

해양산성화와 담수화가 남극  
무척추동물의 행동 및 생리에  
미치는 영향 연구에 관한  
연구

Effects of ocean acidification  
and freshening on behavior and  
physiology of marine  
invertebrates in Antarctica

인하대학교  
산학협력단

# 제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “해양산성화와 담수화가 남극 해양무척추동물의 행동 및 생리에 미치는 영향 연구에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 12 . 31

(본과제) 총괄연구책임자 : 안 인 영

위탁연구기관명 : 인 하 대 학 교  
산 학 협 력 단

위탁연구책임자 : 김 태 원

위탁참여연구원 : 조 봉 호

“ : 임 지 빈

“ : 박 서 정

“ : 배 현 미

## 보고서 초록

위탁연구과제명	해양산성화와 담수화가 남극 해양무척추동물의 행동 및 생리에 미치는 영향 연구				
위탁연구책임자	김 태 원	해당단계 참여연구원수	4	해당단계 연구비	
연구기관명 및 소속부서명	인하대학교 산학협력단		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	
<p>- 해양 담수화와 산성화는 대기 중 CO<sub>2</sub> 증가 및 온난화에 따른 빙하 용융수 증가로 인한 현상으로 해양 생태계에 부정적 영향을 미칠 수 있음.</p> <p>- 인하대학교 해양동물학 연구팀은 해양 담수화와 산성화로 인한 해수의 낮은 염분과 pH가 서남극 반도 마리안 소만 조간대에 서식하는 해양무척추동물의 행동 및 생리에 미치는 영향에 대해 연구하였으며 결과는 다음과 같이 (1), (2), (3)으로 요약함:</p> <p>(1) 남극 단각류(<i>Gondogeneia antarctica</i>)를 낮은 염분에 노출시켰을 때 공식현상이 증가했고 유영 및 피난처 이용 행동의 변화가 발생했으며 낮은 pH에 노출시켰을 때 사망률이 증가하고 먹이행동이 감소했으며 피난처 이용 행동의 변화가 있었음.</p> <p>(2) 자연 상태에서 <i>G. antarctica</i> 개체수는 염분과 pH가 감소함에 따라 유의미하게 감소했으며 <i>G. antarctica</i>를 포함하는 단각류 군집의 종 다양성은 해수의 pH와 양의 상관관계를 갖고 변동했고 군집을 구성하는 각각의 종이 해수물성에 대해 서로 다른 니치(niche)를 보임.</p> <p>(3) 자연 상태에서 남극 삿갓조개(<i>Nacella concinna</i>)의 건강도(condition factor)는 염분과 pH의 변화에 대해 직접적으로 영향을 받지 않았고 석회조류가 착생한 개체는 사망률이 증가함.</p> <p>- 본 연구 결과를 토대로 서남극반도 마리안 소만 연안 생태계의 핵심 및 지표종이 기후변화 스트레스로 인해 어떠한 영향을 받는지 파악함.</p> <p>- 향후 타 기후변화 스트레스 인자와의 복합영향 및 해양생태계 변화의 고차원적 이해를 위해 추가 연구 필요성을 적절히 제시함.</p>					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	해양담수화, 해양산성화, 조간대, 남극단각류, 남극삿갓조개			
	영 어	Ocean Freshening, Ocean Acidification, intertidal zone, Antarctic amphipoda, Antarctic limpet			

# 요 약 문

## I. 제목

- 해양산성화와 담수화가 남극 해양무척추동물의 행동 및 생리에 미치는 영향 연구
  - 해양 담수화와 산성화가 남극 단각류의 행동 및 생리에 미치는 영향(1 차 년도)
  - 해수의 염분과 수소이온지수(pH)의 변화가 남극 단각류 군집 및 개체군에 미치는 영향(2 차 년도)
  - 염분과 pH의 변동이 남극 삿갓조개와 착생생물 석회조류(coralline algae)에 미치는 영향 (3 차 년도)

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 해양 담수화와 산성화가 남극 단각류의 행동 및 생리에 미치는 영향
  - 해양 담수화 및 산성화는 남극 단각류 개체의 생존과 개체군의 지속성의 중요한 예측 지표가 될 수 있는 행동과 생리적 인자에 영향을 미칠 수 있어 이에 대한 실험적 연구를 진행하고자 함.

- 해수의 염분과 수소이온지수(pH)의 변화가 남극 단각류 군집 및 개체군에 미치는 영향
  - 기후변화인자가 남극 단각류 군집 및 우점종 개체군의 동태에 미칠 수 있는 영향은 Bottom-up control의 원리에 따라 상위영양단계 생물에게까지 영향을 줄 수 있으므로 이에 대해 조사하고자 함.

- 염분과 pH의 변동이 남극 삿갓조개와 착생생물 석회조류에게 미치는 영향 연구
  - 해양산성화는 석회질 몸체를 형성하는 생물에게 특히 치명적일 수 있으며 이러한 변화가 중간상호작용에 영향을 줄 수 있음.

남극삿갓조개와 석회조류의 관계에 대해서 아직 알려진 바가 거의 없으며 두 생물 모두 석회질 몸체를 형성하기 때문에 해양산성화의 영향을 직접적으로 받을 수 있으며 산성화와 동반되는 담수화 역시 이들에게 행동 생리적 스트레스를 유발 할 수 있으므로 이에 대한 연구를 진행하고자 함.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

- 남극 단각류의 군집 및 남극 단각류 *Gondogeneia antarctica*, 남극 삿갓조개

Nacella concinna 및 착생생물 석회조류를 대상으로 해양산성화 및 담수화로 인해 발생하는 물리적 환경스트레스 요인에 대한 영향에 대한 연구를 수행함.

- 남극 단각류 연구에서는 실험 및 현장 연구를 통해 염분 및 수소이온 농도 등 스트레스 요인에 단각류 개체 및 군집이 어떻게 반응을 하는지에 대해 알기 위해 실험 및 현장 연구를 수행함.
- 삿갓조개 및 석회조류의 상호관계 과학 연구에서는 마리안 소만 조간대의 현장해수 물성 및 채집한 삿갓조개의 건강도 측정 그리고 석회조류의 분포범위와 패각 위의 석회조류의 유무에 따라 나눠 진행한 배양실험을 통해 착생생물인 석회조류의 영향을 조사함.

#### IV. 연구개발결과

- 해양 담수화와 산성화가 남극 단각류의 행동 및 생리에 미치는 영향
  - 저염분과 산성 환경에 *G. antarctica*를 약 26일간 노출시켜 행동들을 관찰한 결과, 변화를 관찰할 수 있었음.
  - 실험 기간 동안 낮은 염분 및 pH는 단각류의 각 행동 및 생리에 변화를 유발하였는데 이는 개체 단위 퍼포먼스에 부정적 영향을 미칠 뿐 아니라 개체군 지속에 부정적 영향을 미칠 것으로 사료됨

- 해수의 염분과 수소이온지수(pH)의 변화가 남극 단각류 군집 및 개체군에 미치는 영향
  - 조사결과 마리안소만 내측의 빙벽에서 해표마을까지, 거리에 따라 조간대 해수의 pH가 유의미하게 증가했으며, 염도는 유의미한 변화를 보이지 않았음.
  - 조간대 해수의 pH가 증가할수록 단각류 군집의 샤논다양성지수가 유의미하게 증가했으며 염도에 따른 유의미한 변화는 관찰되지 않았음.
  - 세종곶을 기준으로 마리안 소만내측의 샤논다양성지수가 외측에 비해 낮은 것을 확인할 수 있으며, 종 조성은 내측에서 더 단순하게 나타남.
  - pH와 염분이 감소할수록 *G. antarctica* 의 개체수가 유의미하게 감소함
  - 각 종마다 선호하는 pH와 염도가 다른 것이 관찰됨.

- 염분과 pH의 변동이 남극 삿갓조개(*Nacella concinna*)와 착생생물 석회조류에게 미치는 영향 연구
  - 현장의 pH와 염도는 남극삿갓조개의 건강도(condition factor)에 유의미한 영향을 주지 않았음( $P>0.05$ ).
  - 패각에 석회조류를 포함하는 삿갓조개가 그렇지 않은 개체에 비해 사망률이 유의미하게 높았음( $P<0.05$ ).
  - 패각에 석회조류를 포함하는 삿갓조개가 그렇지 않은 개체에 비해 배양 기

간 중 습중량이 유의미하게 증가함( $P < 0.05$ ).

- 석회조류가 삿갓조개에게 미치는 영향에 대해서는 추가적인 연구가 필요함.

#### V. 연구개발결과의 활용계획

- 마리안 소만 환경에서 우점하는 단각류인 *G. antactica*가 기후변화 스트레스에 민감하게 반응함을 토대로, 마리안 소만 혹은 서남극반도 연안 생태계 건강을 대표 가능한 생물종 중 하나가 될 수 있음을 제시.
- 단각류 생태 연구 결과를 바탕으로 단각류 군집과 상호작용하는 상위영양단계 생물의 변동을 예측할 수 있으며 마리안소만 일대의 생태모형을 제작하는데 기초자료로 활용하는 것이 가능함.
- 마리안 소만의 조간대의 해수 물성 변화가 흔하게 발견되는 해양 저서무척추동물 *Nacella concinna*에게 미치는 영향에 대한 현장 연구 결과를 토대로, 현재 서남극반도의 해양환경변화가 저서생물에게 어떠한 영향을 미치는지에 대해 제시.



# S U M M A R Y

## I. Title

- Effects of ocean acidification and freshening on behavior and physiology of marine invertebrates in Antarctica
  - Effects of ocean freshening and acidification on behavior and physiology of the Antarctic amphipod (1st year)
  - Effects of salinity and pH variations of seawater on the colony and population of the Antarctic amphipods (2nd year)
  - Effects of salinity and pH variations on the Antarctic limpet and the coralline algae (epibiont) (3rd year)

## II. Purpose and Necessity of R&D

- Effects of ocean freshening and acidification on behavior and physiology of the Antarctic amphipod
  - To understand the effects of ocean freshening and acidification on the behavior and physiology of the Antarctic amphipod, which can be the key indicator of the individuals' survival and population persistence
  
- Effects of salinity and pH variations of seawater on the colony and population of the Antarctic amphipods
  - To understand the effects of climate change factors on the dynamics of the colony and populations of dominant amphipod species, which can affect organisms of the higher-trophic level according to the principle of bottom-up control
  
- Effects of salinity and pH variations on the Antarctic limpet and the coralline algae (epibiont)
  - Ocean acidification, especially deleterious to the organisms which

create calcified bodies, may affect the interspecific interaction.

To understand the effect of the ocean acidification and concurrent freshening on the Antarctic limpet and coralline algae, whose relationship is unknown but may have the behavioral and physiological stresses

### III. Contents and Extent of R&D

- A study on the effect of the physical environmental stressors from ocean acidification and freshening on the Antarctic amphipod *Gondogeneia antarctica*, the colony of the Antarctic amphipods, the Antarctic limpet *Nacella concinna*, and coralline algae (epibiont)
- The experimental and field researches to understand the response of individuals and the colony of amphipods to the stressors (salinity and pH)
- Measurements of in-situ seawater properties and condition factors of the captured limpets, and culture experiments of limpets that were divided into two groups according to the distribution and existence of coralline algae to understand the effects of coralline algae, which is the epibiont

### IV. R&D Results

- Effects of ocean freshening and acidification on behavior and physiology of the Antarctic amphipod
  - Low salinity and pH altered the behavior of *G. antarctica* during the 26 days of exposure.
  - Changed physiology and behaviors of *G. antarctica* due to low salinity and pH suggests the negative effects of stressors not only on the performance of the individual, but also on persistence of the population.
  
- Effects of salinity and pH variations of seawater on the colony and population of the Antarctic amphipods
  - From the inner part of the Marian Cove to the seal village (a site located at the Barton Peninsula and the end of the Potter Cove), significant increase in intertidal seawater pH and no significant



change in the salinity were observed.

- As the intertidal seawater pH increased, Shannon diversity index of the community of amphipods significantly increased, but salinity had no significant effect.
- Shannon diversity index and species composition of the inner part of the Marian Cove based on Cape Sejong were lower and simpler compared to the outer part.
- As pH and salinity decreased, the number of the individuals of *G. antarctica* significantly decreased.
- Each species may have the preference on specific value of pH and salinity.

○ Effects of salinity and pH variations on the Antarctic limpet and the coralline algae (epibiont)

- In-situ pH and salinity did not significantly affect the condition factor of *N. concinna* ( $P > 0.05$ ).
- Mortality of the limpets which had coralline algae on their shell was significantly higher than the limpets which did not ( $P < 0.05$ ).
- Wet weight of the limpet which had coralline algae on their shell significantly increased, but the limpet which had no coralline algae did not ( $P < 0.05$ ).
- More investigation is needed on the effects of the coralline algae on the limpet.

## V. Application Plans of R&D Results

The results suggest that the dominant amphipod species *G. antarctica*, due to its sensitive response to the climatic stressors, could be an indicator species that represent the condition of the coastal marine ecosystem of the Marian Cove or the Western Antarctic Peninsula.

The results of the our study on amphipods and their ecology could be utilized to predict the change in higher-trophical levels and could become a database of the ecological modeling of the Marian Cove.

The results of the our study to understand the effect of the changes in seawater properties on *Nacella concinna*, one of the common marine invertebrate species in the coastal region of the Marian

Cove, show how the marine environmental changes in the Western Antarctic Peninsula affect the marine benthos.



