



# UN 해양과학 10개년 계획 이행을 위한 열대 서인도양 유기탄소 순환 연구

열대 서인도양 시계열 무인 지속 관측의 글로벌화

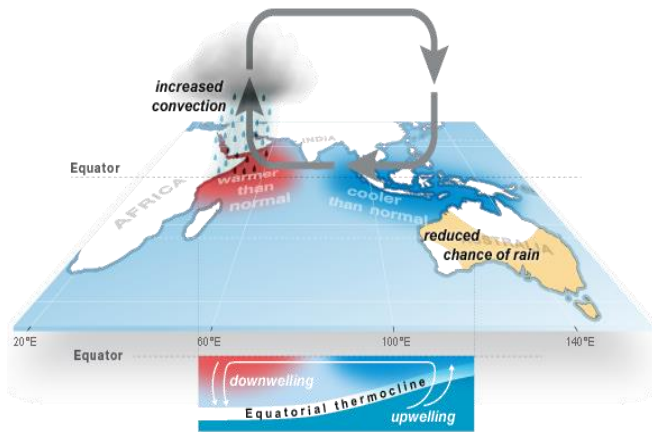
강수진, 이가원<sup>1</sup>, 노수연<sup>1</sup>, 조소설<sup>1</sup>, 서준형<sup>1</sup>, 남성현<sup>2</sup>, 김동선<sup>1</sup>, 강동진<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원  
<sup>2</sup>서울대학교



# IOD (Indian Ocean Dipole)

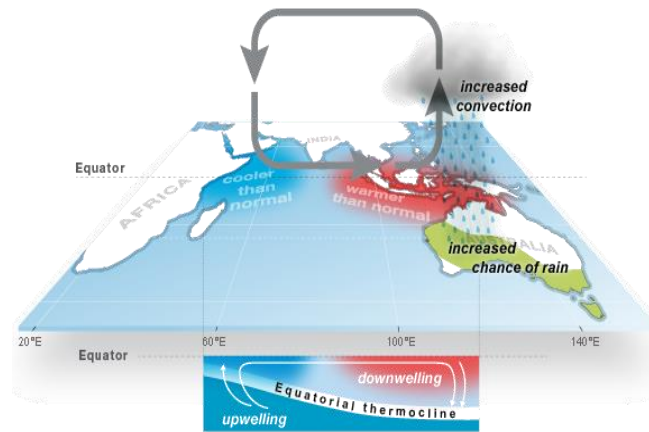
## Climate Driver in the Indian Ocean



Indian Ocean Dipole (IOD): Positive phase

© Commonwealth of Australia 2013.

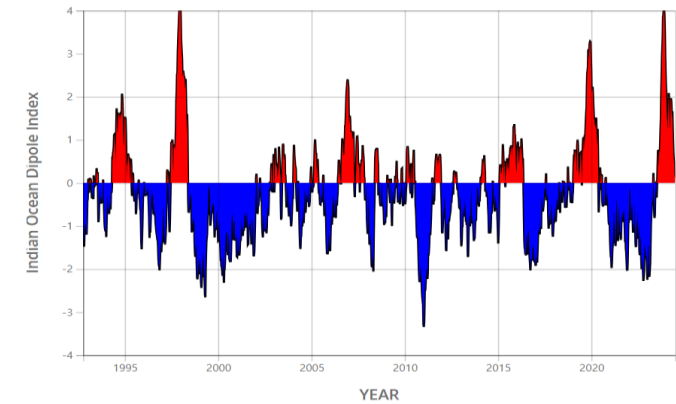
**POSITIVE IOD**



Indian Ocean Dipole (IOD): Negative phase

© Commonwealth of Australia 2013.

**NEGATIVE IOD**



**IOD Index =  
Western – Eastern Indian Ocean SST**

Difference in sea surface temperature (SST) between the western and eastern equatorial Indian Ocean

# 인도양 변동이 미치는 영향

## Australia Black Summer



2019-2020

**Extreme bushfire**

Positive IOD →  
low rainfall in Eastern  
Indian ocean →  
Australia's extreme bushfire

## Warmer winter in East Asia

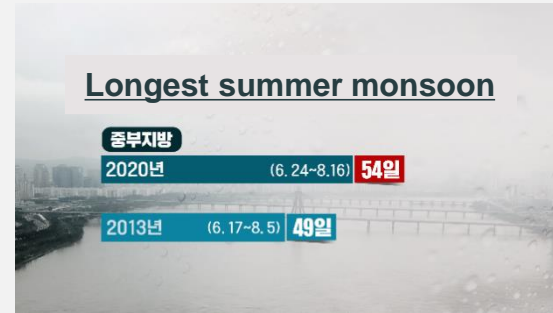


2019-2020

**Warmer winter**

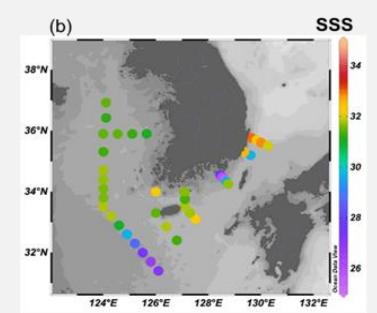
Positive IOD →  
Western Indian Ocean warming  
→ Atmospheric Wave  
→ Reduce cold air,  
increase warmer air influx

