

TSPE19170-021-12

해빙 생태계의 탄소 순환 내  
동물플랑크톤 역할 연구

A study on the role of plankton in the  
carbon cycle of the sea ice ecosystem.



(주)마린액트



# 제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “북극 다산기지 기반 해빙생태계의 탄소흡수율 및 기후 피드백 연구”의 위탁과제로 수행한 “해빙생태계의 탄소 순환 내 동물 플랑크톤 역할 연구”의 최종보고서로 제출합니다.



총괄연구책임자: 하선용  
위탁연구기관: (주)마린액트  
위탁연구책임자: 이강현  
위탁참여연구원: 이승한  
" : 김기춘  
" : 홍정호

## 보고서 초록

위탁연구과제명	해빙 생태계의 탄소 순환 내 동물플랑크톤 역할연구				
위탁연구책임자	이강현	해당단계 참여연구원수	4	해당단계 연구비 (천원)	90,000
연구기관명 및 소속부서명	(주)마린엑트		참여기업명	(주)마린엑트	
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	39
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 본 연구는 다산기지가 위치한 스발바드 내 Kongsfjorden 지역의 동물플랑크톤을 채집하고 분석하여 그들의 군집구조를 확인하고 이를 통해 조사지역의 생태특성을 파악하는데 목적이 있음.</li> <li>• 과제수행을 위해 2017년부터 2019년까지 총 5회에 걸쳐 현장조사를 수행하였으며 채집된 시료를 대상으로 종 다양성분석, 서식밀도, 생물량 분석을 진행하였음.</li> <li>• 그 결과 조사지역에서는 총 28개 동물플랑크톤 분류군이 출현한 것을 확인하였으며 서식밀도와 생물량은 조사지역과 시기에 따라 큰 차이가 있음을 확인하였음.</li> <li>• 3년간 진행된 조사결과를 종합적으로 비교한 결과 조사지역에 서식하는 동물플랑크톤은 계절적 변동양상이 강하게 확인되었으며 여기에는 봄철 식물플랑크톤 대발생이 밀접한 연관을 가지고 있는 것으로 판단됨.</li> <li>• 최근 북극해의 해빙이 감소하고 그 결과 일차생산력이 지속적으로 높아질 것으로 예상되고 있기 때문에, 본 조사를 포함하여 현장에서 지속적인 동물플랑크톤 후속 연구가 진행된다면 추후 북극의 해빙이 감소하고 그 결과 발생될 해양생태계 변화양상을 간접적으로 유추할 수 있을 것으로 판단됨.</li> </ul>					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	스발바드, 콩스피요르덴, 동물플랑크톤, 종다양성, 군집구조			
	영 어	Svalbard, Kongsfjorden, Zooplankton, Species diversity, Community structure			

## 요 약 문

### I. 해빙 생태계의 탄소 순환 내 동물플랑크톤 역할 연구

### II. 연구개발의 목적 및 필요성

해양생태계에서의 탄소순환은 미세조류를 통해 탄소가 유입되고 동물플랑크톤을 비롯한 1차 소비자에 의해 섭식되어 더 높은 영양단계로 이동하는 과정을 거치게 되는데 북극해의 해빙의 감소로 인해 미세조류로부터 발생된 일차생산력이 변화하고 있기 때문에 북극해 서식 동물플랑크톤 역시 영향을 받을 것으로 예측된다. 따라서 북극해 서식 동물플랑크톤의 서식밀도와 생물량, 종조성을 파악하는 것은 이 지역의 해양생태계 변화양상을 분석하는데 매우 중요하며 이를 통해 궁극적으로 미세조류로부터 전달된 탄소가 상위 영양단계로 어떻게 전달되고 있는지를 간접적으로 유추할 수 있다.

### III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 다산기지가 위치한 스발바드 내 Kongsfjorden 지역의 동물플랑크톤을 채집하고 분석하여 그들의 군집구조를 확인하고 이를 통해 조사지역의 생태특성을 파악하는데 목적이 있다. 또한 탄소분석을 위한 동물플랑크톤 시료를 추가로 확보하여 해양생태계 내 다른 구성요인과의 연관관계를 분석하고자 한다.

### IV. 연구개발결과

과제수행을 위해 연구기간동안 2017년부터 2019년까지 5번의 현장조사를 실시하였다 (2017년 5월, 10월, 2018년 4월, 6월, 2019년 7월). 채집은 망구 40 cm, 망목 200  $\mu\text{m}$ 의 동물플랑크톤 네트를 사용하였다. 이 때, 네트에 유량계를 부착하여 단위 개체수로 환산하였다. 채집된 시료는 최대한 중 수준까지 분석하였으며 동시에 해당 시료를 활용하여 습중량을 측정하고 환산을 통해 유기물 함량을 분석하였다. 그 결과 조사지역에서 총 28개 분류군의 동물플랑크톤이 출현하였으며 서식밀도와 생



물량은 조사시기와 지역에 따라 큰 차이를 보이는 것으로 확인되었다. 하지만 지역적, 계절적 비교를 진행한 결과, 조사지역의 안쪽에 위치한 정점에서 바깥지역에 비하여 서식밀도가 상대적으로 높았으며 생물량은 우점 분류군에 따라 결정되는 것으로 분석되었다. 계절적 비교결과 조사지역의 동물플랑크톤에서 계절적 변동양상을 확인할 수 있었는데 식물플랑크톤의 대발생이 진행되는 봄철을 중심으로 플랑크톤 유생이 큰 폭으로 증가하였으며 그 결과 서식밀도와 생물량 역시 해당 계절에 상대적으로 높은 것으로 확인되었다. 본 조사결과를 통해 조사지역의 동물플랑크톤의 군집조성은 계절에 따라 변화하며 여기에는 봄철 식물플랑크톤 생물량이 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한 현장에서 중 수준으로 분석된 동물플랑크톤 생시료를 함께 확보하여 동물플랑크톤 탄소 순환 분석이 용이하도록 진행하였다.

## V. 연구개발결과의 활용계획

북극해는 최근 연구를 통해 해빙이 감소하고 이로 인해 일차생산력이 증가하는 등 해양생태계가 전반적으로 변화하고 있음이 알려진 지역이다. 따라서 본 연구지역에서 동물플랑크톤을 대상으로 중 조성 및 서식밀도, 생물량을 분석하고 이러한 결과를 해양생태계 먹이사슬 내의 다른 영양단계 구성인자들과 상호 연관관계 분석에 활용한다면 이 지역의 해양생태계 전반적 변화양상을 간접적으로 추론할 수 있다. 또한 본 지역을 대상으로 과거에 다수의 연구가 진행되었기 때문에 비교분석을 통해 동물플랑크톤 생물다양성 변화정도를 분석할 수 있다.

## S U M M A R Y

(영 문 요 약 문)

Zooplankton plays a pivotal role as they form a link in pelagic food webs between producers and secondary consumers. Also, distribution and dynamics of zooplankton communities in pelagic are influenced by physio-chemical factors, biological characters including predator pressure and the interaction of these factors. Therefore, zooplankton is an importance subject to research marine ecosystem from these factors. Arctic ocean has environmental characters such as sea ice and freezing, and is influenced by flux of various currents. This study aims to analyze zooplankton communities of the Kongsfjorden. A total of 28 zooplankton taxa were identified. Zooplankton abundance and biomass showed huge difference according to the study area and season. A comprehensive comparison of the three-year survey showed that the zooplankton communities in the study area was influenced by seasonal changes and phytoplankton blooming in spring. Recently, some studies reported that the Arctic glaciers are melting constantly, and that primary production in that area would be increasing. It seems that zooplankton communities in the study region were affected by environmental factors such as primary production. For this reason, if more data are accumulated throughout further studies in this region, ecological study of Arctic zooplankton would be established at a more detailed level.

## 목 차

제 1장. 서론.....	7
제 2장. 연구개발수행 내용 및 결과.....	9
1. 참여연구원.....	9
2. 연구수행방법.....	10
3. 연구수행결과.....	12
제 3장. 연구개발목표 달성도.....	29
제 4장. 연구개발결과의 활용계획.....	30
제 5장. 참고문헌.....	31
부록.....	33

KOPRI  
극지연구소

## 제 1 장. 서론

- 해양생태계에서 동물플랑크톤은 식물플랑크톤에 의해 합성된 유기에너지를 어류와 같은 더 높은 상위 영양단계로 전달하는 중요한 고리 역할을 담당함. 또한 동물플랑크톤은 스스로의 운동능력보다 해류에 의해 수동적으로 이동하기 때문에, 이들의 분포는 수괴의 혼합, 수온과 염분 등의 물리적인 현상 및 먹이 조건이나 치자어와 같은 포식자의 포식활동 등의 생물학적 요인에 의해 영향을 받음 (Poulet and Williams 1992; Haury et al. 1992; Hunter and Price 1992). 특히 극지방에서의 동물플랑크톤 군집형성은 다른 온대, 열대지방과는 달리 제한적 환경조건으로 식물플랑크톤의 대량증식에 영향을 받는 것으로 알려져 있음 (Kahru et al. 2011).
- 일반적으로 북극해는 낮은 일조량 등의 원인으로 일차생산력이 상대적으로 낮은 것으로 알려져 있었지만 해빙의 감소로 인해 일차 생산력이 증가하고 있는 것이 최근의 연구를 통해 확인된 바 있는데 이러한 변화는 해양생태계 내에 전반적 영향 (먹이사슬, 탄소흡수 등)을 끼칠 수 있음 (Piepenburg 2005; Michel et al. 2006; Bates and Mathis 2009).
- 해양생태계에서의 탄소순환은 미세조류를 통해 탄소가 유입되고 동물플랑크톤을 비롯한 1차 소비자에 의해 섭식되어 더 높은 영양단계로 이동하는 과정을 거치게 되는데 북극해의 해빙의 감소로 인해 미세조류로부터 발생된 일차생산력이 변화하고 있기 때문에 북극해 서식 동물플랑크톤의 역시 영향을 받을 것으로 예측됨.
- 그러므로 북극해 서식 동물플랑크톤의 서식밀도와 생물량, 종조성을 파악하는 것은 이 지역의 해양생태계 변화양상을 분석하는데 매우 중요하며 이를 통해 궁극적으로 미세조류로부터 전달된 탄소가 상위 영양단계로 어떻게 전달되고 있는지를 간접적으로 유추할 수 있음.
- 본 연구가 이루어질 다산기지 주변 해역은 대서양에서 올라온 해류와 만 안쪽의 빙하로부터 유입되는 유입수가 만나는 지역으로 대서양과 북극해 생물상이 모두 관찰되는 지역으로 두 상반된 해류의 유입양에 따라 동물플랑크톤 군집내 우점종이 달라지는 것으로 알려져 있음. 또한 연구대상지역은 해빙과 결빙이 반복되는 지역적 특이성을 가지고 있으며 이러한 변화로 인해 동물플랑크톤의 서식밀도에 영향을 끼칠 수 있음. 과거 이 지역에서 동물플랑크톤 대상 연구가 상당수 진행된 바, 이 지역에서 시료를 채집하고 분석하여 과거의 연구결과와 비교한다면 연구지역 내의 동물플랑크톤 변화양상을 보다 효율적으로 비

교할 수 있음 (Kwasniewski et al. 2003; Basedow et al 2004; Walkusz et al. 2009; Gluchowska et al. 2016)

- 따라서 본 연구에서는 다산기지가 위치한 스발바드 내 Kongsfjorden 지역의 동물플랑크톤을 채집하고 분석하여 그들의 군집구조를 분석하고 이를 통해 조사지역의 생태특성을 파악하는데 목적이 있음. 또한 탄소분석을 위한 동물플랑크톤 시료를 추가로 확보하여 해양생태계 내 다른 구성요인과의 연관관계를 분석하고자 함