# C O N T E N T S

Chapter 1 Introduction -----	11 p
Chapter 2 Current R&D Status in Korea and Other Nations -----	18 p
Chapter 3 R&D Implementation Contents and Results -----	21 p
Chapter 4 Degree of R&D Goal Achievement and Degree of Contribution to Outside Research Institute -----	73 p
Chapter 5 Application Plans of R&D Results -----	77 p
Chapter 6 Technology collected during R & D -----	80 p
Chapter 7 References -----	81 p
Chapter 8 Supplement -----	95 p

# 목 차

제 1 장 서론	11 p
제 2 장 국내외 기술개발 현황	18 p
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	21 p
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도	73 p
제 5 장 연구개발결과의 활용 계획서	77 p
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	80 p
제 7 장 참고문헌	81 p
제 8 장 부록	95 p



## 제 1 장 서론

### 제 1 절 해양산성화(Ocean Acidification)

- 해양산성화란 인간활동에 의해 배출된 대기중  $CO_2$ 가 해양으로 흡수되면서 발생함(Doney et al., 2009; Shakun et al., 2012).
- 2014 년 기준 대기 중 평균  $CO_2$  농도는 400 ppm 이상으로 산업 혁명 이전 (270 ppm)에 비해 약 1.5 % 이상 증가했으며 이것은 초기 Pliocene (3.5-5Ma)이후 이례적인 수치임(National Oceanic Atmospheric Administration 2015).
- 현재 대기 중  $CO_2$  농도는 매년 0.5 %의 비율로 상승하고 있으며, 이것은 지난 6 억 5천만 년 동안의 변화에 비해 약 100 배 더 빠른 속도임(Royal Society 2005; Siegenthaler et al. 2005).
- 이론적으로 인위적으로 배출 된  $CO_2$  중 1/3는 해양으로 흡수되며, 실제 관측에서 역시 산업 혁명 이후 인간이 배출한  $CO_2$ 의 20-30 % 가 해양에 의해 흡수된 것으로 나타되며 그에 따라 전 세계 해양의 pH가 약 0.1 감소함 (Caldeira and Wickett, 2003; Sabine et al. 2004; Zeebe et al. 2008; Feely et al., 2009).
- 용존무기탄소(Dissolved Inorganic Carbon; DIC):  $CO_2(aq)$ 는 해수에서 물 분자( $H_2O$ )와 결합하여 ( $H_2CO_3$ )를 형성하는 데, 이는 다시 중탄산이온 ( $HCO_3^-$ ) 1 개와 수소이온( $H^+$ ) 1 개, 혹은 탄산이온( $CO_3^{2-}$ ) 1 개와 수소이온( $H^+$ ) 2개로 해리됨.
- $H_2CO_3 : HCO_3^- : CO_3^{2-}$ 의 비율은 해양의 pH 상태에 따라 변동하며, 일반적으로 pH가 8.2인 해수에서 DIC의 88 %는  $HCO_3^-$ , 11 %는  $CO_3^{2-}$ 로 존재함.
- $CO_2$ 가 해수에 용해되면  $H_2CO_3$ 이 형성되고 해리되어  $H^+$ 을 내놓게 되며, 이것은  $CO_3^{2-}$ 와 반응하여  $HCO_3^-$ 을 형성함.
- Total Alkalinity(TA)란 새롭게 유입되는  $H^+$ 에 대하여 pH 변화를 상쇄시킬 수 있는 능력을 나타내는 척도로 해양에서는 주로  $H^+$ 와 결합할 수 있는 모든 이온 농도의 합으로 계산되어지며(아래 계산식 참고)  $CO_3^{2-}$ 는 가장 높은 수준의 기여(2 배수)를 하는 이온임.

$$A_T = [HCO_3^-]_T + 2[CO_3^{2-}]_T + \sum [a^{b-}]_T$$

- 해양으로의  $CO_2$  유입이 증가 할 경우  $H^+$  공급이 증가하게 되고  $CO_3^{2-}$ 는  $H^+$ 와 결합하여  $HCO_3^-$ 가 되는데, 이 경우 해양의 TA가 감소하여 pH 변화에 대한 저항성이 감소하고 탄산염 불포화가 나타남(Fabry et al. 2008).
- 해수에서  $CO_3^{2-}$ 가 불포화되면 해양에서 탄산칼슘( $CaCO_3$ )과 같이 고체 상태로 존재하는 탄산염광물이 용해되어 해수에  $CO_3^{2-}$ 을 공급하는데 이러한 현상은 석회질 껍질 및 골격을 갖는 해양생물에게 치명적일 수 있음(Yamamoto et al., 2009; Fabry et al., 2008).
- 석회질 껍질을 갖는 생물 중 방해석(calcite) 골격을 만드는 생물에 비해 결정구조가 약한 아라고나이트(aragonite) 골격을 갖는 생물들이 해양산성화로 인한 탄산염불포화에 민감함(IPCC WG4 2007).
- 현재 북극해역에서 익족류(pterapods)의 아라고나이트 껍질이 용해된 상태로 발견되는 경우가 빈번하고 요각류(copepods)와 같은 갑각류 또한 탄산염불포화에 대해 영향을 받는다는 연구결과가 존재함(Comeau et al., 2009; Weydmann et al., 2012).
- 해양산성화는 석회질 골격 용해 뿐 아니라 후각과 같은 감각기관에도 영향을 주기 때문에 해양생물의 행동에 변화를 일으킬 수 있음
- 그러한 예시로 Munday et al. (2009)는 산성화된 환경에서 흰동가리(*Amphiprion percula*)의 포식자 감지능력과 서식처 구분 능력 등 후각을 기반으로 하는 행동의 저하를 관찰했으며 Kim et al. (2016)은 심해 집게류인 *Pagurus tanneri* 먹이 감지능력 및 대사율이 산성화된 해양환경에서 유의미하게 변화하는 것을 확인함.
- 극지역의 해양은 수온이 낮아  $CO_2$  용해도가 높고 알칼리도가 낮기 때문에 인간 활동에 의해 발생한 산성화에 대해 화학적으로 민감할 수 있으며 탄산염의 경우 고위도 지역에서 불포화가 발생할 수 있음(Revelle et al. 1957; Stouffer et al., 1989; Orr et al., 2005; Fabry et al. 2008).
- Southern Ocean(OS)의 해수는 북극 지역에 해수에 비해 산성화에 대해 상대적 안정성을 갖고 있어 현재까지 탄산염불포화가 일어나지 않고 있으나 IPCC IS92a 시나리오 하에서 2030 년에서 2038 년 사이로 겨울철 탄산염불포화가 발생할 것으로 예상됨(McNeil et al., 2008).
- Kapsenberg et al. (2015)에 따르면 2030 년에서 2038 년 사이로 발생하기 시작한 겨울철 탄산염불포화가 2100년까지 매년 7-11개월간 지속될 수 있음

으며 이것은 남극 생태계에 유해할 수 있음.

- 지구온난화는 극지방의 해빙의 면적을 감소시켜 대기-해양의 가스교환을 촉진시킬 수 있어 이와 같은 현상을 가속화 시킬 수 있음(Anderson and Kaltin, 2001; Bates and Mathis, 2009; Yamamoto et al., 2009).

## 제 2 절 해양담수화(Ocean Freshening)

- 해양담수화(Ocean freshening)는 담수유입의 변화에 따라 발생하는 해양의 염분감소를 의미하며 극지역에서는 빙하(Glacier)의 용융이 주요 요인임(Shakun et al., 2012).
- 지구온난화가 가속화됨에 따라 빙하용융이 증가하면 해양담수화가 촉진될 수 있음(Kang et al., 2001; Dierssen et al., 2002).
- 서남극반도(WAP)는 세계적으로 온난화의 영향을 가장 많이 받는 지역 중 하나로 세종기지가 위치한 마리안소만(킹조지섬)을 포함하여 이 일대의 연안에서 극심한 빙하후퇴가 관찰되고 있음(Rückamp et al., 2011).
- 빙하의 전진과 후퇴는 직, 간접적으로 남극의 연안 생태계, 그 중에서도 특히 조간대의 생태계에 영향을 줄 수 있음(Clarke, 1996).
- 후퇴한 빙하의 일부가 용융수의 형태로 해양으로 유입됨에 따라 남극의 연안에는 국지적인 해수물성의 변화가 일어날 수 있음(Nihashi et al., 2005).
- Piquet et al., (2011) 은 Ryder Bay, Antarctic Peninsula에서 용융수의 유입이 많은 여름철에 연안의 해수가 성층화 되고 그에 따라 박테리아의 종조성이 변화하는 것을 관찰했고 그것이 연안생태계에 영향을 줄 수 있다고 설명함.

## 제 3 절 서남극반도(The Western Antarctic Peninsula)

- 서남극반도(The Western Antarctic Peninsula, WAP)는 지난 20세기 말부터 해양과 대기의 급격한 온난화를 겪고 있음(Jones et al., 2017).
- WAP의 많은 해안 빙벽들은 지난 수 십년 간 급격하게 후퇴하고 있음(Cook et al., 2016).

- 빙상이 얇아지는 현상도 빙벽후퇴를 가속시키고 빙벽의 담수 유출 현상을 증가시킬 수 있으며(Shepherd et al., 2018), 위 두 현상은 남빙양의 장기적 담수화에 영향을 미칠 것으로 예상됨(de Lavergne et al., 2014; Goddard et al., 2017; Purich et al., 2018).
- 인간활동으로 인한 대기로의 CO<sub>2</sub>배출은 해양의 pH를 지난 18세기 말부터 감소시키고 있으며, 2100년까지 해양 pH가 추가적으로 0.3-0.4 정도 감소할 것으로 예상됨(Orr et al., 2005; Sabine et al., 2004; Yamamoto-Kawai et al., 2009).
- WAP 연안 빙벽 근처 해수는 여름철 담수 유입이 유발하는 높은 1차 생산량으로 인해 탄산염 이온 포화도가 증가하는 현상이 관찰되지만, 표층 아래 해수는 유기물 분해로 인해 낮은 pH값을 보임(Hauri et al., 2015; Jones et al., 2017).
- 남빙양과 표층수의 산성화에 대한 취약성은 빙하 용융수 유입, 낮은 수온으로 인한 높은 CO<sub>2</sub>용해도, 그리고 강한 바람으로 인해 상대적으로 산성인 심층수가 용승하는 현상 및 때때로 발생하는 해양 수직 혼합 현상에 영향을 받을 것으로 예상됨(Jones et al., 2017; Takahashi et al., 2014).

#### 제 4 절 마리안 소만(Marian Cove)

- 마리안 소만(Marian Cove, MC)은 WAP의 킹조지섬(King George Island) 맥스웰 만(Maxwell Bay)에 위치해 있음(Ahn et al., 2016).
- MC 빙벽은 지난 1956년부터 2017년까지 약 1.9 km 후퇴함(Ha et al., 2019; Moon et al., 2015).
- 여름철 빙하 용융수는 이곳의 수온, 염분, 부유 입자 등의 뚜렷한 변화를 야기함(Ahn et al., 2004; Kim et al., 2015; Moon et al., 2015; Yoo et al., 2015).
- MC 인근 육상지역에서 눈이 녹아 흐르는 물줄기들도 담수 유입을 유발하지만, 각 담수 유입원의 상대적 기여도는 아직 연구된 바 없음.
- 위 여름철 육상기원 용융수는 매우 낮은 pH값을 보이기도 함(2017년 12월부터 2018년 2월까지 개인 관측한 결과 pH는  $6.45 \pm 1.09$  [mean  $\pm$  SD]의 값을 보임; Lim et al., 2014).



## 제 5 절 해양담수화가 산성화가 남극 단각류(*Gondogeneia antarctica*)의 행동에 미치는 영향 연구

- 지난 수십 년간 빙하 후퇴로 인해 남극 연안에서 발생한 담수화와 산성화는 해양생물의 개체의 활동에 영향을 미쳐 생태계 변화를 유발할 수 있음(Cowart et al., 2009; Harley et al., 2006).
- 해양 담수화(Aarset and Aunaas, 1987; Cowart et al., 2009; Fanini et al., 2012; Wolcott and Wolcott, 2001)와 산성화(Jakubowska and Normant-Saremba, 2016; Karelitz et al., 2017; Kim et al., 2016; Lee and Kim, 2017)에 대한 해양생물들의 행동과 생리 반응에 대해서는 많은 연구들이 존재하지만, 동시 발생하는 두 스트레스 요인에 남극 해양 무척추동물이 받는 영향 연구는 그 수가 적음.
- 북 노르웨이 해의 익족류 *Limacina retroversa*의 사망률과 유영 패턴은 낮은 염분과 pH의 복합영향으로 인해 영향을 받음(Manno et al., 2012).
- 염분은 산성화의 서 대서양 조개류 *Mercenaria mercenaria*와 같은 하구와 연안생물체의 영향 정도를 조절하는 중요한 요인일 수 있음(Dickinson et al., 2013).
- 해양 담수화와 산성화가 남극 단각류 *Gondogeneia antarctica*에 미치는 영향을 알아보고자 함.
- *G. antarctica*는 WAP에서 가장 풍부한 생물량을 보이는 단각류 중 중 하나로, 조간대 및 조하대의 얇은 수심에 널리 분포함(Amsler et al., 2005; Doyle et al., 2012).
- *G. antarctica*는 다른 단각류처럼 해조류, 작은 갑각류와 유기 쇄설물을 섭식하고, 어류와 대형무척추동물의 먹이원이 됨으로 인해(Amsler et al., 2009; Aumack et al., 2011; Dauby et al., 2001; De Broyer et al., 2001; Jażdżewski et al., 2000; Nyssen et al., 2005)남극 연안 해양 생태계 먹이망의 핵심 구성원임.
- 갯벌 환경에서 높은 내성을 보이는 *G. antarctica*는 배양실험에 적합한 종으로도 알려짐(Gomes et al., 2009; Gomes et al., 2013).
- *G. antarctica*에 대한 기후 스트레스 요인 복합영향에 대한 연구가 소수 이루어졌는데, 낮은 염분은 *G. antarctica*의 대사율이 온난화에 받는 부정적 영향 정도를 증폭시켰으며(Gomes et al., 2013), 낮은 pH가 높은 수온보다 생존에 더 심각

한 부정적 영향을 줌(Schram et al., 2016).

- 본 연구에서는 *G. antarctica*의 사망, 공식, 탈피를 측정해 해양 담수화와 산성화에 받는 영향을 평가함.
- 위와 더불어 낮은 염분과 낮은 pH 조건에서 먹이 감지, 유영, 피난처 이용 행동 등을 지속적으로 측정하였고, 이 행동들은 에너지 섭취, 탈출, 은신의 지표이자 개체의 생존과 개체군의 지속성의 중요한 예측 지표임(Nagelkerken and Munday, 2016; Vellinger et al., 2012).
- 낮은 염분과 pH는 단각류의 사망, 행동과 생리 패턴에 부정적 영향을 미칠 것으로 가정하였고, 위 기후변화 스트레스 인자들의 복합 영향이 단일 인자에 비해 더 심각한 영향을 초래할 것으로 예측함(Fabry et al., 2008; Whiteley, 2011).

