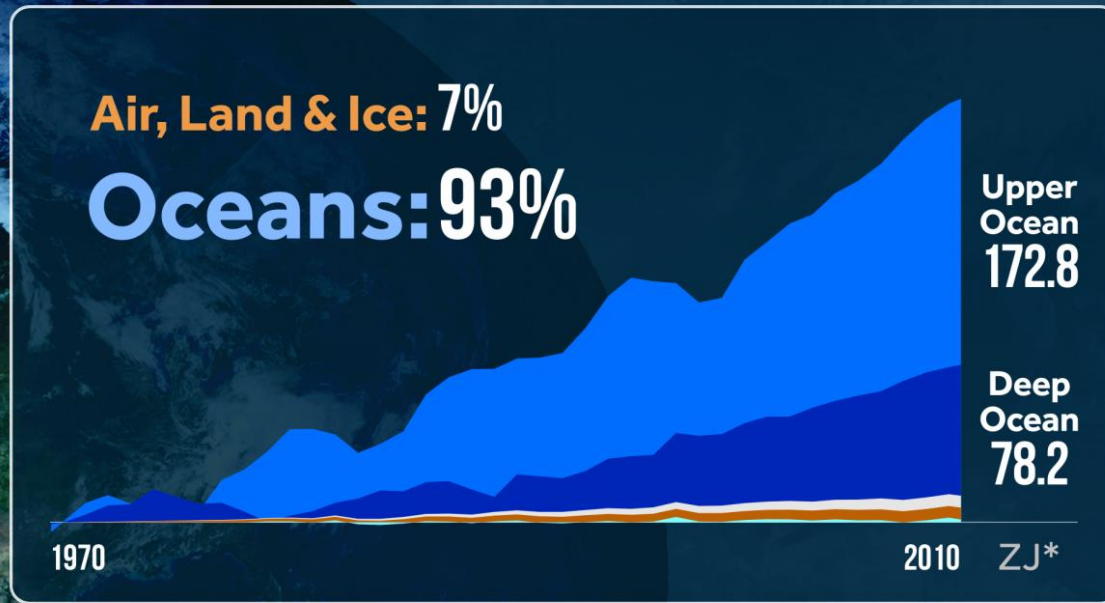
남 성 현
서울대학교 지구환경과학부/해양연구소

기후변화로 증가된 열은 어디에?



기후변화로 증가된 열은 어디에?

Earth's Accumulated Energy

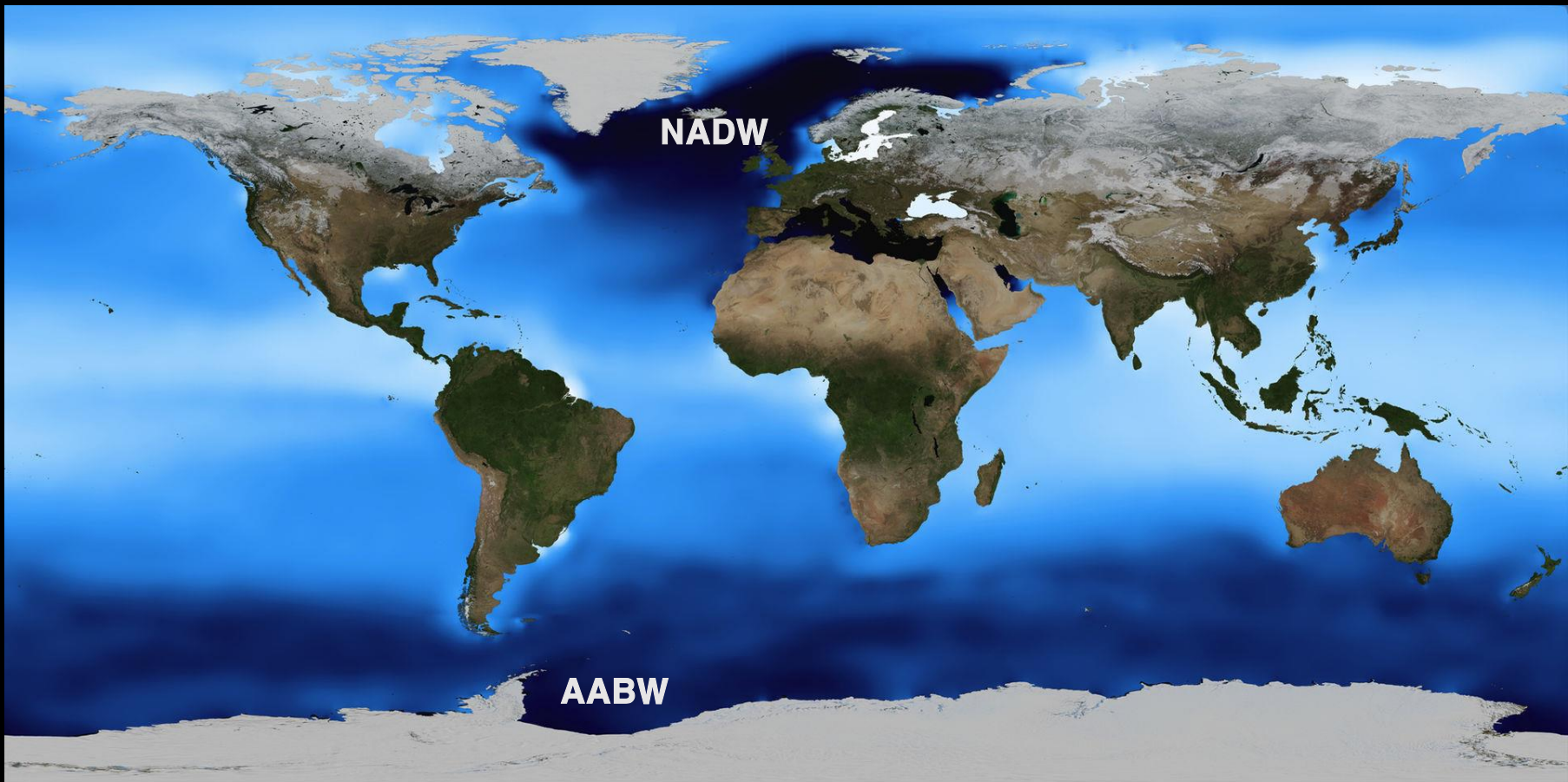


*Accumulated Heat Energy Measured in Zettajoules
Source: Climate Change 2013: The Physical Science Basis (IPCC) Chapter 3

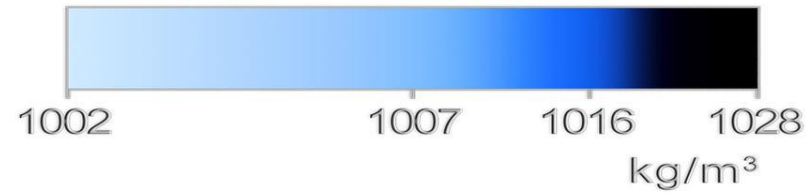
북대서양 심층수(North Atlantic Deep Water, NADW)

남극저층수(Antarctic Bottom Water, AABW)

해표면 밀도 분포

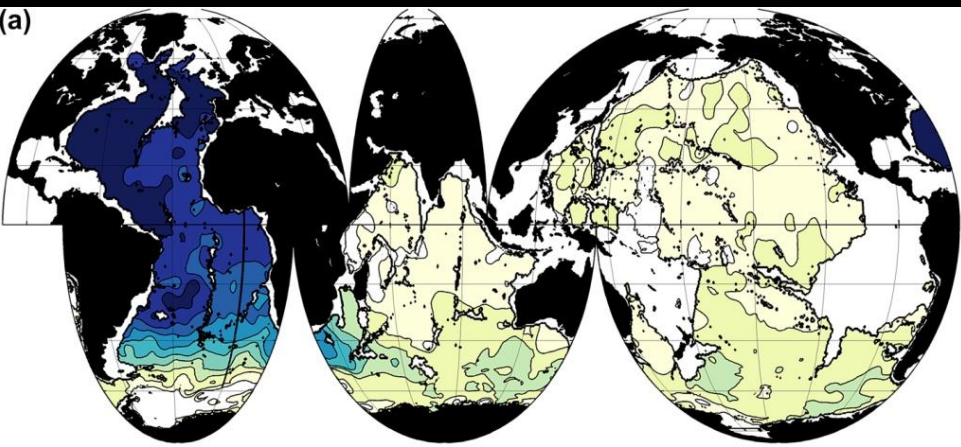


Sea Surface Density

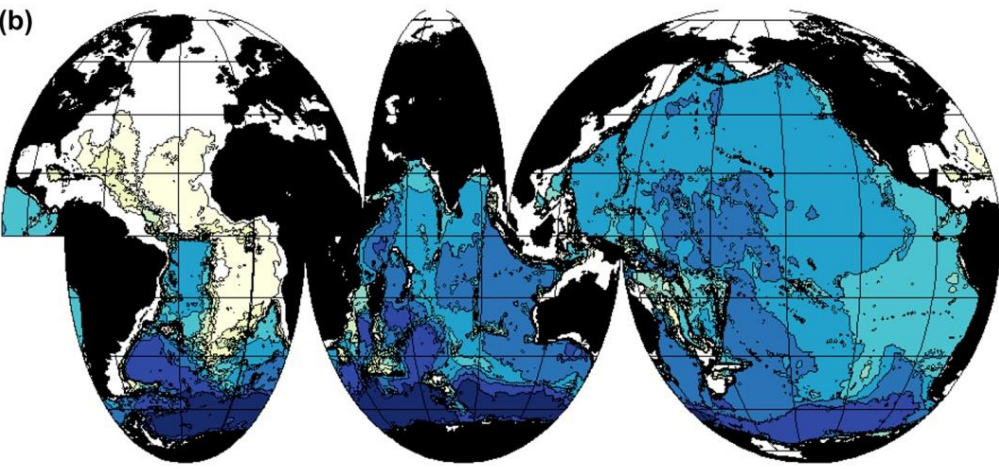


북대서양 심층수(North Atlantic Deep Water, NADW) 환남극 심층수(Circumpolar Deep Water, CDW) 남극저층수(Antarctic Bottom Water, AABW)

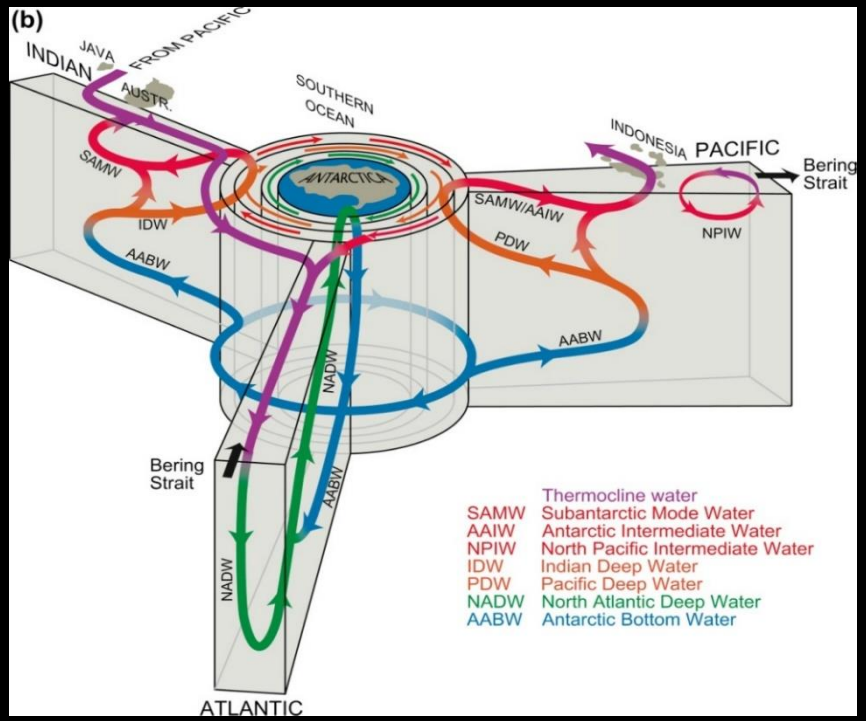
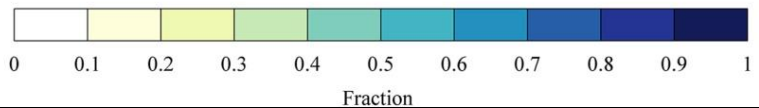
심층 해수 생성, 분포, 순환



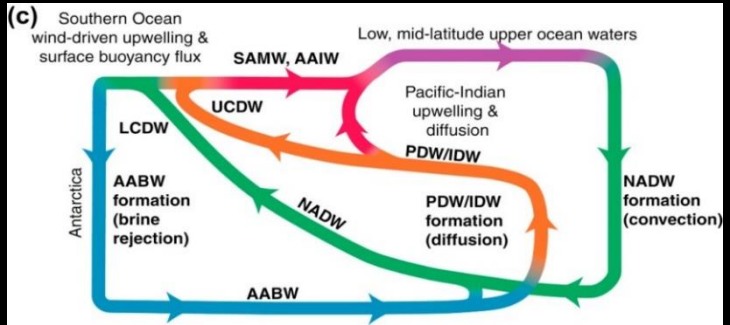
Fraction of NADW at $\gamma^N=28.06 \text{ kg/m}^3$ (2500-3000 m)



