북극 연안에서 바닷물 속 유기물질이 일차적으로 생성된 해양에어로졸의 특성에 미치는 영향 파악

박지연[1,*], 박기홍[2], 김정현[1], 김연태[1], 조경화[3], 박종관[3], 황청연[1], 장광일[1], 강수진[4] 장은호[1], 박기태[1], 염성수[5], 윤영준[1]

KAPAR

KOPRI 극지연구소 Korea Polar Research Institute

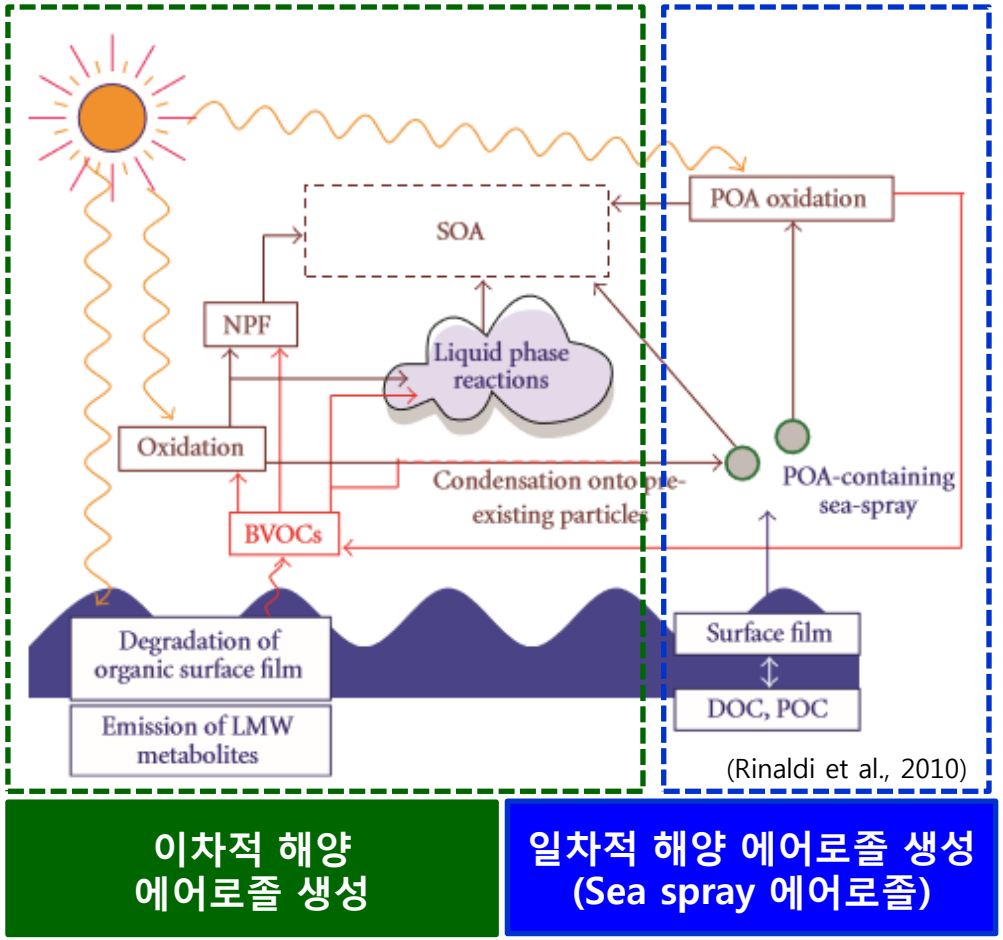
연구 배경

- 해양 에어로졸

북극해

(Central Intelligence Agency's World Factbook)

메커니즘



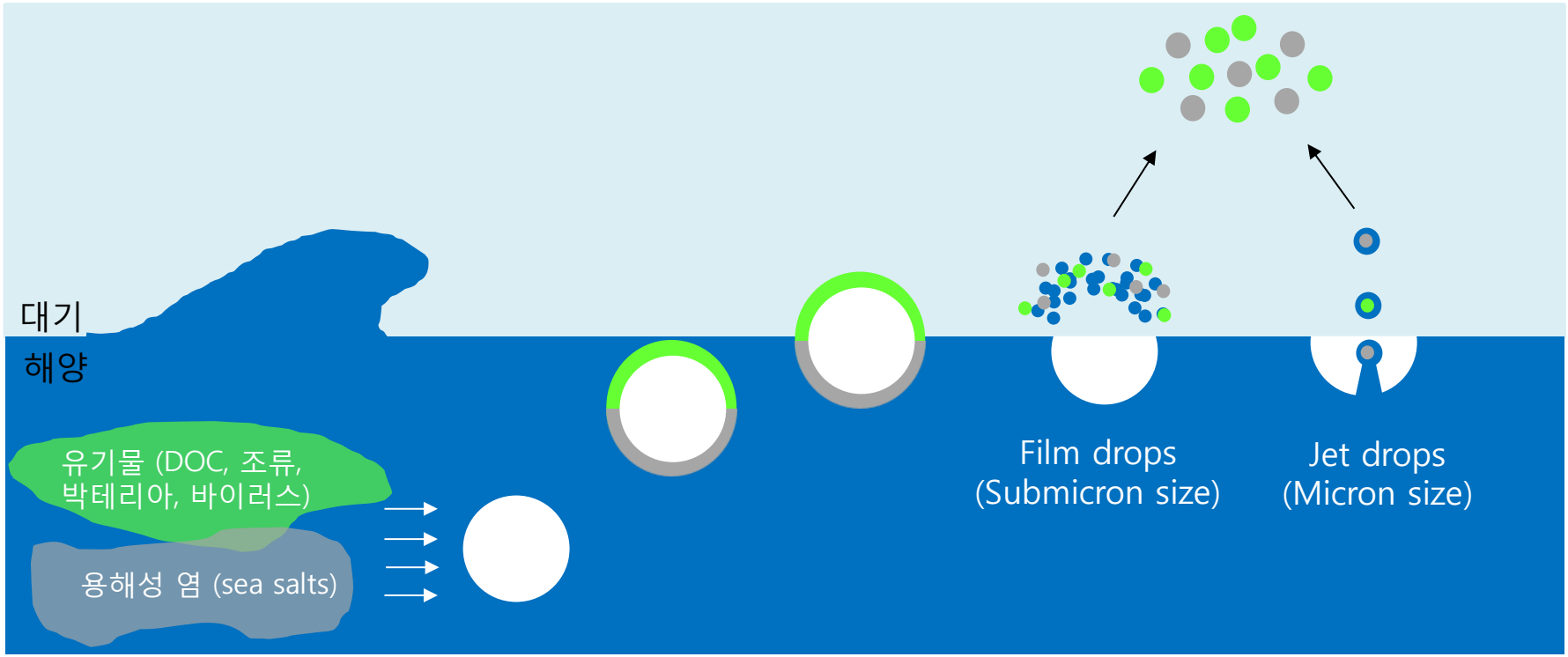
이차적 해양 에어로졸 생성

일차적 해양 에어로졸 생성 (Sea spray 에어로졸)