## 제 2 장. 연구개발수행 내용 및 결과

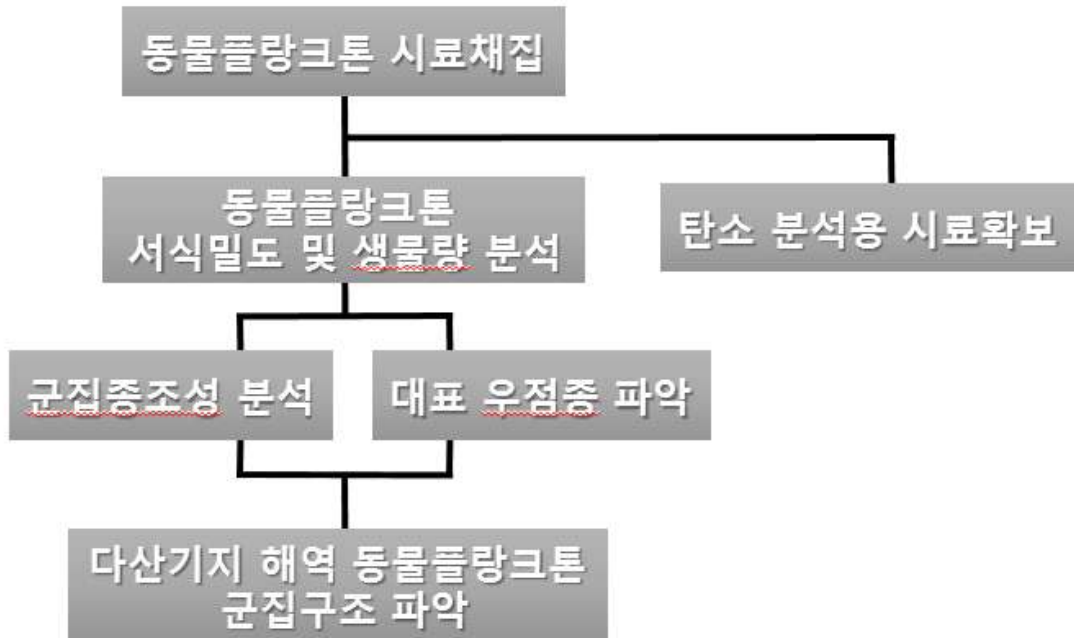
### 1. 참여연구원

분야	성명	소속	직위	전공 및 학위			
				학위	연도	전공	학교
연구총괄	이강현	(주)마린액트	연구소장	박사	2007	생명과학	한양대학교
현장조사 및 자료분석	이승한	(주)마린액트	선임연구원	박사	2015	생명과학	한양대학교
자료분석	홍정호	(주)마린액트	선임연구원	박사	2015	생명과학	한양대학교
자료정리	김기춘	(주)마린액트	선임연구원	박사	2014	생명과학	한양대학교



## 2. 연구수행방법

### 가. 추진전략 및 체계



### 나. 목표달성 방법

극지연구소

#### ① 채집 및 시료처리

- 여과통이 달린 원추형 네트를 사용하여 수직 또는 수평예망을 진행함. 이 때 네트 입구의 2/3 높이에 유량계 (flowmeter)를 부착하여 채집이 끝난 후 유량계의 회전수를 기록하여 여과한 해수의 양을 측정함.
- 종 동정 및 생체량 측정에 필요한 충분한 양의 동물플랑크톤 시료 확보를 위해 예망은 2~3회 실시하며 수심이 깊을 경우에는 1~2회 반복채집을 진행함.
- 예망 후 여과통에 모여진 동물플랑크톤 시료는 약 2L 용량의 폴리에틸렌 재질의 손잡이가 달린 용기로 옮김.
- 채집통을 네트에 다시 부착시킨 후, 펌프 해수를 이용하여 네트의 아래쪽을 세척한 뒤, 남아있는 시료를 다시 모은 후, 옮겨진 시료를 폴리에틸렌 용기로 옮김.
- 폴리에틸렌 용기에 모아둔 시료는 500~1000mL 용량의 입구가 넓은 폴리에틸렌 시료병으로 옮김
- 채집된 시료는 현장에서 중성포르말린 용액 (최종농도 5%), 99% 에틸알콜 등의 고정액을 이용하여 처리하며 이 때 처리방법은 각 고정시약에 따른 최적방법을 고려하여 진행함.

- 시료의 채집시간은 주간 야간 및 조석 주기에 대한 구분없이 실시하며 이 때, 채집시간을 현장에서 기록하여 추후 자료 해석 시 시료채집의 주, 야간에 따른 차이를 고려함.

## ② 시료 분석

- 실험실로 옮겨진 시료는 전체 시료의 양에 따라 시료 분할기를 이용하여 분할한 뒤 조사항목의 구분 (종조성, 서식밀도, 생물량)에 따라 분석을 진행함.
- 동물플랑크톤은 크기에 따라 대형 동물플랑크톤, 중형 동물플랑크톤으로 구분하여 실험실에서 동정 및 계수를 진행함. 시료에 대한 분류 및 동정 수준은 최대한 중 수준까지 진행하며 동정이 어려운 분류군이나 국내 전문가가 없는 분류군의 경우에는 보다 상위 분류단계까지 표시함.
- 동물플랑크톤의 서식밀도 측정은 유량계의 회전수 계산을 통해 여과량을 계산한 뒤, indiv./m<sup>3</sup> 단위로 표시함.
- 동물플랑크톤의 생물량 측정은 채집 후 분할된 시료를 활용하여 습중량, 건중량 등의 항목을 측정하여 최종 유기물 중량으로 활용이 가능하도록 진행함.

## ③ 시료 보관

- 분석이 끝난 시료는 시료의 크기에 따른 적합한 용기 (Vial 등)에 시료에 관한 정확한 정보를 포함한 라벨과 함께 넣은 뒤, 표본용기 내부는 70% 에틸알콜을 채우고 파라필름 등으로 밀봉하여 시료의 보관성을 높임. 이 때, 보관장소는 향온, 향습이 가능한 장소로 함.



### 3. 연구수행결과

#### 1) 2017년

- Kongsfjorden의 동물플랑크톤 군집을 분석하기 위해 사전에 선정된 10개의 정점을 대상으로 2017년 5월과 10월에 시료채집을 진행하였으며 채집은 망구 40 cm, 망목 200  $\mu\text{m}$ 의 동물플랑크톤 네트를 사용하였다. 이 때, 네트에 유량계를 부착하여 단위개체수로 환산하였다.
- 분석결과 조사기간 동안 총 28개의 동물플랑크톤 분류군이 출현하였으며 조사시기와 정점에 따라 출현 분류군 수에서 차이가 있음을 확인할 수 있었다 (그림 1, 2). 2017년 5월에는 따개비 유생 (Cirriped larvae)을 비롯한 플랑크톤 유생이 내만을 중심으로 높은 비중을 차지하고 있었지만 10월에는 *Oithona similis*와 *Microcalanus* spp. 등의 요각류가 우점하는 것으로 확인되어 조사지역에서 동물플랑크톤의 계절적 천이가 발생하고 있는 것을 확인할 수 있었다 (그림 3, 4).