Fraction of AABW at ocean bottom

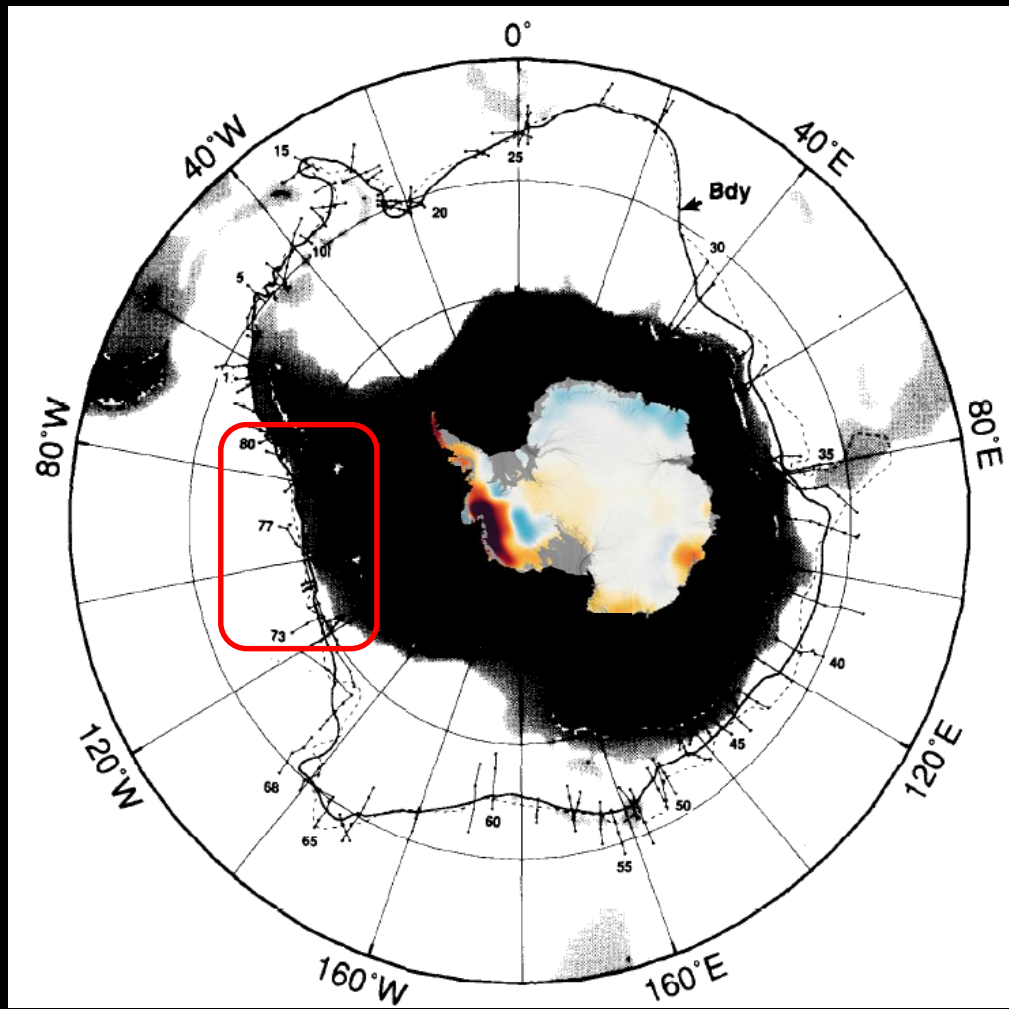


- SAMW Subantarctic Mode Water
- AAIW Antarctic Intermediate Water
- NPIW North Pacific Intermediate Water
- IDW Indian Deep Water
- PDW Pacific Deep Water
- NADW North Atlantic Deep Water
- AABW Antarctic Bottom Water



북대서양 심층수(North Atlantic Deep Water, NADW) 환남극 심층수(Circumpolar Deep Water, CDW) 남극저층수(Antarctic Bottom Water, AABW)

서남극 빙상 붕괴 - 해수면 예측 불확도



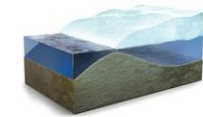
The Ice Apocalypse



In Antarctica, research suggests warming oceans are melting the ice sheets from below, potentially triggering rapid collapse and sea-level rise. In West Antarctica, one glaciologist recently said, "We have already blown the fuse." Here's how the process could unfold.

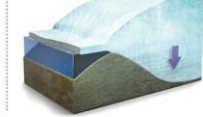
1 A Glacier Is Born

Just over 100,000 years ago, ice began to form on the sloping edge of the continental shelf in what is now West Antarctica.



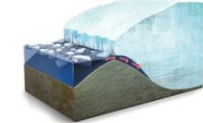
2 The Ice Thickens

As temperatures dropped and snowfall increased, the ice thickened, depressing the land beneath the glacier.



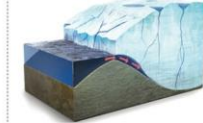
3 Warming-Ocean Effect

As the climate warms, much of the heat is absorbed by the oceans. The warmer water melts the glacier from below, causing the ice shelves to break off.



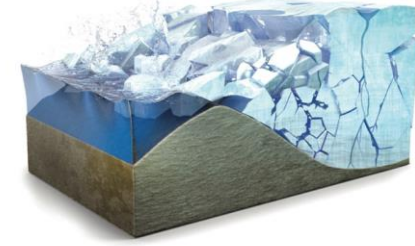
4 The Glacier Fractures

Without ice shelves, the glacier is destabilized, and the ice begins to fracture. As melted ice pools on the surface and water flows into the ice, it fractures further.

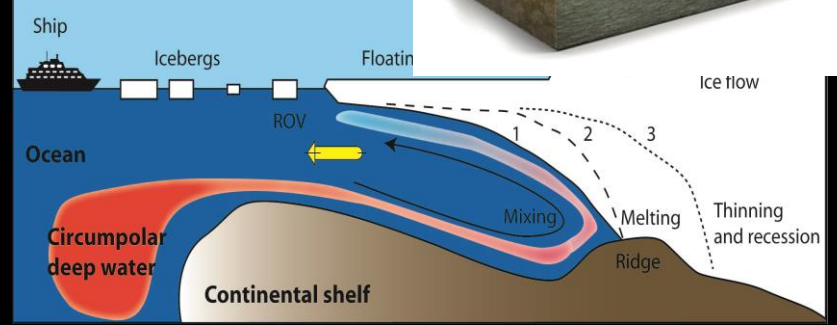


5 The Collapse Begins

With ice shelves gone and ice fractured, the glacier begins to collapse. As it does, it retreats deeper into the continent, and the ice cliffs get taller and even more unstable. The faster it collapses, the more unstable it becomes, leading to what scientists call "runaway retreat."



www.AntarcticGlaciers.org



IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate

SUMMARY FOR POLICYMAKERS

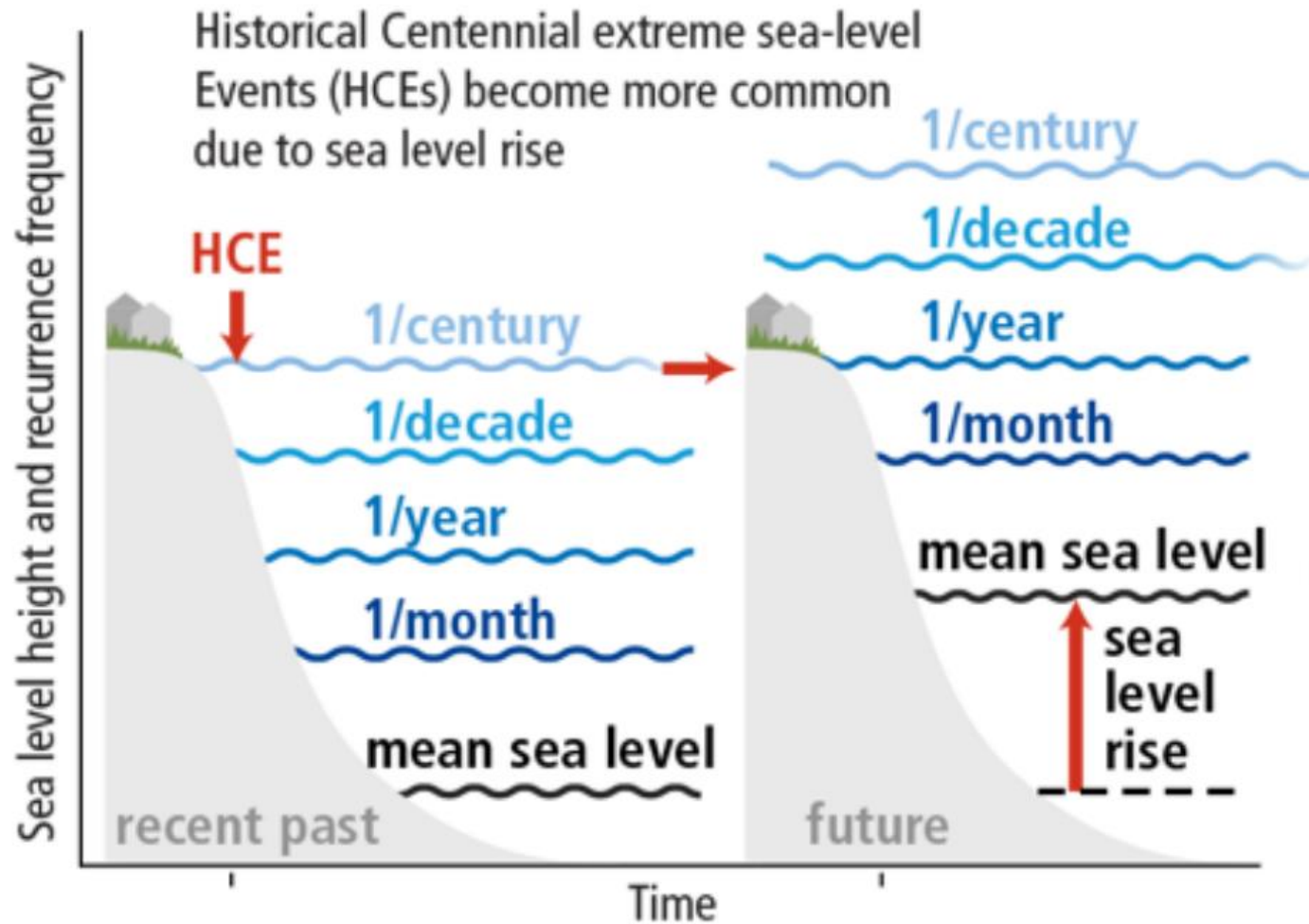
#SROCC

ipcc



IPCC 해양과 빙권 특별보고서(2019)

(a) Schematic effect of regional sea level rise on projected extreme sea level events (not to scale)



Observed regional

Ocean

Arctic

Physical changes

Temperature	▲
Oxygen	
Ocean pH	▼
Sea-ice extent	▼
Sea level	▲

Ecosystems

Epipelagic**	+ -
Coral	
Coastal wetlands	
Kelp forest	+
Rocky shores	
Deep sea	
Polar benthos	+ -
Sea-ice-associated	-

Human systems and ecosystem services

Fisheries	+ -
Tourism	+
Habitat services	+ -
Transportation/shipping	+
Cultural services	-
Carbon sequestration	

IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate



SUMMARY FOR POLICYMAKERS

#SROCC

ipcc

UNEP

IPCC 해양과 빙권 특별보고서(2019)