## 제 6 절 해양담수화가 산성화가 남극 삿갓조개(*Nacella concinna*)의 행동에 미치는 영향 연구

- 남극의 삿갓조개인 *Nacella concinna*는 암반으로 이뤄진 조간대 및 조하대에서 우점하고 있는 대형저서생물이며 서남극반도에서 주로 발견됨(Nolan, 1991; Davenport, 1997; Kim 2001).
- *N. concinna*는 저서미세조류, 미세조류, 대형동물 등을 섭식하며 또한 *N. concinna*는 남방큰재갈매기(*Larus dominicanus*)의 중요한 먹이라 알려져 있음(Kim, 2001; Davenport, 1997; Fraser et al., 2002; Favero et al., 1997).
- *N. concinna*의 패각(shell)는 탄산칼슘의 형태중 하나인 calcite로 구성되어 있으며, 탄산칼슘은 해양산성화에 취약한 것으로 알려져 있음 또한 종종 석회조류가 패각을 덮고 있는 모습을 관찰할 수 있으며 이 석회조류 역시 낮은 pH에서 취약한 모습을 보임(Guinotte and Fabry 2008; McClintock et al., 2009).
- *N. concinna*는 혐염성 삼투순응형 동물로써 넓은 범위의 염분변화를 견디지 못하며, 20.9 psu의 염분농도가 반수치사농도라 연구된 바 있으며 담수에 일시적(1h)으로 노출될 시, 몸의 체적이 14%정도 증가하고 체내의 이온이 26% 줄어드는 등 염분 내성이 떨어지는 모습을 보임(Davenport, 2001; Suda et al. 2015).
- *N. concinna*의 생리학, 유전학적, 생태학적 측면의 연구가 많이 수행되어 왔으나, 극지환경변화가 복합적으로 *N. concinna*의 생리적 활동에 어떠한 영향을 주는 지에 대한 연구는 한정적으로 수행됨(Clark et al., 2008; Peck and Veal,

2001; Hoffman et al., 2010; Schram et al., 2014).

- 해양산성화 및 해양담수화에 따른 극지해양생물에 대한 영향을 남극의 삿갓조개 *N. concinna*에게 어떠한 영향을 미칠지에 대한 연구는 미흡한 실정임 또한 남극 삿갓조개 *N. concinna*의 패각에 착생하고 있는 석회조류와의 상호관계가 pH와 염분의 변동에 어떠한 반응을 보일지에 대한 연구는 없음.
- 현재 남극에서 진행 중인 해양산성화와 해수담수화가 남극의 삿갓조개 *N. concinna* 및 착생생물 석회조류와의 상호관계에 어떠한 미치는 영향에 대한 연구는 필요함.



## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 해양담수화가 산성화가 남극 단각류(*Gondogeneia antarctica*)의 행동에 미치는 영향 연구

#### 1. 기존 연구사례 분석

##### 가. pH저하와 염분 변화에 대한 생물 반응

- 극지 생물을 대상으로 한 pH저하와 담수화에 대한 실험은 아직까지 없음.
- 전 세계적으로 pH 저하와 담수화에 대한 해양생물 반응에 대한 실험도 극소수에 불과함.
- 노르웨이 해의 익족류(*Limacina retroversa*)는 낮은 pH에서 패각의 질량이 감소되고 특히 죽은 개체의 것이 산 개체의 것보다 많이 감소했으며, 사망률은 pH와 염분이 동시에 감소할 때만 영향을 받았고, 수영 패턴에도 pH와 염분의 복합적 작용이 영향을 줌(Manno et al. 2012).
- 낮은 염분이 서대서양 연안 어린 이매패류 *Mercenaria mercenaria*의 성장률 감소 사망률 증가 및 패각 유지능력 감소 등을 야기. 중간수준의  $pCO_2$ 에서는 패각과 조직의 성장이 증가하고 높은 염분에서 사망률이 감소했지만, 낮은 염분이나 높은  $pCO_2$ 에서는 그렇지 않았음. 패각의 기계적 성질은 높은  $CO_2$  단일 효과 혹은 이와 낮은 염분과의 복합적 작용에 영향을 받음(Dickinson et al., 2013).
- 어린 *Crassostrea virginica*는 높은  $pCO_2$ 와 낮은 염분에서 사망률 증가, 글리코겐 및 지질 등의 조직에너지 저장 감소 및 에너지 비효율로 인한 연조직 성장 감소 야기. 글리코겐과 지질 사용으로 세포 에너지 상태를 유지하므로 조직의 ATP 수준은 염분과 이산화탄소 변화에 영향을 받지 않음. 저염분 환경에서 에세테이트의 수준은 정상 보다 높을 때 더 낮았고, 높은  $CO_2$ 와 저염분의 복합작용은 패각의 경도를 감소시킴(Dickinson et al., 2011).

##### 나. 극지생물에 대한 pH 감소 영향

- 해수 pH 감소에 대한 극지생물의 반응에 대한 연구논문은 극지의 해양산성화가 이슈화 되어 상대적으로 많음.
- 그러나 대부분의 논문이 대기중 이산화탄소량이 높아지는 것에 대한 연구이지 해수의 담수화로 인한 pH 저하에 대한 연구가 아님.
- 대표적으로 연구가 가장 많이 진행된 익족류(pteropod)는 낮아진 pH에서 사망률의 증가(Lischka et al., 2011), 패각의 용해(Bednaršek et al., 2012, 2014), 산소

소비율 저하(Seibel et al., 2012) 등의 현상이 나타남.

- 서남극반도(WAP)의 대형조류와 관련된 mesograzer 집단의 주요 멤버인 단각류 *Gondogeneia antarctica*와 *Paradexamine fissicauda*의 해수 pH감소(pH 8.0 → 7.6)와 온도상승(1.5°C → 3.5°C)에 대한 반응을 살펴본 결과 생존은 감소된 pH에서 유의하게 감소하고 탈피빈도와 공변함. 감소된 pH에서 *G. antarctica*의 대형조류 소모율이 높아지고 *P. fissicauda*는 pH와 온도의 복합적 영향이 있음. pH와 온도로 인한 *G. antarctica* 전 몸체 생화학적 구성의 뚜렷한 변화는 없었으나, 두 종 모두 감소된 pH에 사망률 증가(Schram et al., 2016).
- 남극 이매패류(*Laternula elliptica*)를 대상으로 pH 7.99의 대조구를 pH 7.78, pH 8.32의 두 처리구와 비교한 결과 산소소비율(기초대사량)과 heat shock protein HSP70 유전자 발현은 pH의 변화(증가 및 감소)에 대해 증가함. 패각 합성 효소인 chitin synthase(CHS)의 발현은 pH 7.78에서 유의하게 증가해 아라고나이트 불포화 해수( $\Omega_{Ar} = 0.71$ )에서 석회화가 더 어려움을 시사. 그러나 CHS 유전자의 발현 증가는 미래 해양산성화 시나리오에 어느 정도 적응 또는 순응을 가능하게 하는 패각 형성과정에 대한 생물학적 조절가능성을 시사(Cummings et al., 2011).
- 진주조개 *Pinctada fucata*(Bivalvia: Pteriidae)가 pH 7.8, 7.6 해수에 28일 노출되었을 때 컨트롤 pH 8.1-8.2에 비해 각각 25.9 %, 26.8 % 약해짐. 그러나 껍질의 유기컨텐츠(AFDW) 감소는 없었음. SEM으로 가장자리를 관찰시 pH 7.6에서 변형과 용해가 관찰됨(Welladsen et al. 2010).
- 두 이매패류(*Laternula elliptica*, *Yoldia eightsi*), 껍질을 감싸는 코랄라인 조류 보유 및 미보유 삿갓조개(*Nacella concinna*), 완족류(*Liothyrella uva*) 모두 패각이 pH 7.4에서 14-35일 만에 모두 용해. 켈사이트가 아라고나이트보다 35% 덜 녹음. 35일째 계속 악화 및 56일째 세 종 껍질의 aragonitic or calcitic prisms 노출 및 석회 조류 감소. 이매패류는 아라고나이트, 삿갓조개와 완족류는 켈사이트 껍질 보유 및 일부 삿갓조개는 마그네슘-켈사이트 구성의 코랄라인 조류 보유(Mcclintock et al., 2009).
- 9종의 성게(3 cidaroids, 2 regular euechinoids and 4 irregular echinoids)의 해양산성화에 대한 반응 조사. 남극 regular euechinoids는 열대 및 온대지역 regular euechinoids와 비슷한 산-염기 조절 시스템을 보였지만, 더 수동적인 이온수송시스템과 에너지요구의 최소화 양상을 보임. Cidaroids는 열대 cidaroids와 비슷한 산-염기 상태를 보였으므로 남극 Cidaroid는 해수 pH감소에 가장 덜 민감한 것으로 보임. Irregular echinoids는 체강 내 유체 pH의 산과다가 나타나지

않는 이상 감소된 해수 pH에 반응 없지만 산-염기 조절에 대한 더 많은 데이터 필요. 산성화에 대해 이들은 탄력성을 가졌지만, 온도와 같은 다른 스트레스 인자들과 결합된 영향에 대한 민감성 연구 필요함(Collard et al., 2015).

#### 다. 극지생물에 대한 저염수의 영향

- 용빙수에 의한 저염수가 해양생물에 미칠 가능성에 대한 경고는 있지만 상대적으로 산성화에 비해 많은 연구가 수행되지 않음.
- 남극 성게(*Sterechinus neumayeri*)배아의 저삼투압 스트레스가 발달속도에 영향이 있는지 2-4 ppt 정도의 염분의 미세한 감소를 통한 연구 진행(대조구: 34 psu). 수정 36시간 후 30 psu에선 198 개체 중 2개체만이 morula 유생 시기 도달. *S. neumayeri*에 대한 염분 영향은 남극 연안의 협염도 특성으로 인해 많이 알려진 바가 없지만, 이 결과를 통해 기후변화로 인한 빙봉기원 담수유입이 남극 생태계에 영향을 가져올 것이라 여겨짐(Cowart et al., 2009).
- *Crepipatella peruviana*(복족류)의 Brood chamber isolation이 시작된 성체는 24 psu 이하의 염분에서 자신을 외부환경과 완전히 고립시켜 배아를 보호함. 새로 부화한 유생은 낮아진 염분에서 사망률이 증가하고 산 개체들은 연막 활성화도 (velum activity), 연막(velum) 표면적 노출정도 및 평균 수영속도가 감소. 청소율(Clearance)과 산소소모 속도는 컨트롤 개체들보다 유의하게 감소. 염분의 비연속성은 유생의 물기둥 내 수직분포에 영향(Montory et al., 2014).

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 해양 담수화가 옆새우 (*Haustorioides koreanus*)의 행동과 생리에 미치는 영향 연구(1차년도, 예비실험)

#### 1. 예비 실험 내용

- 남극에서 진행할 실험의 프로토콜을 설정한 후 남극 대상종의 동일 분류군을 대상으로 이를 수행코자 함.
- 한국 서남해안 사질 조간대 상부에 우점 서식하는 단각류 중 중 하나인 *Haustorioides koreanus*를 실험 대상으로 선정함.
- 실험 환경 등의 한계로 인해 저염분 스트레스 조건에 대한 실험만 진행하기로 함.
- 예비실험에서는 낮은 염분 환경이 *H. koreanus*의 행동 및 생리에 미치는 영향을 연구함.
- 32일간 네 가지 다른 염분 조건(대조구: 30 psu, 실험구: 27, 24, 21 psu)에 단각류를 노출시켰으며 각 실험구 당 복제본 수는 8입.
- *H. koreanus*의 행동과 생리를 측정하기 위해 사망률, 탈피 빈도, 먹이 감지 개체수 비율, 먹이 감지 속도, 잠입 행동 및 유영행동 등을 측정.
- 실험 결과, 가장 낮은 염분조건(21 psu)에서 *H. koreanus*의 먹이감지 속도에만 유의한 차이를 보임.
- *H. koreanus*가 저염분 조건에 내성을 보유하고 있지만 화학적 감지 능력의 저하를 보이는 것으로 예상됨.
- 본 연구방법과 결과를 토대로 남극에서의 실험 진행에 타당성과 신뢰성을 확인하고 18년도 하계연구 때 본 실험방법을 보완 및 적용해 연구를 진행하기로 결정함.

## 2. 그림과 표

표 1. 실험 기간 동안의 네가지 실험 그룹의 염분과 수온 자료(mean  $\pm$  SD). 염분과 수온은 YSI Pro 30 (Yellow Spring Instruments Inc., USA)로 측정함.

	Control		Treatment	
	30 psu	27 psu	24 psu	21 psu
Salinity	30.18 $\pm$ 0.18	27.14 $\pm$ 0.14	24.2 $\pm$ 0.17	21.09 $\pm$ 0.11
Temperature ( $^{\circ}$ C)	21.34 $\pm$ 0.69	21.32 $\pm$ 0.67	21.29 $\pm$ 0.67	21.3 $\pm$ 0.67





표 2. Kruskal-Wallis test로 분석한 낮은 염분이 *H. koreanus*의 사망과 탈피에 미치는 영향 결과. 누적 사망률과 탈피 빈도는 유의한 차이를 보이지 않음.

	Cumulative mortality		Cumulative molting frequency			
<b>Between-subject effect</b>						
<b>Group</b>	3.121	3	0.373	1.013	3	0.798



표 3. 반복측정 일원분산분석(repeated measures one-way ANOVA)을 통한 낮은 염분이 *H. koreanus*의 먹이 감지에 미치는 영향 결과 분석. 낮은 염분은 먹이에 도달하는 시간을 유의하게 증가시킴(\*). 먹이에 도달하는 개체수 비율에는 유의한 차이가 없었음. 시간과 염분의 유의한 상호작용은 보이지 않음.