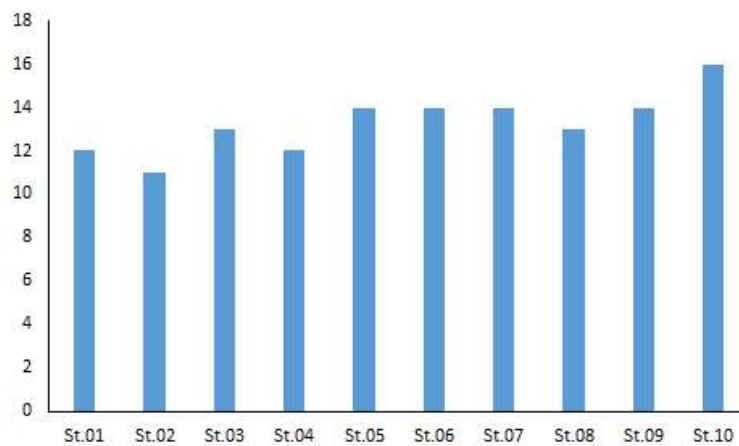


그림 1. 2017년 5월 동물플랑크톤 출현 분류군 수

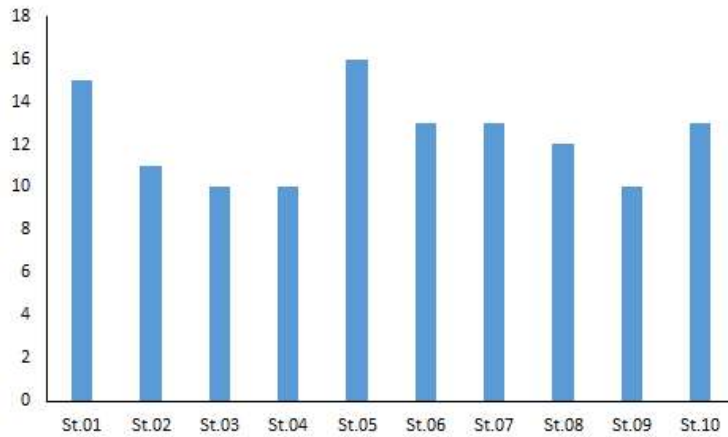


그림 2. 2017년 10월 동물플랑크톤 출현 분류군 수

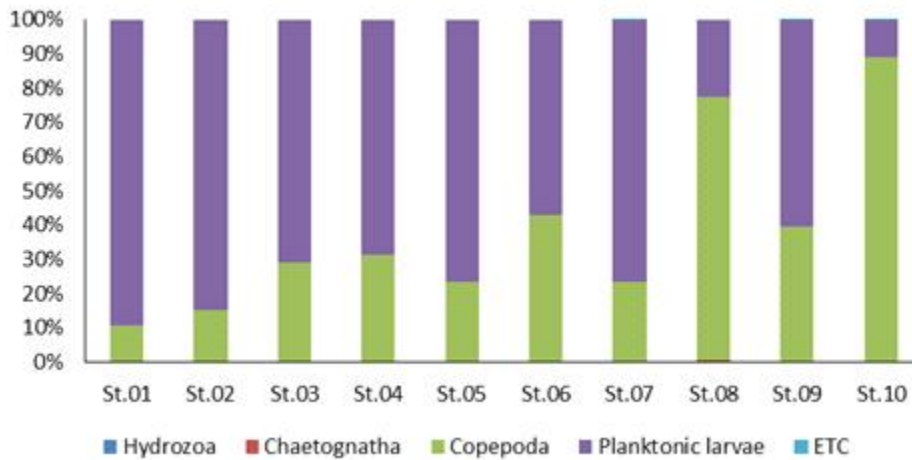


그림 3. 2017년 5월 동물플랑크톤 주요 분류군 출현비율

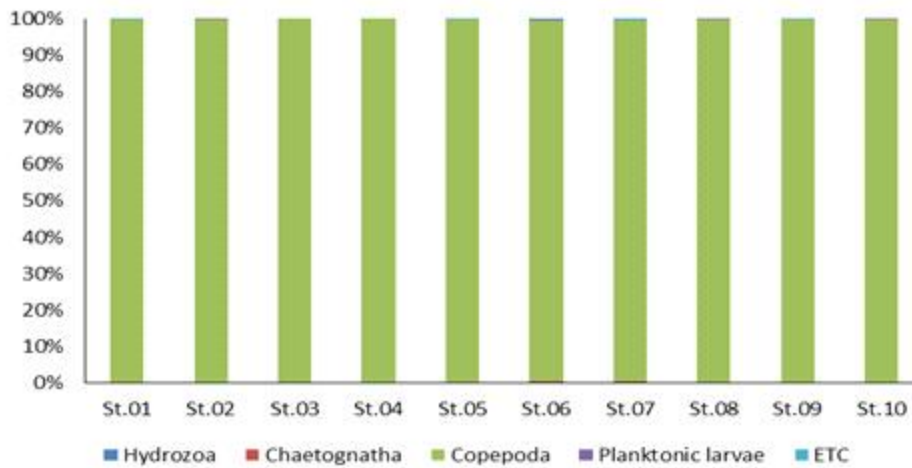


그림 4. 2017년 10월 동물플랑크톤 주요 분류군 출현비율

- 서식밀도와 생물량 분석결과 조사시기와 정점에 따라 큰 차이가 있는 것으로 확인되었다. 2017년 5월에는 평균 서식밀도가 652.9 indiv./m<sup>3</sup>로 분석되었으며 내만에 위치한 St.02에서 1235.7 indiv./m<sup>3</sup>로 가장 높았으며 조사지역 바깥에 위치한 St.10에서 93.7 indiv./m<sup>3</sup>로 가장 낮았다 (그림 5). 지역적으로 살펴보면 조사지역의 안쪽에 위치한 정점들에서 상대적으로 서식밀도가 높았으며 바깥으로 향하면서 점차 서식밀도가 감소하는 것으로 확인되었다. 내만에 위치한 정점들에서는 플랑크톤 유생이 최우점하여 동물플랑크톤 서식밀도 구성에 기여도가 가장 높은 것으로 분석되었고 요각류 유생 (nauplius) 역시 바깥 쪽에 위치한 정점들에 비하여 내만에 위치한 정점들에서 높은 서식밀도를 보였다. 2017년 10월의 평균 서식밀도는 1729.5 indiv./m<sup>3</sup>로 5월에 비하여 증가한 것으로 분석되었으며 St.02에서 3591.2로 가장 높았고 St.06에서 406.6 indiv./m<sup>3</sup>로 가장 낮았다 (그림 6). 서식밀도 분석결과를 지역적으로 살펴보면 지난 5월과 마찬가지로 조사지역의 내만에 위치한 정점에서 상대적으로 서식밀도가 높은 것으로 확인되었으며 바깥쪽으로 향하면서 점차 서식밀도가 감소하는 것으로 분석되었다. 생물량의 경우에도 조사시기와 정점에 따라 차이가 있는 것으로 분석되었으며 2017년 5월에는 평균 생물량이 10.74 mg/m<sup>3</sup>로 바깥쪽에 위치한 St.08에서 19.93 mg/m<sup>3</sup>로 가장 높았으며 St.06에서 3.42 mg/m<sup>3</sup>로 가장 낮았다 (그림 7). 그리고 10월에는 평균 생물량이 4.30 mg/m<sup>3</sup>으로 5월에 비하여 감소하였으며 St.03에서 8.87 mg/m<sup>3</sup>로 가장 높았고, St.10에서 1.76 mg/m<sup>3</sup>로 가장 낮은 것으로 확인되었다 (그림 8). 5월의 생물량 분석결과는 서식밀도와는 반대로 안쪽에 비하여 바깥쪽에 위치한 정점들에서 다소 높은 것으로 분석되었으며 10월은 서식밀도와 유사한 생물량 분포양상을 보였다. 이러한 결과는 우점분류군의 종류에 기인하는데 5월의 경우 상대적으로 크기가 작은 따개비 유생이나 요각류 유생이 우점하여 서식밀도와 생물량의 분석결과에서 차이가 발생하나 10월에는 요각류가 대부분의 정점에서 우점하여 서식밀도와 생물량의 지역적 분포양상이 유사한 것으로 판단된다.

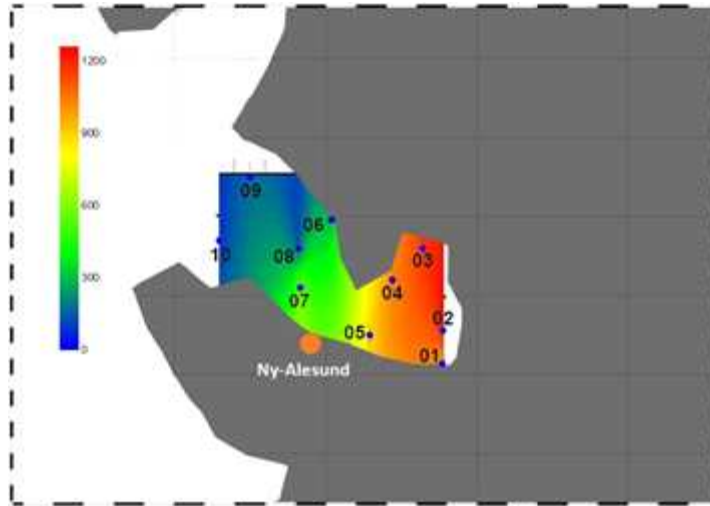


그림 5. 2017년 5월 동물플랑크톤 서식밀도 (indiv./m<sup>3</sup>)

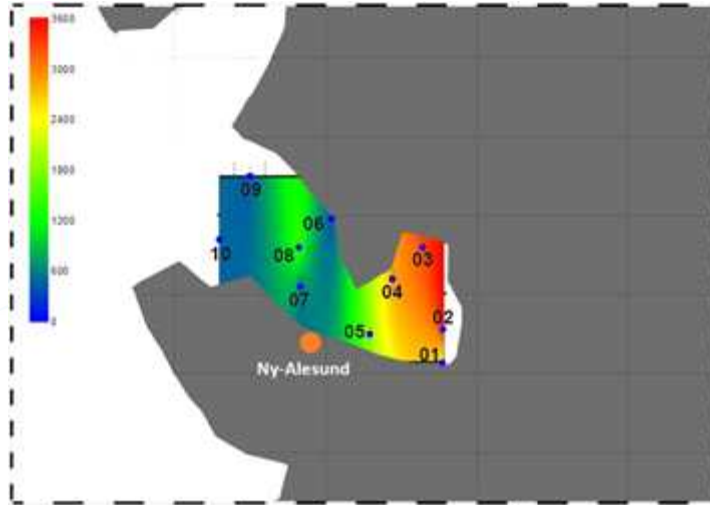


그림 6. 2017년 10월 동물플랑크톤 서식밀도 (indiv./m<sup>3</sup>)

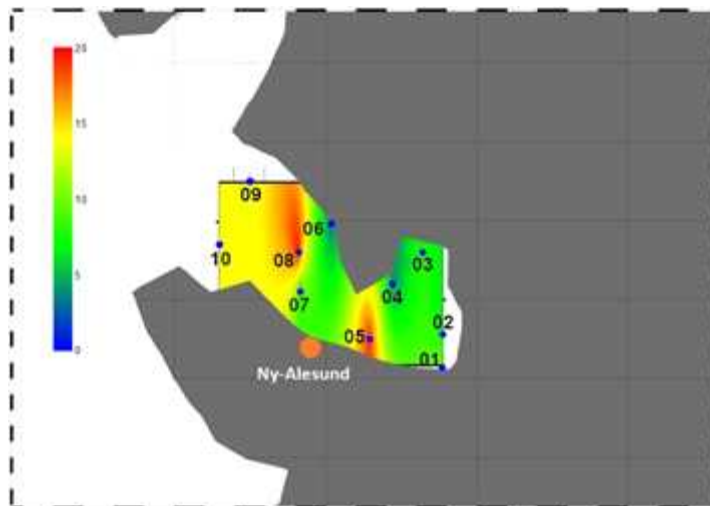


그림 7. 2017년 5월 동물플랑크톤 생물량 (mg/m<sup>3</sup>)

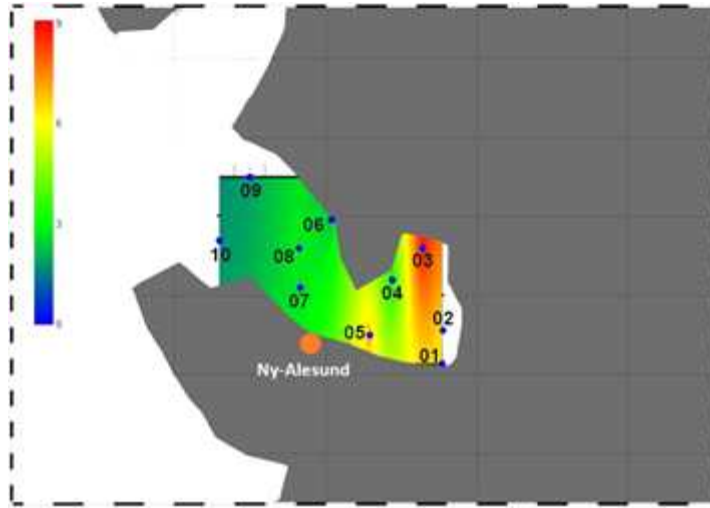


그림 8. 2017년 10월 동물플랑크톤 생물량(mg/m<sup>3</sup>)

- 다양성 지수 분석결과 2017년 5월에는 평균 1.23으로 St.08에서 1.84로 가장 높았으며, St.02에서 0.75로 가장 낮았다 (그림 9). 지역적인 경향을 살펴보면 서식밀도가 높았던 조사지역의 안쪽에 위치한 정점들에서 다양성 지수가 낮았고 바깥쪽에 위치한 정점들의 다양성 지수가 상대적으로 높았는데 이러한 결과는 서식밀도가 높게 분석되었던 정점들에서 특정 분류군의 우점도가 매우 높았기 때문으로 판단된다. 그리고 2017년 10월의 다양성지수는 평균 0.66으로 지난 5월에 비하여 다소 감소하였으며 St.10에서 0.97로 가장 높았고 St.04에서 0.38로 가장 낮았다. 5월의 결과와 마찬가지로 10월의 다양성지수 분석결과 서식밀도가 높았던 안쪽에 위치한 정점들에서 다양성 지수가 상대적으로 낮았는데 이러한 결과 역시 특정 분류군의 높은 서식밀도로 인해 다양성지수가 감소한 것으로 분석된다 (그림 10).