MHW: Marine Heat Waves

Observed regional

Ocean

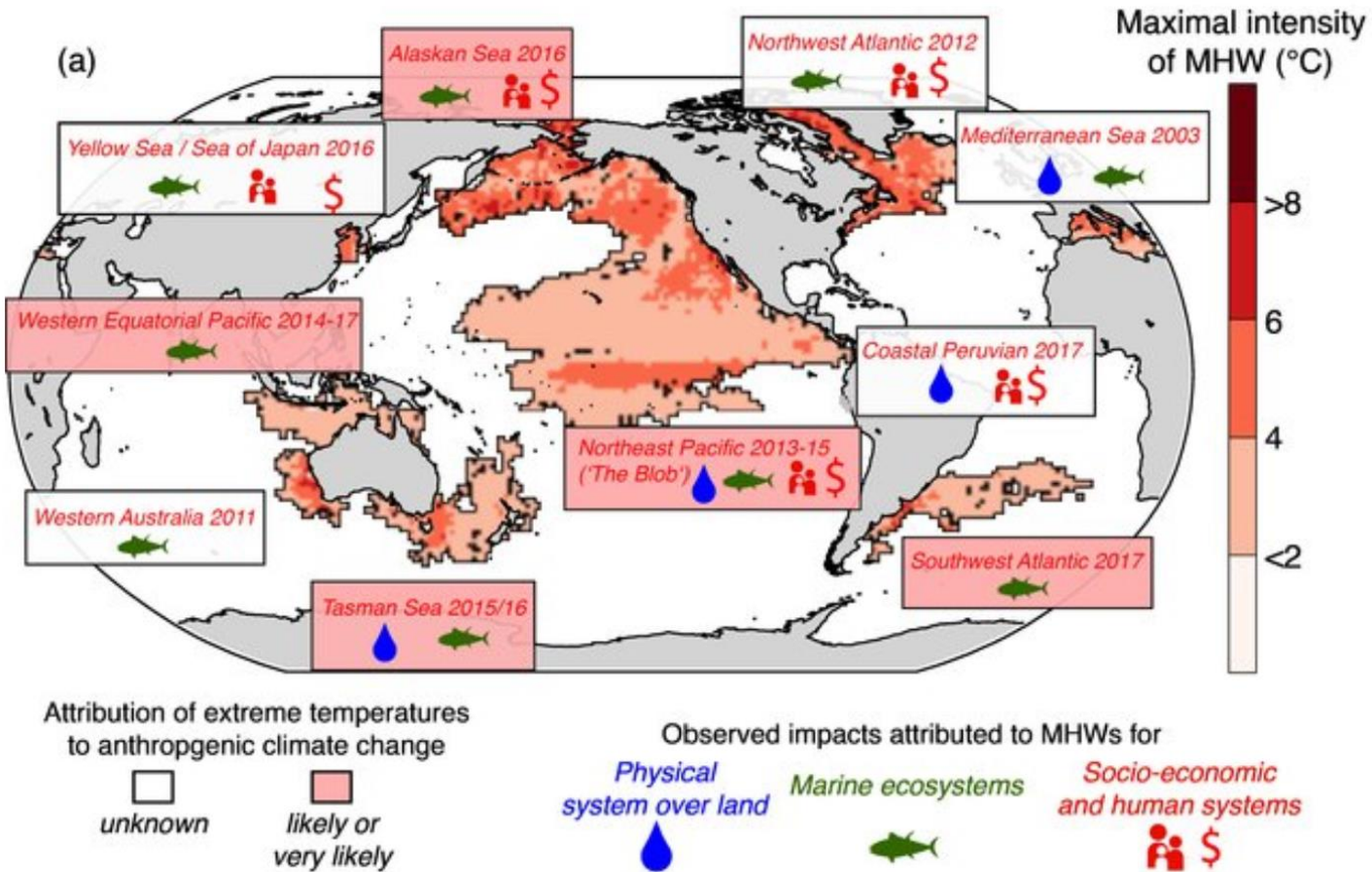
Arctic

Physical changes

Ecosystems

Human systems and ecosystem services

Temperature	▲
Oxygen	
Ocean pH	▼
Sea-ice extent	▼
Sea level	▲
Epipelagic**	+ -
Coral	
Coastal wetlands	
Kelp forest	+
Rocky shores	
Deep sea	
Polar benthos	+ -
Sea-ice-associated	-
Fisheries	+ -
Tourism	+
Habitat services	+ -
Transportation/shipping	+
Cultural services	-
Carbon sequestration	



기상청 기후정보포털



ENGLISH ≡ 사이트맵

기후정책법령

기후변화감시

기후변화시나리오

기후예측정보

종합 기후변화감시정보

기후변화 감시망 -

- 전세계 감시망

- 국내기후변화감시소

기후변화감시장비

기후변화감시자료

입체관측

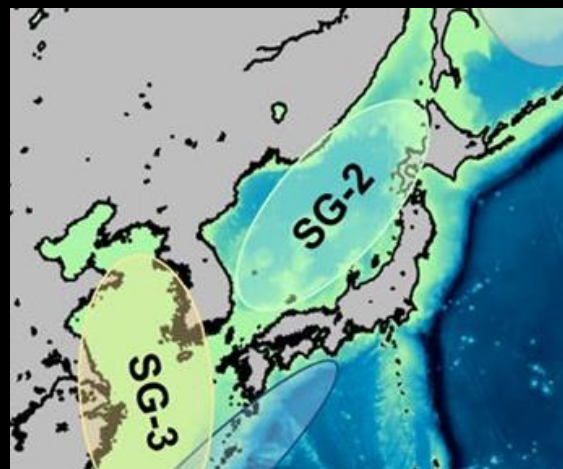
국내기후변화감시소

기후변화감시 > 국내기후변화감시소



기후변화감시소	위탁감시소
---------	-------

연세대학교	광주과학기술원	서울대학교	남극세종과학기지
제주대학교	숙명여자대학교	남극장보고기지	



기상청 기후정보포털



ENGLISH ≡ 사이트맵

기후정책법령

기후변화감시

기후변화시나리오

기후예측정보

종합 기후변화감시정보

기후변화 감시망

기후변화감시장비

기후변화감시자료

입체관측 —

- KALION(한반도 에어로졸 라이다 관측 네트워크)

- 항공기

- 선박

- 해상 레이저 안개관측

선박

기후변화감시 > 선박

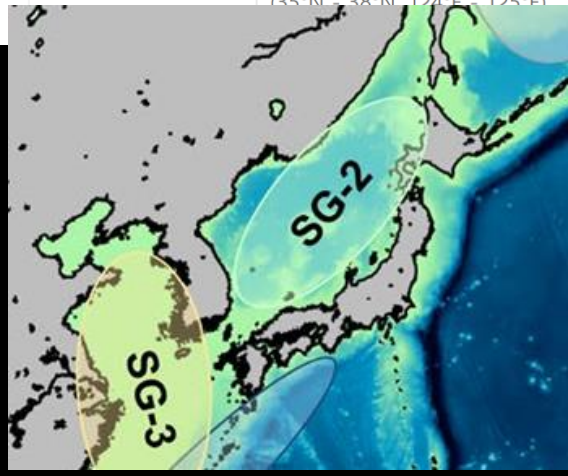
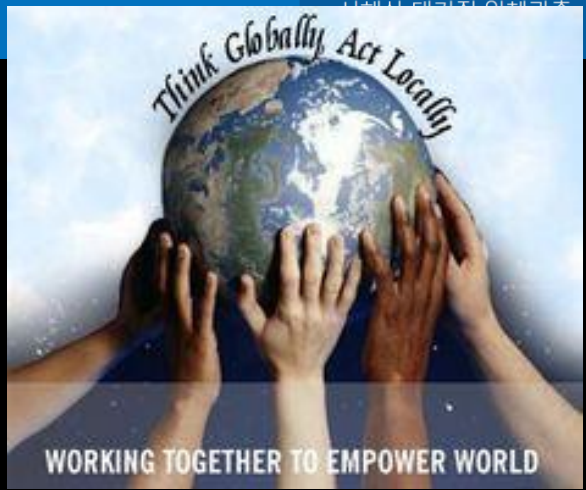


기상관측선 기상1호	기상관측선 기상1호 관측사례
------------	-----------------

> 관측 개요

- 기상1호 관측 사례('20.3.20.~4.1.)

기간	'20.3.20 ~ 4.1. (13일간)
지역	인천↔목포 앞바다 (35°N ~ 38°N, 124°E ~ 125°E)

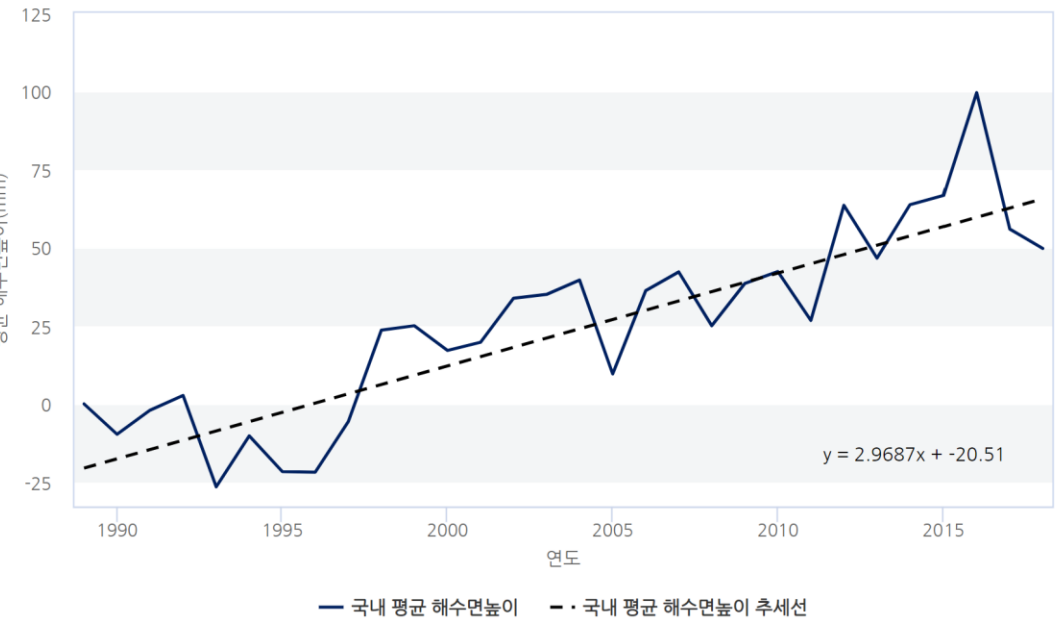


기상청 기후정보포털 → 종합 기후변화감시정보

해수면높이	해수온도	해빙	해상풍	염분	해양 열용량
국내외 해수면높이 국내외 해수면높이와 상승률	국내외 해수면온도 국내 지점별 해수면온도와 기온 국내 해수면온도 변화를 분포도 해수면 온도 실황 및 예측 국내-외 수온(수면 밑)	해빙 분포도 해빙 연변화 연관정보	유의파고 평균 및 최고 유의파고 분포 해양기상부이 해상풍 특성 과거 풍랑특보일 수	국내-외 표층염분 연관정보	국내-외 해양열용량 연관정보

※ '19.12. 최신정보 수정 / '20.12. 다음 업데이트 예정

국내 연평균 해수면높이



국내 조위관측소 21개 지점의 연평균 해수면높이를 1989년의 해수면높이 0.0mm 기준으로 변환한 그래프이다.
 1989년 0.0mm를 기준으로 점차 상승하고 있음을 알 수 있다.
 2018년 연평균 해수면높이는 1989년 대비 49.7mm 높았으며,
 2016년은 1989년 대비 99.5mm로 가장 높았고, 1993년은 1989년 대비 -26.5mm로 가장 낮았다.

- ※ 국내 조위관측소 21개 지점 :
- 안흥, 군산, 목포, 흑산도, 인천, 보령, 위도, 추자도, 완도, 제주, 서귀포, 거문도, 여수, 통영, 가덕도, 부산, 울산, 포항, 울릉도, 목호, 속초

(출처) 국립해양조사원

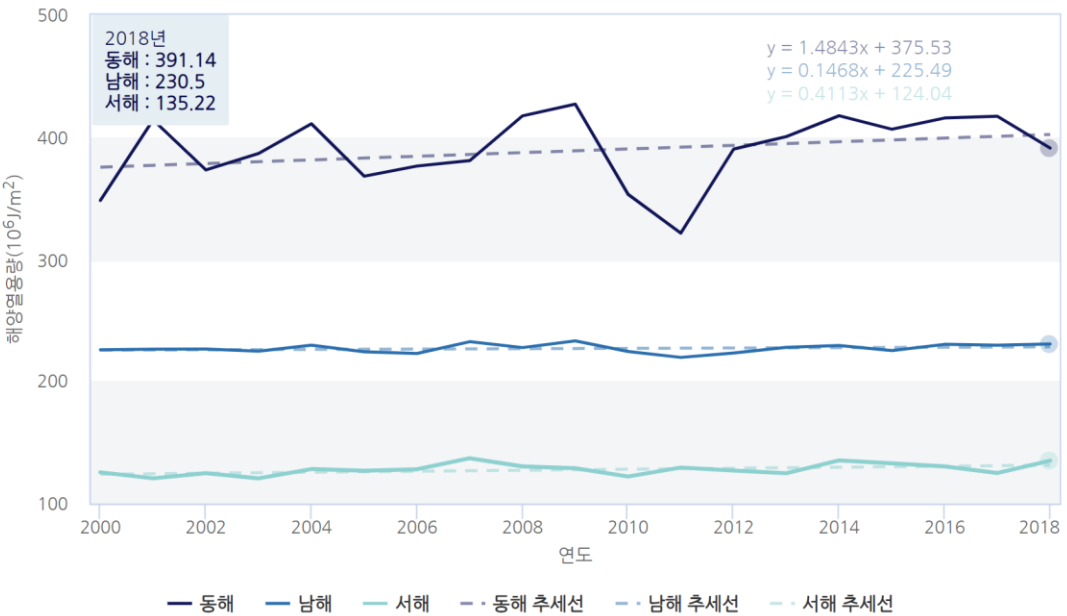
※ 범례 클릭 시 그래프 추가삭제할 수 있으며, 그래프 위 마우스로 영역을 설정하면 확대 가능합니다.