	Time taken for reaching food	Proportion of individuals reaching food
<b>Within-subject effect</b>		
	$F_{12,112} = 4.865$	$F_{12,112} = 0.930$
<b>Time</b>	$p = 0.001$	$p = 0.449$
	$F_{12,112} = 1.592$	$F_{12,112} = 1.111$
<b>Time × Salinity treatment</b>	$p = 0.104$	$p = 0.359$
<b>Between-subject effect</b>		
	$F_{3,28} = 4.342$	$F_{3,28} = 1.056$
<b>Salinity treatment</b>	$p = 0.012^*$	$p = 0.383$

표 4. 반복측정 일원분산분석을 통한 낮은 염분이 *H. koreanus*의 잠입, 노출, 유영 행동에 미치는 영향 결과 분석. 낮은 염분의 유의한 영향은 존재하지 않았음.

	<b>Proportion of burrowing individuals</b>	<b>Proportion of exposing individuals</b>	<b>Proportion of swimming individuals</b>
<b>Within-subject effect</b>			
<b>Time</b>	$F_{12.630,353.636} = 5.996$ $p < 0.0001$	$F_{12.060,337.683} = 5.765$ $p < 0.0001$	$F_{9.308,260.625} = 1.091$ $p = 0.370$
<b>Time × Salinity Treatment</b>	$F_{37.890,353.636} = 1.116$ $p = 0.300$	$F_{36.180,337.683} = 1.000$ $p = 0.474$	$F_{27.924,260.625} = 1.288$ $p = 0.158$
<b>Between-subject effect</b>			
<b>Salinity treatment</b>	$F_{3,28} = 1.852$ $p = 0.161$	$F_{3,28} = 1.838$ $p = 0.163$	$F_{3,28} = 2.238$ $p = 0.106$

그림 1. 실험 기간 동안 다른 염분 환경에 노출시킨 *H. koreanus*의 누적 (a) 사망률과 (b) 탈피 빈도 결과. 모든 실험구에서 유의한 영향 관측 안 됨(표 2).

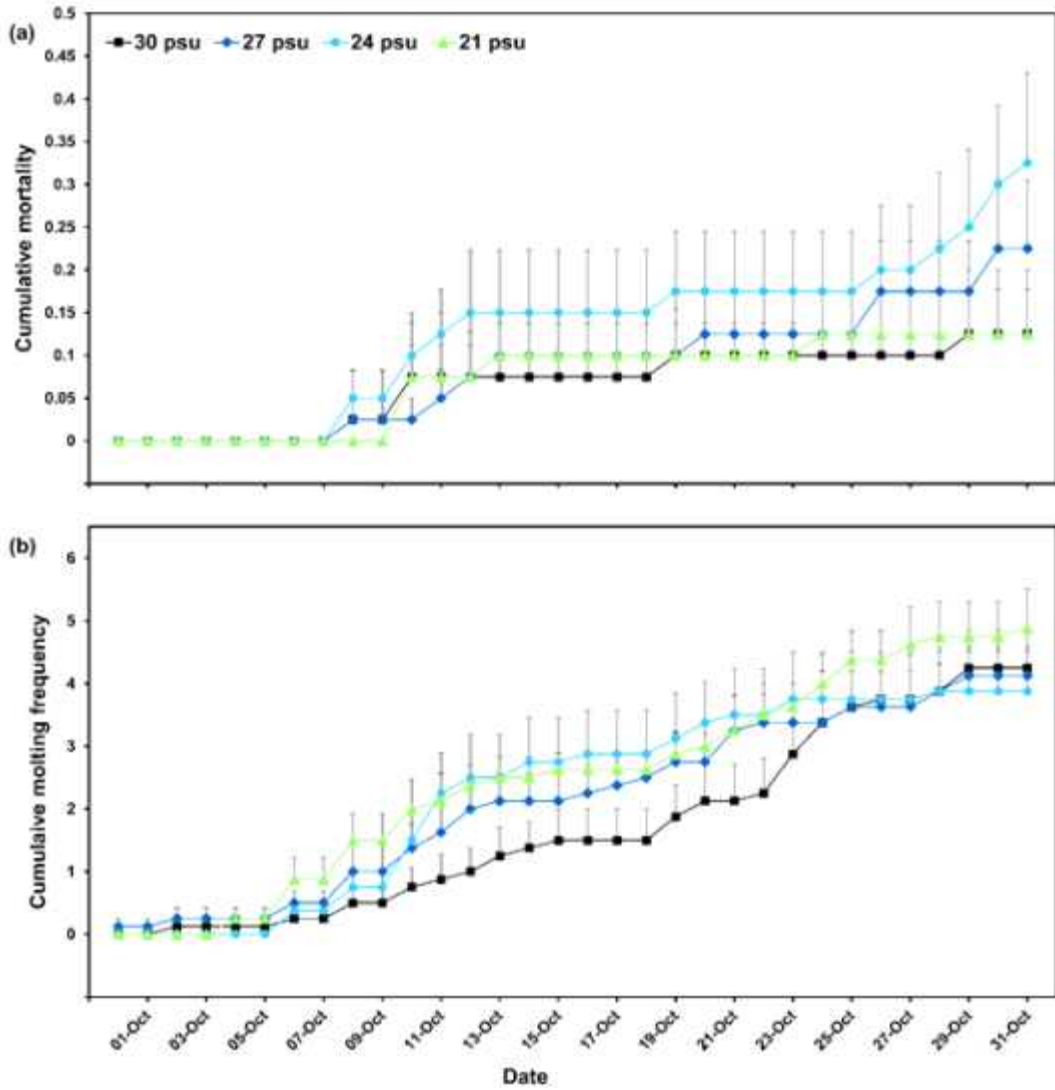


그림 2. 실험 기간 동안 다른 염분 환경에 노출시킨 *H. koreanus*의 (a) 먹이에 도달하는 데 걸리는 시간과 (b) 먹이에 도달한 개체수 비율 결과. 먹이 도달 시간에서는 낮은 염분으로 인해 30과 21 psu 실험구에서 유의한 차이 발견된 반면( $p = 0.017$ , Tukey's HSD test), 먹이 도달 개체수 비율에는 유의한 차이 존재하지 않음 (표 3).

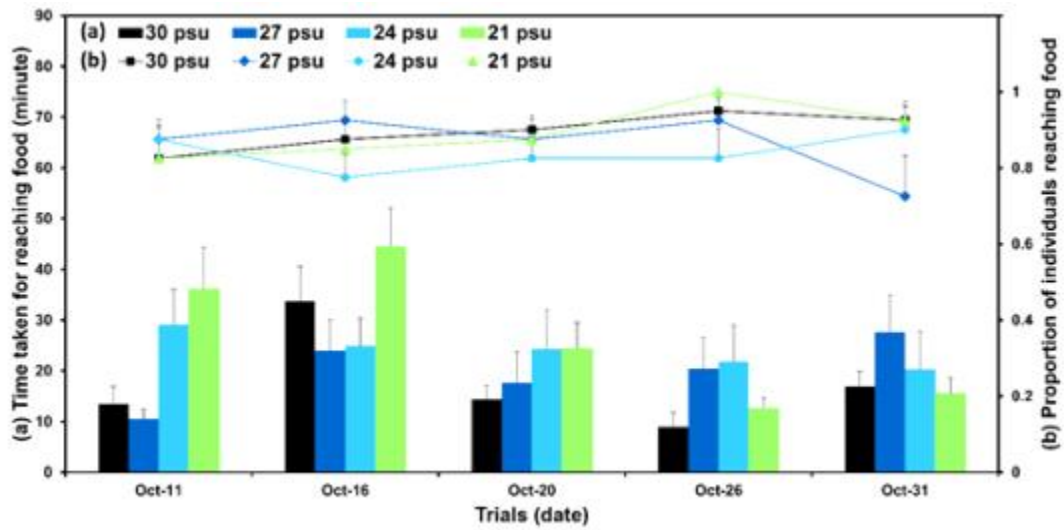
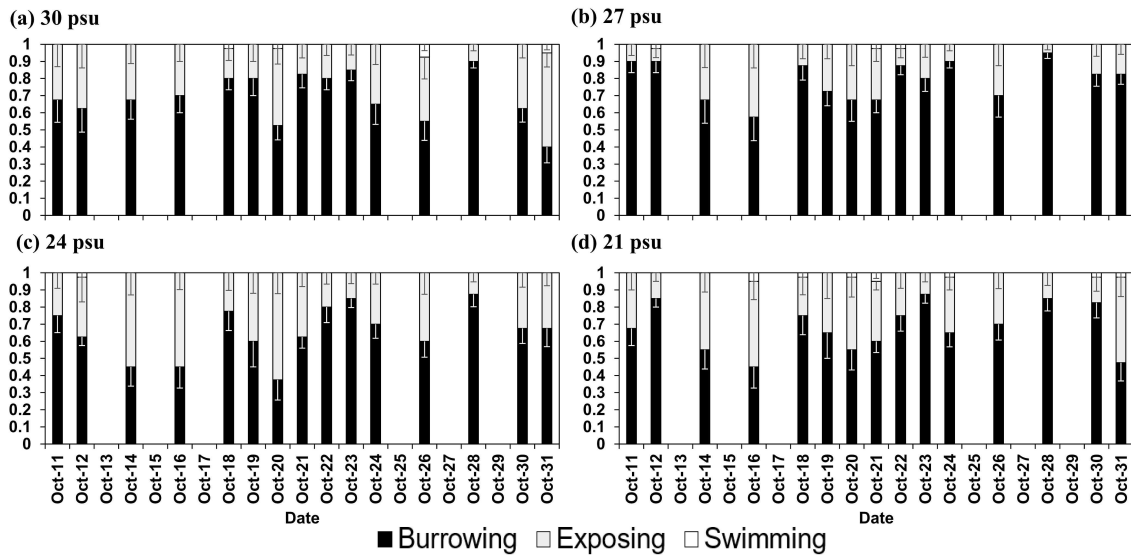


그림 3. 실험 기간 동안 다른 염분 환경에 노출시킨 *H. koreanus*의 잠입, 노출 및 유영 행동 개체수 비율 결과: (a) 30 (대조구), (b) 27, (c) 24, and (3) 21 psu. 낮은 염분의 유의한 영향 존재하지 않음.



## 제 2 절 해양 담수화와 산성화가 남극 단각류(*Gondogeneia antarctica*)의 행동과 생리에 미치는 영향 연구(2차년도, 본 연구)

### 1. 연구 방법

#### 가. *G. antarctica* 채집 및 실험 환경유지

- *G. antarctica* 채집은 마리안 소만에 위치한 세종기지(62.22° S 58.79° W) 앞 조간대에서 2018년 1월 7, 8일에 수행함.
- 조간대 조수웅덩이에서 저조(low tide) 때 1 mm 망목의 핸드네트를 이용해 채집했고, 채집한 개체들은 현장의 해수가 반쯤 담긴 플라스틱 통에 보관함.
- 채집된 개체들이 담긴 플라스틱 통은 채집 후 20분 내로 마리안 소만 해수가 지속적으로 끌어올려져 공급되는 야외 수조에 담겨졌으며 1월 7~10일까지 이곳에 보관됨.
- 실험을 위한 단각류 분배는 네가지 실험구(트리트먼트) 중에서 한 트리트먼트 당 9개의 복제본을 두어 총 180마리를 랜덤하게 수행하여 진행함.
- 이 작업은 1월 10일에 수행되었으며 한 복제본 당 활동성이 높은 다섯 마리의 단각류가 비치됨.
- 각 복제본은 500 mL 사이즈의 비커가 이용되었으며, 한 복제본 당 250 mL 해수와 PVC 파이프를 반으로 갈라 만든 은신처(3 × 4 × 1.5 cm)로 구성됨.
- 36개의 비이커는 두 수조(80 × 45 × 20 cm)에 반 씩 분배되었고, 두 수조의 수온(1.3 ± 0.3 °C)과 라이트 사이클(19:5 h light:dark)은 현장 상황에 맞게 동일하게 유지됨.
- 온도와 수온 외에도 타 조건들의 의도치 않은 편차를 방지하기 위해 각 복제본들을 모두 임의로 비치되었는데, 이들의 자리도 매일 임의로 변경해주었으며, 두 수조 간 위치 이동을 수행함.
- 먹이공급은 먹이실험을 할 때 이루어졌으며, 고체형 사료(The Aqua Crustacea®; Aqua plus Inc., Republic of Korea)를 약 2시간동안 공급함.
- 모든 실험 개체들은 대조구 환경(control: 34 psu, pH 8.0)에서 7일 동안 전처리

과정을 거침.

- 이때 죽거나 약한 개체들은 새로운 개체들로 대체됨.
- 처리 후 실험에 앞서, 우리는 네 가지 그룹의 개체들 간 유의미한 차이가 없는 탈피 상태를 보임을 확인함.

#### 나. 해수 트리트먼트 제조 및 보관

- 처리후 실험은 1월 17일부터 2월 11일까지 총 26일간 수행됨.
- 해수 트리트먼트의 염분과 pH 값들 중 대조구 값(34 and pH 8.0)은 마리안 소만의 현장 값을, 낮은 염분과 pH 트리트먼트 값(27 and pH 7.6)은 기후변화로 인한 미래의 남빙양 염분과 pH 예상 값(Kapsenberg et al., 2015)을 참고하여 각각 지정함.
- 두 가지의 염분(34와 27 psu)을 갖는 해수를 제조하기 위해 먼저 필터링(0.2 와 0.07  $\mu\text{m}$ )한 현장 해수를 깨끗한 플라스틱 통에 부분적으로 얼린 후, 언 부분과 안 얼은 부분을 분리함.
- 해수 트리트먼트의 지정된 염분을 맞추기 위해, 언 부분은 녹여 낮은 염분을 갖는 해수, 얼지 않은 부분은 높은 염분을 갖는 해수로 이용해 둘을 섞어서 제조함.
- 제조된 트리트먼트는 야외에 비치된 네 개의 LDPE (Low Density Polyethylene) 수조(20L)에 보관되었고, 이를 안에 모두 사용 후 새로 제조해 채워 넣음.
- 두 가지의 pH (8.0과 7.6)를 만들기 위해 두 가지 염분 트리트먼트를 코니칼 튜브(50 mL)에 채운 후 약 4분의 1조각의 CO<sub>2</sub>태블릿(Sera CO<sub>2</sub>-Tabsplus®; Sera Inc., Germany)을 튜브 안 해수에 녹여 산성의 물을 제조하였는데, 이 과정은 pH 값의 안정된 유지를 위해 환수 직전에 수행됨.
- 이후 아주 극소량의 산성 해수를 두 염분 트리트먼트에 떨어뜨린 후 잘 저어서 지정된 pH값을 얻음.
- 네 종류의 해수는 제조된 후 바로 환수에 이용되어 실험 개체들이 동시에 서로 다른 조건에 노출될 수 있게 함.