## Record-breaking summer monsoon in East Asia



2020

**Longest summer monsoon**

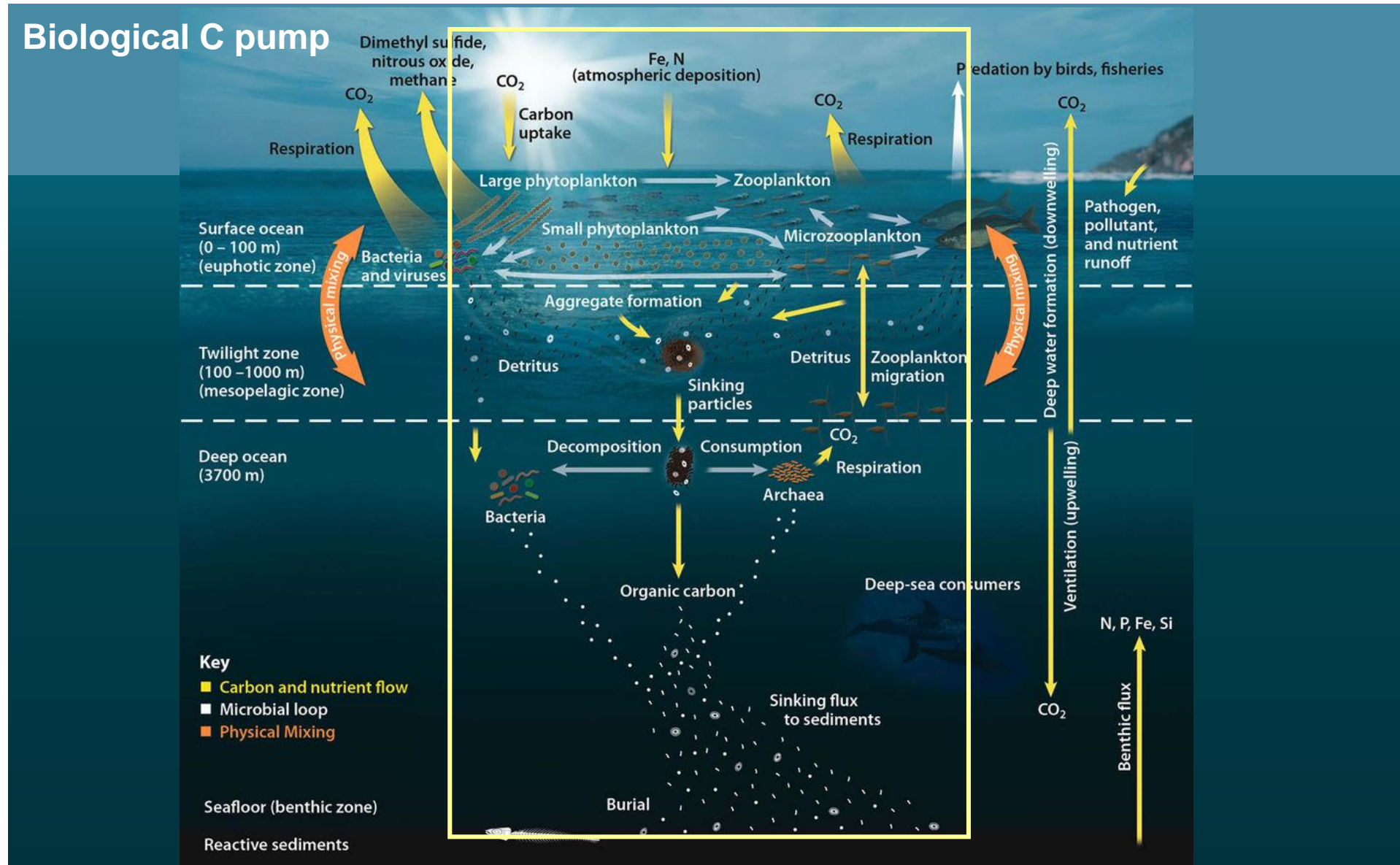


2020

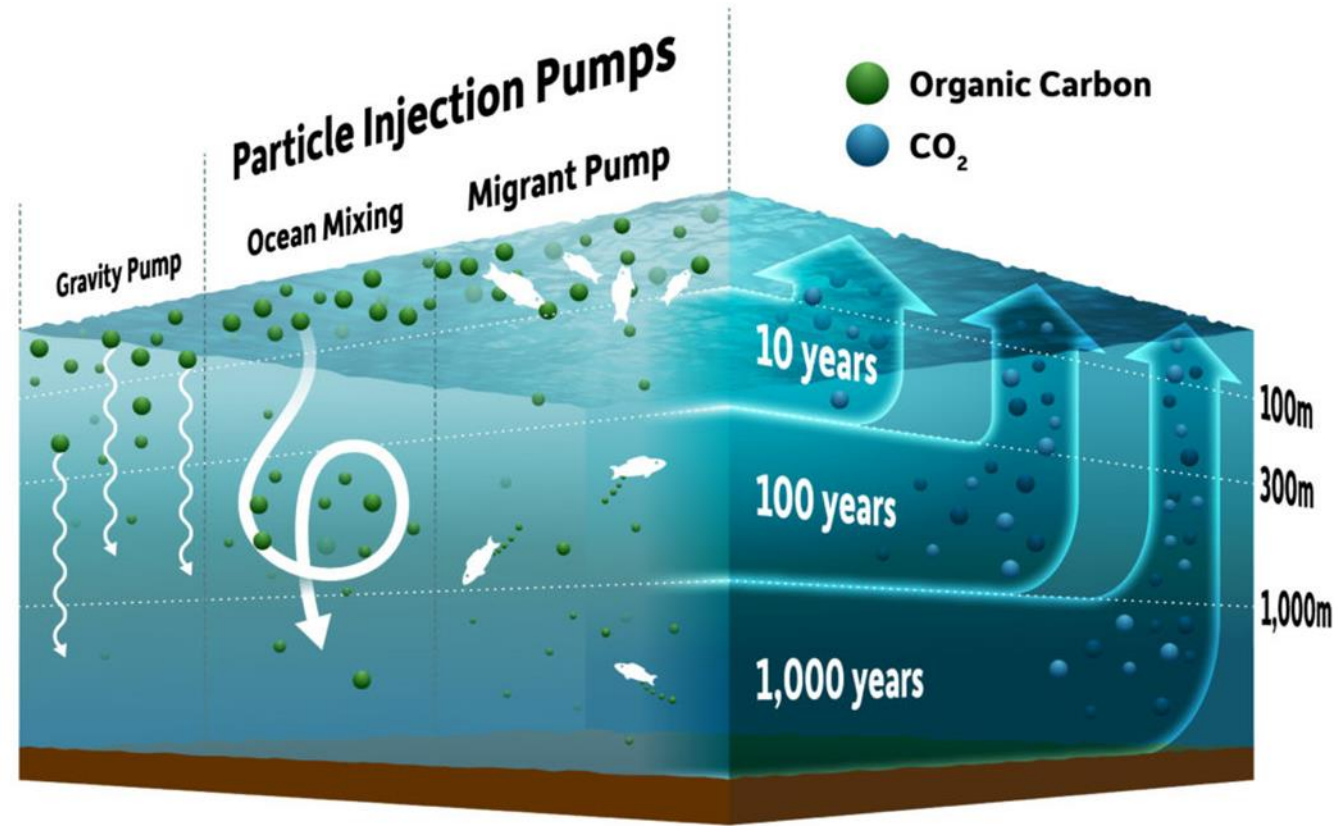
**Low Salinity Event**

Positive IOD →  