기상청 기후정보포털 → 종합 기후변화감시정보

해수면높이	해수온도	해빙	해상풍	염분	해양 열용량
국내외 해수면높이 국내 해수면높이와 상승률	국내외 해수면온도 국내 지역별 해수면온도와 기온 국내 해수면온도 변화율 분포도 해수면 온도 실황 및 예측 국내-외 수온(수면 밑)	해빙 분포도 해빙 연변화 연관정보	유의파고 평균 및 최고 유의파고 분포 해양기상부이 해상풍 특성 과거 풍랑특보일 수	국내-외 표층염분 연관정보	국내-외 해양열용량 연관정보

※ '20.11. 최신정보 수정 / '21.11. 다음 업데이트 예정

국내 해역별 연평균 해양열용량



정선해양관측지점 자료를 이용하여 나타낸 국내 해역별 해양열용량 연평균 그래프이다. 전 해역에서 해양열용량의 상승 경향을 확인할 수 있으며, 동해는 $18 \times 10^6 \text{Jm}^{-2}$, 남해는 $3.6 \times 10^6 \text{Jm}^{-2}$, 서해는 $7.2 \times 10^6 \text{Jm}^{-2}$ 상승하여, 동해의 해양열용량 상승경향이 가장 높게 나타났다(수산분야 기후변화평가백서, 2019).

+ 해양열용량이란?

※ 정선해양관측지점 : 정선 해양조사 정점(25개선 207개 정점)

(출처) 국립수산과학원

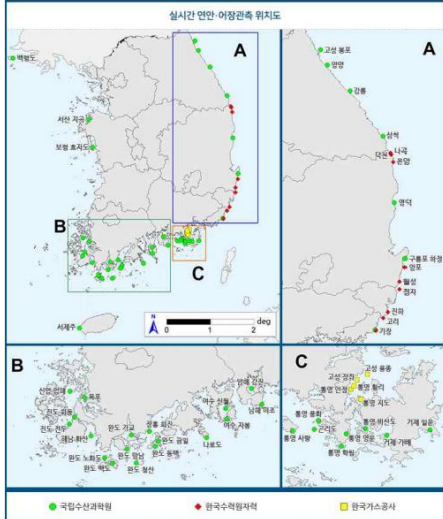
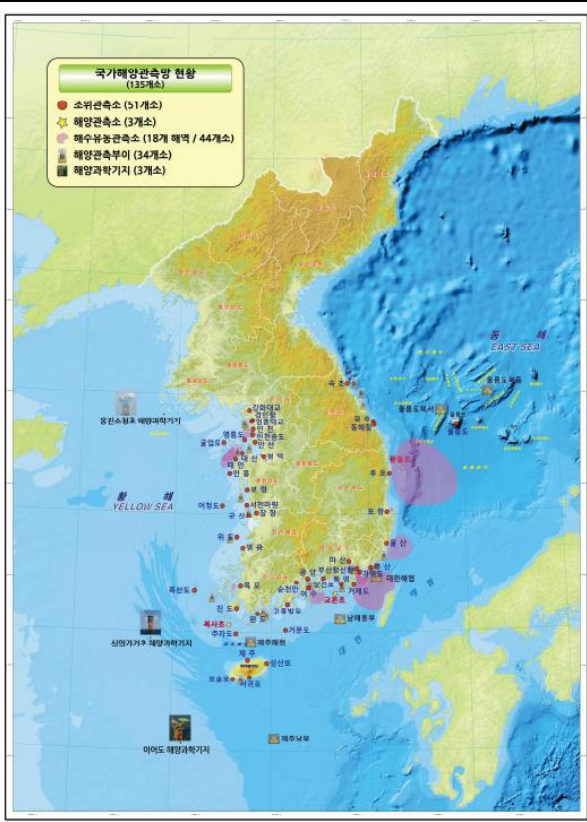
※ 범례 클릭 시 그래프 추가-삭제할 수 있으며, 그래프 위 마우스로 영역을 설정하면 확대 가능합니다.

한반도 주변 해역 해양관측 - 데이터?

국립해양조사원
국가해양관측망

국립수산과학원
실시간 해양환경 어장정보 관측
연안정지관측, 정선해양관측

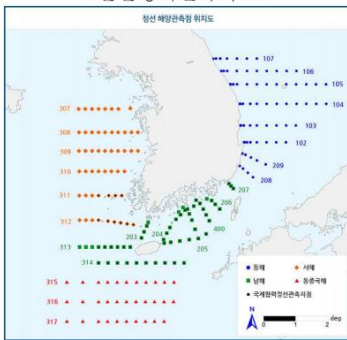
해양환경관리공단
해양환경측정망
해양수질자동측정망



<실시간 해양환경 어장정보 관측자료>



<연안정지관측자료>



<정선해양관측자료>

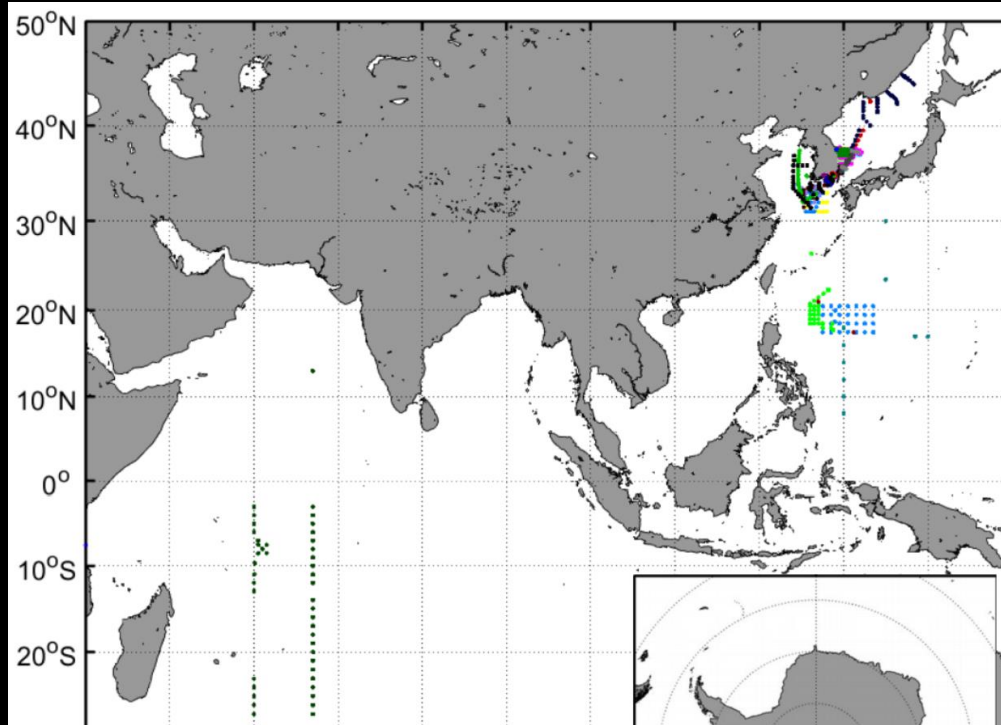


(출처: 2020년 12월 국가해양관측망 월간해양정보)

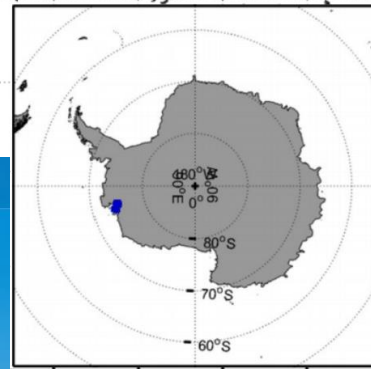
한반도 주변 해역 해양관측 - 데이터?

서울대학교
해양환경관측연구실

자체보유 데이터
: 2015년 이후
총 33회 승선조사
(한반도 주변 해역
총 27회 승선조사)



- 01_EAST_201505_tamsa2_ES
- 02_SAVEX15_201505_onnuri_ECS
- 03_EAST_201508_leodo_ES
- 04_ECS_201508_leodo_ECS
- 05_KIOST_201610_onnuri_WP
- 06_EAST_201702_onnuri_ECS
- 07_SSSS_201703_NARA_KoreanStrait
- 08_EAST_201705_haeyang_ES
- 09_EAST_201705_tamsa2_ES
- 10_EAST_201707_haeyang_ES
- 11_SONAR_201708_tamsa2_ES
- 12_KIOST_201709_ISABU_WP
- 13_EAST_201802_ISABU_ES
- 14_SSSS_201803_nara_ES
- 15_EAST_201804_onnuri_ECS
- 16_EAST_201807_tamsa2_ES
- 17_EAST_201807_haeyang_ES
- 18_STATION_201808_onnuri_ECS
- 19_OCEAN_201809_onnuri_ECS
- 20_OCEAN_201810_ISABU_WP
- 21_EAST_201811_lavrentyev_ES
- 22_SSSS_201903_NARA_KoreanStrait
- 23_SCTR_201904_ISABU_IO
- 24_EAST_201907_BADAR02_ES
- 25_STATION_201907_onnuri_ECS
- 26_OCEAN_201910_ISABU_WP
- 27_EAST_201911_Oparin_ES
- 28_PTRBM_201912_Onnuri_Namhae
- 29_ANTARCTICA_201912_ARAON_AT
- 30_PTRBM_202006_Tamsa2_ES
- 31_EAST_202008_Onnuri_YSECS
- 32_EAST_202011_Onnuri_ES
- 33_EAST_202011_leodo_ES



110°E 120°E 130°E 140°E 150°E

JOISS 관할해양정보 공동활용시스템

데이터 문서 자원 교육 커뮤니티 데이터기탁

해양과학자료 공동활용 저장소

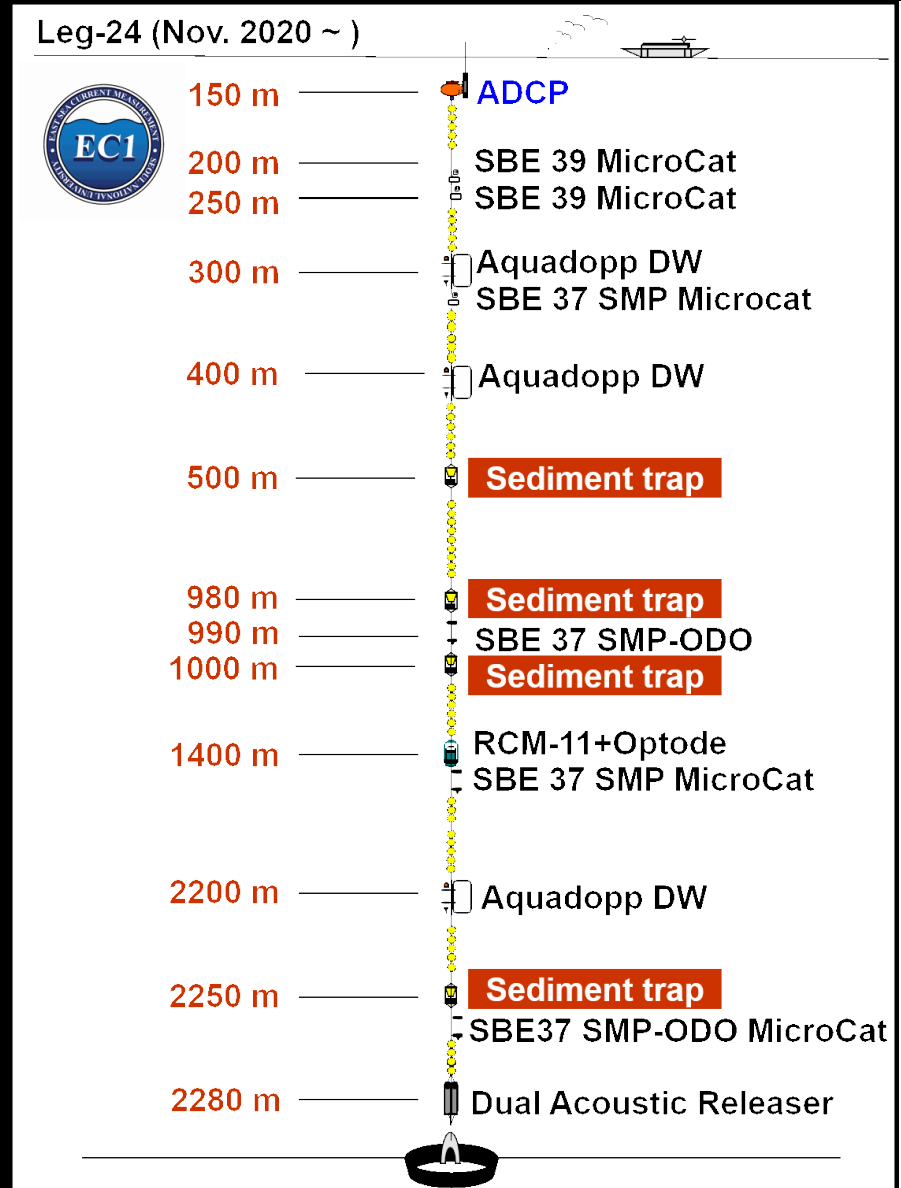
JOISS 관할해양 해양정보 공동활용 시스템은
국내외 해양정보 공유활용의 환경 변화에 맞추어 '데이터 중심의 과학'과
'오픈 사이언스'를 기반으로 한 해양연구자료의 전문 리포지토리입니다.