- 실험 환경의 염분과 pH 값이 잘 유지되고 있는지 확인하기 위해, 먼저 염분은 YSI Pro 30 (Yellow Spring Instruments Inc., USA)을 이용해 LDPE 통 안의 값을 측정함.
- pH와 용존산소(Dissolved Oxygen, DO)는 환수 직전과 직후 네 그룹 당 두 개의 복제본을 임의로 선택하여 측정하였는데, pH 측정 장비는 0.01의 해상도를 갖는 InLab Expert Go-ISM (Mettler-Toledo International Inc., Germany)을 2주에 한번씩 보정하여 이용하였고, DO 측정 장비는 YSI 5000를 YSI 5010 BOD probe (Yellow Spring Instruments Inc., USA)에 연결하여 이용함.
- DO는 환수 전에만 측정하였는데, 이는 장비의 self-stirring process 때문에 환수 후 환경요인에 영향을 줄 수 있기 때문임.
- 해수 트리트먼트의 총 알칼리도(Total Alkalinity, TA) 분석을 위해 처리 후 실험기간 동안 총 세 번 동안 해수 고정을 수행하였고, 이때 염화수은( $\text{HgCl}_2$ )과 DO bottle을 이용함(표 1).
- 실험 해수의 탄산염화학 계산을 위해 이용된 프로그램은  $\text{CO}_2\text{SYS}$ CalcXLSprogram(v2.1)(Pierrot et al., 2006) 이며, 이 때 수온, 염분, pH 자료는 매일 측정된 값을, TA 자료는 고정된 해수 샘플 값을 대입함.
- TA는 대조구와 낮은 pH구 간(paired  $t$ -test,  $t_2=-1.054, p = 0.402$ ), 그리고 낮은 염분구와 복합 영향구( $t_2=0.237, p = 0.835$ , Table 1) 간 각각 유의한 차이가 없었으므로,  $\text{CO}_2$ 태블릿 사용이 해수의 TA에 유의한 영향을 미치지 않았다고 간주함.
- 염분과 pH를 일정한 범위 안에서 유지시키기 위해 우리는 250 mL의 해수 중 150 mL의 해수를 매일 새로 교체하였고, 이 때 비이커 바닥의 배설물들은 제거되었다. 먹이 실험이 끝난 뒤에는 전체 환수가 진행됨.

다. 사망, 공식과 탈피(mortality, cannibalism, and molting)

- 실험기간 동안 모든 복제본의 사망률, 공식 된 개체 수와 누적 탈피 빈도를 측정함.
- 활동성이 없는 개체의 생사 여부 확인은 플라스틱 파이펫을 이용해 개체를 조심스럽게 건드려 수행함.

- 탈피각은 하루에 최소 두 번 채집함.
- 개체가 사라졌거나 죽은 개체의 몸체 일부가 사라졌을 경우 우리는 공식현상이 발생했다고 간주함.
- 단각류의 직접적 사망 원인이 환경요인에 의한 것인지 혹은 공식현상에 의한 것인지 판단하기 위해 전체 사망률에서 공식에 의한 사망률을 감한 값을 환경요인에 의한 것으로 간주함.
- 낮은 염분구에서 활동성이 적거나 죽어가는 개체들이 거의 발견되지 않은 반면, 공식현상은 활발히 발생했으므로(결과와 그림 2 참조), 개체가 공식으로 인해 사망하는 원인으로 환경요인에 의한 스트레스가 유의하게 작용했을 가능성은 적은 것으로 보임.

#### 라. 먹이 감지(Food detection)

- 먹이 감지 실험은 실험 기간 동안 일주일 간격으로 총 네 번, 낮에 모든 복제본을 대상으로 수행함.
- 고체형 갑각류 사료가 집계를 이용해 임의의 자리에 동시에 비치함.
- 이 후 10분 간격으로 총 12회에 걸쳐 먹이에 도달한 개체수를 측정함.
- 먹이 공급 이후 2시간이 지나면 실험이 종료되었으며, 이 후 모든 먹이는 복제본 내에서 제거되었고 전체 환수를 진행함.

#### 마. 수영과 은신처 사용 행동(Swimming and shelter-use behavior)

- 야행성 단각류 *G. antarctica* 는 낮에 은신하고 밤에 먹이 활동을 함(Aumack et al., 2011).
- 이러한 *G. antarctica* 의 활동을 측정하기 위해 동일한 관찰자가 낮에는 매일, 그리고 밤에는 3~4 일에 한 번 관찰을 수행함.
- 한 비이커 당 특정 활동을 하는 단각류의 개체수를 측정하는 데 8분 미만의 시간을 소모함.

- 행동 지표는 다음의 총 세가지로 정함: (1) 은신처 사용(은신처의 안과 밖에 붙어있거나 머무를 때), (2) 유영, (3) 은신처와 거리가 떨어져 있는 곳의 바닥에 머무르는 행동.
- *G. antarctica* 는 대형 해조류 중에서도 화학적으로 보호되는 종, 즉 먹을 수 없는 종을 은신처로서 이용해 낮 시간동안 포식자를 피하는 것을 선호함(Aumack et al., 2011; Zamzow et al., 2010).
- 동물의 이러한 행동들은 사망과 성장 간 균형에 매우 중요하기 때문에(Nagelkerken and Munday, 2016), 단각류들은 이와 같이 먹이를 위해 이동하거나 은신하는 행동을 하게 됨.
- 밤 행동은 3 mm 두께의 와이퍼(WYPALL® L25 wiper; Yuhan-Kimberly, Republic of Korea)를 이용해 가린 약한 스마트폰 불빛을 이용해 가시성을 확보하여 측정했는데, 이는 단각류의 행동에 영향을 미치지 않는 것으로 보임.
- 밤 행동의 측정은 처리후 실험 기간 동안 되는 대로 총 11번 수행함.

#### 바. 통계분석

- 모든 비율 자료에는 아크사인 제공근 변환을 수행함.
- 단각류의 사망, 공식 및 탈피에의 염분, pH 및 복합영양 여부를 알아보기 위해 이원분산분석(two-way ANOVA)을 수행함.
- 반복측정 이원분산분석(repeated measures two-way ANOVA)은 염분과 pH 뿐만 아니라 환경 요인에의 노출 시간이 먹이 감지, 유영과 은신처 사용 행동에 영향을 미쳤는지 알아보기 위해 수행하였고, 특히 구형성(sphericity)이 위배되었을 때(Mauchly's test,  $p < 0.05$ )에는 Huynh-Feldt 교정을 수행함.
- 요인과 시간의 유의한 상호작용이 있을 때, 우리는 각 시간별로 이원분산분석을 추가로 수행하여 사후검정함.

## 2. 연구 결과

- 모든 결과는 표 2, 3, 4와 5에 정리되어 있으며, 낮은 염분과 pH가 *G. antarctica* 의 사망과 행동에 다른 영향을 미침을 보임.

- 사후검정의 세부 정보는 그림 3, 4와 5에 표현되어 있음.
- 모든 실험 결과는 한 복제본 당 5마리의 단각류를 포함하는 네 가지 실험구 모두를 대상으로 하는 결과임(n=9).

#### 가. 사망, 공식과 탈피(Mortality, cannibalism, and molting)

- 공식된 개체를 포함하는 총 사망률에는 유의한 차이가 없었음.
- 그러나 공식된 개체를 배제한 사망률에는 유의한 차이가 있었는데, 낮은 염분은 사망률을 감소시킨 반면, 낮은 pH는 증가시켰음(그림 2a와 표2).
- 이와 대조적으로, 낮은 염분은 공식을 유의하게 증가시켰고 낮은 pH는 유의한 영향을 미치지 않음(그림 2b).
- 공식에의 낮은 염분과 pH의 복합 영향은 존재하지 않음(표2).
- 탈피빈도는 모든 요인에 대해 유의한 영향을 받지 않음(그림 2c와 표 2).
- 실험 초기(1월 17일부터 20일)에 낮은 염분 처리구에서 갑작스러운 탈피 빈도와 공식 현상의 증가가 일치하는 경향을 보였으나(그림 2b와 2c), 낮은 염분의 영향은 공식(two-way ANOVA,  $F_{1,32}=0.980$ ,  $p = 0.330$ )과 탈피 빈도(two-way ANOVA,  $F_{1,32}=0.391$ ,  $p = 0.536$ )에 모두 유의한 영향을 미치지 않음.

#### 나. 먹이 감지(Food detection)

- 먹이 감지에 시간과 낮은 pH간 교호작용 영향이 있었으며 낮은 pH는 2주의 노출 후(1월 30일)에 유의한 영향을 보임(그림 3과 표 3).
- 그러나 먹이 감지에서의 낮은 염분 그리고 낮은 염분과 pH의 상호작용 효과는 보이지 않음(표 3).

#### 다. 수영과 은신처 사용 행동(Swimming and shelter-use behavior)

- 낮시간동안 낮은 염분은 수영행동을 유의하게 증가시켰지만 시간과의 상호작용은 없었음(그림 4와 표 4).

- 낮은 pH는 낮의 유영행동에 유의한 영향을 미치지 않음.
- 낮의 은신처 사용 행동은 낮은 pH에 의해 유의하게 감소했으며 낮은 염분과 시간의 상호작용에 유의한 영향을 받음.
- 그러나 낮은 pH와 시간, 그리고 낮은 염분과 pH간 상호작용은 낮의 유영행동에 유의한 영향을 미치지 않음(그림 4와 표 4).
- 은신처와 떨어진 곳 혹은 노출된 바닥에 머무르는 개체는 낮은 pH에 의해 유의하게 영향을 받았으나 낮은 pH와 시간 간에는 유의한 상호작용은 없었으며, 낮은 염분에도 유의한 영향을 받지 않음(그림 4와 표 4).
- 밤에는 유영과 은신처 사용 행동 모두 낮은 pH의 유의한 영향 없었음(그림 5와 표 5).
- 그러나 밤의 유영과 은신처 사용 행동 모두 낮은 염분과 시간의 상호작용이 유의하게 영향을 미침(그림 5와 표 5).
- 낮은 염분과 pH의 상호작용은 존재하지 않음.

### 3. 고찰

- 낮은 염분과 낮은 pH는 WAP 연안 해수에서 가장 풍부한 단각류 중 중 하나인 *G. antarctica*의 행동 변화를 유발함.
- 낮은 염분 조건에서 공식현상 및 유영 행동 변화, 바뀐 은신처 사용 행동 변화가 증가함.
- 낮은 pH도 사망률 증가와 낮의 은신처 사용 행동 및 먹이 감지 감소를 야기함
- *G. antarctica*에게 두 기후변화 요인의 상호작용의 영향은 보이지 않음.
- 본 연구 결과는 감소된 pH 혹은 염분이 단각류의 사망과 행동에 독립적인 스트레스 인자로 작용함을 보임.
- 낮은 염분에서 증가한 공식 현상은 추가적 에너지 비용의 보상을 위한 것일 수 있음.
- 낮은 염분은 삼투조절 변화를 야기해서 단각류의 대사율을 높이고 에너지 수요

를 증가시키기 때문임(Aarset and Aunaas, 1990; Freire et al., 2003).

- 선행연구의 낮은 염분조건(25 psu)에서 *G. antarctica*의 이온교환과 삼투조절이 이들의 에너지 수요와 대사 스트레스를 증가시킴으로 인해 산소 소모율과 암모니아 배설율이 증가함을 보임(Gomes et al., 2013).
- 낮은 염분은 또한 낮 시간의 유영 활동과 밤 시간의 은신처 사용 증가와 같은 비정상적 행동을 유발함.
- 낮의 유영행동 증가는 삼투적으로 스트레스를 유발하는 환경에서의 탈출 시도로 볼 수 있음(Fanini et al., 2012; Wolcott and Wolcott, 2001).
- 실제 현장 조사를 통해 *G. antarctica*의 밀도가 해수 염분이 낮아질수록 낮아지는 경향을 보였는데, 이는 최적조건이 아닌 환경으로부터의 이동을 위한 탈출 행동 때문일 수 있음(Im, Cho & Kim, 2019, personal observation).
- 또한 낮은 염분 조건에서 벗어나기 위해 증가된 낮 동안의 활동성은 포식 위험을 증가시킬 수 있음.
- 반면, 밤 동안에는 낮은 염분 조건이 유영 행동의 유의한 감소와 은신처 이용의 유의한 증가를 유발함.
- 증가된 대사율은 에너지 고갈을 유발할 수 있는데, 이는 삼투조절과 같은 생리 기능 유지를 위해 발생한 에너지의 과도한 소비와 재분배로 인한 것임(Aarset and Aunaas, 1990; Gomes et al., 2013; Vellinger et al., 2012).
- 이러한 과정은 *G. antarctica*의 야행성 행동을 방해할 수 있음.
- 그러나 낮은 염분도(27 psu)에의 26일 간의 노출은 직접적인 치사적 영향은 미치지 않았고 밤시간 동안의 행동 변화는 특정 시간에만 유발함.
- 이는 특히 단각류들이 여름철 상당한 빙하 및 눈 용융수가 연안수로 유입되며 발생하는 큰 염분변동(Freire et al., 2003; McGaw et al., 1999)을 겪기 때문일 수 있음(Yoo et al., 2015).
- *G. antarctica*는 낮은 염분 조건에서 저삼투 스트레스에 대해 대사율을 높이면서 그들의 생존에 아무 심각한 영향 없이 견딜 수 있을 것으로 보임.