Enhanced moisture transport →  
Prolonged monsoon duration, Increased rainfall

# 해양 생지화학 순환



# 해양 생지화학 순환과 물리-생지화학 과정 이해



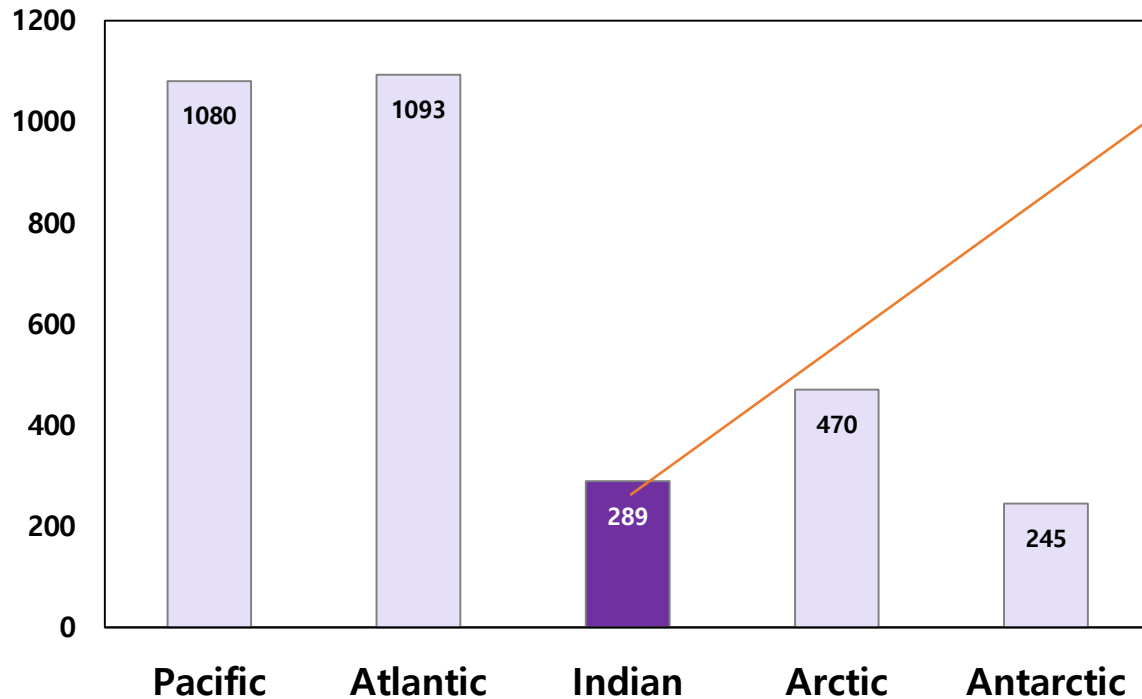
- 유기물 기원에 따라 반응성이 달라짐
- 탄소 순환에 미치는 영향이 달라짐
- 수온, 해류, 수괴 등 물리적 구조에 영향 받음