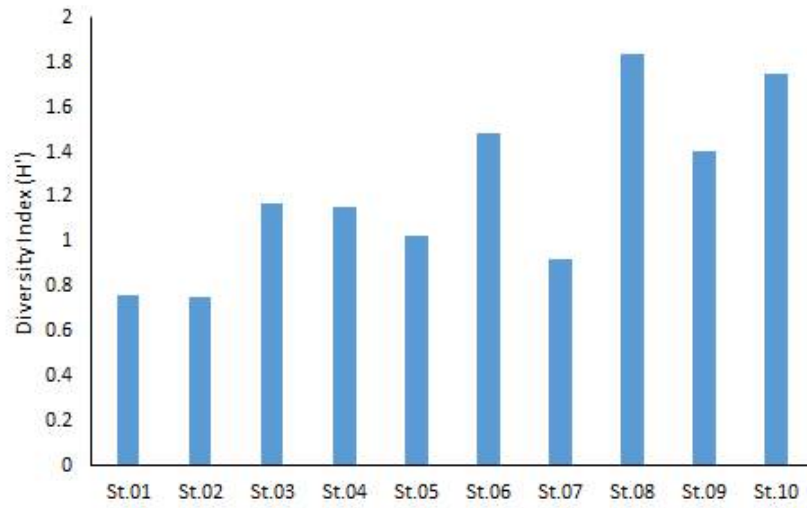


그림 9. 2017년 5월 동물플랑크톤 다양성 지수

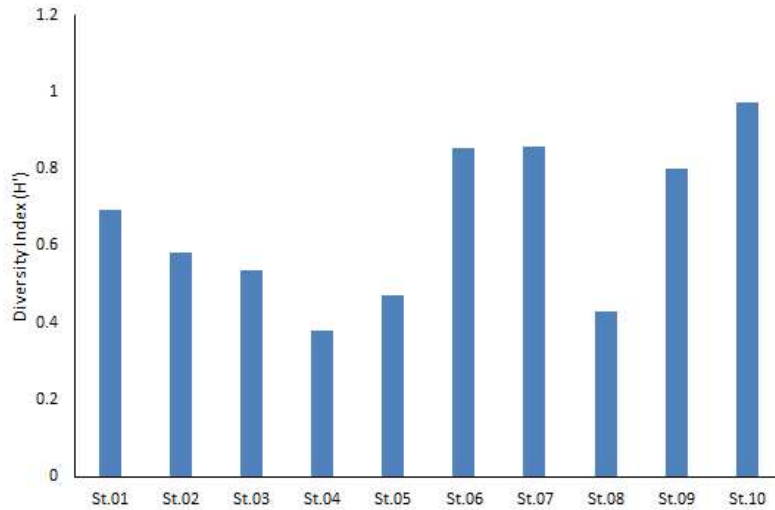


그림 10. 2017년 10월 동물플랑크톤 다양성 지수

## 2) 2018년

- Kongsfjorden의 동물플랑크톤 군집을 분석하기 위해 사전에 선정된 정점을 대상으로 2018년 4월과 6월에 시료채집을 진행하였으며 채집은 망구 40 cm, 망목 200  $\mu$ m의 동물플랑크톤 네트를 사용하였다. 이 때, 네트에 유량계를 부착하여 단위개체수로 환산하였음. 단, 사전에 선정된 정점은 10개였지만 현지 조사 당시 현장 상황을 고려하여 채집이 어려운 정점은 제외하였으며 그 결과 4월에는 총 8개 정점, 6월에는 총 6개 정점에서 시료채집이 진행되었다.
- 분석결과 조사기간 동안 총 28개의 동물플랑크톤 분류군이 출현하였으며 조사시기와 정점에 따라 출현 분류군 수에서 차이가 있음을 확인할 수 있었다 (그림 11, 12). 조사지역내 출현한 동물플랑크톤의 종조성은 조사시기에 따라 다소 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 4월에는 모든 정점에서 요각류 (Copepoda)가 우점하였으며 *Oithona similis*, *Pseudocalanus* spp. 그리고 *Microcalanus* spp.가 우점하는 것으로 나타났다 (그림 13). 그러나 6월에는 조사지역의 내만쪽에서 따개비유생 (Cirriped larvae)을 비롯한 플랑크톤유생이 우점하였지만 조사지역의 바깥쪽으로 향하면서 요각류 (Copepoda)가 우점하고 있음을 확인할 수 있었다 (그림 14). 또한 정점에 따라 다소 차이가 있지만 요각류 중 *Calanus* copepodite를 포함한 *Calanus finmarchicus*와 미동정 요각류 유생 (Unidentified copepodite)이 높은 비율로 출현하였다. 이러한 결과는 식물플랑크톤 대발생 (Phytoplankton blooming)이 4월과 6월 사이에 발생하였으며 그 결과 6월의 조사에서 유생단계의 동물플랑크톤 분류군들이 대량으로 출현한 것으로 생각되며 수심이 상대적으로 낮은 내만지역에서 서식밀도와 생물량 모두 높아 이를 뒷받침한다.

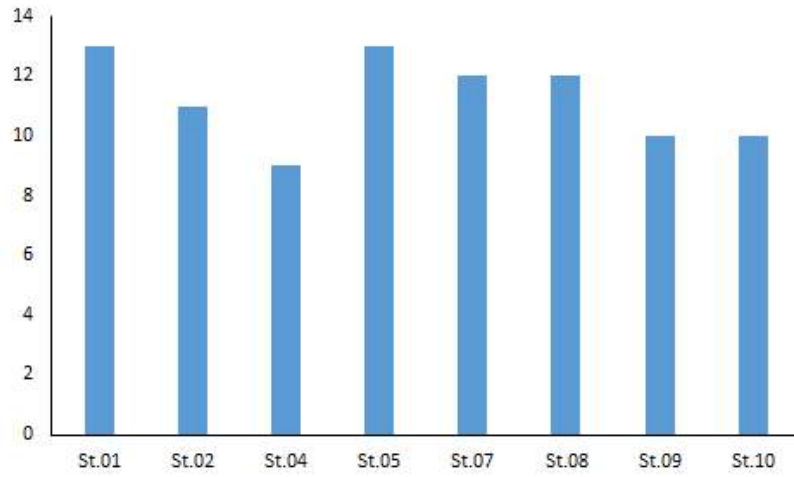


그림 11. 2018년 4월 동물플랑크톤 출현 분류군 수

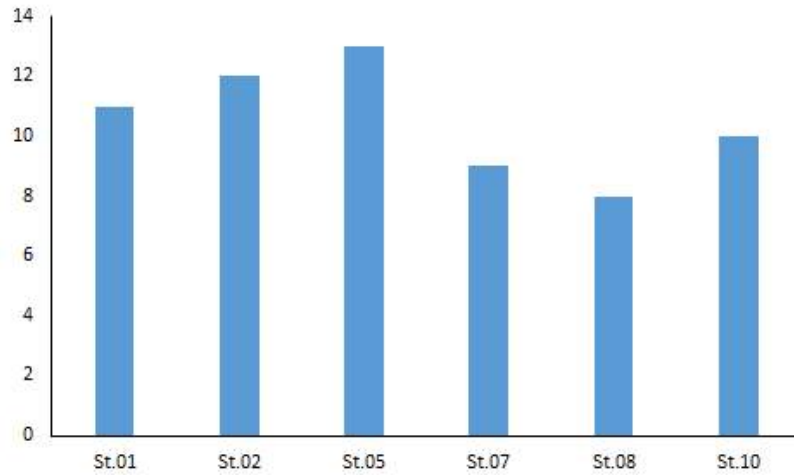


그림 12. 2018년 6월 동물플랑크톤 출현 분류군 수

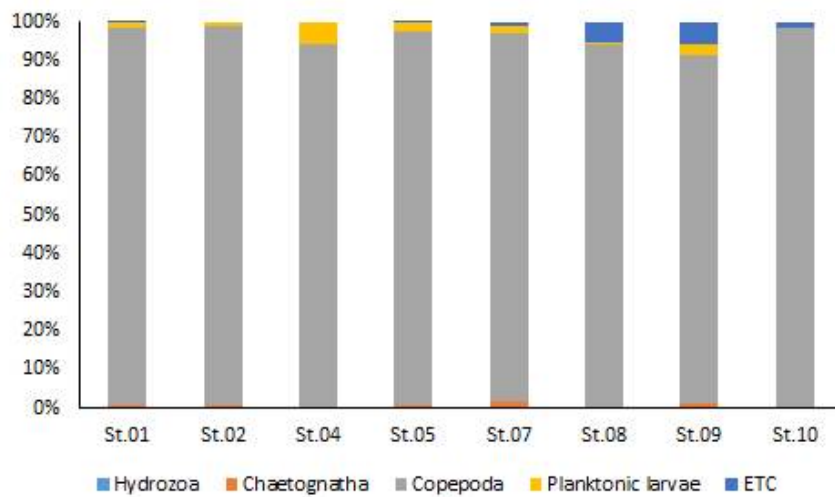


그림 13. 2018년 4월 동물플랑크톤 주요 분류군 출현비율



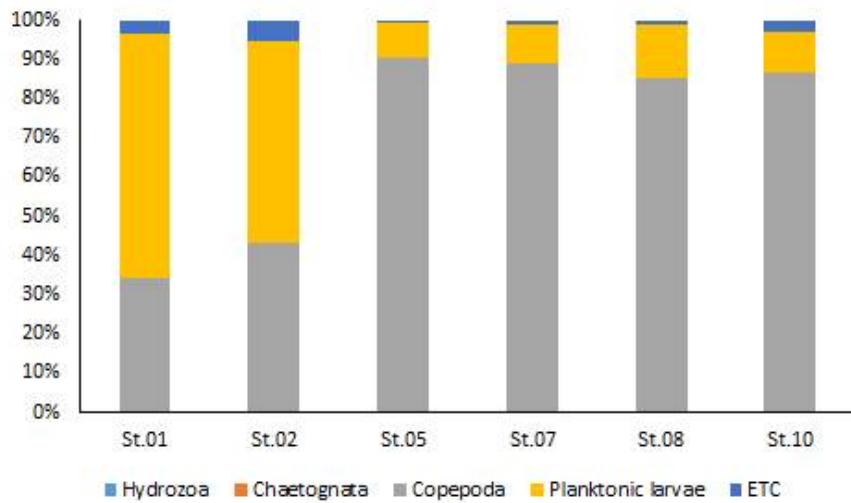


그림 14. 2018년 6월 동물플랑크톤 주요 분류군 출현비율

- 분석결과 조사지역에서 동물플랑크톤의 서식밀도는 조사시기와 정점에 따라 차이가 있는 것으로 분석되었다. 4월의 동물플랑크톤 평균 서식밀도는 122.2 indiv./m<sup>3</sup>로 조사지역의 가장 안쪽에 위치한 St.01에서 250.6 indiv./m<sup>3</sup>로 가장 높았고, 조사지역의 바깥쪽으로 향할수록 점차 감소하였으며 외부에 위치한 St.09에서 37.7 indiv./m<sup>3</sup>로 가장 낮았다 (그림 15). 그리고 6월의 평균 서식밀도는 2561.7 indiv./m<sup>3</sup>로 St.01에서 7974.3 indiv./m<sup>3</sup>로 가장 높았고, St.08에서 650.8 indiv./m<sup>3</sup>로 가장 낮아 지난 4월의 서식밀도 지역적 분포와 유사한 경향을 보였다 (그림 16). 조사지역에서 출현한 동물플랑크톤의 생물량(유기물중량) 분석결과 4월에는 평균 3.33 mg/m<sup>3</sup>였으며 St.05에서 1.51 mg/m<sup>3</sup>로 가장 낮았고 St.08에서 4.42 mg/m<sup>3</sup>로 가장 높았다 (그림 17). 이러한 생물량 결과를 지역적으로 비교하면 4월의 동물플랑크톤 서식밀도와 다소 차이가 있는데 이러한 결과는 주요 우점분류군이었던 요각류의 출현 종에서 차이가 있기 때문이다. 상대적으로 수심이 낮은 내만에 위치한 정점에서는 크기가 작은 *Oithona similis*가 높은 비율로 출현하였는데 수심이 깊어지면서 점차 그 출현비율이 감소하여 생물량이 큰 폭으로 감소하였음이 확인되었다. 그리고 6월의 동물플랑크톤 평균 생물량은 37.17 mg/m<sup>3</sup>였으며 St.08에서 14.33 mg/m<sup>3</sup>로 가장 낮았고 St.01에서 87.23 mg/m<sup>3</sup>로 가장 높았다 (그림 18). 6월의 생물량 지역적 분포는 서식밀도의 결과와 거의 유사하였으며 내만에 위치한 정점에서 플랑크톤 유생 및 요각류들이 모두 높은 것에 비하여 수심이 깊어지면서 그 출현비율이 감소해 서식밀도와 생물량의 지역적 차이가 발생한 것으로 확인된다.