- 관측자료검색
- 메타검색
- 기관자료연계
- 자료등록
- SEA LAB

한반도 주변 해역 해양관측 - 데이터?

서울대학교
해양환경관측연구실

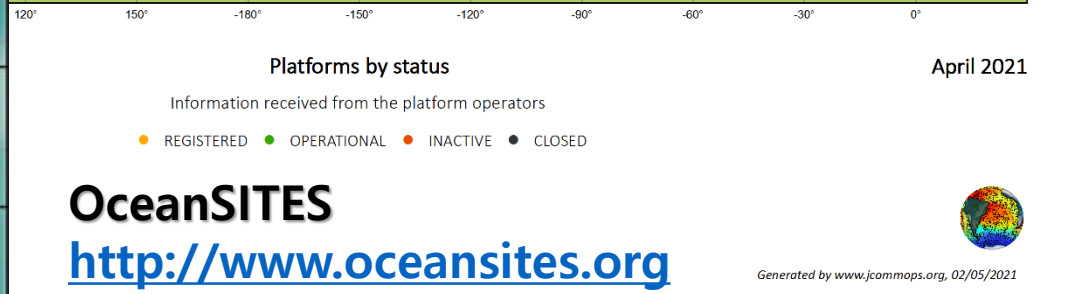
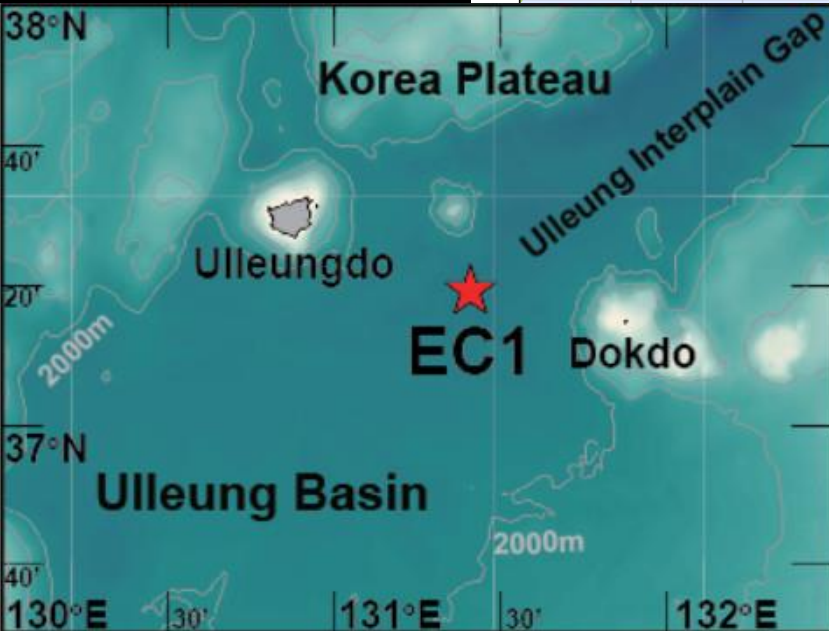
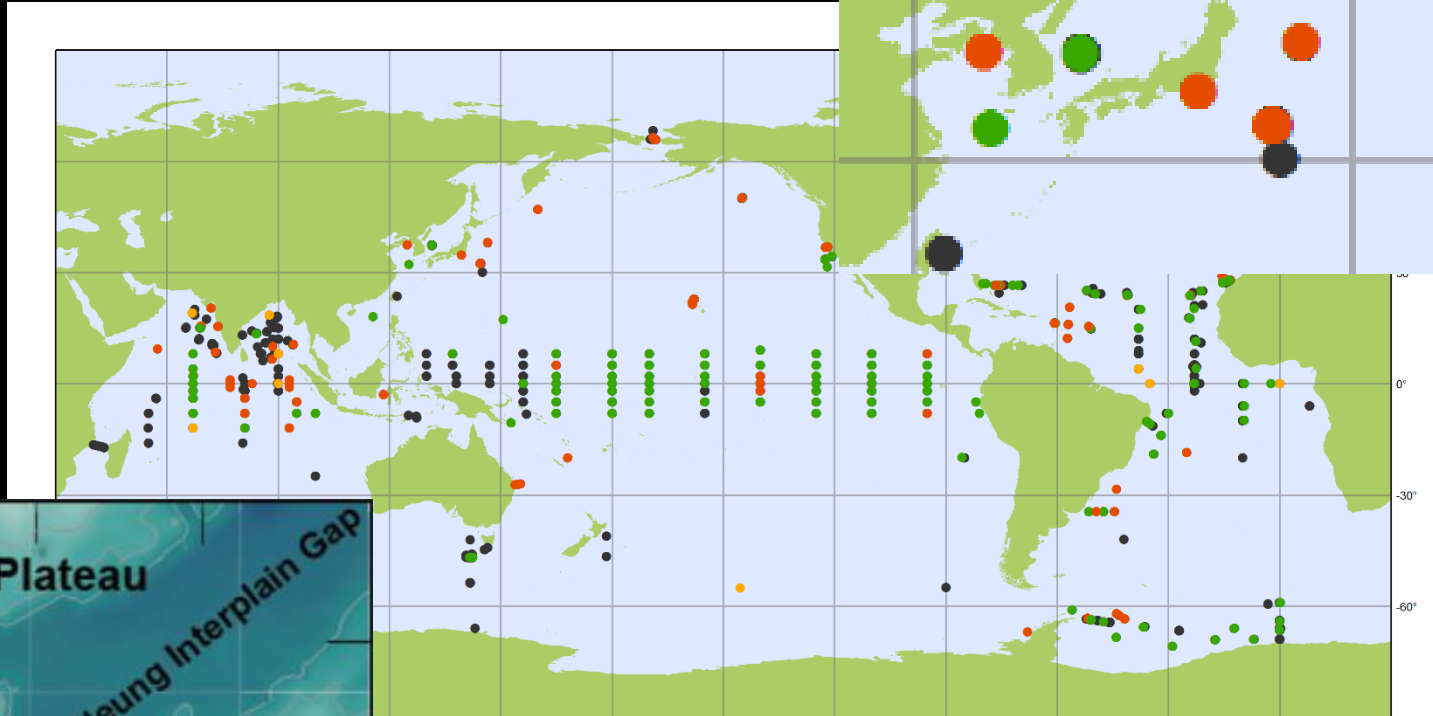
자체보유 데이터
: 1996년 이후(+25 yrs)
연속 시계열 데이터
→ EC1



한반도 주변 해역 해양관측

서울대학교
해양환경관측연구실

자체보유 데이터
: 1996년 이후
연속 시계열 데이터
→ EC1

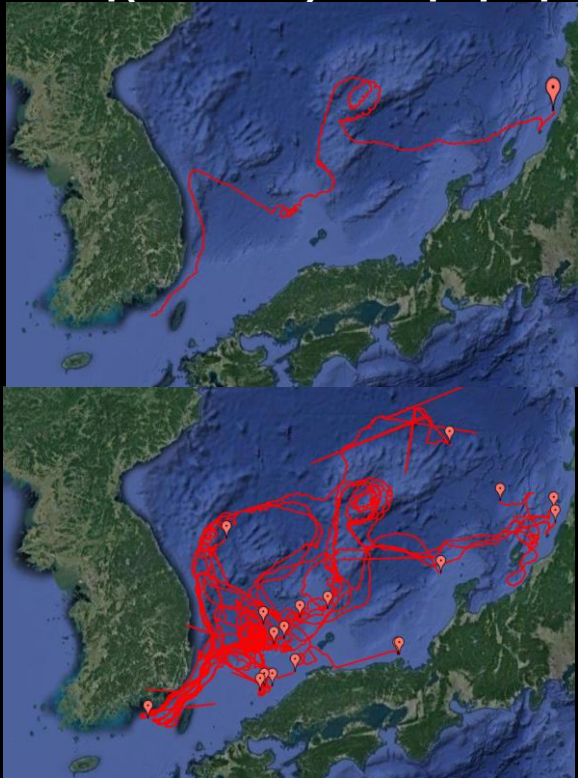
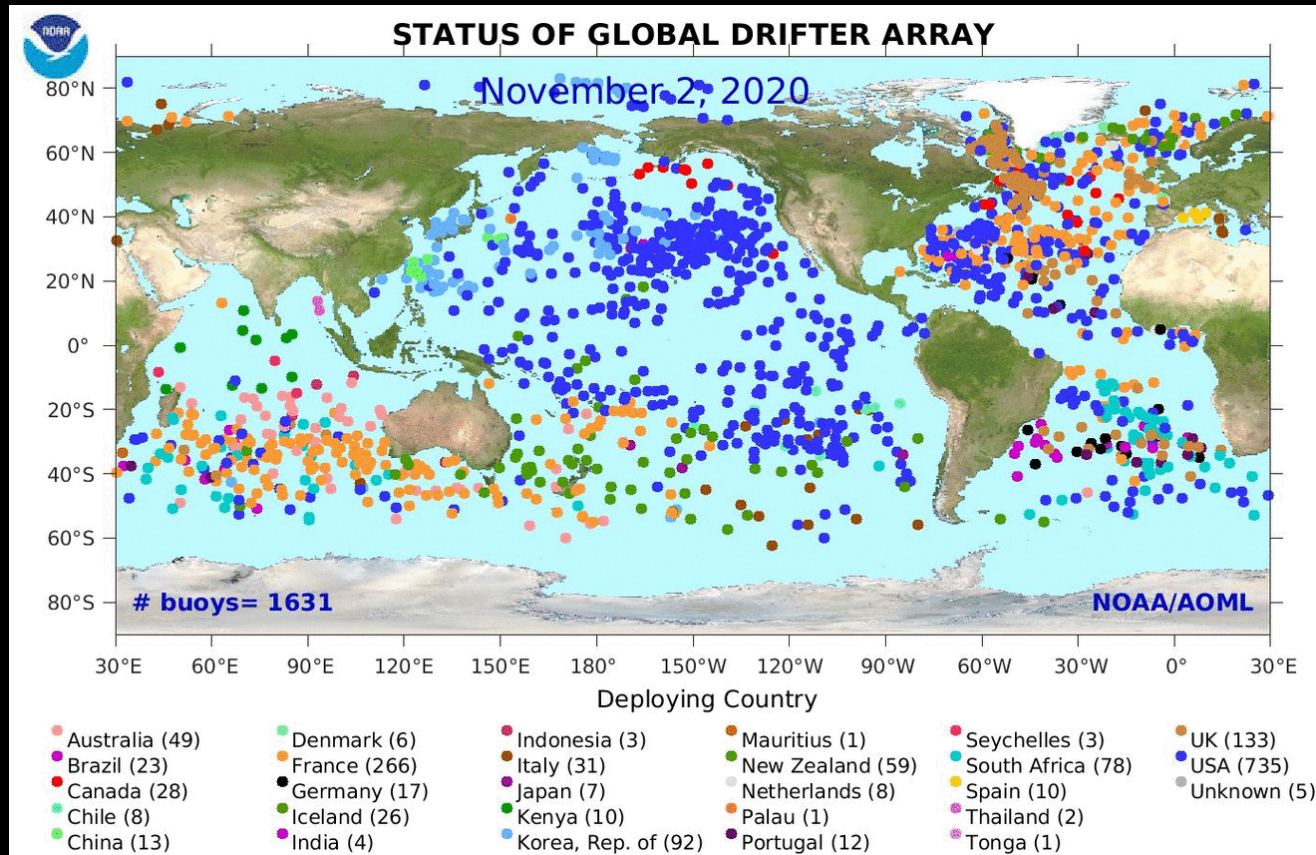
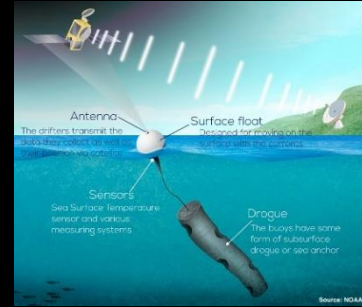


Lee, H., Nam, S. (2021). EC1, long and continuous mooring time series from 1996 to 2020. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/78916>

한반도 주변 해역 해양관측 - 데이터?