- 반면, 낮은 pH는 *G. antarctica*의 사망률을 증가시킬 뿐 아니라 먹이 감지와 낮은 은신처 사용 행동 등 정상적 활동을 방해함.
- 게다가 낮 동안 비이커 바닥에 붙어 몸을 그대로 노출시키고 있는 개체수도 증가시킴.
- 본 실험의 낮은 pH 조건(7.6)에서 이온 조절의 변화는 *G. antarctica*의 내성 범위를 초과해서 항상성 유지를 방해하고 대사를 억압할 수 있음(Parker et al., 2017; Seibel et al., 2012).
- 선행연구에서는 단각류 종이 산성 환경에 노출되었을 때 혈액림프의  $[Na^+]$ 와  $[Cl^-]$ 의 손실이 발생해서 그들의 생존률이 감소함 (Felten and Guerold, 2004).
- 또 다른 연구에서는 낮은 pH(7.6)가 *G. antarctica*의 생존을 유의하게 감소시켰고(Schram et al., 2016) 이는 다른 단각류와 갑각류 중에서도 마찬가지였음 (Poore et al., 2013).
- 또한 과탄산 환경은 먹이 위치를 찾는 능력을 감소시킬 수 있으며(de la Haye et al., 2012; Kim et al., 2016), 이는 에너지 고갈을 야기할 수 있음.
- 낮은 pH가 *G. antarctica*의 화학적 감지 능력에 미치는 부정적 영향은 이들이 화학적으로 서식처와 포식자를 선택 및 감지하는 능력을 감소시켜 이는 야생에서의 높은 포식 위험을 암시함(Zamzow et al., 2010).
- 그러나 선행 연구에 따르면  $CO_2$ 로 인해 pH가 8.1-7.5의 변동폭을 보이는 연안 부영양 환경에 서식하는 발트해 단각류는 산염기 조절이 촉진됨으로 인해 산성 환경에 저항성을 보임(Jakubowska and Normant-Saremba, 2016).
- 그러므로 MC에 서식하는 *G. antarctica*는 여지껏 높은 pH 변동 혹은 본 실험의 낮은 pH값을 겪어보지 못했음을 의미함.
- 본 실험에서는 단각류의 행동에 영향을 미치는 두 기후 스트레스 인자의 상호작용이 보이지 않음.
- 대신 공식과 사망률에서 낮은 염분과 낮은 pH의 상반되는 효과를 발견함.
- 복합 영향구에서는 *G. antarctica*의 공식률이 낮은 pH구에서의 값 보다는 높았지만 낮은 염분구에서의 값보다는 낮았음.
- 반면 복합 영향구에서의 사망은 낮은 염분구에서의 값 보다는 높았지만 낮은

pH구에서의 값 보다는 낮았음.

- 비록 낮은 염분과 낮은 pH는 *G. antarctica*의 행동에 모두 부정적 영향을 미쳤지만, 본연구에서는 대사율과 같은 생리 기능이 낮은 염분에 의해 증가하고 낮은 pH에 의해 감소하는 등 두 인자가 다른 과정으로 작용했을 것으로 예상함.
- 협온성 생물은 본질적으로 대사 에너지 전달에 대한 한계를 보유함으로써 스트레스 요인에 대한 낮은 생리적 대응력을 보이기 때문에(Clarke, 2003; Clarke et al., 2007) 비록 *G. antarctica*가 대사적으로 높은 유연성을 갖긴 하지만, 기후 스트레스 인자의 동시적 발생은 그들이 대사율을 높이는 것을 제한할 수 있음(Doyle et al., 2012).





#### 4. 그림과 표

표 1. 네 가지 실험구의 실험 해수 환경의 화학 요인 측정값(mean  $\pm$  SD). 염분, pH, 수온은 매일 측정되었으며 용존산소(DO)는 2-3일에 한 번씩 측정된 값임. 총 알칼리도(TA), CO<sub>2</sub> 분압(*p*CO<sub>2</sub>), 총 무기 용존 탄소(DIC), 켈사이트 및 아라고나이트 포화도는 실험 기간 동안 채수된 샘플을 CO<sub>2</sub>SYS Calc XLS program (v2.1) (Pierrot et al., 2006)을 이용해 산출함.

	Control	Low salinity	Low pH	Combined
<b>Salinity</b>	34.00 $\pm$ 0.05	27.01 $\pm$ 0.03	34.02 $\pm$ 0.05	27.03 $\pm$ 0.05
<b>pH (NBS scale)</b>	8.00 $\pm$ 0.07	7.97 $\pm$ 0.07	7.64 $\pm$ 0.13	7.6 $\pm$ 0.21
<b>Temperature (°C)</b>	1.4 $\pm$ 0.65	1.28 $\pm$ 0.68	1.27 $\pm$ 0.68	1.42 $\pm$ 0.69
<b>DO (mg l<sup>-1</sup>)</b>	10.81 $\pm$ 1.16	10.85 $\pm$ 1.12	9.69 $\pm$ 1.16	9.44 $\pm$ 1.27
<b>TA (mmol kg<sup>-1</sup>SW)</b>	2512.13 $\pm$ 138.75	2155.41 $\pm$ 232.58	2618.56 $\pm$ 240.02	2132.8 $\pm$ 235
<b><i>p</i>CO<sub>2</sub> (atm)</b>	593.03 $\pm$ 50.47	567.01 $\pm$ 54.89	1616.63 $\pm$ 217.36	1488.11 $\pm$ 238
<b>[CO<sub>2</sub>] (mol kg<sup>-1</sup>SW)</b>	34.40 $\pm$ 2.52	33.42 $\pm$ 2.16	92.89 $\pm$ 15	88.23 $\pm$ 17.74
<b>[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] (mol kg<sup>-1</sup>SW)</b>	2306.36 $\pm$ 132.61	2008.86 $\pm$ 212.73	2526.54 $\pm$ 239.37	2072.61 $\pm$ 234.41
<b>[CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>] (mol kg<sup>-1</sup>SW)</b>	82.62 $\pm$ 3.43	58.78 $\pm$ 9.52	36.98 $\pm$ 1.31	23.79 $\pm$ 1.9
<b>TCO<sub>2</sub> (mol kg<sup>-1</sup>SW)</b>	2423.39 $\pm$ 138.49	2101.06 $\pm$ 224.15	2656.41 $\pm$ 255.07	2184.64 $\pm$ 251.88
<b>Calcite saturation</b>	1.98 $\pm$ 0.08	1.46 $\pm$ 0.24	0.89 $\pm$ 0.03	0.59 $\pm$ 0.05
<b>Aragonite saturation</b>	1.25 $\pm$ 0.05	0.9 $\pm$ 0.15	0.56 $\pm$ 0.02	0.36 $\pm$ 0.03

표 2. 실험 기간 동안 낮은 염분과 낮은 pH가 *G. antarctica*의 사망, 공식, 탈피에 미친 영향을 이원분산분석(two-way ANOVA)을 통해 분석한 결과값. ↑ 또는 ↓는 측정값의 증가 또는 감소를 의미함.

	<b>Mortality including cannibalized individuals</b>	<b>Mortality excluding cannibalized individuals</b>	<b>Cannibalism</b>	<b>Molting</b>
<b>Between-subject effect</b>				
<b>Salinity</b>	$F_{1,32} = 0.015$ $p = 0.905$	$F_{1,32} = 5.336$ $p = 0.027\downarrow$	$F_{1,32} = 15.025$ $p < 0.0001\uparrow$	$F_{1,32} = 0.019$ $p = 0.891$
<b>pH</b>	$F_{1,32} = 0.501$ $p = 0.484$	$F_{1,32} = 5.210$ $p = 0.029\uparrow$	$F_{1,32} = 4.037$ $p = 0.053$	$F_{1,32} = 0.476$ $p = 0.495$
<b>Salinity × pH</b>	$F_{1,32} = 0.505$ $p = 0.483$	$F_{1,32} = 0.044$ $p = 0.835$	$F_{1,32} = 0.840$ $p = 0.366$	$F_{1,32} = 0.933$ $p = 0.341$

표 3. 실험 기간 동안 낮은 염분과 낮은 pH가 *G. antarctica*의 먹이 감지 행동에 미친 영향을 반복측정 이원분산분석(repeated measures two-way ANOVA)을 통해 분석한 결과값. ↑ 또는 ↓ 는 측정값의 증가 또는 감소를 의미함.

---

<b>Food detection</b>	
<b>Within-subject effect</b>	
<b>Time</b>	$F_{3,96} = 15.602$ $p < 0.0001$
<b>Time × Salinity</b>	$F_{3,96} = 0.630$ $p = 0.597$
<b>Time × pH</b>	$F_{3,96} = 5.103$ $p = 0.003↓$
<b>Time × Salinity × pH</b>	$F_{3,96} = 1.041$ $p = 0.378$
<b>Between-subject effect</b>	
<b>Salinity</b>	$F_{1,32} = 1.006$ $p = 0.323$
<b>pH</b>	$F_{1,32} = 4.853$ $p = 0.035↓$
<b>Salinity × pH</b>	$F_{1,32} = 1.238$ $p = 0.274$

---

표 4. 실험 기간 동안 낮은 염분과 낮은 pH가 *G. antarctica*의 낮 시간 동안의 유영, 피난처 이용 및 노출 행동에 미친 영향을 반복측정 이원분산분석(repeated measures two-way ANOVA)을 통해 분석한 결과값. ↑ 또는 ↓ 는 측정값의 증가 또는 감소를 의미함.

	Swimming (day)	Shelter use (day)	Staying at the bottom and/or away from the shelter (day)
<b>Within-subject effect</b>			
<b>Time</b>	$F_{13.602,435.250} = 3.928$ $p < 0.0001$	$F_{17.944,574.224} = 6.813$ $p < 0.0001$	$F_{16.478,527.309} = 5.585$ $p < 0.0001$
<b>Time × Salinity</b>	$F_{13.602,435.250} = 1.369$ $p = 0.167$	$F_{17.944,574.224} = 1.715$ $p = 0.033 \downarrow$	$F_{16.478,527.309} = 1.325$ $p = 0.174$
<b>Time × pH</b>	$F_{13.602,435.250} = 1.173$ $p = 0.294$	$F_{17.944,574.224} = 0.800$ $p = 0.701$	$F_{16.478, 527.309} = 0.712$ $p = 0.788$
<b>Time × Salinity × pH</b>	$F_{13.602,435.250} = 1.598$ $p = 0.079$	$F_{17.944,574.224} = 1.144$ $p = 0.305$	$F_{16.478, 527.309} = 0.677$ $p = 0.822$
<b>Between-subject effect</b>			
<b>Salinity</b>	$F_{1,32} = 10.785$ $p = 0.002 \uparrow$	$F_{1,32} = 8.384$ $p = 0.007 \downarrow$	$F_{1,32} = 1.807$ $p = 0.188$
<b>pH</b>	$F_{1,32} = 0.077$ $p = 0.783$	$F_{1,32} = 6.909$ $p = 0.013 \downarrow$	$F_{1,32} = 7.394$ $p = 0.010 \uparrow$
<b>Salinity × pH</b>	$F_{1,32} = 0.010$ $p = 0.920$	$F_{1,32} = 2.301$ $p = 0.139$	$F_{1,32} = 2.446$ $p = 0.128$

표 5. 실험 기간 동안 낮은 염분과 낮은 pH가 *G. antarctica*의 밤 시간 동안의 유영, 피난처 이용 및 노출 행동에 미친 영향을 반복측정 이원분산분석(repeated measures two-way ANOVA)을 통해 분석한 결과값. ↑ 또는 ↓ 는 측정값의 증가 또는 감소를 의미함.

	Swimming (night)	Shelter use (night)	Staying at the bottom and/or away from the shelter (night)
<b>Within-subject effect</b>			
<b>Time</b>	$F_{9,356,299.406} = 4.532$ $p < 0.0001$	$F_{10,320} = 4.901$ $p < 0.0001$	$F_{8,965,286.889} = 4.041$ $p < 0.0001$
<b>Time × Salinity</b>	$F_{9,356,299.406} = 2.605$ $p = 0.006$ ↓	$F_{10,320} = 2.115$ $p = 0.023$ ↑	$F_{8,965,286.889} = 0.477$ $p = 0.889$
<b>Time × pH</b>	$F_{9,356,299.406} = 1.278$ $p = 0.246$	$F_{10,320} = 1.225$ $p = 0.274$	$F_{8,965,286.889} = 0.734$ $p = 0.678$
<b>Time × Salinity × pH</b>	$F_{9,356,299.406} = 1.034$ $p = 0.414$	$F_{10,320} = 0.930$ $p = 0.506$	$F_{8,965,286.889} = 0.405$ $p = 0.931$
<b>Between-subject effect</b>			
<b>Salinity</b>	$F_{1,32} = 4.168$ $p = 0.050$ ↓	$F_{1,32} = 6.516$ $p = 0.016$ ↑	$F_{1,32} = 1.533$ $p = 0.225$
<b>pH</b>	$F_{1,32} = 0.111$ $p = 0.741$	$F_{1,32} = 0.509$ $p = 0.481$	$F_{1,32} = 0.206$ $p = 0.653$
<b>Salinity × pH</b>	$F_{1,32} = 0.932$ $p = 0.342$	$F_{1,32} = 1.021$ $p = 0.320$	$F_{1,32} = 0.499$ $p = 0.485$

그림 1. 마리안 소만 연안의 특정 지점에서의 염분과 pH 값. 2018년 1월 1일부터 2월 10일 까지 매일 고조와 저조 때 YSI Pro30 와 InLab Expert Go-ISM를 사용해 측정함.