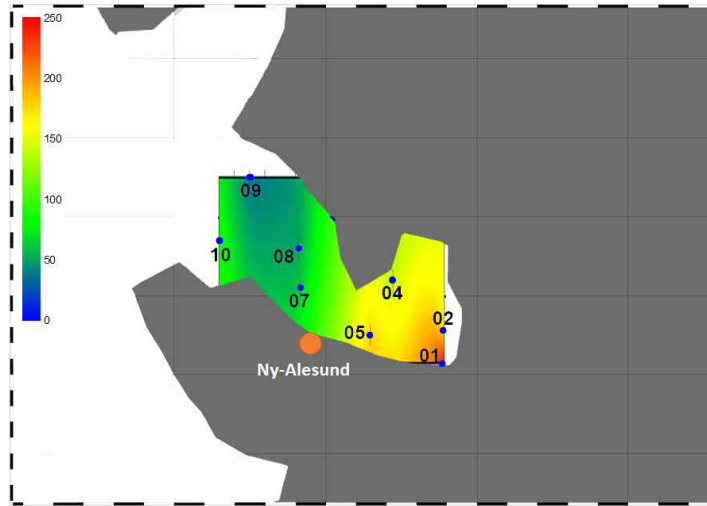


그림 15. 2018년 4월 동물플랑크톤 서식밀도 (indiv./m<sup>3</sup>)

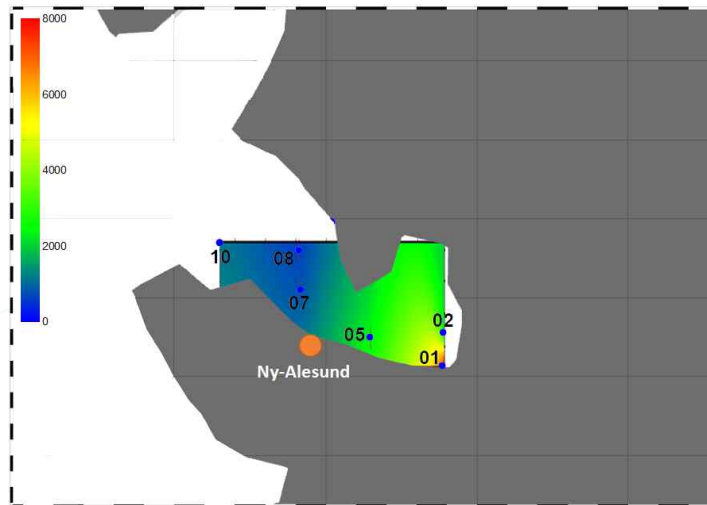


그림 16. 2018년 6월 동물플랑크톤 서식밀도 (indiv./m<sup>3</sup>)

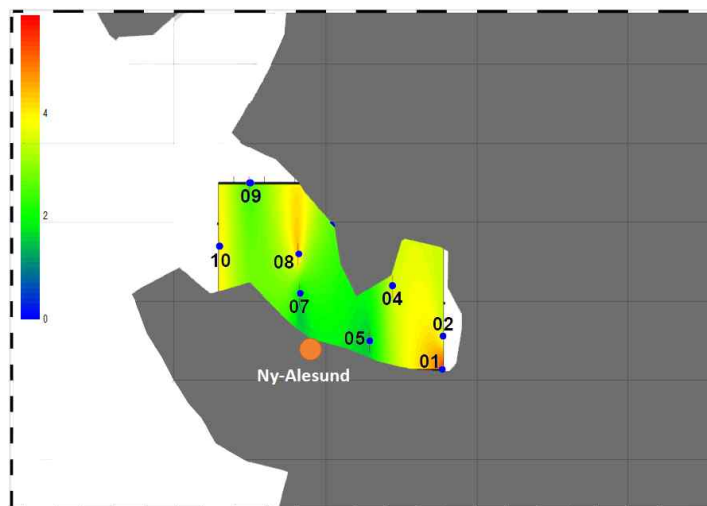


그림 17. 2018년 4월 동물플랑크톤 생물량 (mg/m<sup>3</sup>)

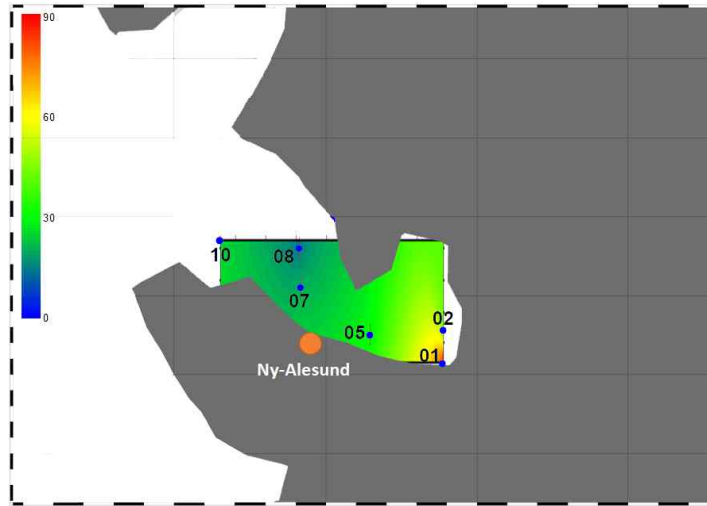


그림 18. 2018년 6월 동물플랑크톤 생물량 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

- 다양성 지수 분석결과 2018년 4월에는 평균 1.64으로 St.08에서 1.98로 가장 높았으며, St.04에서 1.48로 가장 낮았다 (그림 19). 지역적인 경향을 살펴보면 대부분의 정점에서 비슷한 다양성 지수값을 보이는 가운데 St.08에서만 값이 높았는데 이러한 결과는 비록 해당 정점의 서식밀도가 높지는 않지만 비교적 다양한 분류군이 고른 분포비율을 보였기 때문으로 판단된다. 그리고 2018년 6월의 다양성 지수는 평균 1.26으로 4월과 마찬가지로 역시 전 정점이 비교적 고른 분포를 보인 가운데 St.02에서 1.48로 상대적으로 높은 다양성 지수를 보였으며 해당 정점에서는 따개비 유생을 비롯한 요각류 *Calanus* spp.와 미동정 요각류 유생이 비교적 고른 점유율을 보이는 것으로 확인되었다 (그림 20).

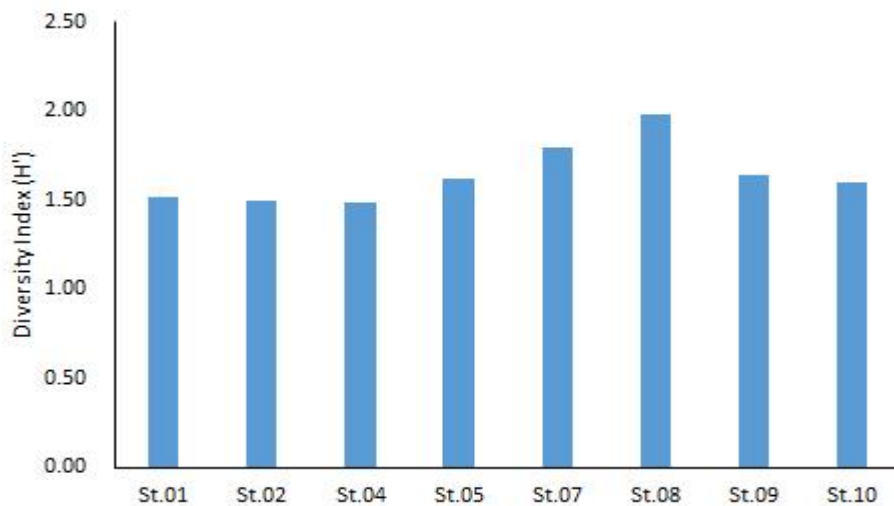


그림 19. 2018년 4월 동물플랑크톤 다양성 지수

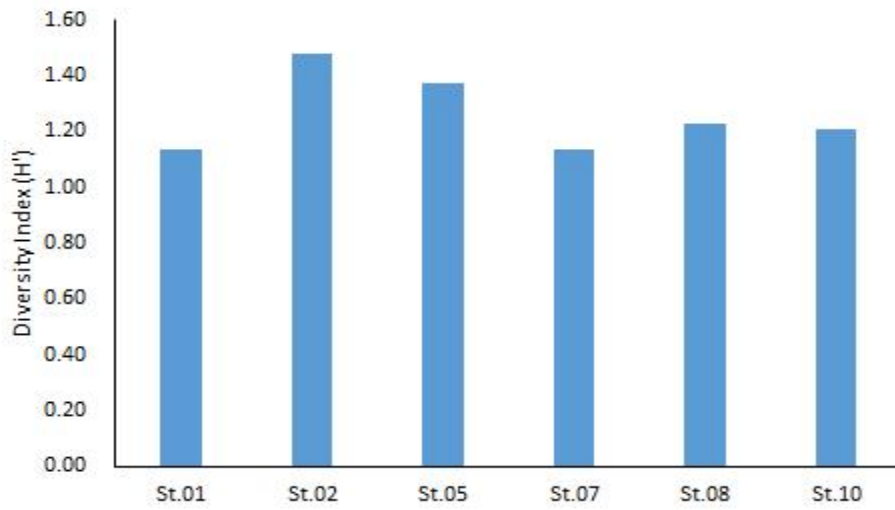


그림 20. 2018년 6월 동물플랑크톤 다양성 지수



### 3) 2019년

- Kongsfjorden의 동물플랑크톤 군집을 분석하기 위해 사전에 선정된 정점을 대상으로 2019년 7월에 시료채집을 진행하였으며 채집은 망구 40 cm, 망목 200  $\mu\text{m}$ 의 동물플랑크톤 네트를 사용하였다. 이 때, 네트에 유량계를 부착하여 실제 예망 동안 여수량을 측정, 동물플랑크톤 최종분석결과를 단위개체수로 환산하였으며 동물플랑크톤의 채집 및 분석은 사전에 선정된 10개의 정점을 대상으로 진행하였다.
- 조사지역내 출현한 동물플랑크톤은 총 22개 분류군이 출현하였으며 St.08에서 20개로 가장 다양한 분류군이 출현하였으며 St.02에서 11개의 동물플랑크톤 분류군이 출현하여 다양성이 가장 낮은 것으로 분석되었다 (그림 21). 출현 종조성은 정점에 따라 다소 차이가 있지만 모든 정점에서 요각류가 우점하였다 (그림 22). 주요 우점종으로는 *Calanus finmarchicus*, *Calanus glacialis*와 *Calanus copepodite* 유생을 포함한 *Calanus* spp.가 최우점종, 그리고 *Oithona similis*, *Pseudocalanus* spp., *Microcalanus* spp.가 우점한 것으로 분석되었다. 특이한 점으로 St.04에서 저서성 요각류 (Unidentified Harpacticoida)가 우점하였는데 이는 해당 정점의 수심이 조사정점 중 가장 낮고 (20m), 조사당시의 조류가 강해 퇴적층이 부유하여 많은 개체수의 저서성 요각류가 채집된 것으로 판단된다.