- 일차적으로 생성된 해양입자인 sea spray 입자에 중점을 두고 연구를 수행

연구 배경

- **일차적 해양입자 생성 (Film drop과 Jet drop)**

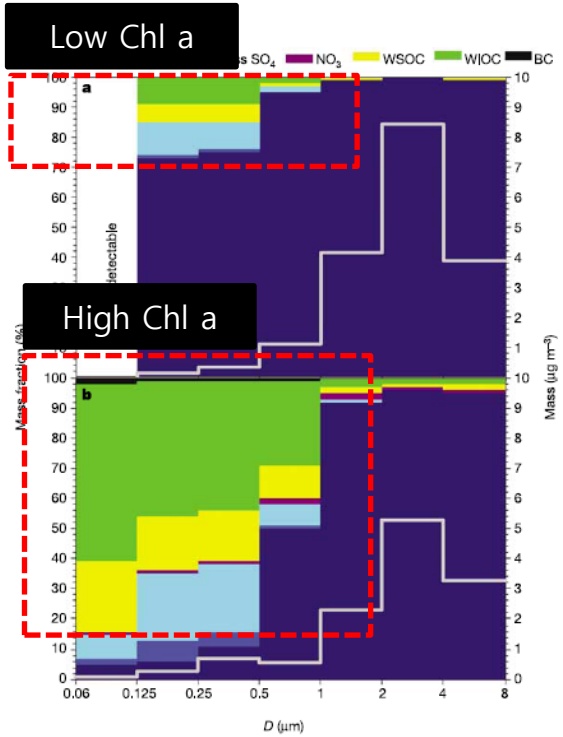


- **Film drop**: 물방울과 경계면 사이의 필름이 터지면서 발생하는 작은 물방울 (서브마이크론 크기의 입자 생성)
- **Jet drop**: 물방울이 터지면서 물방울 안에서 워터제트가 수직으로 상승하면서 생성되는 물방울 (마이크론 크기의 입자 생성)

연구 배경

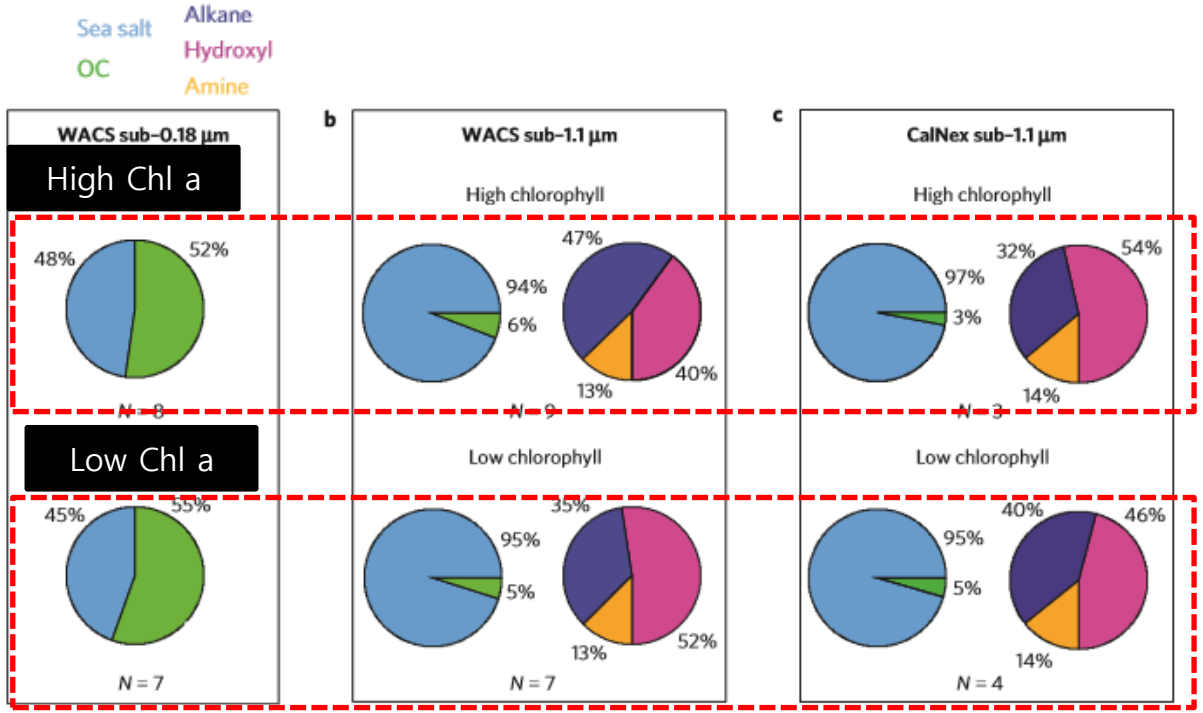
- 해양입자의 화학적 성분에 대한 기존 문헌

Nature, 2004



(O'Dowd et al., 2004)

Nature, 2014



✓ WACS: North Atlantic Ocean
✓ CalNex: coastal waters of California

(Quinn et al., 2014)

➢ 바닷물 속 생물학적 지표로 클로로필 a의 질량 농도를 주로 사용하기 때문에 바닷물 속 다양한 종류의 해양 유기물 (DOC, 박테리아, 바이러스, Chl a, 젤타입 입자 (TEP와 CSP) 등)과 sea spray 입자와의 상관관계에 대한 연구.

연구 목적

- **북극 항해 경로 중 물방울 생성 챔버 시스템 구축:**
  - ✓ 물방울 파괴 메커니즘에 의하여 생성되는 일차적 해양입자 생성과정 모사
  - ✓ 북극해 바닷물 샘플링 (연안/해양)

- **바닷물 속 다양한 종류의 유기물이 sea spray 입자의 특성에 미치는 영향 규명**
  - ✓ Bubble bursting 챔버에 의해 생성된 sea spray 입자의 수농도 분포곡선 측정
  - ✓ 북극 바닷물 속 다양한 종류의 유기물 (DOC, CDOM, FDOM, 박테리아, 바이러스, 클로로필 a, TEP, CSP) 정량화
  - ✓ 북극 바닷물 속 유기물질과 sea spray 입자의 수농도와의 상관관계 정립

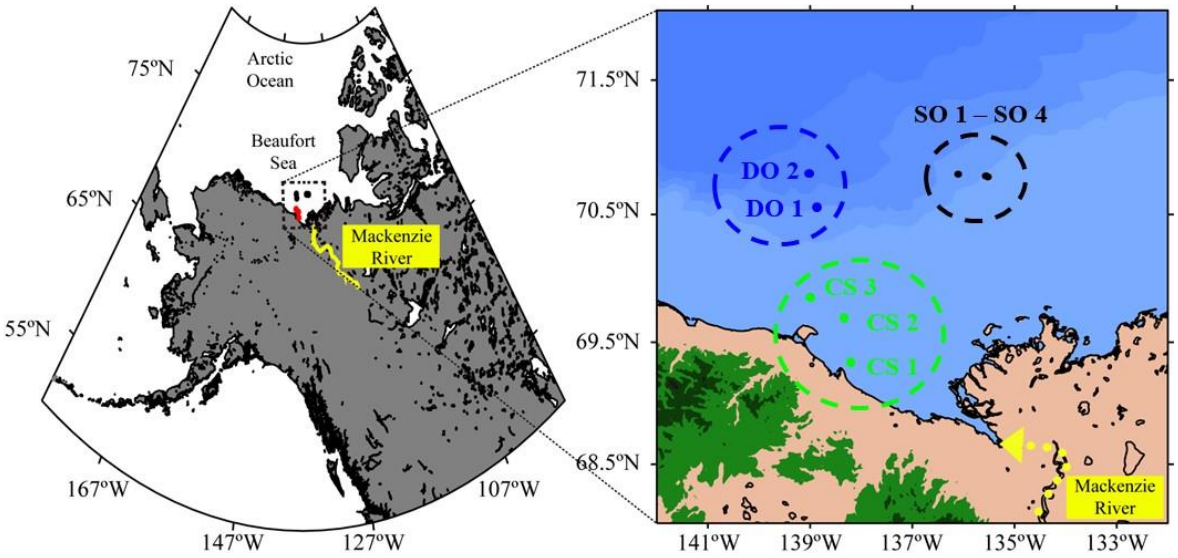
- **Sea spray 입자의 특성이 구름형성에 미치는 영향 파악:**
  - ✓ Bubble bursting 챔버에 의해 생성된 sea spray 입자의 구름 형성 응결핵 (cloud condensation nuclei (CCN)) 농도 측정
  - ✓ 해양 유기물- 대기 중 일차적 생성된 해양 에어로졸–구름 형성간의 상호작용 이해