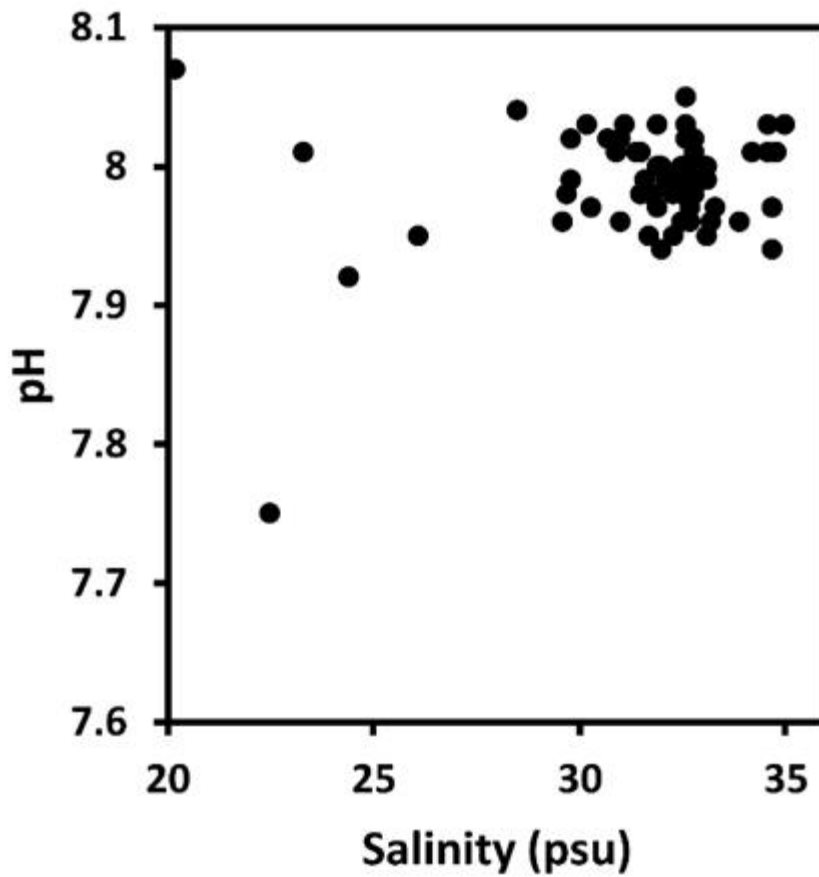


그림 2. 실험 기간 동안 각기 다른 염분과 pH 조건에 노출된 *G. antarctica*의 누적 (a) 사망률(공식에 의한 사망 개체 제외); (b) 공식된 개체수 비율; (c) 탈피 빈도 결과값(means  $\pm$  SE).

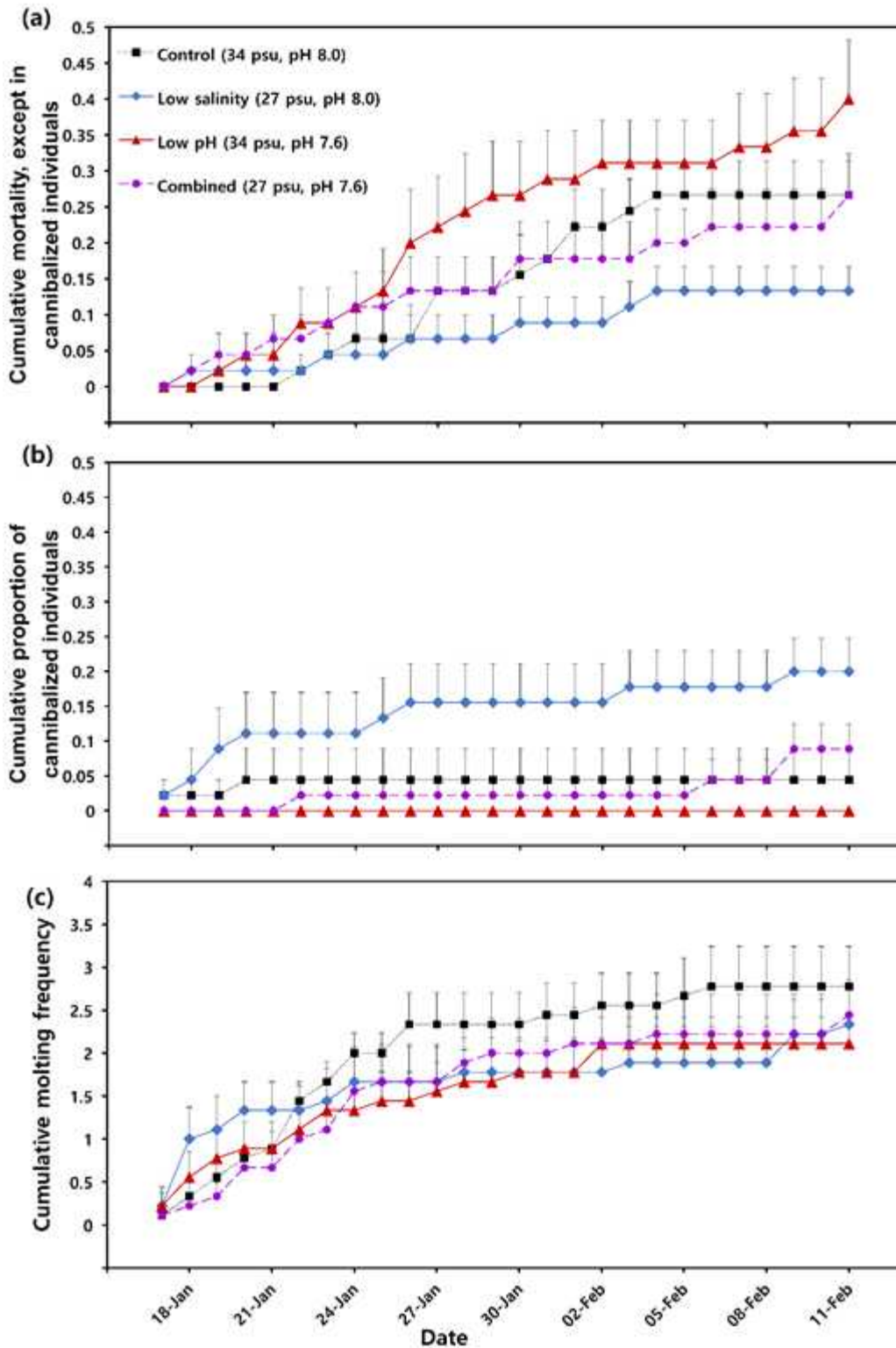
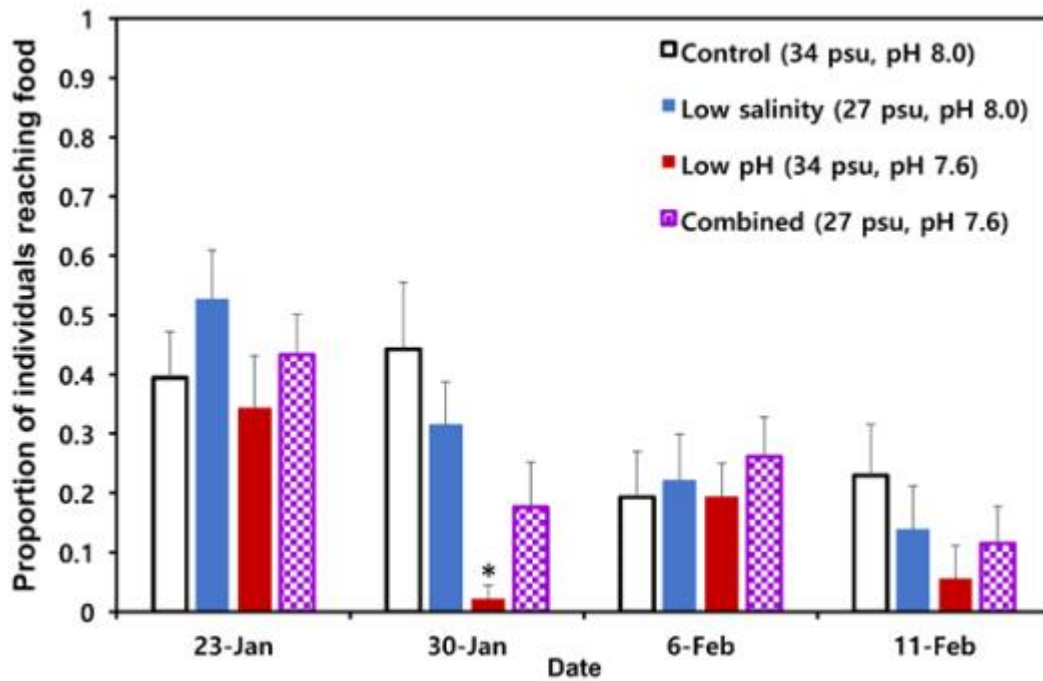


그림 3. 실험 기간 동안 각기 다른 염분과 pH 조건에 노출된 *G. antarctica*의 먹이 감지 개체수 비율 결과값(means  $\pm$  SE). 그래프 내 별표(\*)는 시간과 pH의 유의한 상호작용 영향이 있었음을 의미함.



극지연구소



그림 4. 실험 기간 동안 각기 다른 염분과 pH 조건에 노출된 *G. antarctica*의 낮 시간 동안의 피난처 이용, 잠입 및 노출 행동 결과값(means  $\pm$  SE); (a) 대조구, (b) 낮은 염분구, (c) 낮은 pH구, (d) 복합영향구. 각 행동별 그래프 막대 우측 상단의 별표(\*)는 시간과 스트레스 요인의 유의한 상호작용 영향이 있었음을 의미함.

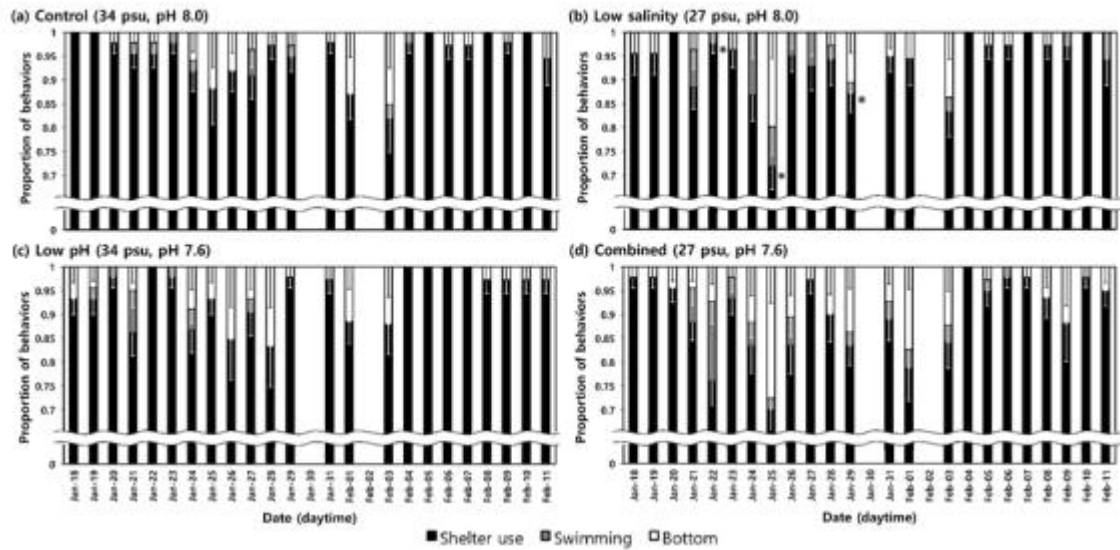
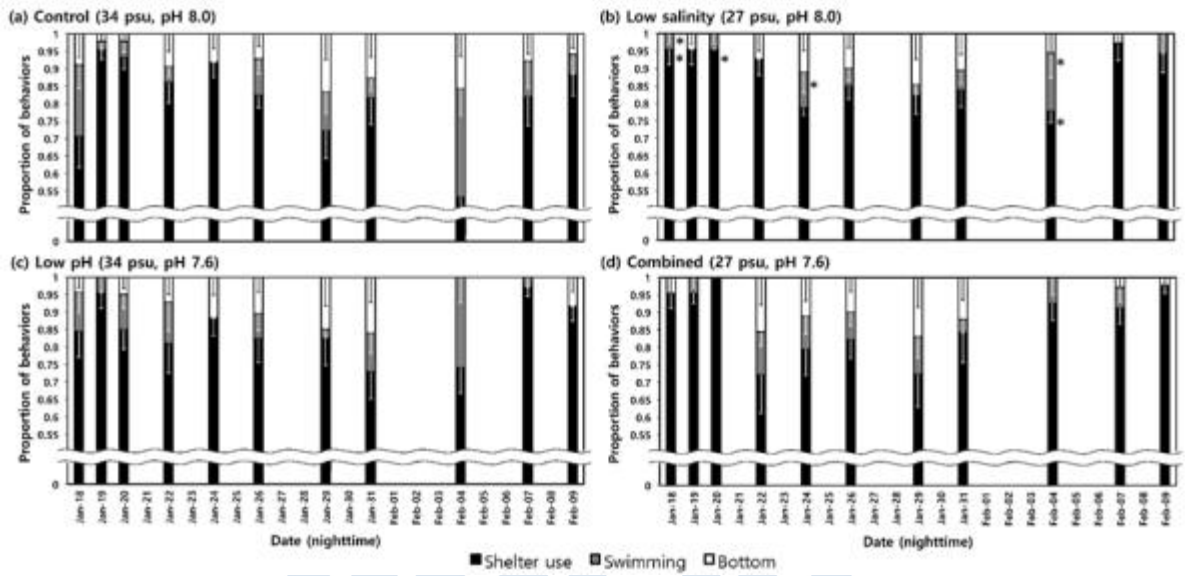


그림 5. 실험 기간 동안 각기 다른 염분과 pH 조건에 노출된 *G. antarctica*의 밤 시간 동안의 피난처 이용, 잠입 및 노출 행동 결과값(means  $\pm$  SE); (a) 대조구, (b) 낮은 염분구, © 낮은 pH구, (d) 복합영향구. 각 행동별 그래프 막대 우측 상단의 별표(\*)는 시간과 스트레스 요인의 유의한 상호작용 영향이 있었음을 의미함.