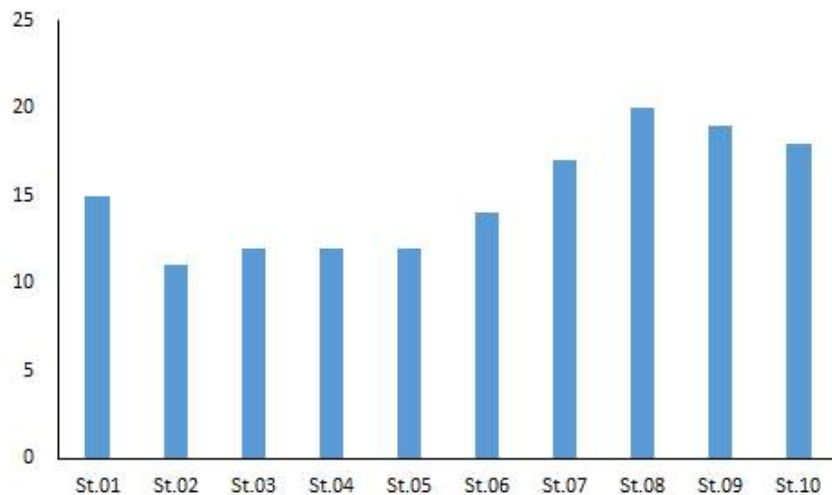


그림 21. 2019년 7월 동물플랑크톤 출현 분류군 수

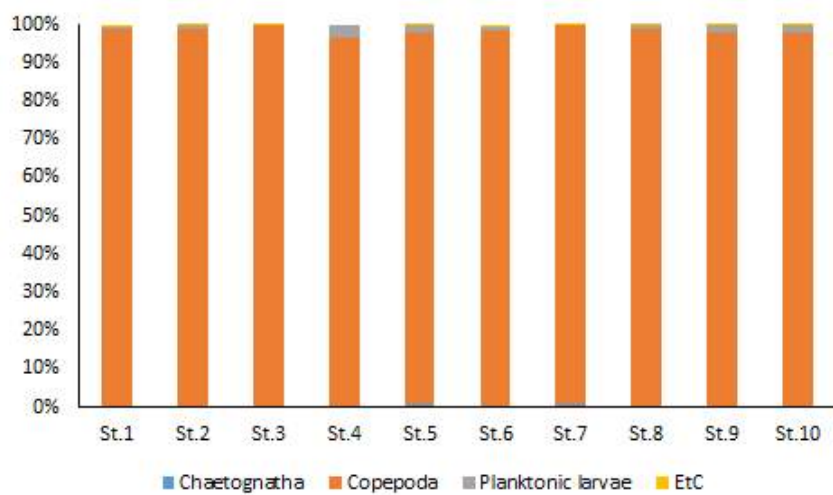


그림 22. 2019년 7월 동물플랑크톤 주요 분류군 출현비율

- 분석결과 조사지역에서 동물플랑크톤의 평균 서식밀도는 2,420.6 indiv./m<sup>3</sup>로 조사지역의 안에 위치한 St.01에서 5,115.2 indiv./m<sup>3</sup>로 가장 높았고 St.06에서 876.8 indiv./m<sup>3</sup>로 가장 낮았다 (그림 23). 동물플랑크톤의 생물량(유기물 중량)은 정점에 따라 다소 차이가 있지만 서식밀도 분석결과와 유사한 값을 보였는데 평균 111.49 mgC/m<sup>3</sup>로 St.01에서 336.51 mgC/m<sup>3</sup>로 가장 높았고, St.06에서 19.92 mgC/m<sup>3</sup>로 가장 낮았다 (그림 24).

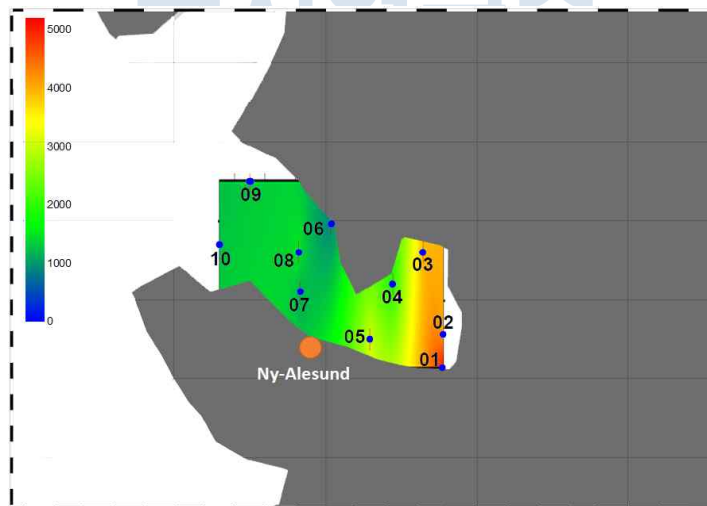


그림 23. 2019년 7월 동물플랑크톤 서식밀도 (indiv./m<sup>3</sup>)

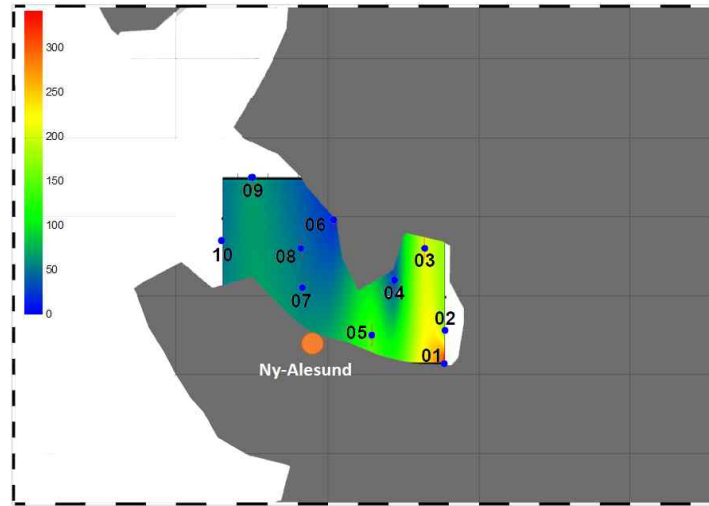


그림 24. 2019년 7월 동물플랑크톤 생물량 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

- 다양성지수 분석결과 조사정점에 따라 차이가 큰 것으로 확인되었는데 전 조사 정점의 평균 다양도 지수는 1.08로 분석된 가운데 St.04와 St.10에서 1.40으로 가장 높았고, St.03에서 0.67로 가장 낮은 값을 보였다 (그림 25). 전반적으로 수심이 낮고 내만에 위치한 정점들에서 다양성 지수가 낮은 것으로 확인되었으며 조사지역의 바깥쪽으로 향하면서 다양성 지수가 점차 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 이번 조사기간 동안 최우점한 분류군인 *Calanus* spp.가 내만에서 점유율이 매우 높았지만 외부로 향할수록 점차 그 비율이 줄어들고 *Oithona similis*와 같은 소형 요각류들의 점유율이 높아졌기 때문이다.

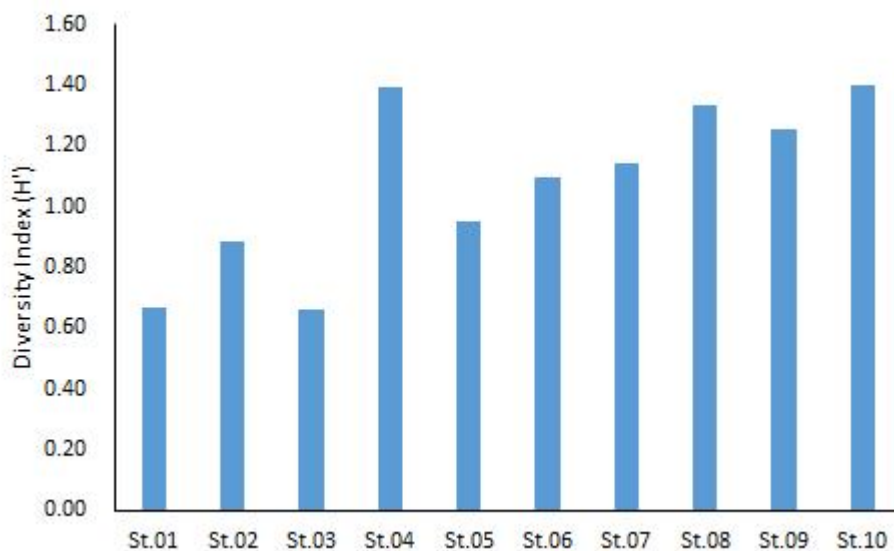


그림 25. 2019년 7월 동물플랑크톤 다양성 지수

#### 4) 종합결과

- 계절에 따른 조사지역내 동물플랑크톤의 장기간 변동양상을 확인하기 위해 과거 진행되었던 연구결과를 비교하였다. 그 결과, 조사지역의 동물플랑크톤 서식밀도와 생물량은 조사 시기에 따라 크게 변화하는 것으로 확인되었으며 조사지역의 내만에 위치한 정점에서 상대적으로 서식밀도와 생물량이 높은 것으로 분석되었다 (그림 26와 27). 이러한 결과를 각 조사시기별 서식밀도와 생물량의 평균값을 계절의 순서에 따라 나열하면 서식밀도의 경우 6월에 큰 폭으로 증가하여 7월과 10월로 가면서 점차 감소하였고, 생물량은 7월을 기준으로 감소하는 것으로 확인되었다 (그림 28과 29). 이러한 경향은 봄철에 조사지역의 식물플랑크톤 대발생이 진행된 이후 동물플랑크톤의 서식밀도와 생물량이 큰 폭으로 증가하고 다시 점차 감소하는 것으로 판단되는데 일반적으로 극지방에 서식하는 동물플랑크톤의 경우 제한된 환경요인으로 인해 식물플랑크톤의 대량증식에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있어 이를 뒷받침한다. 또한 서식밀도가 6월에 가장 높은 것에 비하여 생물량은 7월에 가장 높은 것으로 확인되어 두 항목 간에 차이가 있는 것은 동물플랑크톤 군집을 구성하는 종들의 출현비율이 변화하였기 때문이다. 실제로 2018년 6월의 조사에서는 *Oithona similis*가 최우점 분류군이였지만 2019년 7월의 조사에선 *O. similis*보다 크기가 큰 *Calanus* spp.가 최우점하여 생물량이 높게 측정된 것을 확인할 수 있다.