I. 아라온 북극 항해 경로 중 실험실 크기의 물방울 생성 챔버 시스템 구축

연구 방법

1.1 샘플링 사이트

2017년 아라온 북극 항차
(7/24/2017~9/29/2017)



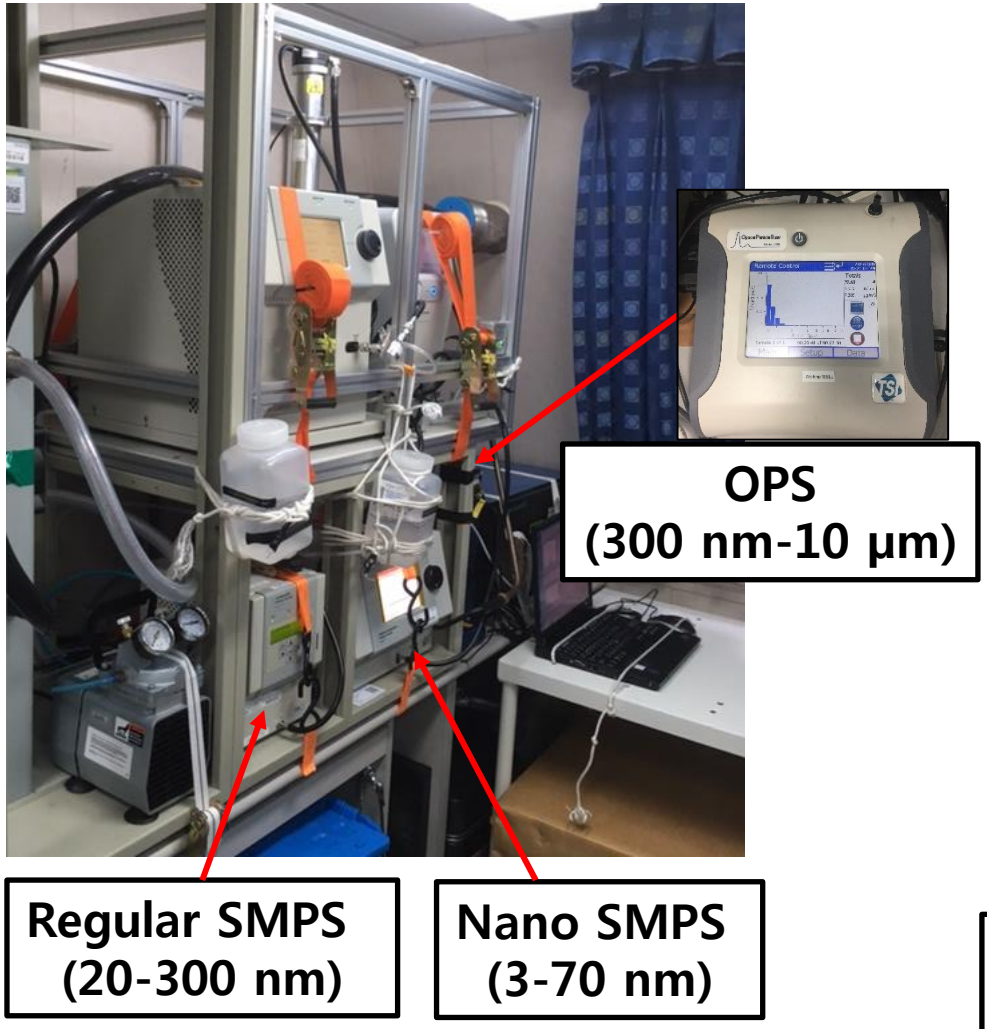
		CTD name	Date	Latitude (°N)	Longitude (°W)	Depth (m)	Salinity (ppt)
연안 (Coastal sea)	CS 1	ARA08C02CTD1	Sep 05 2017 04:30:22	69.3387	-138.2059	38	19.485
	CS 2	ARA08C03CTD1	Sep 05 2017 08:19:03	69.6982	-138.3291	140	21.287
	CS 3	ARA08C01CTD1	Aug 30 2017 01:11:46	69.8617	-138.9921	150	25.274
얕은 해양 (Shallow ocean)	SO 1	ARA08C09CTD1	Sep 09 2017 03:23:41	70.7912	-135.5631	420	27.532
	SO 2	ARA08C10CTD1	Sep 09 2017 09:00:30	70.7848	-135.521	420	27.193
	SO 3	ARA08C13CTD1	Sep 11 2017 07:45:01	70.7917	-135.552	420	27.293
	SO 4	ARA08C12CTD1	Sep 11 2017 00:31:02	70.805	-136.1022	750	27.302
깊은 해양 (Deep ocean)	DO 1	ARA08C08CTD1	Sep 07 2017 14:51:41	70.5521	-138.8655	1217	27.48
	DO 2	ARA08C07CTD1	Sep 07 2017 03:16:46	70.8076	-139.011	1750	27.008

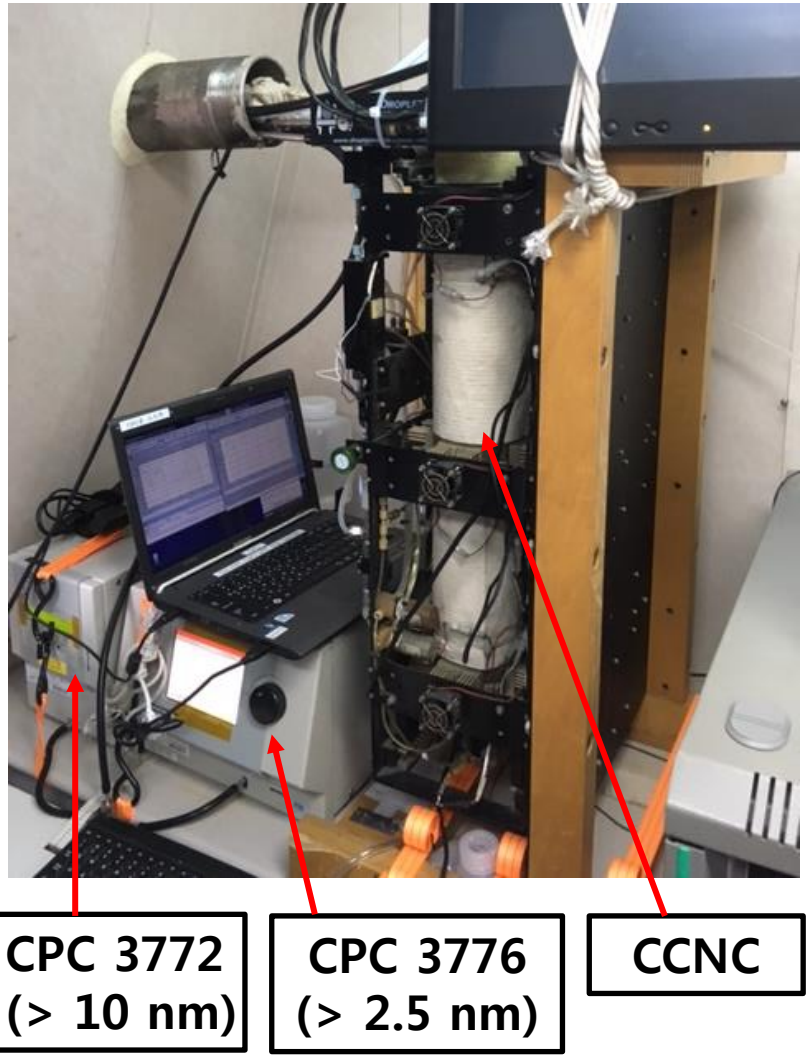
연구 방법

1.2 물방울 생성 챔버 시스템 (Sea spray 입자의 생성을 모사)