# 인도양 탄소 순환 연구의 필요성

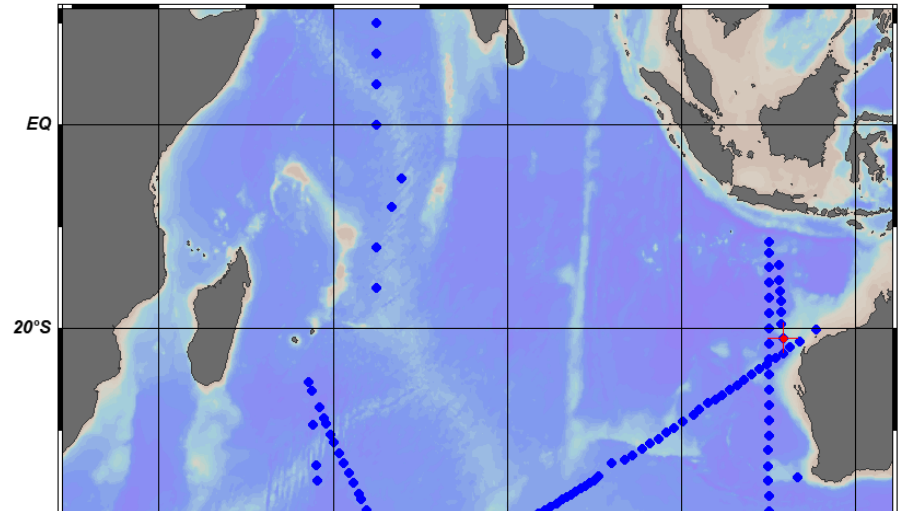
## 해양 입자성 유기탄소 연구 현황

SCOPUS search

Keyword: Ocean/Marine + Particulate Organic Carbon

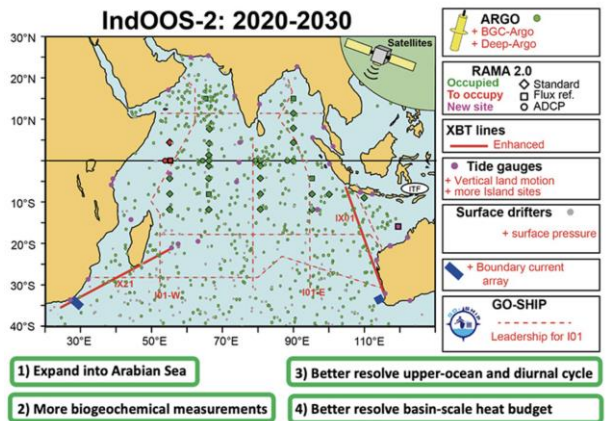


- 1) Francois et al. (1993) – 1991
- 2) Bentaleb et al. (1998) – 1998
- 3) Riaux-Gobin et al. (2006) – 1993
- 4) Soares et al. (2015) – 2011
- 5) Anand et al. (2018) – 2014
- 6) Raes et al. (2022) – 2019