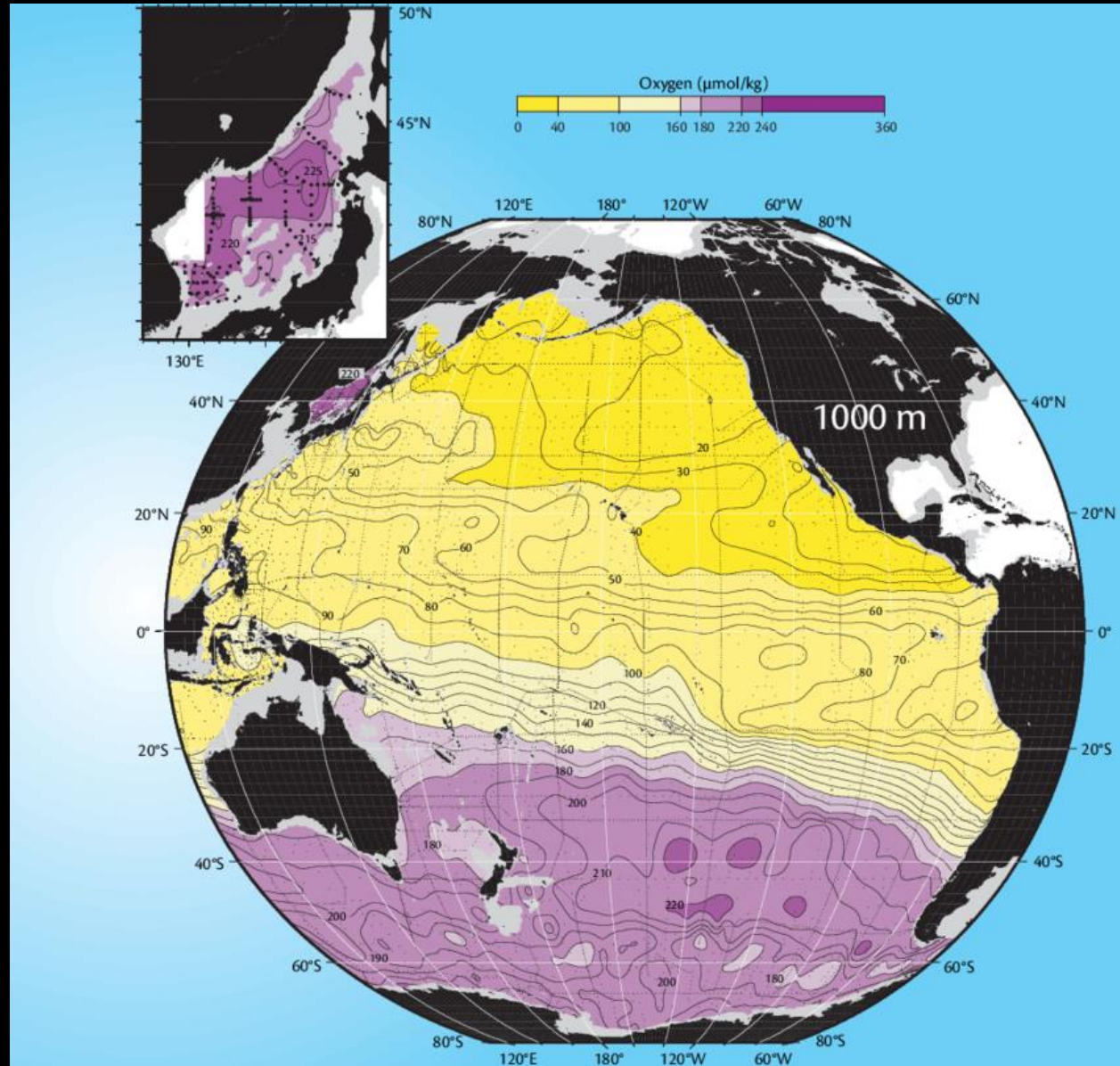
서울대학교
해양환경관측연구실

자체보유 데이터
: 2020년 8월 표층
뜰개(drifters) 20기 투하

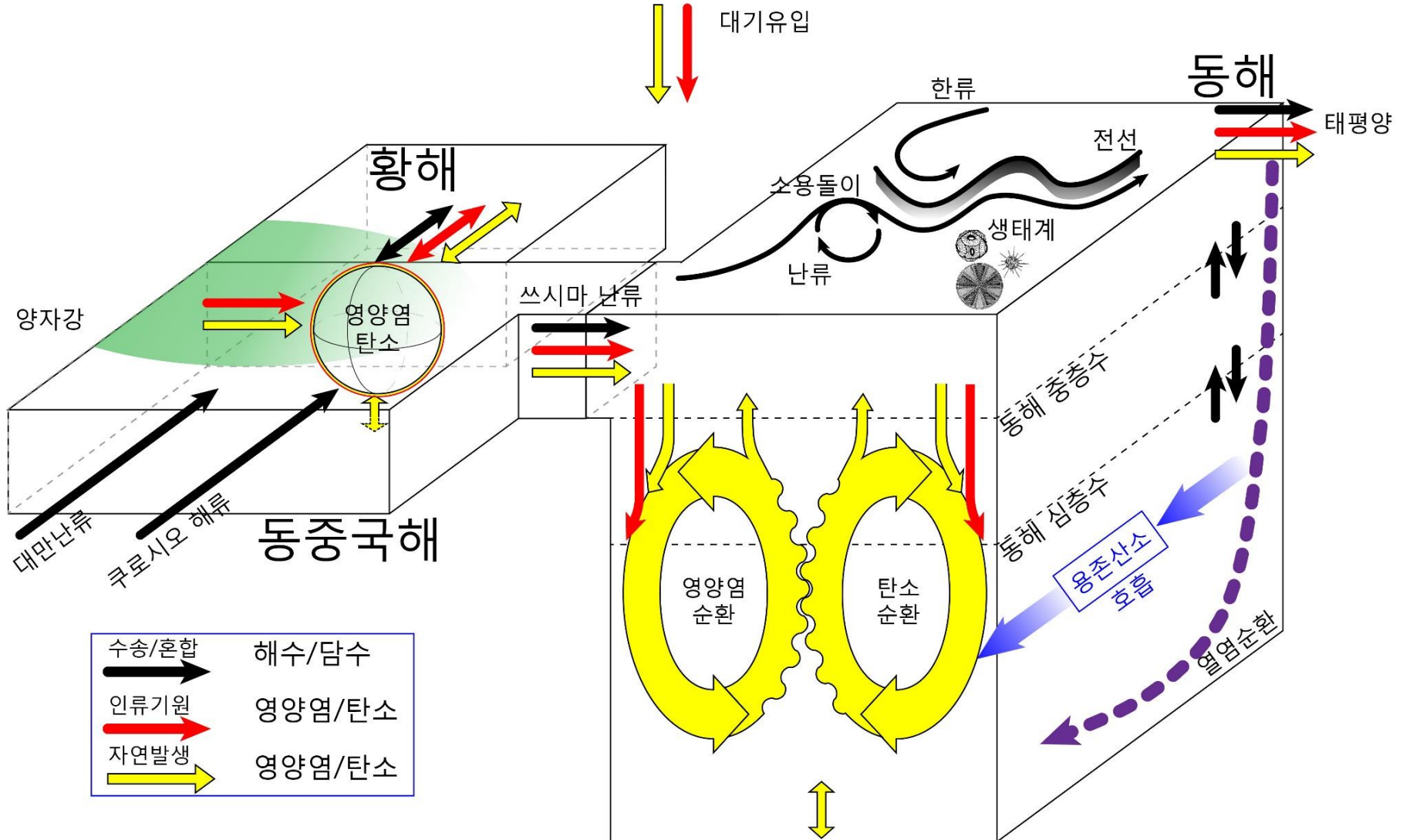


동해 해수 순환

- 동해/일본해(East Sea/Japan Sea)
- 해양학적으로도 전세계적으로 독특한 바다
- 대양의 축소판 (Miniature Ocean/Natural Lab.)
- 빠른 기후 반응 (Rapid warming)
- 오염/생태계 (Nutrient loading)



동해 심층 해수 및 물질 순환 기작 규명(2016.12~2023.4)



수송/혼합	해수/담수
인류기원	영양염/탄소
자연발생	영양염/탄소

심층 해수 특성 장기 변화 기작

한러 연구진 "온난화로 줄어들던 동해심층수 다시 생성"

입력 2018. 02. 08. 11:51 수정 2018. 02. 08. 13:19 댓글 19개

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN Re-initiation of bottom water formation in the East Sea (Japan Sea) in a warming world

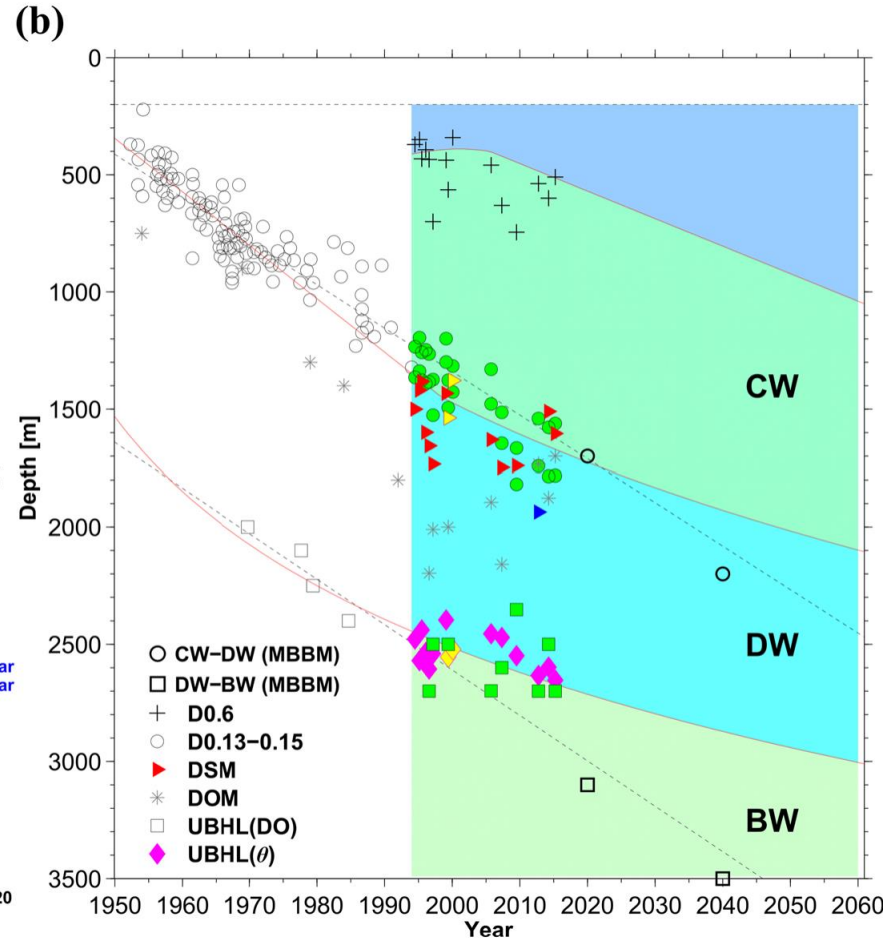
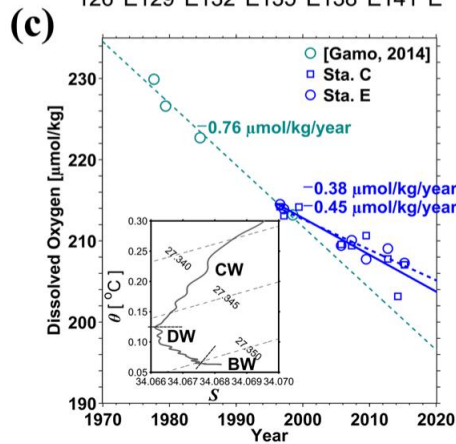
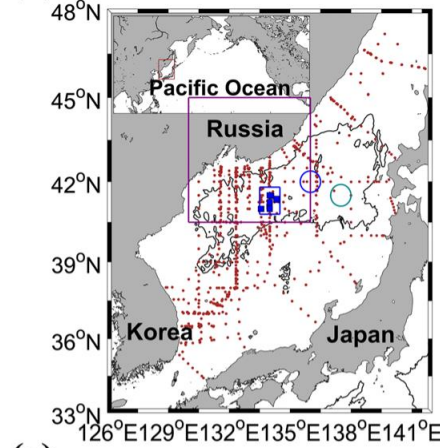
Received: 21 June 2017
Accepted: 11 January 2018
Published online: 25 January 2018

Seung-Tae Yoon¹, Kyung-Il Chang², SungHyun Nam³, TaeKeun Rho³, Dong-Jin Kang³, Tongsup Lee⁴, Kyung-Ae Park¹, Vyacheslav Lobanov⁵, Dmitry Kaplunenko⁵, Pavel Tishchenko⁵ & Kyung-Ryu Kim⁶

중앙수:
Central Water (CW)
심층수:
Deep Water (DW)
저층수:
Bottom Water (BW)

심해염분최소층:
Deep Salinity Minimum (DSM)

(Yoon et al., 2018)



심층 해수 특성 장기 변화 기작

한러 연구진 "온난화로 줄어들던 동해심층수 다시 생성"