연구 방법

1.3 에어로졸 장비

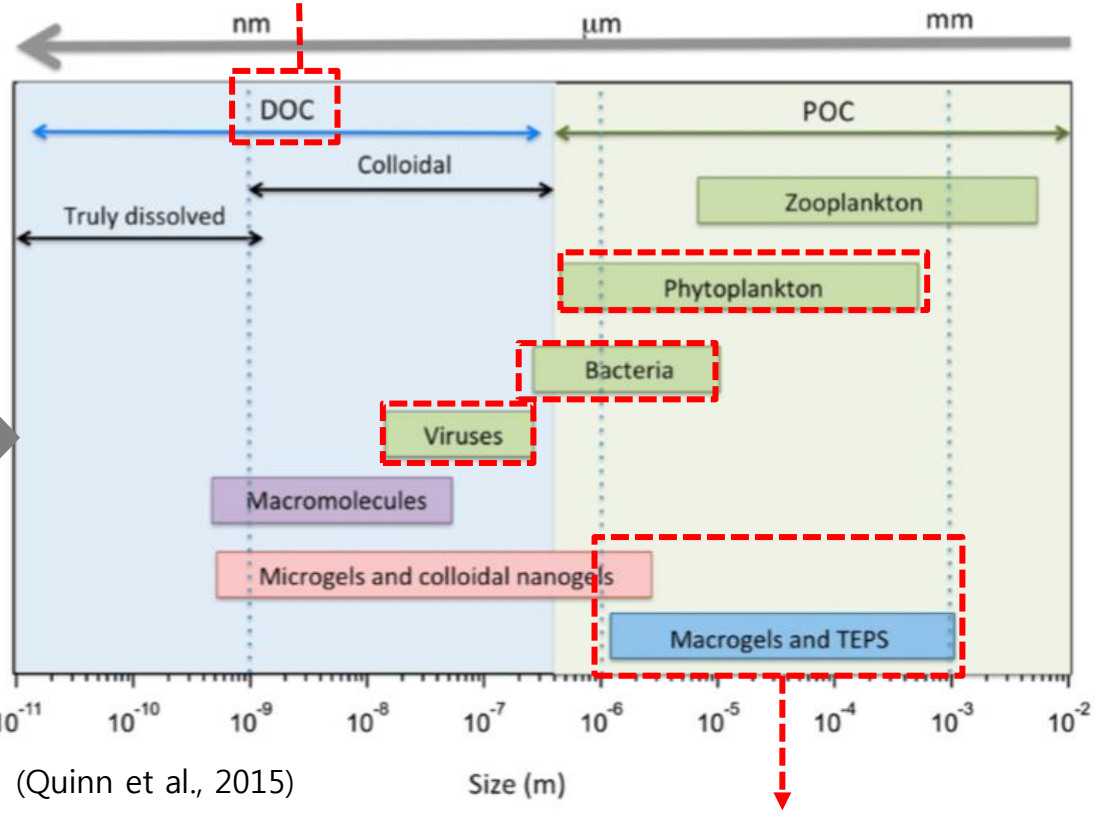




연구 방법

1.4 북극해 표층 바닷물 속 생물학적 물질 정량화

- **용해성 유기 물질 (e.g., Total DOM , CDOM, FDOM)**
  - ✓ Chromophoric (colored) DOM **(CDOM) -> 육상기원 DOC**
  - ✓ Fluoresces dissolved organic matter **(FDOM) -> 육상기원과 해양기원 분리**



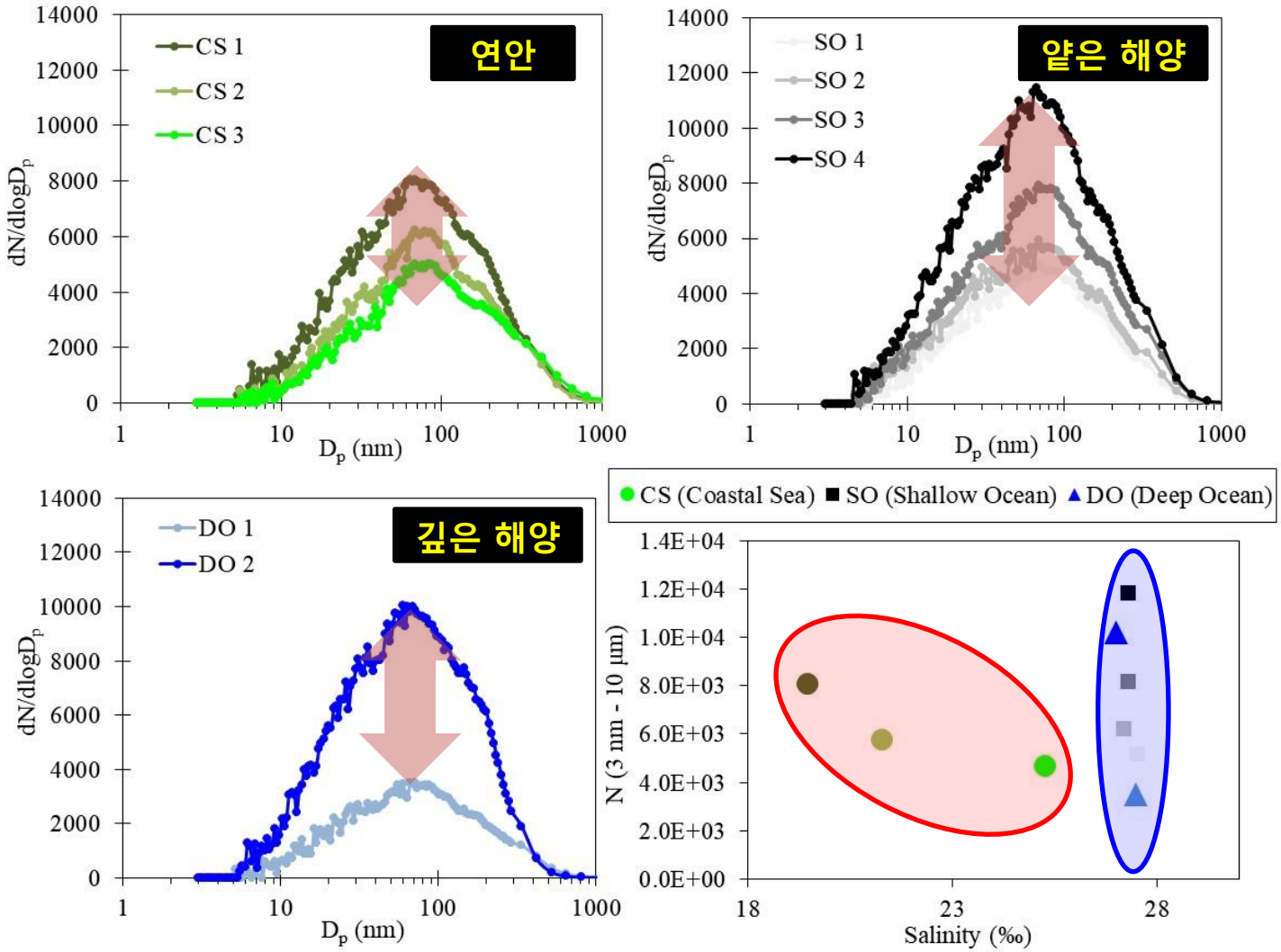
(Quinn et al., 2015)