# 열대 서인도양 시계열 무인 지속 관측의 글로벌화

인도양은 태평양과 대서양에 비하여 가장 덜 탐사 된 대양



열대 서인도양 시계열 무인 지속 관측의 글로벌화

서인도양 중층 및 심층 해수 특성과 물리-생지화학적 과정 이해

서인도양 국제 공동 연구 확장

전 지구 해양관측망 확장 및 신진 연구자 양성을 통한 UNDOS 기여



## 7. 해양 관측

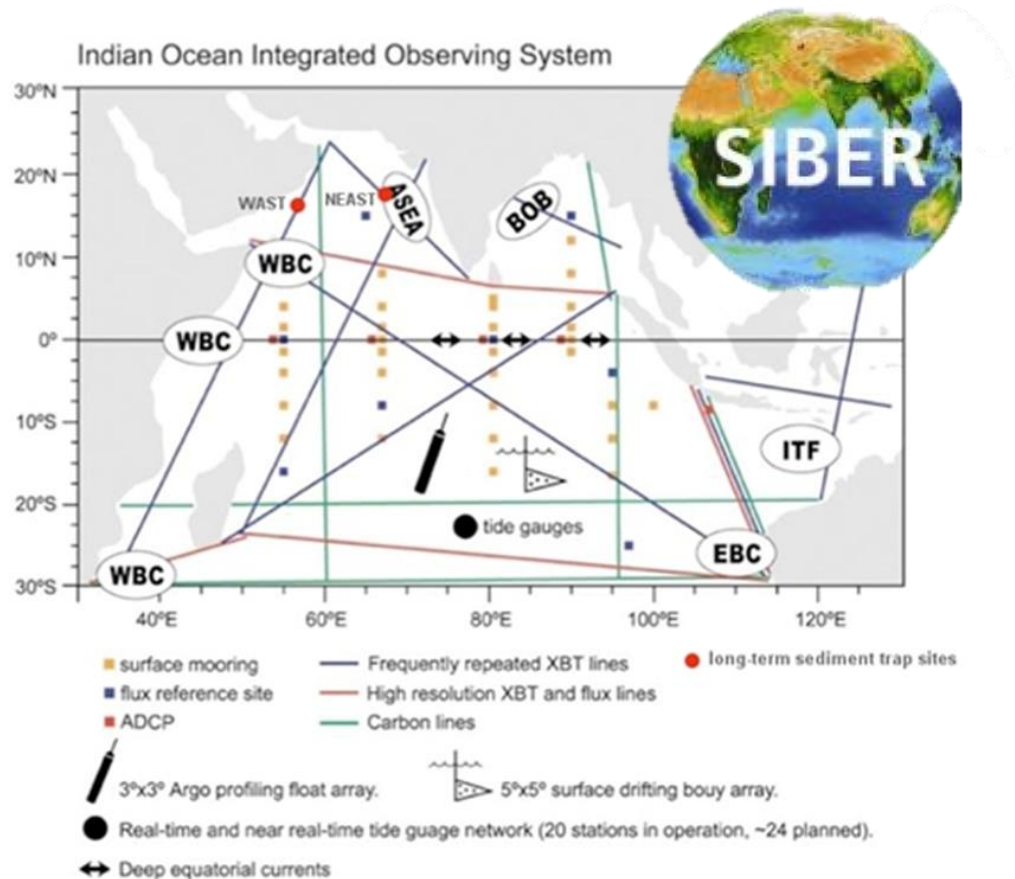
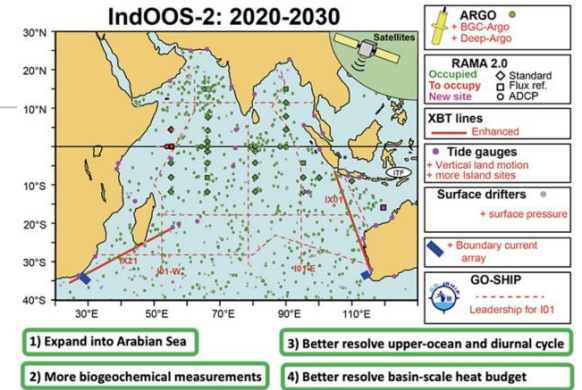
(Sustainably expand the global ocean observing system)

UN 해양과학 10개년 계획 기여

# 인도양의 생지화학 국제 공동연구

## SIBER

(Sustained Indian Ocean Biogeochemistry and Ecosystem Research)



- 인도양 생지화학 및 생태계 연구를 위한 국제 협력 연구 플랫폼
- CLIVAR/GOOS의 RAMA/IndOOS 관측망에서 구축된 물리자료, 관측 인프라를 기반으로, 생지화학 및 생태계 연구로 확장하고자 시작
- RAMA, Argo, GO-SHIP 등과 연계 연구
- 인도양 탄소 순환·영양염 플럭스 장기 모니터링
- 기후변화에 따른 생지화학 반응 규명

# 인도양의 생지화학 국제 공동연구

## SIBER

(Sustained Indian Ocean Biogeochemistry and Ecosystem Research)