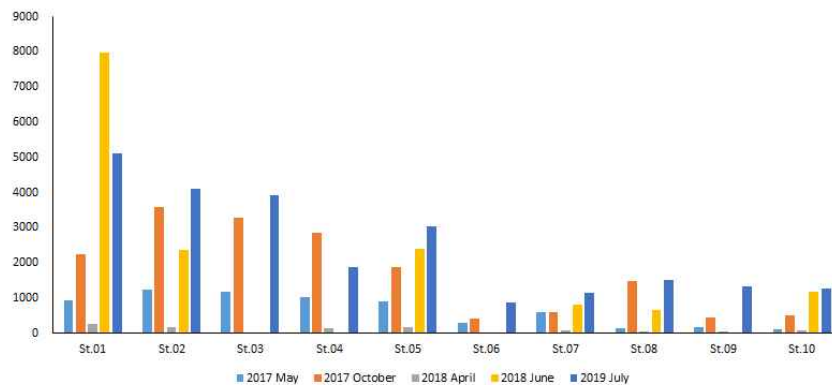


그림 26. 조사시기에 따른 정점별 동물플랑크톤 서식밀도 (indiv./m<sup>3</sup>)



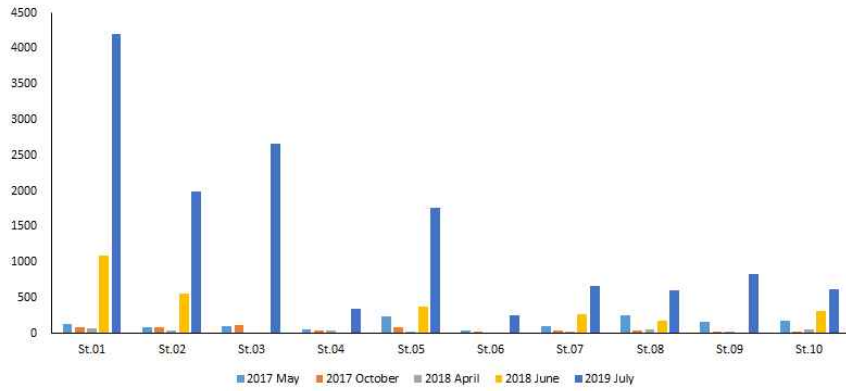


그림 27. 조사시기에 따른 정점별 동물플랑크톤 생물량 (mgC/m<sup>3</sup>)

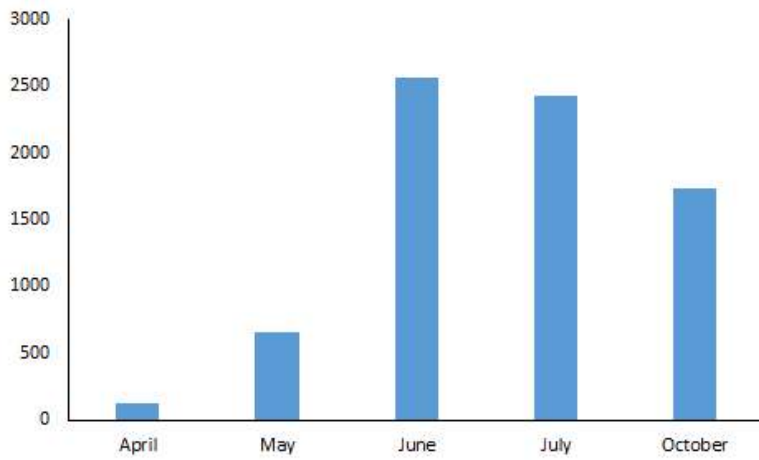


그림 28. 조사시기별 동물플랑크톤 평균 서식밀도 (indiv./m<sup>3</sup>)

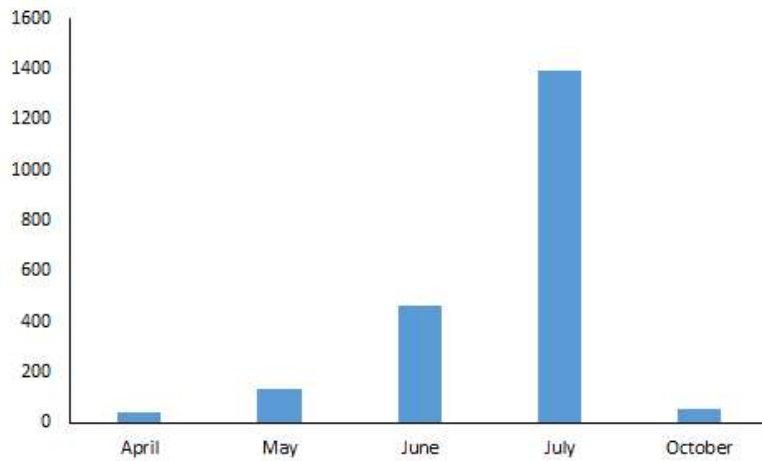


그림 29. 조사시기별 동물플랑크톤 평균 생물량 (mgC/m<sup>3</sup>)

### 제 3 장. 연구개발목표 달성도

연차	연구 목표	연구 내용	달성도
1차년도 (2017)	동물플랑크톤 군집 분석	스발바드 주변 해역 내 동물플랑크톤 시료 채집	100%
		동물플랑크톤 군집 분석	100%
		대표우점종 파악	100%
		해빙생태계 성장 단계별 탄소 순환 분석을 위한 동물플랑크톤 시료 확보	100%
2차년도 (2018)	동물플랑크톤 군집 분석	스발바드 주변 해역 내 동물플랑크톤 시료 채집	100%
		동물플랑크톤 군집 분석	100%
		대표우점종 파악	100%
		해빙생태계 성장 단계별 탄소 순환 분석을 위한 동물플랑크톤 시료 확보	100%
3차년도 (2019)	동물플랑크톤 군집 분석 및 해빙생태계 내 역할 연구	동물플랑크톤 장기 모니터링 진행	100%
		대상 시기에 따른 대표우점종 변화양상 파악	100%
		해빙생태계 성장 단계별 탄소 순환 분석을 위한 동물플랑크톤 시료 확보	100%
		해빙생태계 내 구성요소들과 동물플랑크톤관의 상관관계 분석	100%

## 제 4 장. 연구개발결과의 활용계획

북극해는 최근 연구를 통해 해빙이 감소하고 이로 인해 일차생산력이 증가하는 등 해양생태계가 전반적으로 변화하고 있음이 알려진 지역이다. 이번 연구에서는 스발바드 Kongsfjorden 지역에 서식하는 동물플랑크톤을 대상으로 종 조성 및 서식밀도, 생물량을 분석하였으며 그 결과 이 지역의 동물플랑크톤은 계절적 변동양상이 강하게 나타나며 극지방의 특징 중 하나인 식물플랑크톤의 대발생 주기와 연관성이 높다는 결과를 확인할 수 있었다.

해빙 감소로 인해 북극의 환경이 변화하게 된다면 해양생태계를 구성하는 요인들 중 식물플랑크톤의 일차생산력이 증가한다는 것은 기존의 연구결과를 통해 상당수 검증이 진행되어 왔기 때문에 이번 연구결과에서처럼 동물플랑크톤이 다른 생물요인들과 강하게 연관된다면 추후 동물플랑크톤을 대상으로 종 조성 및 서식밀도, 생물량을 분석하고 이러한 결과를 해양생태계 먹이사슬 내의 다른 영양단계 구성인자들과의 상호 연관관계 분석에 활용이 가능하다. 또한 더 나아가 연구지역의 해양생태계 전반적 변화양상을 간접적으로 추론할 수 있다고 판단된다. 추후 본 지역을 대상으로 동물플랑크톤의 장기추적연구가 진행된다면 과거에 진행되었던 다수의 선행연구와 비교를 통해 추후 북극 생태계의 변화 정도를 예측하는 것 역시 가능할 것으로 생각되어진다.

## 제 5 장. 참고문헌

- Basedow SL, Eiane K, Tverberg V and Spindler M. 2004. Advection of zooplankton in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 60:113-124.
- Bates NR and Mathis JT. 2009. The Arctic Ocean marine carbon cycle: evaluation of air-sea CO<sub>2</sub> exchanges, ocean acidification impacts and potential feedbacks. *Biogeosciences*. 6:2433-2459.
- Gluchowska M, Kwasniewski S, Prominska A, Olszewska A, Goszczko I, Falk-Petersen S, Hop H and Weslawski JM. 2016. Zooplankton in Svalbard fjords on the Atlantic-Arctic boundary. *Polar Biology*. 39:1785-1802
- Haury LR, Yamazaki H and Fey CL. 1992. Simultaneous measurements of small-scale physical dynamics and zooplankton distribution. *Journal of Plankton Research*. 14:513-530
- Hunter MD and Price PW. 1992. Playing chutes and ladders: heterogeneity and the relative roles of bottom-up and top-down forces in natural communities. *Ecology*. 73:724-732.
- Kahru M, Brotas V, Manzano-Sarabia M and Mitchell BG. 2011. Are phytoplankton blooms occurring earlier in the Arctic? *Global Change Biology*. 17(4):1733-1739.
- Kwasniewski S, Hop H, Falk-Petersen S and Pedersen G. 2003. Distribution of *Calanus* species in Kongsfjorden, a glacial fjord in Svalbard. *Journal of Plankton Research*. 25(1):1-20.
- Michel C, Ingram RG and Harris LR. Variability in oceanographic and ecological processes in the Canadian Arctic Archipelago. *Progress in Oceanography*.

71(2-4):379-401.

Piepenburg D. 2005. Recent research on Arctic benthos: common notions need to be revised. *Polar Biology*. 28:733-755.

Poulet, S. A. and R. Williams. 1991. Characteristics and properties of copepods affecting the fourth international conference on copepoda. *Bulletin of the Plankton Society of Japan*. Specvol.271-290.

Walkusz W, Kwasniewski S, Falk-Petersen S, Hop H, Tverbeg V, Wieczorek P and Weslawski JM. 2009. Seasonal and spatial changes in the zooplankton community of Kongsfjorden, Svalbard. *Polar Research*. 28:254-281



# 부록

표 1. 2017년 5월 동물플랑크톤 분석 결과

		St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	St.06	St.07	St.08	St.09	St.10	
Abundance (indiv/m <sup>3</sup> )	Hydrozoa	Unidentified Hydrozoa	0.0	0.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	
	Chaetognatha	<i>Sagitta elegans</i>	0.0	0.0	1.3	1.2	1.2	0.5	0.9	0.8	0.0	
	Appendicularia	<i>Oikopleura</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Copepoda	<i>Acartia longiremis</i>	0.0	0.0	2.6	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
		<i>Bradyidius similis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
		<i>Calanus finmarchicus</i>	11.2	17.2	22.8	17.6	81.0	5.5	11.4	15.1	11.7	33.8
		<i>Calanus glacialis</i>	7.5	8.3	0.0	1.2	7.0	4.0	0.0	1.1	1.3	0.5
		<i>Calanus copepodite</i>	20.1	23.1	42.4	20.0	20.0	9.1	12.3	10.6	10.4	2.1
		<i>Metridia longa</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.0
		<i>Metridia</i> copepodite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		<i>Microcalanus</i> spp.	0.7	0.0	0.0	1.2	2.3	0.5	0.6	0.8	0.3	3.8
		<i>Pseudocalanus</i> spp.	11.9	18.9	14.4	7.0	11.7	5.5	2.3	10.9	4.7	0.8
		<i>Pseudocalanus</i> copepodite	15.7	21.9	15.0	9.4	10.0	5.5	2.1	1.5	1.3	1.6
		<i>Oithona atlantica</i>	0.0	0.0	1.3	0.0	1.2	0.5	1.2	3.8	1.7	0.5
		<i>Oithona similis</i>	6.0	11.2	9.8	8.2	22.3	37.7	7.0	8.3	11.7	10.7
		<i>Oncaea</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		<i>Tisbe</i> sp.	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Unidentified Harpacticoida	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.3
	Copepod nauplius	24.6	88.2	226.4	257.2	48.1	57.9	102.5	47.6	24.8	28.7	
	Planktonic larvae	Bivalvia larvae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		Cirriped larvae (nauplii+cypris stage)	771.7	1029.6	748.9	622.4	668.8	160.0	439.2	28.7	104.3	5.4
		Decapoda larvae (Zoea)	1.5	2.4	1.3	2.3	7.0	4.0	0.0	0.8	0.0	0.3
		Gastropoda larvae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	ETC	Polychaeta larvae	49.2	14.2	76.3	82.2	3.5	6.0	16.7	0.0	0.7	4.3
		<i>Euphausia</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3
Unidentified Amphipoda		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	
Unidentified Isopoda		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Unidentified Ostracoda		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	
SUM		920.8	1235.7	1163.2	1029.8	887.2	297.4	597.1	130.2	174.1	93.7	
No of taxon		12	11	13	12	14	14	14	13	14	16	
Biomass (mg/m <sup>3</sup> )	Wet weight (mg/m3)		131.41	79.93	97.86	50.33	239.05	42.78	104.85	249.12	168.59	179.16
	Dry weight (mg/m3)		26.28	15.99	19.57	10.07	47.81	8.56	20.97	49.82	33.72	35.83
	Carbon contents (mg/m3)		10.51	6.39	7.83	4.03	19.12	3.42	8.39	19.93	13.49	14.33