- **해양 젤 타입 입자 (e.g., TEP and CSP)**
  - ✓Transperent exopolymer particles **(TEP) -> Polysaccharide**
  - ✓Coomassie stainable particles **(CSP) -> Protein**

Ⅱ. 북극해 표층 바닷물 속 다양한 종류의 유기물이 sea spray 입자의 특성에 미치는 영향 규명

연구 결과 및 토론

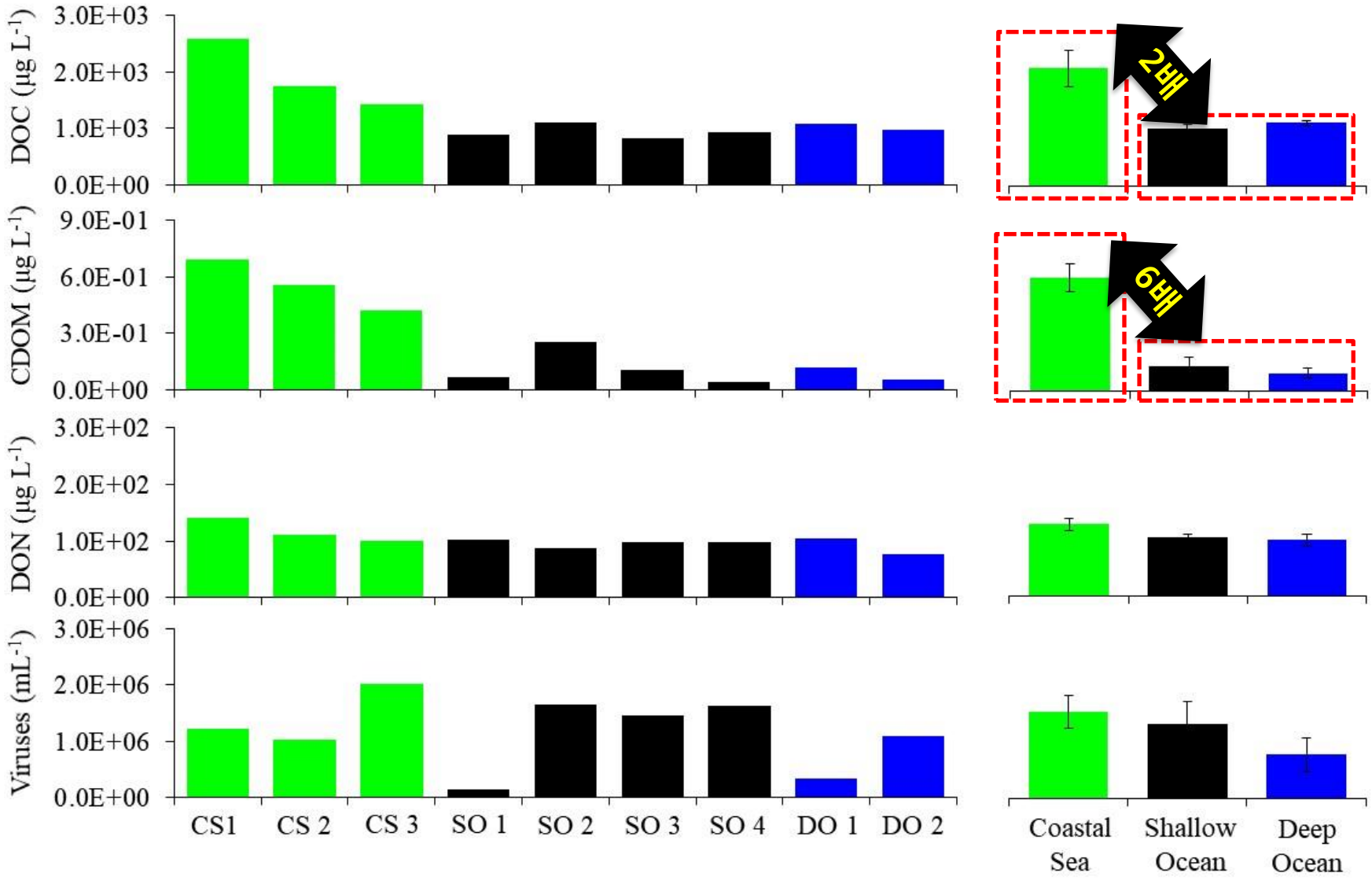
2.1 Sea spray 입자의 수농도 분포 곡선 비교



- 해양 염 이온이 바닷물의 주요 성분임에도 불구하고, 바닷물 속 유기물이 대기 중 sea spray 입자의 수농도에 상당한 영향을 미칠 수 있다는 것을 제시함.

연구 결과 및 토론

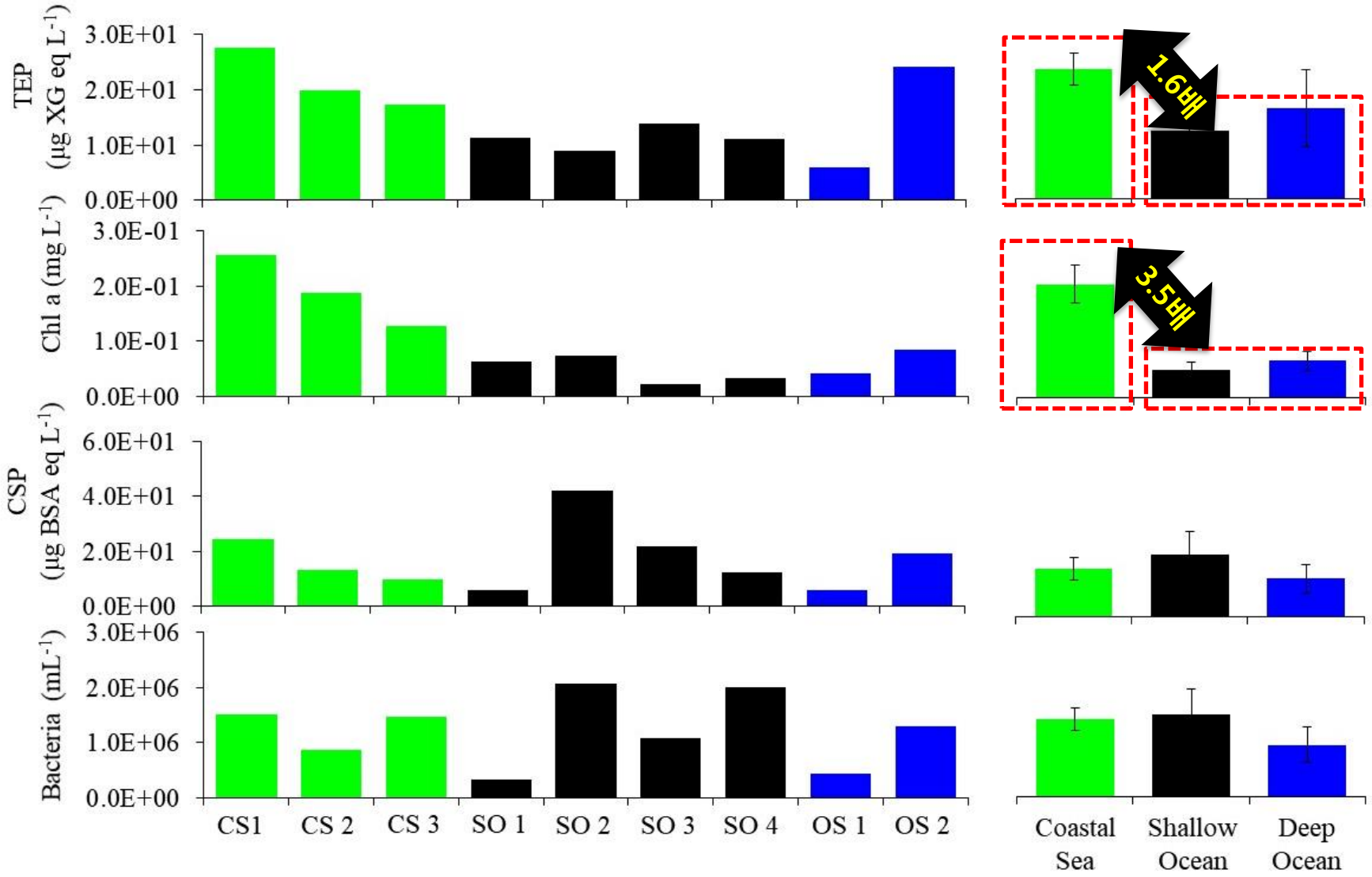
2.2 바닷물 속 유기물 정량/정성 분석 (용해성 유기 물질 (<200 nm))