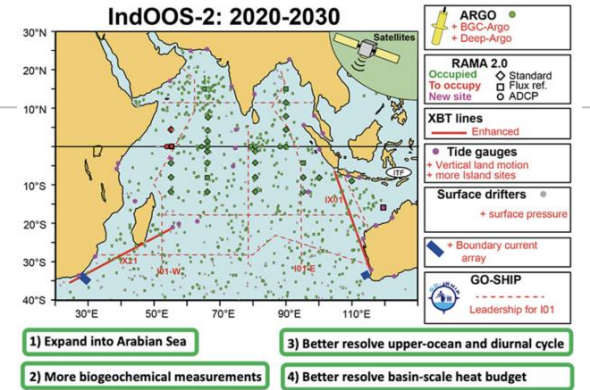
2024년 SIBER 연례 회의에서 인도양 연구결과 발표



2025년 SIBER 연례 회의 참석



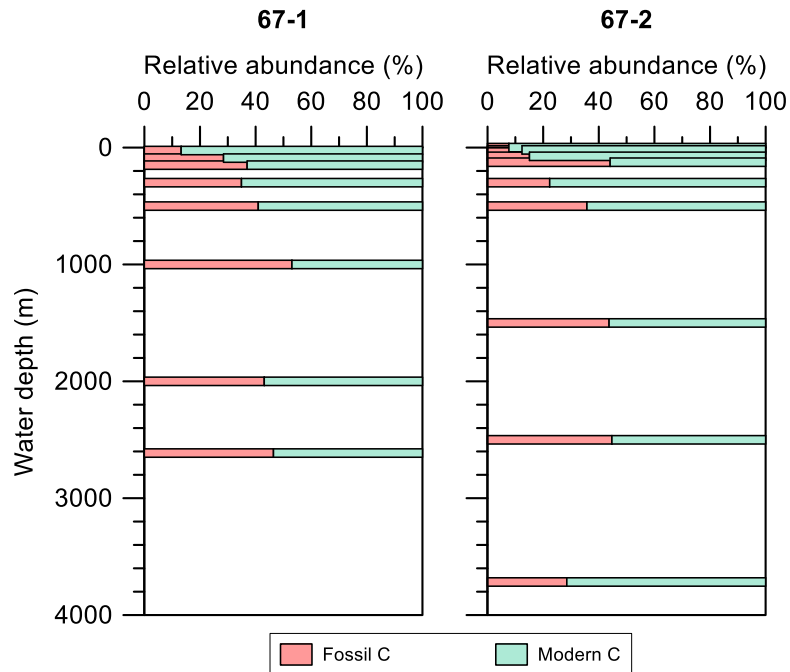
- 인도양 생지화학 및 생태계 연구를 위한 국제 협력 연구 플랫폼
- CLIVAR/GOOS의 RAMA/IndOOS 관측망에서 구축된 물리자료, 관측 인프라를 기반으로, 생지화학 및 생태계 연구로 확장하고자 시작
- RAMA, Argo, GO-SHIP 등과 연계 연구
- 인도양 탄소 순환·영양염 플럭스 장기 모니터링
- 기후변화에 따른 생지화학 반응 규명



# 인도양 물리-생지화학 과정 이해의 필요성

(Kang et al., 2024)

## ■ 인도양 중층 및 심층 물리 순환과 물리-생지화학 순환의 연관성



## 열대 서인도양 수층 내 오래된 탄소의 상대적 기여도

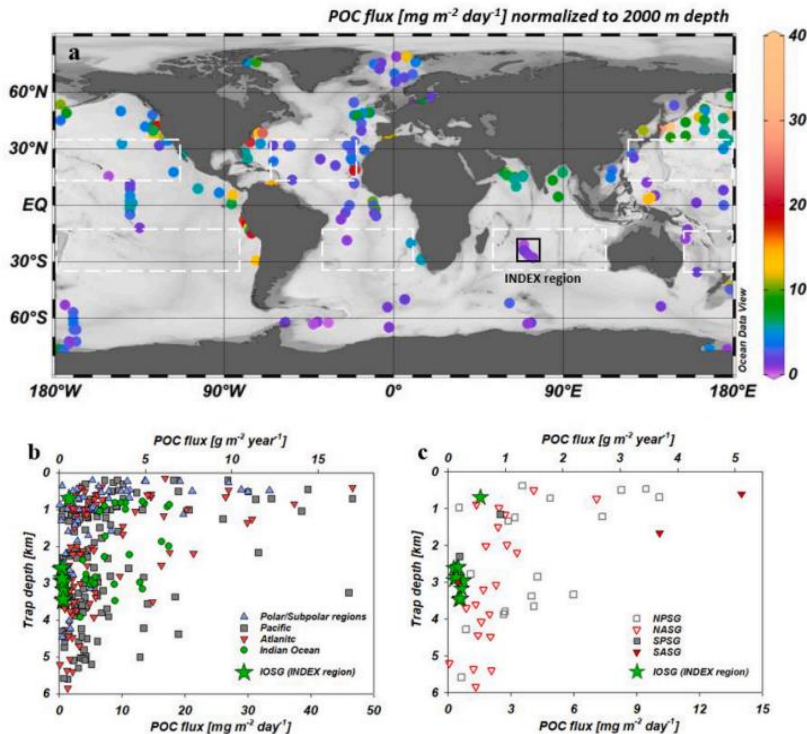
- 오래된 유기탄소의 기여도가 심층에서 증가 (외해 침강입자 자료에서 평균 23%정도 차지)
- 오래된 유기탄소의 기원
  - 저위도에서 기원한 수괴에 포함된 오래된 유기탄소 영향 가능성
  - 인도양 중층 및 심층의 물리 환경 변화가 유기탄소 기원의 기여도에 영향을 줄 수 있음

✓ 탄소 특성 변동 해석의 정확한 이해를 위해 물리-생지화학 과정 이해가 필수적

# 인도양 물리-생지화학 과정 이해의 필요성

(Harms et al., 2021)