표 2. 2017년 10월 동물플랑크톤 분석 결과

		St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	St.06	St.07	St.08	St.09	St.10		
Abundance (indiv/m <sup>3</sup> )	Hydrozoa	Unidentified Hydrozoa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	Chaetognatha	<i>Sagitta elegans</i>	0.5	1.7	0.8	0.8	0.9	1.3	1.8	0.4	0.4		
	Appendicularia	<i>Oikopleura</i> sp.	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		<i>Acartia longiremis</i>	1.0	3.5	1.6	0.0	0.9	0.4	1.8	1.4	0.0	0.3	
		<i>Bradydium similis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		<i>Calanus finmarchicus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.7	0.0	0.4	0.3	
		<i>Calanus glacialis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		<i>Calanus copepodite</i>	38.6	43.5	82.3	24.8	31.4	12.9	14.7	15.5	8.3	18.7	
		<i>Metridia longa</i>	0.0	0.0	1.6	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		<i>Metridia copepodite</i>	1.0	0.0	0.0	1.6	1.9	0.4	0.4	0.4	0.0	0.3	
		Copepoda	<i>Microcalanus</i> spp.	140.2	80.0	107.7	80.8	37.0	33.1	36.1	43.4	43.0	61.2
			<i>Pseudocalanus</i> spp.	38.6	53.9	42.7	30.4	18.7	8.6	14.7	9.8	9.1	6.9
	<i>Pseudocalanus copepodite</i>		74.3	135.6	57.0	43.2	28.1	15.5	18.8	27.8	15.4	28.3	
	<i>Oithona atlantica</i>		40.1	106.0	42.7	27.2	36.5	5.2	23.6	18.8	8.7	13.7	
	<i>Oithona similis</i>		1897.6	3151.4	2919.5	2649.3	1707.5	324.1	476.2	1363.0	361.7	370.9	
	<i>Oncaea</i> sp.		15.6	10.4	22.2	0.8	8.4	3.9	2.9	2.2	2.4	1.6	
	Tisbe sp.		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Planktonic larvae	Unidentified Harpacticoida	0.5	3.5	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		Copepod nauplius	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	0.0	2.2	0.0	0.5	
		Bivalvia larvae	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		Cirriped larvae (nauplii+cypris stage)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		Decapoda larvae (Zoea)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		Gastropoda larvae	0.0	1.7	0.0	0.8	1.4	0.4	1.1	1.4	1.2	0.8	
		Polychaeta larvae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		<i>Euphausia</i> sp.	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		ETC	Unidentified Amphipoda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
			Unidentified Isopoda	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Unidentified Ostracoda			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SUM		2249.8	3591.2	3278.1	2859.6	1875.5	406.6	593.4	1486.3	450.5	503.6		
No of taxon		15	11	10	10	16	13	13	12	10	13		
Biomass (mg/m <sup>3</sup> )	Wet weight	78.17	79.46	110.83	39.98	84.25	30.09	33.17	36.15	23.69	21.94		
	Dry weight	15.63	15.89	22.17	8.00	16.85	6.02	6.63	7.23	4.74	4.39		
	Carbon contents	6.25	6.36	8.87	3.20	6.74	2.41	2.65	2.89	1.90	1.76		

표 3. 2018년 4월 동물플랑크톤 분석 결과

			St.01	St.02	St.04	St.05	St.07	St.08	St.09	St.10
Abundance (indiv/m <sup>3</sup> )	Hydrozoa	Unidentified Hydrozoa	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Chaetognatha	<i>Sagitta</i> sp. (elegans)	0.80	0.94	0.00	1.12	1.14	0.00	0.47	0.33
		<i>Acartia longiremis</i>	1.60	1.88	1.46	1.40	0.76	0.51	0.00	0.33
	Copepoda	<i>Calanus finmarchicus</i>	3.99	3.76	2.92	3.09	3.43	5.84	1.41	4.89
		<i>Calanus</i> copepodite	7.98	5.64	5.12	6.17	3.82	5.59	3.07	6.19
		<i>Metridia</i> copepodite	0.00	0.94	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00
		<i>Microcalanus</i> spp.	24.74	28.18	19.74	30.29	6.87	9.65	2.12	11.41
		<i>Pseudocalanus</i> spp.	15.96	5.64	3.66	14.30	2.67	1.27	1.18	5.54
		<i>Pseudocalanus</i> copepodite	82.98	39.46	28.51	37.59	14.88	9.14	6.37	14.67
		<i>Oithona atlantica</i>	0.00	0.94	0.00	0.84	2.29	1.78	0.71	0.98
		<i>Oithona similis</i>	104.53	78.92	70.19	76.29	26.33	14.22	19.10	41.73
	Planktonic larvae	<i>Oncaea</i> sp.	0.80	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00
		Unidentified Harpacticoida	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.00
		Copepod nauplius	2.39	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00
		Cirriped larvae (nauplii+cypris stage)	3.19	1.88	8.04	4.49	1.14	0.25	1.18	0.00
	ETC	Decapoda larvae (Zoea)	0.00	0.00	0.73	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00
<i>Euphausia</i> sp.		0.80	0.00	0.00	0.00	0.76	2.79	2.12	1.30	
	Unidentified Isopoda	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	
	SUM	250.55	168.17	140.38	176.99	64.48	52.07	37.73	87.37	
	Number of taxon	13	11	9	13	12	12	10	10	
Biomass (mg/m <sup>3</sup> )		Wet weight	71.81	42.28	43.87	18.93	19.08	55.24	30.07	51.35
		Dry weight	14.36	8.46	8.77	3.79	3.82	11.05	6.01	10.27
		Carbon contents	5.75	3.38	3.51	1.51	1.53	4.42	2.41	4.11



표 4. 2018년 6월 동물플랑크톤 분석 결과

		St.01	St.02	St.05	St.07	St.08	St.10	
Abundance (indiv/m <sup>3</sup> )	Hydrozoa	Unidentified Hydrozoa	5.99	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Chaetognatha	<i>Sagitta</i> sp. (elegans)	0.00	11.44	5.77	0.00	0.00	
	Copepoda	<i>Acartia longiremis</i>	0.00	0.00	0.00	1.44	0.00	3.35
		<i>Calanus finmarchicus</i>	0.00	0.00	35.78	12.93	4.43	20.08
		<i>Calanus glacialis</i>	0.00	0.00	9.23	0.00	0.00	7.81
		<i>Calanus copepodite</i>	1653.58	392.70	738.61	369.16	216.34	656.04
		<i>Microcalanus</i> spp.	0.00	0.00	58.86	0.00	0.00	0.00
		<i>Pseudocalanus</i> spp.	23.96	11.44	8.08	0.00	0.00	0.00
		<i>Oithona similis</i>	107.84	99.13	93.48	0.00	14.19	5.58
	<i>Oncaea</i> sp.	5.99	3.81	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Unidentified copepodite	904.68	457.51	1185.24	336.12	308.55	307.94	
	Copepod nauplius	23.96	41.94	33.47	6.46	10.64	10.04	
	Planktonic larvae	Cirriped larvae (nauplii+cypris stage)	4906.82	1170.47	211.20	77.57	89.55	122.73
		Decapoda larvae (Zoea)	53.92	45.75	9.23	2.87	0.89	0.00
		Gastropoda larvae	0.00	3.81	0.00	0.00	0.00	0.00
Polychaeta larvae		0.00	0.00	1.15	0.00	0.00	0.00	
ETC	<i>Euphausia</i> sp.	281.59	118.19	11.54	7.90	6.21	33.47	
	Unidentified Amphipoda	5.99	3.81	0.00	0.00	0.00	1.12	
	Unidentified Isopoda	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00	
SUM		7974.33	2360.00	2401.65	815.17	650.80	1168.14	
Number of taxon		11	12	13	9	8	10	
Biomass (mg/m <sup>3</sup> )	Wet weight		1090.40	559.18	375.08	269.33	179.10	314.79
	Dry weight		218.08	111.84	75.02	53.87	35.82	62.96
	Carbon contents		87.23	44.73	30.01	21.55	14.33	25.18

표 5. 2019년 7월 동물플랑크톤 분석 결과

		St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10	
Abundance (indiv/m <sup>3</sup> )	Chaetogntha											
	<i>Sagitta</i> sp.	4.71	10.48	0.00	1.94	28.67	2.62	5.92	5.05	4.48	4.01	
	Copepoda	<i>Acartia longiremis</i>	0.00	0.00	0.00	1.94	2.05	1.31	0.99	0.63	0.56	0.00
		<i>Calanus finmarchicus</i>	125.56	44.56	10.85	11.65	36.86	5.24	20.24	24.63	15.68	8.01
		<i>Calanus glacialis</i>	0.00	0.00	1.81	0.00	0.00	0.00	2.47	1.89	2.24	0.57
		<i>Calanus</i> copepodite	4253.50	2545.15	3038.74	444.63	1830.72	175.62	612.10	524.86	706.82	392.60
		<i>Metridia</i> longa	0.00	0.00	1.81	0.00	0.00	0.00	2.47	1.89	1.68	4.58
		<i>Metridia</i> copepodite	1.57	2.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.56	4.01
		<i>Microcalanus</i> spp.	15.70	36.70	14.46	0.00	10.24	10.48	3.95	20.21	13.44	14.31
		<i>Paraeuchaeta</i> copepodite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0.57
		<i>Pseudocalanus</i> spp.	10.99	0.00	7.23	13.59	0.00	13.11	8.39	20.84	10.64	10.30
		<i>Pseudocalanus</i> copepodite	59.64	26.21	37.96	48.54	36.86	51.11	31.59	59.37	57.13	59.52
		<i>Oithona atlantica</i>	21.97	10.48	5.42	5.82	4.10	11.80	22.71	65.06	17.36	41.21
		<i>Oithona similis</i>	565.04	1378.73	800.81	825.18	1015.70	587.14	420.08	756.03	438.54	644.99
		<i>Oncaea</i> sp.	1.57	0.00	3.62	5.82	0.00	1.31	9.38	1.26	2.80	5.72
	Unidentified Harpacticoida	1.57	0.00	0.00	444.63	0.00	2.62	0.00	1.26	1.12	0.00	
	Copepod nauplius	0.00	0.00	0.00	9.71	6.14	1.31	2.47	20.21	25.20	54.94	
	Planktonic larvae	Decapoda larvae (Zoea)	20.40	7.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Echinodermata larvae	6.28	36.70	1.81	62.13	47.10	9.17	0.00	16.42	22.40	22.89
		Polychaeta larvae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.63	0.56	2.86
ETC	<i>Euphausia</i> sp.	25.11	7.86	12.65	0.00	6.14	3.93	0.49	1.26	0.56	0.57	
	Unidentified Amphipoda	1.57	0.00	0.00	0.00	4.10	0.00	1.48	0.63	1.12	0.57	
	Unidentified Isopoda	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	
SUM		5115.19	4107.36	3937.17	1875.59	3028.67	876.78	1146.20	1523.43	1322.90	1272.24	
Number of taxon		15	11	12	12	12	14	17	20	19	18	
Biomass (mg/m <sup>3</sup> )	Wet weight	4206.42	1992.08	2657.32	349.49	1761.09	249.01	661.46	606.34	840.12	612.37	
	Dry weight	841.28	398.42	531.46	69.90	352.22	49.80	132.29	121.27	168.02	122.47	
	Carbon contents	336.51	159.37	212.59	27.96	140.89	19.92	52.92	48.51	67.21	48.99	



1. 이 보고서는 극지연구소 위탁과제 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 위탁연구과제로 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.