➢ 연안 사이트에서 높은 농도의 DOC가 **강물의 유입으로 인하여 육상에서 기원**했다는 것을 관찰

연구 결과 및 토론

2.2 바닷물 속 유기물 정량/정성 분석 (입자성 유기 물질 (>200 nm))

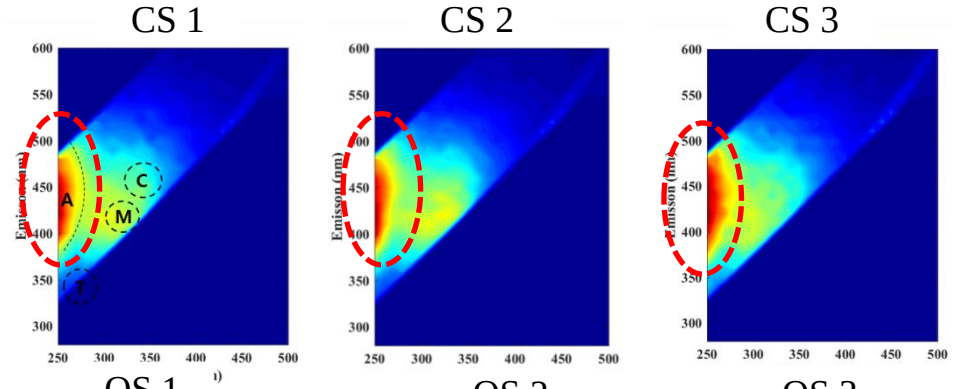


➢ Chl-a와 육상기원 DOC가 젤타입 입자 (TEP와 CSP) 형성에 중요한 역할을 한다는 것을 의미

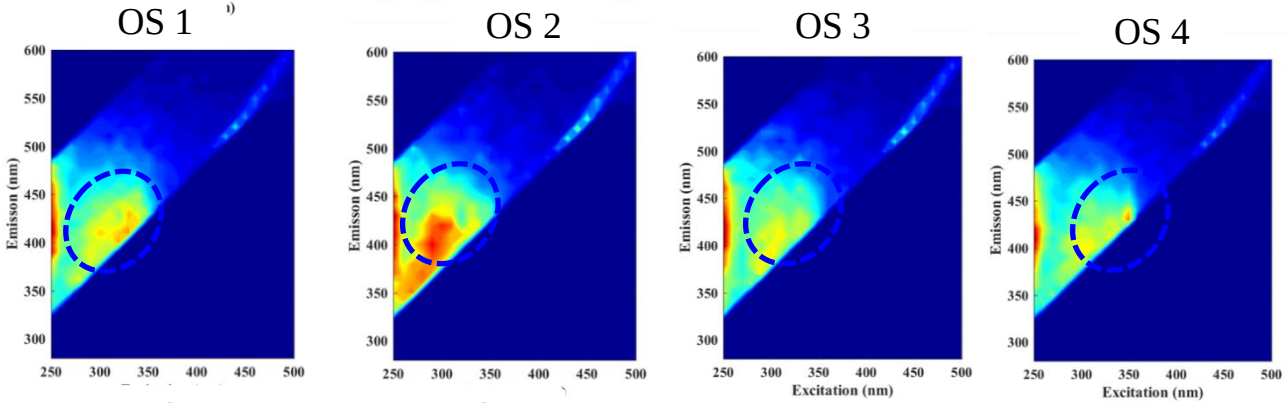
연구 결과 및 토론

2.2 바닷물 속 유기물 정량/정성 분석 (FDOM 스펙트럼 분석 결과)

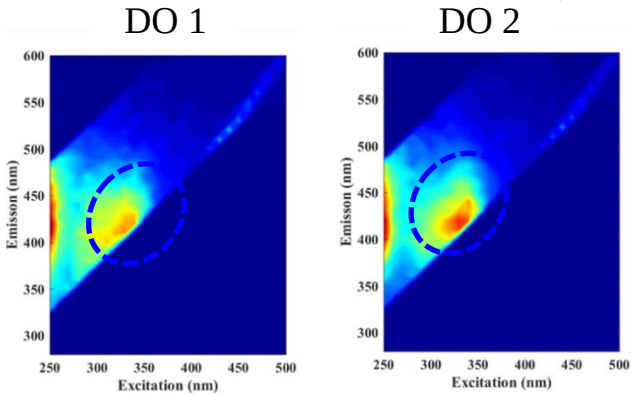
연안 (CS):



얕은 해양 (OS):