## ■ 남서 인도양 퇴적물 트랩 활용 유기탄소 연구



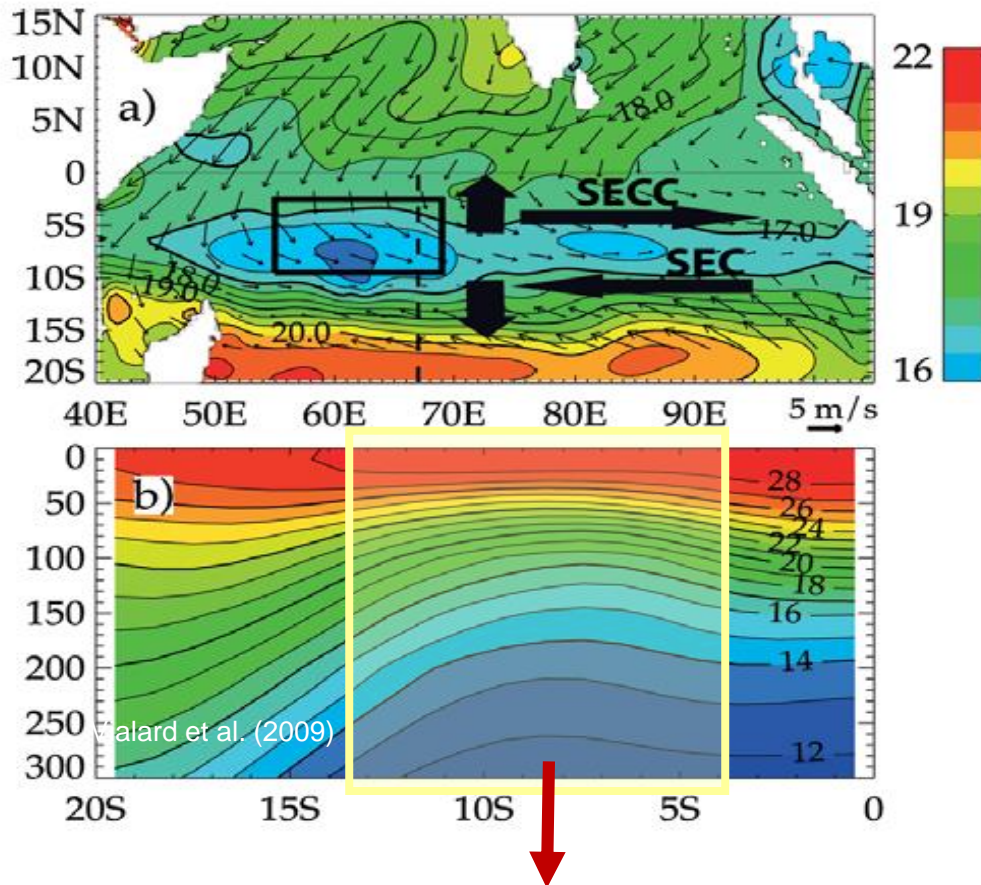
## 남서 인도양 (인도양 아열대 환류) 해역에서 유기탄소 침강 특성

- 세계적으로도 가장 낮은 POC 침강 플럭스  
→  $0.50 \pm 0.15 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$
- 낮은 POC 플럭스 연간 변동성  
→ 혼합층 깊이 변화, 물리적 혼합(surface wind stress, cyclonic eddies 등)에 의해 계절적·공간적 차이가 완화됨

- ✓ IOD 변화의 영향 미치는 해역에서의 탄소 순환 이해 필요
- ✓ 심층 물리 자료와의 직접 비교 필요

# SCTR (Seychelles-Chagos Thermocline Ridge)

## Key Region for Observing Indian Ocean Variability



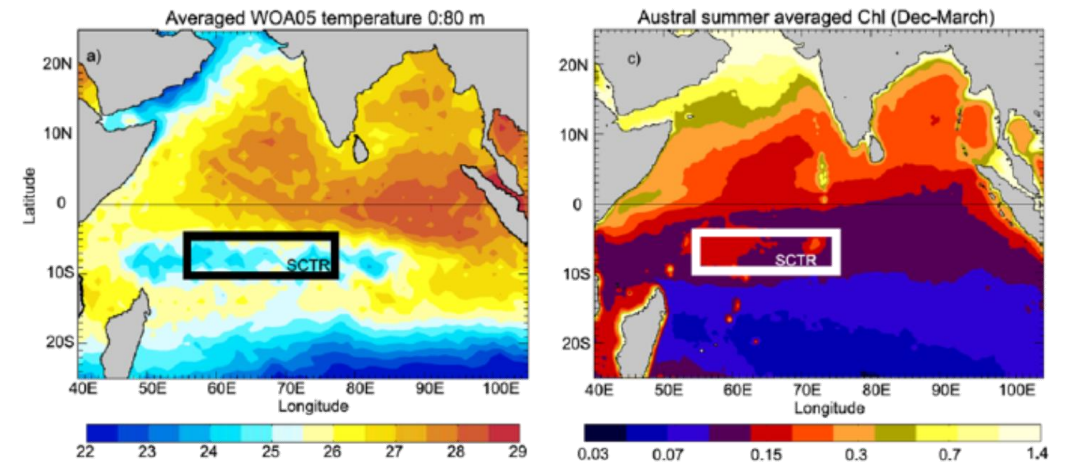
**Thermocline Ridge of the Indian Ocean**

## SCTR

### 1. Geological Range

- 5-12S, 55-90E (Dilmahamod et al. 2015)
- 5-10S, 50-80E (Nyadjro et al. 2017)