입력 2018. 02. 08. 11:51 수정 2018. 02. 08. 13:19 댓글 19개

SCIENTIFIC REPORTS

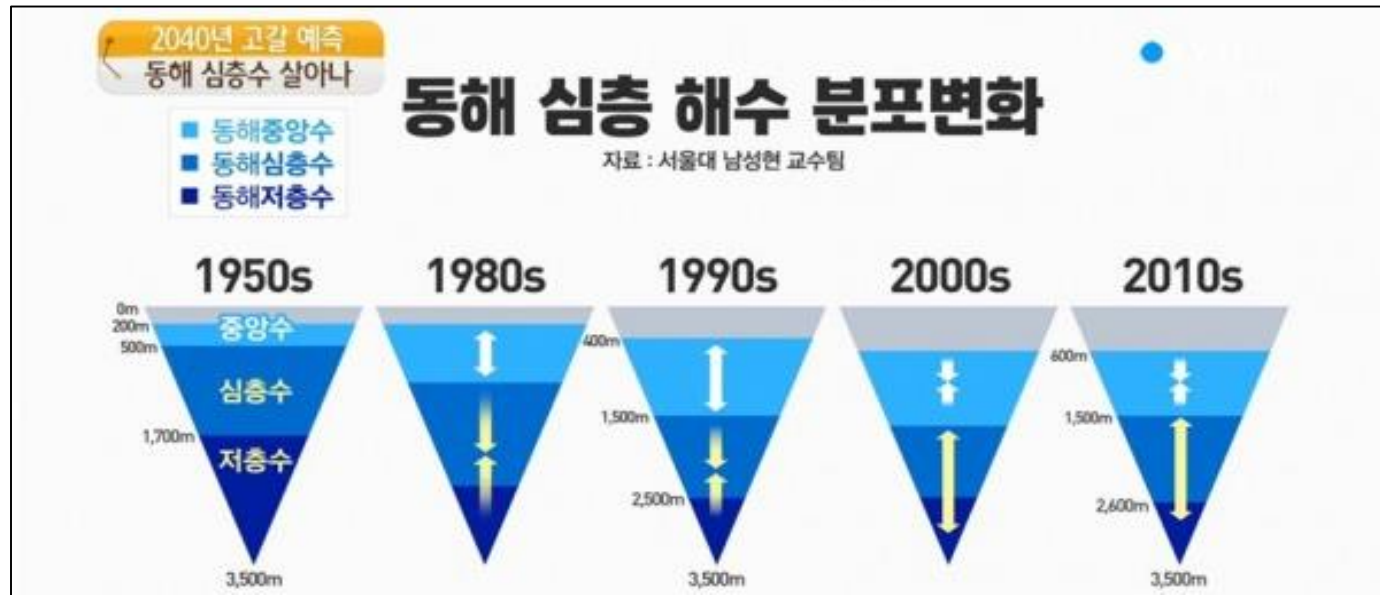
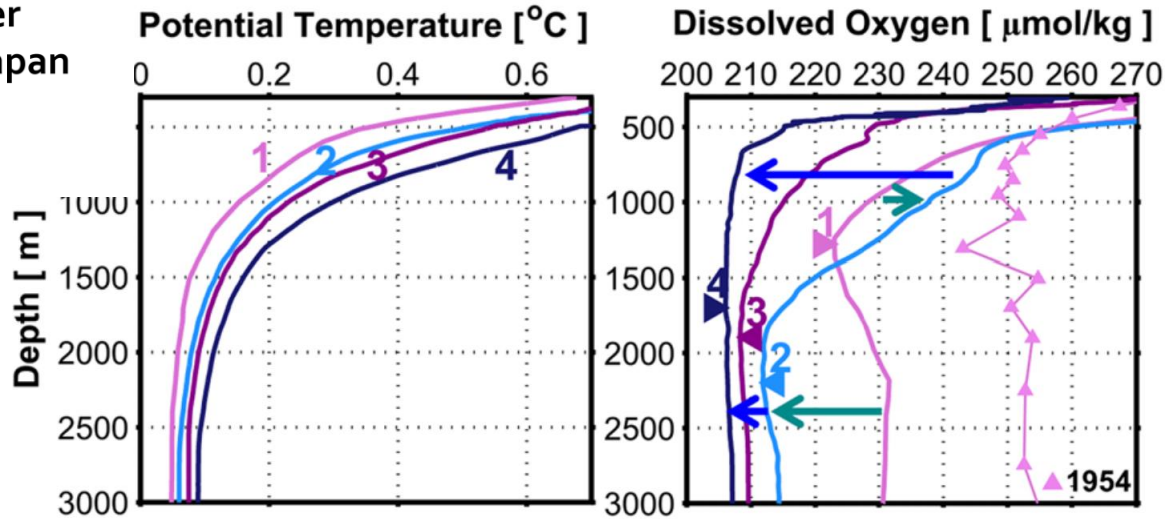
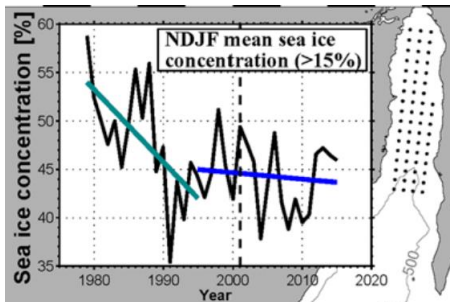
1: 1979 2: 1996 3: 2005 4: 2015

OPEN

Re-initiation of bottom water formation in the East Sea (Japan Sea) in a warming world

Seung-Tae Yoon¹, Kyung-Il Chang², SungHyun Nam³, TaeKeun Rho³, Dong-Jin Kang³, Tongsup Lee⁴, Kyung-Ae Park¹, Vyacheslav Lobanov⁵, Dmitry Kaplunenko⁵, Pavel Tishchenko⁵ & Kyung-Ryul Kim⁶

Received: 21 June 2017
Accepted: 11 January 2018
Published online: 25 January 2018



(Yoon et al., 2018)

재분석장을 이용한 자오면 순환

서울대, 동해 해수 순환 구조와 변동 원인 규명

(Han et al., 2020)

이다솜 기자 | 입력 2020.06.29 11:05 | 댓글 0

Decadal Changes in Meridional Overturning Circulation in the East Sea (Sea of Japan)

MYEONGHEE HAN AND YANG-KI CHO

School of Earth and Environmental Sciences, and Research Institute of Oceanography, Seoul National University, Seoul, South Korea

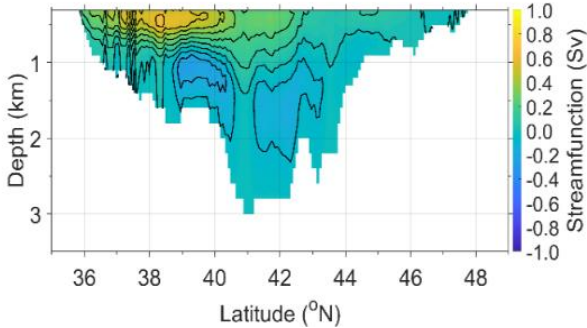
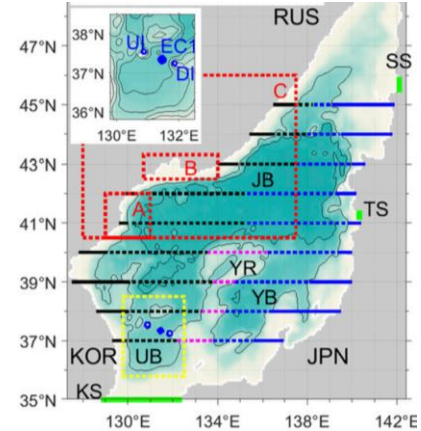
HYUN-WOO KANG

Ocean Circulation and Climate Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan, South Korea

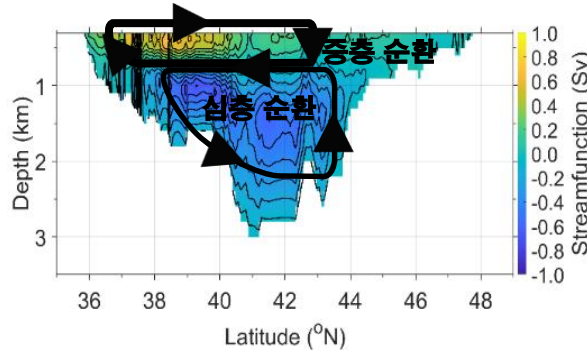
SUNGHYUN NAM

School of Earth and Environmental Sciences, and Research Institute of Oceanography, Seoul National University, Seoul, South Korea

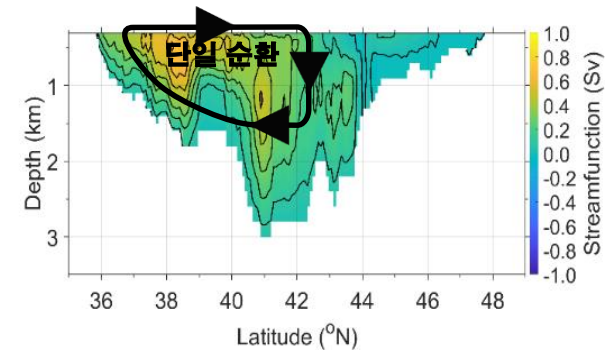
(Manuscript received 15 October 2019, in final form 27 March 2020)



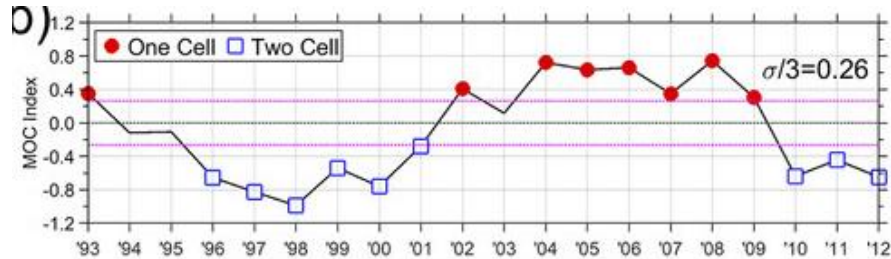
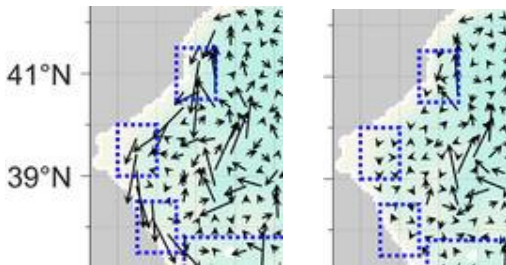
20년 평균 자오면순환 (1993-2012년)



이중 순환하는 자오면순환 (1996-2001년, 2010-2012년)



단일 순환하는 자오면순환 (1993년, 2002년, 2004-2009년)



United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030)

The Science We Need for the Ocean We Want

유엔 해양과학 10년(2021-2030)

1. 깨끗한 바다: 해양오염
2. 건강하고 회복력 강한 바다: 생태계
3. 예측 가능한 바다: 해양 이해와 예보
4. 안전한 바다: 해양재해 경보
5. 지속가능한 생산적인 바다: 식량안보
6. 투명하고 접근가능한 바다: 해양데이터 포털
7. 영감을 주고 함께하는 바다

The United Nations
Decade of Ocean Science
for Sustainable Development
(2021-2030)



2021 United Nations Decade
of Ocean Science
2030 for Sustainable Development



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



IOC Sub-Commission for the
Western Pacific
(WESTPAC)



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Intergovernmental
Oceanographic
Commission

IOC Sub-Commission

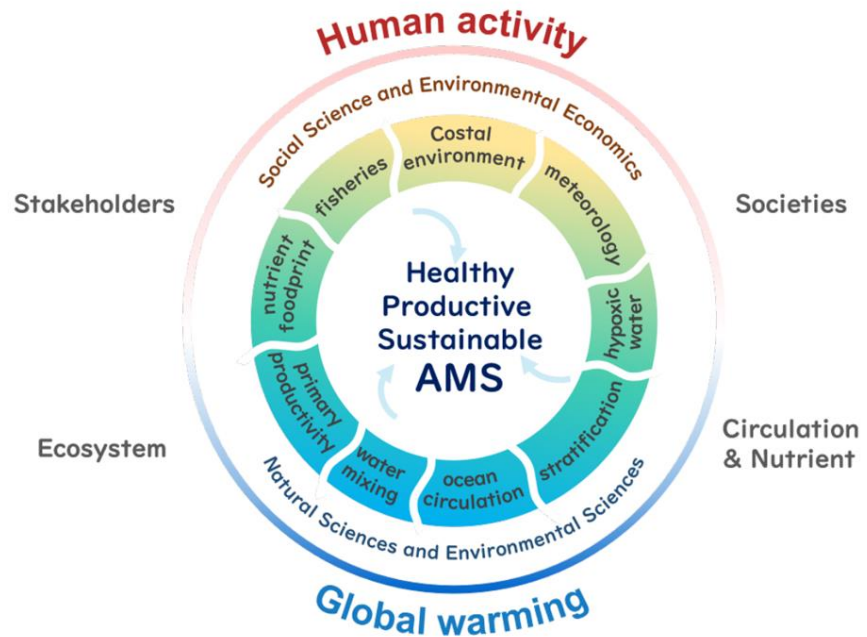
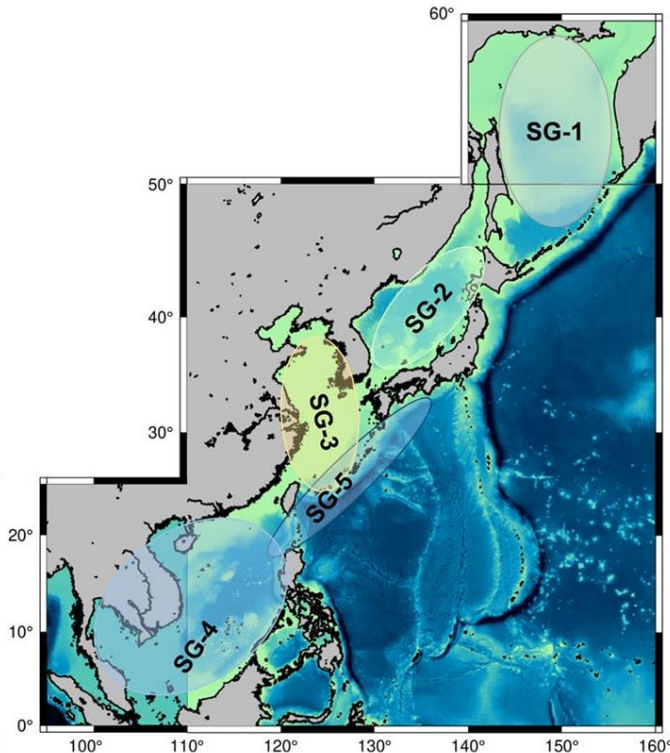
for the Western Pacific (WESTPAC)