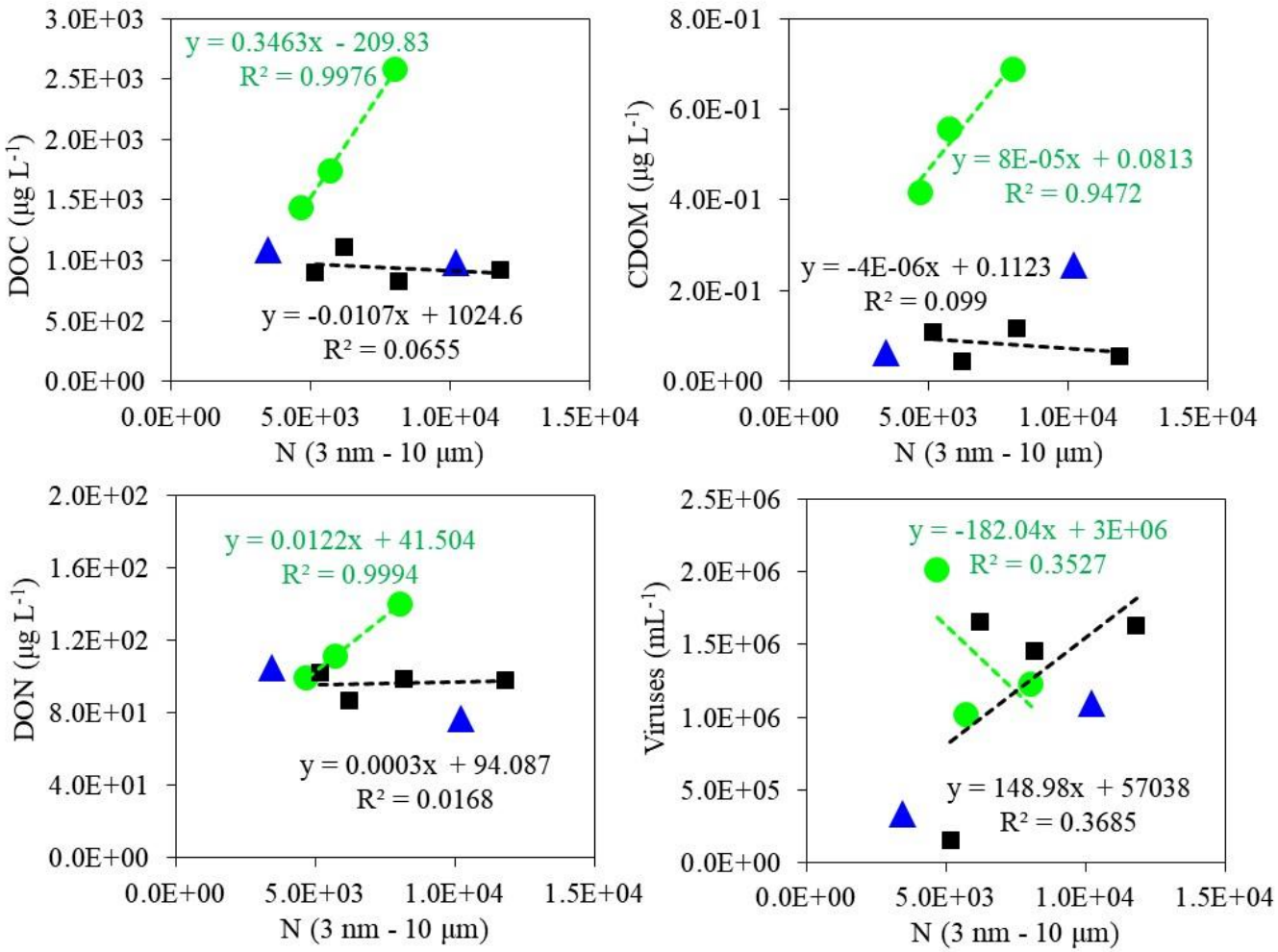
깊은 해양 (DO):



- ✓ **A:** 육상기원 휴믹 물질
- ✓ **B:** 육상기원 풀브산 물질,
- ✓ **M**: 해양기원 풀브산 물질,
- ✓ **T:** 단백질 물질

연구 결과 및 토론

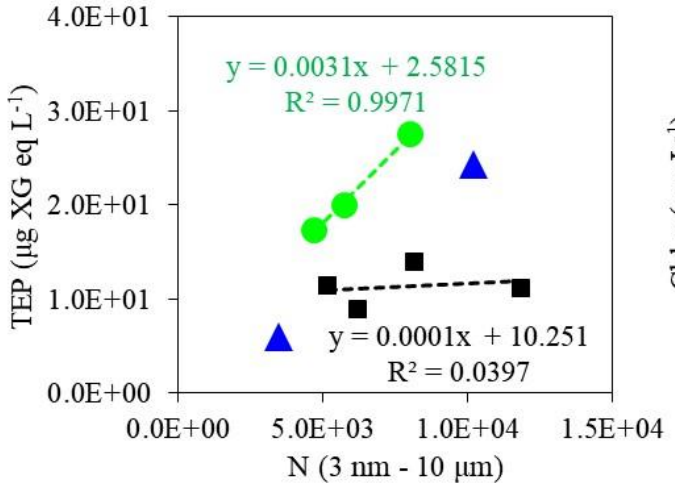
2.3 바닷물 속 유기물과 Sea spray 입자의 수농도 상관 관계 (용해성 유기물질)

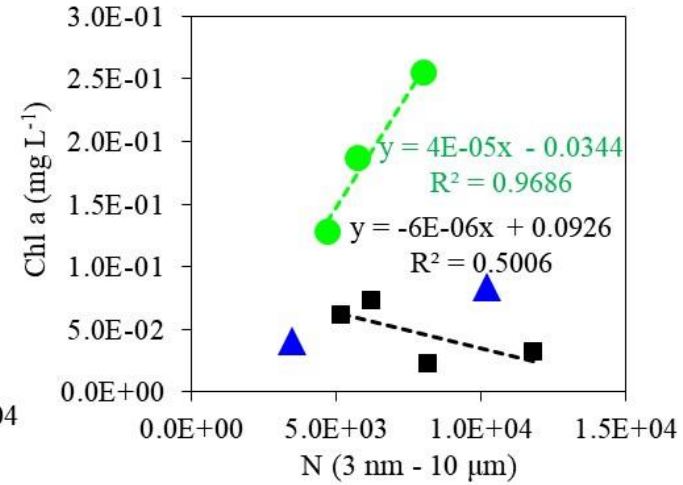


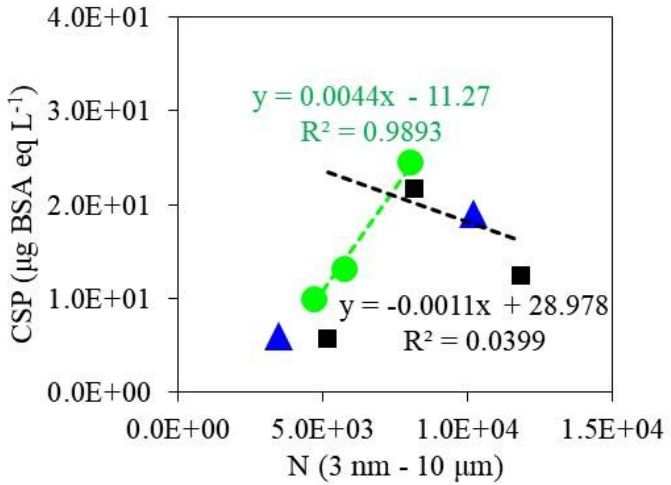
- 연안 사이트의 경우 **강물에서 유입된 육상기원 유기물**이 sea spray 입자의 생성에 상당한 기여를 한다는 것을 제시함.

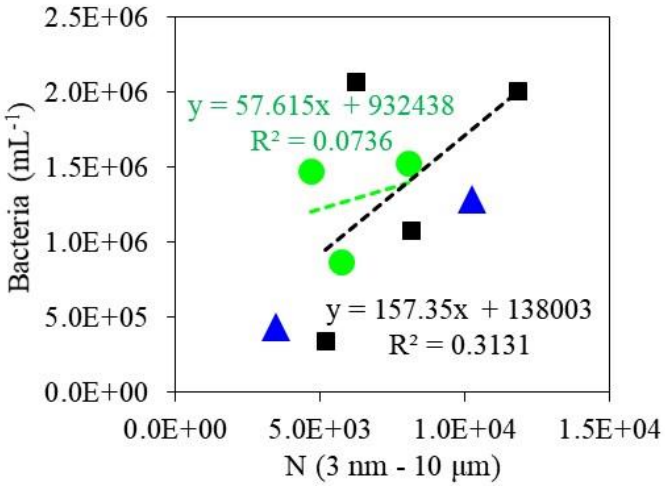
연구 결과 및 토론

2.3 바닷물 속 유기물과 Sea spray 입자의 수농도 상관 관계 (입자성 유기 물질)