### 2. 20°C Isotherm Area

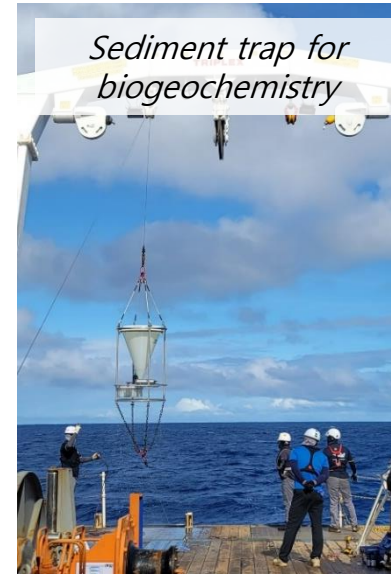
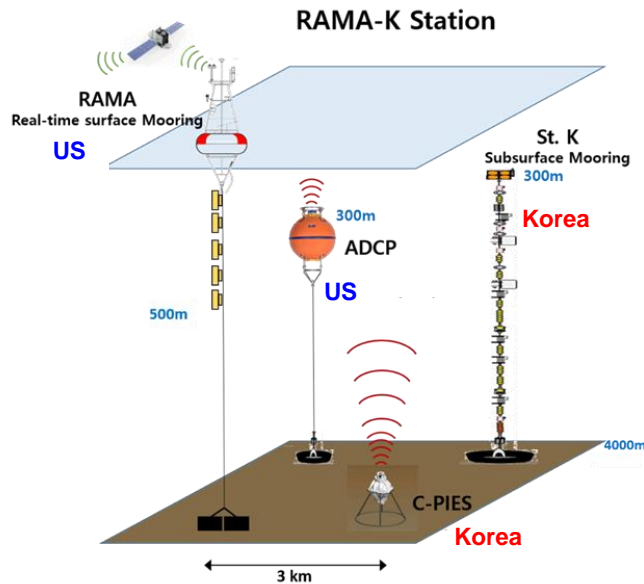
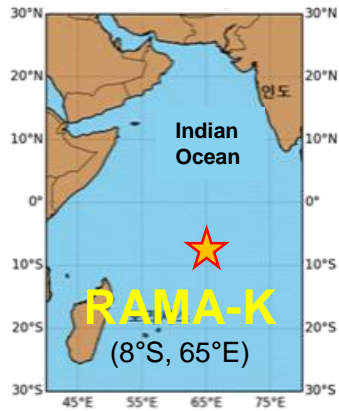


Woodberry et al. (1989) & McCreary(1993)

# Long-term Indian Ocean Variability

## RAMA-K

### ❖ Time-Series Observation from Air-Sea Interface to Deep Ocean



2022/7/1 ~ 7/30	8/29 ~ 9/27	10/27 ~ 11/25	12/25 ~ 2023/1/23	2/22 ~ 3/23	4/22 ~ 5/21	6/20 ~ 7/19
7/30 ~ 8/28	9/27 ~ 10/26	11/25 ~ 12/24	1/23 ~ 2/21	3/23 ~ 4/21	5/21 ~ 6/19	



- **Location:** 8°S, 65°E
- **US:** RAMA: Atmosphere to 500m depth  
Sensor for Temperature, Salinity, DO, Current, ADCP
- **Korea:** Station K mooring: 300m depth to 4,000m seafloor  
Sensor for Temperature, Salinity, DO, Current, DO, Fish Echosounder, Sediment trap, ADCP, C-PIES
- **Data open** (<https://www.pmel.noaa.gov/tao/drupal/rama-k/>)

- 침강 입자의 생지화학적 특성 변동과 물리적 특성 변동 비교 분석
- 인도양 중층 및 심층 물리-생지화학 순환 과정, SCTR 용승과의 연관성 파악

# 결론 및 기대 효과

---

## □ 인도양의 환경 변동은 전 지구 해양 환경 변동에 영향 미침

- 인도양은 대양 중 가장 연구가 미비한 대양
- 인도양의 기후, 해양 환경 변동은 내부 탄소 순환에도 영향을 미칠 것으로 예상됨
- 인도양 유기탄소 순환 및 물리 환경간 상호 작용에 대한 연구 부족

## □ 국제 공동연구 확대

- 국제 공동연구의 확대와 이를 통한 대양 연구 활성화 모색 필요
- IIOE-2, SIBER, KUDOS 등 국제회의/프로그램 참가를 통한 국제활동, 국제 협력 강화

## □ 서인도양 중층 및 심층 해수의 물리 특성과 생지화학적 순환 과정 연구

- RAMA-K 퇴적물 트랩 활용 SCTR 해역에서의 유기탄소 연구 수행
- 열대 서인도양 중층 및 심층 해수 특성과 물리-생지화학 과정 이해 확대
- 인도양 탄소 순환과 기후 변동성에 대한 과학적 이해를 증진
- UN 해양과학 10개년 계획 '7. 해양 관측' 목표에 기여

# 감사합니다.



해양수산부



KIMST  
해양수산과학기술진흥원



THE KOREAN ACADEMY OF MARINE SCIENCE  
한국해양학연구원 2021



KIOST  
한국해양과학기술원  
KOREA INSTITUTE OF  
OCEAN SCIENCE & TECHNOLOGY