PROPOSED PROGRAMME:

Healthy, Productive and Sustainable Asian Marginal Seas:
Understanding changes in the marine environment in response to
global climate change

Co-Chairs: Prof. Jing Zhang, University of Toyama, Japan
Prof. SungHyun Nam, Seoul National University, Korea

The United Nations
Decade of Ocean Science
for Sustainable Development
(2021-2030)



Global Ocean Observing System → 통합



created by artist Glynn Gorick for the Global Ocean Observing System Office (IOC-GOOS), Source: <http://www.iooc.us/>

한반도 주변 해양기후변화 통합관측 전망

해양기후변화에 대비한 해양재난 대응기술 개발



해양기후변화 통합관측·장기전망 기반 구축



- ✓ 해양 기후변화 통합관측· 장기 전망 기반 구축
- ✓ 전지구 해양기후예측모델 구축 및 기후변화 시나리오 생산
- ✓ 한국형 해양 기후변화 시나리오의 정책적 활용

한반도 주변해역 해양기후변화 현황도 발간 기반 연구

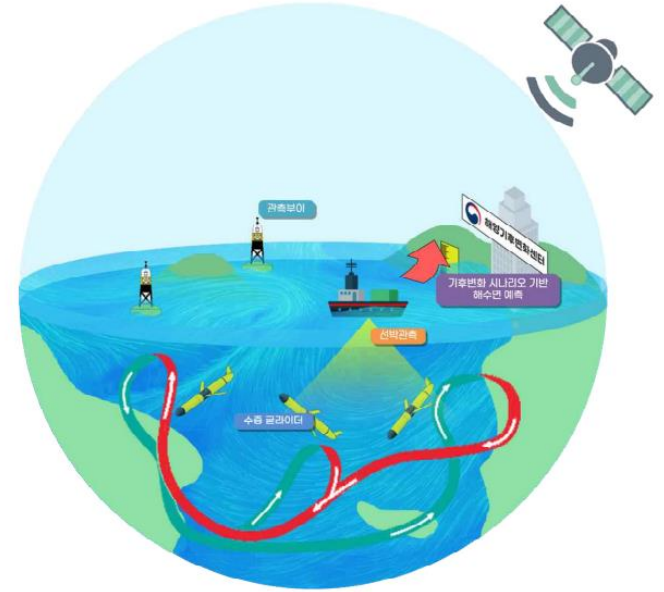


- ✓ 해양기후변화 기후지표 선정
- ✓ 해양기후지표별 표준분석방법 제시
- ✓ 해양기후지표 분석기술 및 시스템 개발

월파 정량 관측 기술 개발



- ✓ 격자형 센싱 방식의 월파량 관측장비 개발
- ✓ 영상 기반 실시간 월파 관측 기술 개발
- ✓ 월파 정량 관측 DB구축



< '해양 기후변화 통합관측· 장기전망 기술' 개념도 >



해양수산부



감사합니다.

(이하 보충 자료)



©, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image IBCAO
Data © 2010 MIRC/JHA
Image © 2010 TerraMetrics

남 성 현
서울대학교 지구환경과학부/해양연구소

문의: NAMSH@SNU.AC.KR



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Intergovernmental
Oceanographic
Commission

IOC Sub-Commission

for the Western Pacific (WESTPAC)

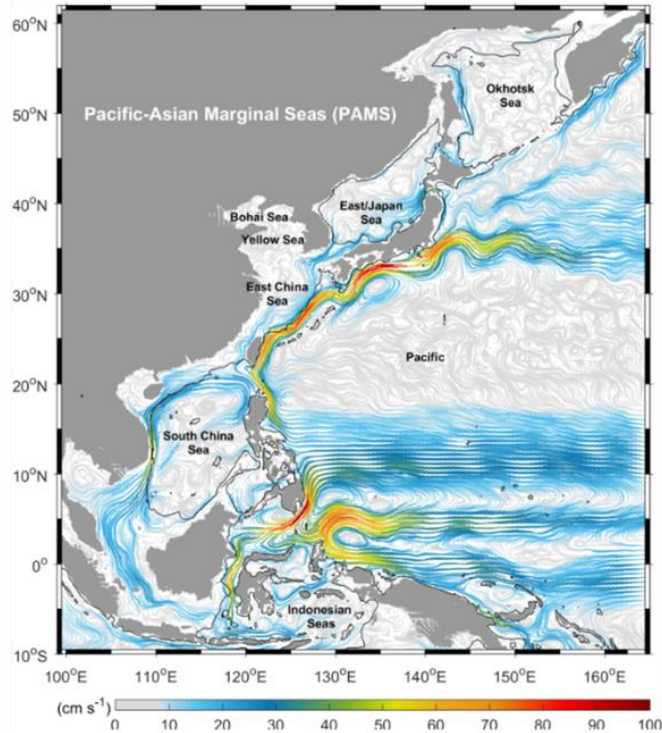
PROPOSED PROGRAMME:

Healthy, Productive and Sustainable Asian Marginal Seas:
Understanding changes in the marine environment in response to
global climate change

The United Nations
Decade of Ocean Science
for Sustainable Development
(2021-2030)



2021
2030
United Nations Decade
of Ocean Science
for Sustainable Development





United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Intergovernmental
Oceanographic
Commission

IOC Sub-Commission

for the Western Pacific (WESTPAC)

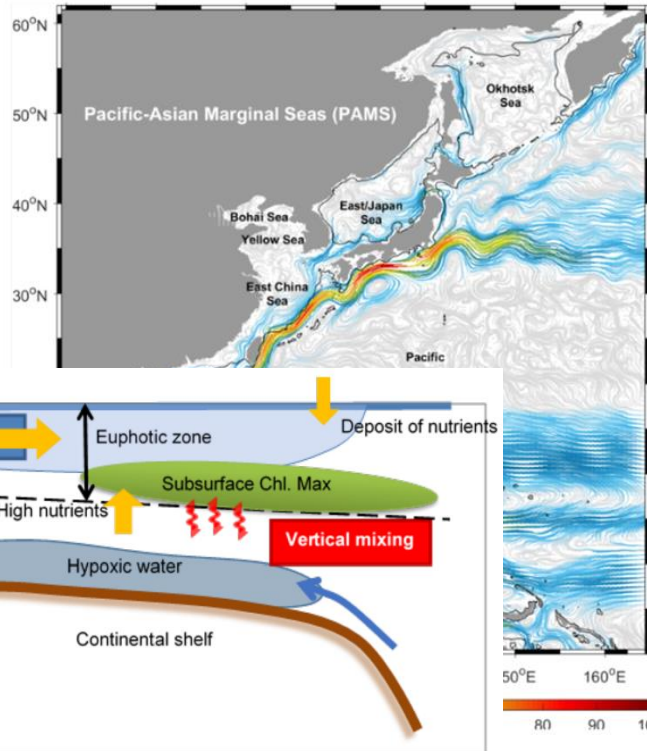
PROPOSED PROGRAMME:

Healthy, Productive and Sustainable Asian Marginal Seas: Understanding changes in the marine environment in response to global climate change

The United Nations
Decade of Ocean Science
for Sustainable Development
(2021-2030)



2021
2030
United Nations Decade
of Ocean Science
for Sustainable Development





United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Intergovernmental
Oceanographic
Commission

IOC Sub-Commission

for the Western Pacific (WESTPAC)

PROPOSED PROGRAMME:

Healthy, Productive and Sustainable Asian Marginal Seas: Understanding changes in the marine environment in response to global climate change

The United Nations
Decade of Ocean Science
for Sustainable Development
(2021-2030)



Project - I:

Nutrient footprint of primary production

Recommendation for the public

Communication with
Fisheries & Social sciences

Sustainable
AMS

Interpretation and
demonstration with model

reproduce & predict
changes

Data sharing

Coordinated Cruises
Physics: vertical mixing, stratification
Chemistry: water masses, tracers

Understand & quantify
nutrient footprint

2021

Stage 1

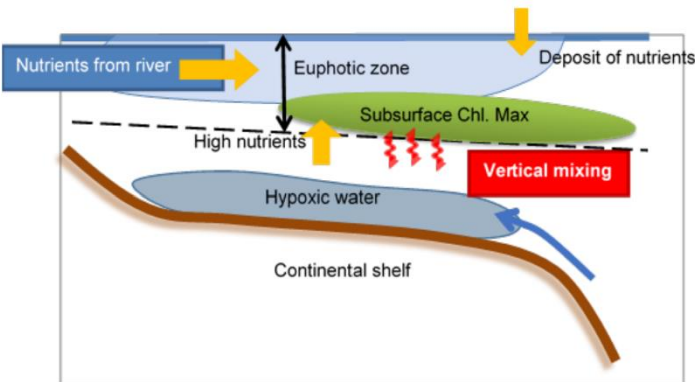
2024

Stage 2

2027

Stage 3

2030





United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Intergovernmental
Oceanographic
Commission

IOC Sub-Commission

for the Western Pacific (WESTPAC)

PROPOSED PROGRAMME:

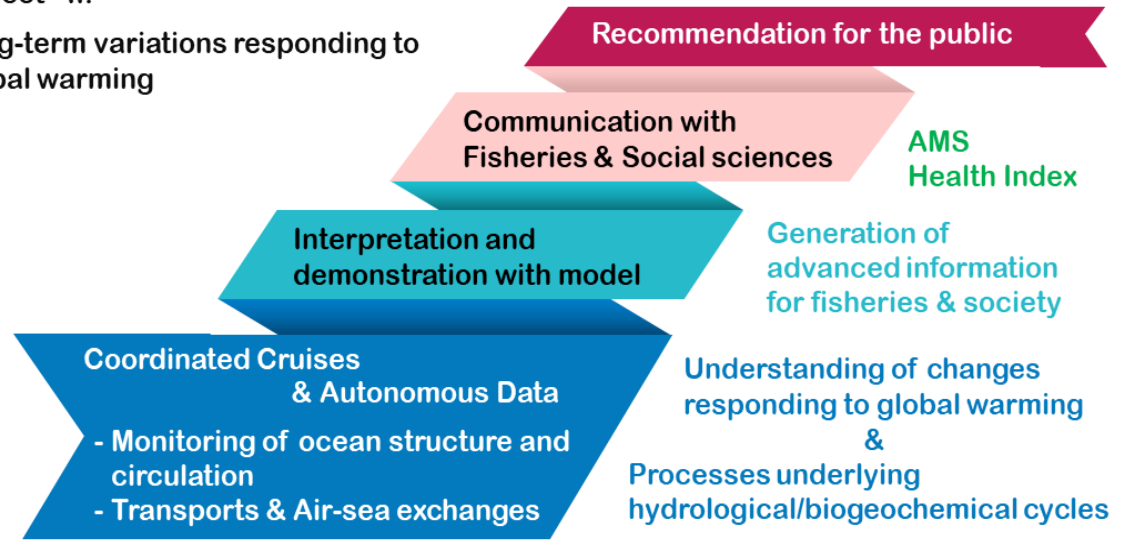
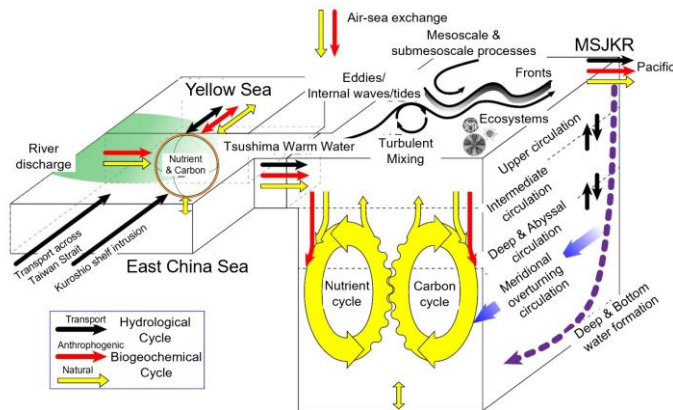
Healthy, Productive and Sustainable Asian Marginal Seas: Understanding changes in the marine environment in response to global climate change

The United Nations
Decade of Ocean Science
for Sustainable Development
(2021-2030)



Project - II:

Long-term variations responding to
global warming



2021

Stage 1

2024

Stage 2

2027

Stage 3

2030