연안

얕은 해양

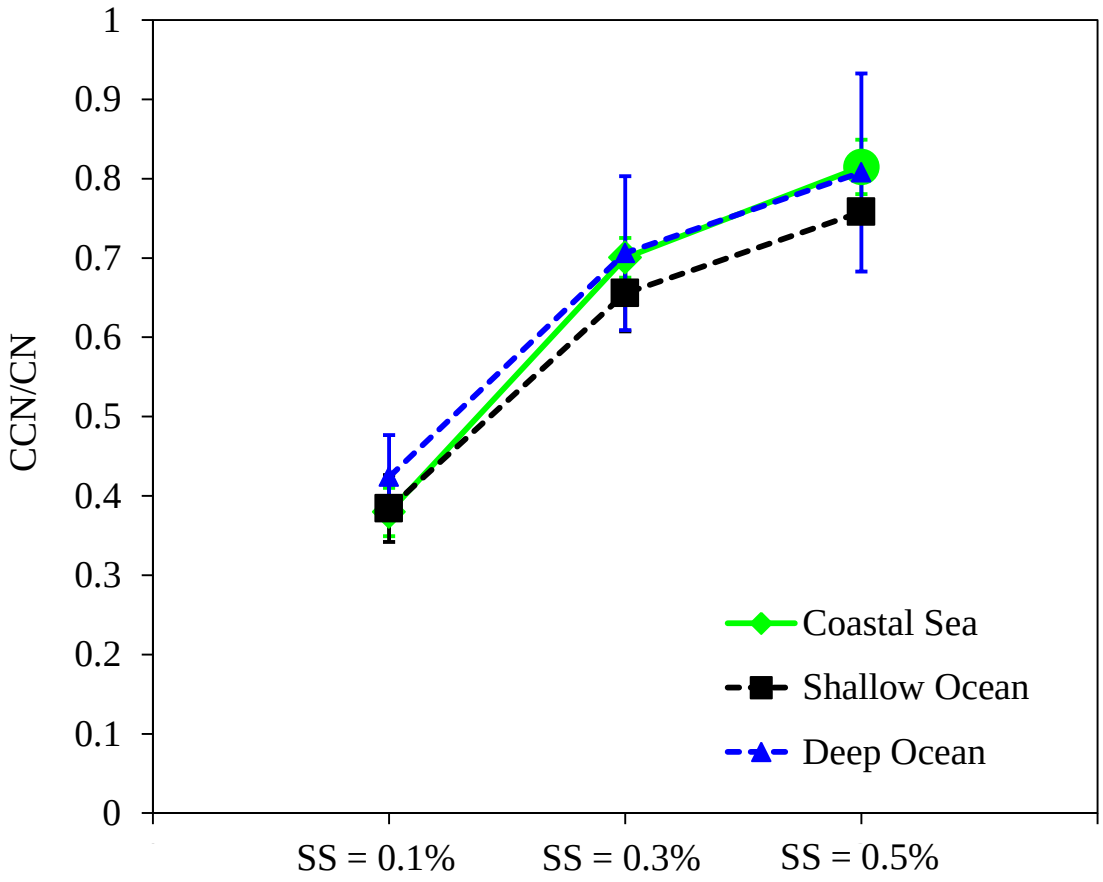
깊은 해양

➢ 연안 지역에서 **강물에서 유입으로 증가된 Chl-a와 젤타입 입자**가 Sea spray 입자의 수농도 증가를 초래할 수 있다는 것을 나타냄.

III. Sea spray 입자의 특성이 구름형성에 미치는 영향 파악

연구 결과 및 토론

- Sea spray 입자의 구름 형성 응결핵 (CCN) 농도 비교



결론

- 북극 항해 경로 중 물방울 생성 챔버 시스템을 이용하여 연안/얕은 해양/깊은 해양 사이트 별 바닷물 속 다양한 종류의 유기물 (DOC, CDOM, FDOM, 바이러스, 젤타입 입자 (TEP와 CSP), Chl-a, 박테리아)이 sea spray 입자의 수농도와 CCN 농도에 미치는 영향을 비교함.

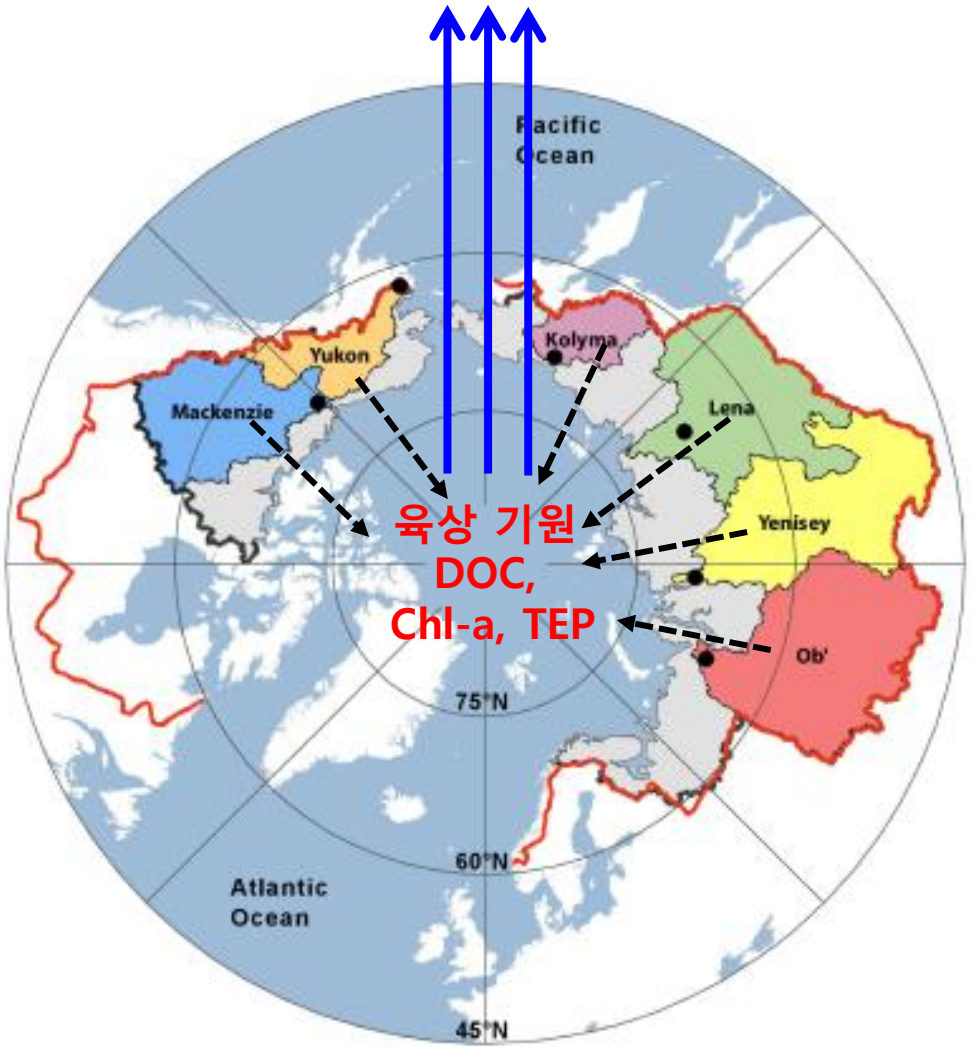
- **북극 연안**에서 강물이 유입이 있을 때 바닷물 속 강물기원 유기물과 sea spray 입자의 수농도 사이에 높은 상관관계가 나타난 반면, **북극 해양**에서는 상관관계가 나타나지 않음.

- **북극 연안에서 강물기원 유기물 (CDOM, Chl-a, TEP)이 일차적 해양 에어로졸 생성에 상당한 영향을 미치는 것을 제시함.**

- CCN농도의 경우, 연안/얕은 해양/깊은 해양 사이트 별 큰 차이가 나타나지 않음.

결론

대기 중 강물-해양 기원
유기 에어로졸 증가



감사합니다.