## 제 2 절 해수의 염분과 수소이온지수(pH)의 변화가 남극 단각류 군집 및 우점종(*Gondogeneia antarctica*) 개체군동태에 미치는 영향에 대 연구

### 1. 연구 방법

#### 가. 채집 장소(그림 9)

- 2019 년 12 월 25 일 현장 답사를 통해 단각류의 은신처가 될 수 있는 해조류의 유무, 단각류의 은신처가 될 수 있는 기질의 유무, 지속적인 관측이 가능성, 용빙수 영향의 유무, 도보로 접근이 가능성 등을 고려하여 조사지역을 선정함.
- 대분류로 소만 내측, 펑귄마을 인근, 해표마을 인근지역으로 구분 했으며 소분류 소만 내측은 빙벽 인근, 소만 중간지점, 세종기지 부두 앞, 펑귄마을에는 자이언트페트롤 서식지, 펑귄마을입구, 비상대피소, 해표마을에는 해표마을 site1 ~ site 9 으로 구분함.
- 소만 내측 지역은 마리안소만 내측에 해당되는 전 지역을 포함하며 세종곶부터 빙벽이 존재하는 지역까지를 의미함.
- 소만 내측의 빙벽인근지역은 도보로 접근이 불가능 하여 조디악을 사용해 접근 하는 것이 필수적인 지역으로 타 지역에 비해 유빙의 영향을 많이 받고 benthic diatom 이 많이 분포함.
- 소만 내측의 소만 중간지점은 도보로 접근 이 가능하며 빙벽인근지역과 마찬가지로 유빙의 영향을 많이 받으나 빙벽인근 지역에 비해 macro-algae 가 많이 분포하는 것이 특징임.
- 소만 내측의 세종기지 부두앞은 설명한 두 지역에 비해 유빙의 영향이 적은 편 이나 세종기지에서 유출되는 담수의 영향을 받을 수 있는 지역이며 상대적으로 기질의 입경이 작음
- 소만 내측의 세종곶은 마리안 소만의 입구로 소만 내에서 과량의 영향을 가장 강하게 받는 지역이며 주위에 담수호가 다수 분포함, 기질의 입경은 앞서 설명한 세종기지 부두 앞에 비해 큰 거력(boulders)이 분포하고 해조류가 자라고 있는 조수웅덩이가 다량 존재함.
- 펑귄마을 인근의 자이언트페트롤 서식지는 남극특별보호구역(Antarctic

Specially Protected Area , ASPA) 내에 위치한 지역으로 ASPA가 시작되는 지역부터 펭귄마을 인근 지역까지가 이에 해당됨, 거력 퇴적물이 주로 분포하는 협소한 암반조건대이며 해조류가 풍부함.

- 펭귄마을 인근지역의 펭귄마을 입구는 젠투펭귄과 아텔리펭귄 서식지의 입구인 지역으로 다수의 펭귄이 상시 주둔하고 있으며 그 외의 특징은 자이언트패트롤 서식지의 조건대와 유사하나 조건대가 더 넓고 완만한 형태를 띤.
- 비상대피소는 펭귄마을에 해당되는 마지막 지역으로 완만하고 넓은 조건대로 되어있으며 젠투펭귄, 아텔리펭귄, 남극도독갈매기, 웨델해표, 코끼리해표 등이 이용하는 조건대임, 거력퇴적물을 기질로 하며 앞서 설명한 지역에 비해 암초가 적은 편이며 특징적으로 턱끈펭귄의 서식지로부터 용출되는 산성(약 6.0)을 띄는 담수가 지속적으로 유입되고 있음.
- 해표마을 지역은 비상대피소 이후 지역부터 포터소만 입구 전까지가 이에 해당되며 해변은 왕사~자갈 정도의 기질로 이루어져있으며 매우 완만하고 넓은 조건대를 갖는 것이 특징임, 간조시 매우 넓은 규모의 조수 웅덩이가 형성되며 macro-algae bed 가 형성되어있고 노출된 암반에는 무절석회조류가 착생하고 있음.
- 조사정점에 대한 기록은 compact camera (Olympus TG-5)를 사용한 사진과 수기로 기록했으며 좌표는 Garmin GPSMAP s64를 사용해 기록함.

#### 나. 해수 물성 측정

- 해수 물성은 단각류 채집 전 10분을 할애하여 측정했으며 1 회 채집 당 총 3 회 측정을 진행함.
- 조사지역의 해수를 200 ml 실린더를 사용해서 채취한 후 YSI pro2030를 사용해 수온(°C), 염분(psu) 용존산소량(mg/L)을 확인했으며 해상도는 각각 수온 0.1 °C, 염분 0.1psu, 용존산소량 0.1 mg 임.
- 수온은 해수를 채취한 후 30 초 이내에 측정했으며 3~6 회 반복측정을 수행함.
- 염분과 해수 채취 후 센서를 투입하고 1분간 안정화 시간을 거친 후 재 측정하여 얻어진 값으로 총 3회 반복측정을 수행함.
- 용존산소량은 센서를 해수에 담근 후 3 분의 안정화 시간을 거친 후 측정했으며

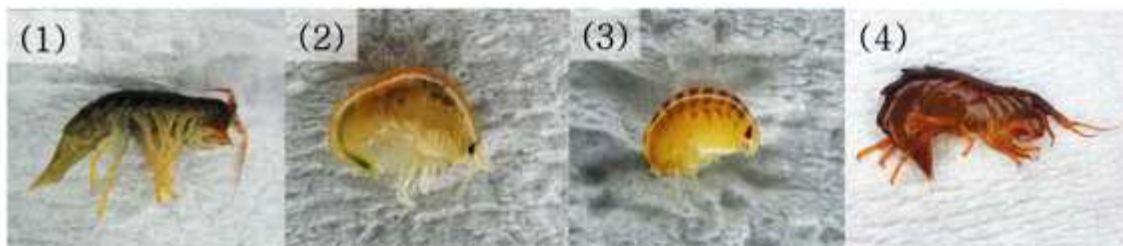
총 3회 반복측정을 수행함.

- 해수의 수소이온지수(pH)는 200 ml 실린더와 Seven2Go pH/Ion meter S8를 사용하여 소숫점 첫 째 자리까지 측정했으며 센서를 처음 투입 후 3회 이상 테스트 측정을 진행하여 센서를 안정화 시킨 후 진행함.

#### 다. 단각류 채집

- 단각류 채집은 세종기지에서 발부하는 조위표를 참고하여 저조 때 조위가 0.5 이하인 날에 진행했으며, 저조(low tide) 2시간 전부터 저조 때까지 채집을 수행함.
- 채집 수행시에 해당 시간에 정점을 도착하여 GPS 좌표표를 기록한 후 해수 물성을 관측했으며 관측 이후 30 × 30 cm<sup>2</sup> PVC 방형구를 랜덤하게 투척, 방형구 내의 기질을 교란하여 숨어있는 단각류가 유영하도록 유도한 후 직경 20 cm, 망목 2 mm의 핸드네트를 사용해 1회 채집했으며 해당 작업을 처음 작업한 지역에서 1미터 반경 안에서 3회 반복함.
- 채집된 단각류는 750 mm 플라스틱 채집통에 해당지역 해수와 함께 담아 1시간 이내 실험실로 운반했으며 이 때 단각류와 함께 핸드네트에 걸린 기타 잔여물(기질의 일부, 해조류 등)은 현장에서 분류해내는 것이 불가능하여 단각류와 함께 채집통에 담아 함께 실험실 운반함.
- 실험실로 운반된 시료는 수돗물로 세척 후 95 % 에탄올을 사용해 1차로 고정한 후 실체현미경을 사용해 불순물을 제거했으며 불순물이 제거된 시료는 에탄올을 교체한 후 중 동정을 진행할 때 까지 채집통에 임시로 보관함.

#### 라. 중 동정 및 고정



- 채집된 단각류의 종 동정은 (Kim, 2014)의 해부도 및 동정표를 사용해 형태적 특징을 확인하여 진행함.
- 에탄올에 고정시킨 시료를 20분간 글리세린으로 연화시킨 후에 슬라이드 글라스로 1 개체 씩 옮긴 후 세종기지 실험실에 비치된 실체현미경과 핀셋을 사용해 해부함.
- *Gondogeneia antarctica*<sup>(1)</sup>는 먹이에 따라 어두운 균청색 혹은 어두운 녹색을 띠며 몸 가운데를 가로지르는 밝은 띠를 갖는 것이 특징으로 5 번째 마디의 coxa가 갈라진 형태를 하고 있으며 4 번째 마디의 coxa 에 비해, 상하로 좁은 특징이 있음, maxilla 2의 가운데에 2 개의 굵은 setae가 존재하며 이것을 기준으로 외측과 체측(몸 쪽)으로 구분하며 체측 setae가 외측에 비해 매우 짧은 것이 특징임(Kim, 2014).
- *Cheirimedon femoratus*<sup>(2)</sup>는 전체적으로 상아색을 띠며 *G. antarctica*에 비해 외골격이 단단하며 등근 형태를 띠고 있으며 해부학적특징으로는 mandibular palp의 첫 번째 마디가 두 번째 보다 짧음(Kim, 2014).
- *Orchomenella* sp.<sup>(3)</sup>는 *C. femoratus* 와 형태적으로 유사하나 몸 전체가 *C. femoratus*에 비해 노란 빛을 띄고 각 마디마다 밤색의 줄무늬를 갖고 있으며 살아있을 때 눈이 붉은 색을 띄며 해부학적특징으로 *C. femoratus* 와 달리 mandibular palp의 첫 번째 마디가 두 번째 보다 김(Kim, 2014).
- *Bovallia gigantea*<sup>(4)</sup>는 몸 전체가 적갈색을 띠며 일곱 번째에서 아홉 번째 마디에 용골을 갖는 것이 특징이며 약 5 cm 로 타 종에 비해 체구가 매우 큼(Kim, 2014).
- 동적이 끝난 개체들은 정점 별로 정리하여 20 ml 바이알 병에(*B.gigantea*의 경우 50 ml 코니칼 튜브에) 95 % 에탄올과 함께 보관했으며 에탄올은 1 주일에 1 회 교체함.

#### 마. 분석 및 통계

- 종 동정이 완료 된 정점의 시료를 바탕으로 각 종의 개체수를 기록함.
- 원 자료를 바탕으로 지역별로 샤논다양성지수(Sannon diversity index)를 계산하여 지역, 해수물성에 따라 샤논다양성지수의 변화를 확인함.

- 해수물성에 따른 우점종 *G. antarctica* 개체군의 변화에 대하여 별도의 분석을 진행함.
- 조사 결과를 통해 남극 조간대에 서식하는 단각류의 niche를 확인하기 위해 Matlab의 griddata, contourf 함수를 사용하여 2 차원 그래프로 표현함.
- 모든 자료는 독립변인(환경변수)에 따른 종속변인(개체수, 다양성지수)의 변화를 관찰하기 위해 선형회기분석을 사용하여 두 자료의 연관성을 비교하고 통계적 유의성을 확인함.

## 2. 연구 결과

### 가. 지역에 따른 조간대 해수물성의 변화 (그림. 6)

#### (1) 수소이온지수(pH) 변화

- pH은 각 지역의 수온, 염분, 광합성량 등에 따라 변화하는 것으로 보임.
- 최소값은 약 8로 일반적인 해수 수준을 나타냈으며 수온이 높고 광합성량이 많은 해표마을 인근에서는 최대 8.7 가 기록됨.
- 빙벽과의 거리와 연관하여 회기분석을 진행했을 때 빙벽에서 멀어질수록 상승하는 경향을 보였으나 빙벽인근의 해수는 오히려 소만의 중간지점보다 높은 pH를 나타냄( $r^2=0.336$ ,  $F=35.537$ ,  $p<0.001$ ).

#### (2) 염분 변화

- 염분은 각 지역의 용빙수 유출량에 따라 변화하는 것으로 보이며 지역별로 뚜렷한 경향성을 나타내지 않았음.
- 일반적으로 31 psu ~ 35 psu 사이의 값이 가장 빈번하게 측정되었으며 최소 27 psu가 비상대피소 인근지역에서 관측됨.
- 빙벽과의 거리와 연관하여 회기분석을 진행했을 때 역시 뚜렷한 경향성이 확인되지 않았음( $F=1.759$ ,  $p=0.189$ ).



### (3) 용존산소량(mg/L) 변화

- 용존산소량은 모든 지역에서 8.0이상의 값을 나타냈음.
- 해표마을 인근에서는 최대 최고농도(약 14.56)가 기록되었으며 높은 광합성량이 원인으로 판단됨.
- 빙벽과의 거리와 연관하여 회기분석을 진행했을 때 빙벽에서 멀어질수록 상승하는 경향이 pH와 유사했으나 변동폭이 비교적 작음( $r^2=0.0957$ ,  $F=7.517$ ,  $p=0.008$ ).

### (4) 수온(°C) 변화

- 수온은 빙벽과의 거리에 따라 뚜렷한 경향성을 나타냈으며 빙벽인근지역에서 가장 낮은 값을 나타냄 ( $r^2=0.3574$ ,  $F=39.494$ ,  $p<0.001$ ).
- 해표마을 인근에서는 최고수온(약 6 °C)이 기록됨.

## 나. 종다양성

### (1) 지역에 따른 샤논다양성지수의 변화(그림. 7, 8).

- 샤논다양성지수는 마리안소만 내측에서 펭귄마을 및 해표마을 등의 외측에서 낮게 나타남.
- 샤논다양성지수는 펭귄마을 인근에서 가장 높은 값을 나타냄.
- 모든 지역에서 *G. antarctica*가 우점종으로 나타났으나 펭귄마을에서는 *C. femoratus*가 우점종으로 나타남.

### (2) 해수물성에 따른 샤논다양성지수의 변화(그림. 9)

- 샤논다양성지수는 pH에 대해 낮은 수준의 양의 상관관계( $R = 0.0718$ )가 나타남 ( $F=5.146$ ,  $p=0.0027$ ).
- 샤논다양성지수는 염분에 대해 유의미한 상관관계가 나타나지 않음( $F=1.665$ ,  $p=0.201$ ).
- 샤논다양성지수는 용존산소량에 대해 낮은 수준의 양의 상관관계( $R = 0.0866$ )가



나타남( $F=5.984$ ,  $p=0.017$ ).

- 샤논다양성지수는 수온에 대해 유의미한 상관관계가 나타나지 않음( $F=2.071$ ,  $p=0.155$ ).
- pH와 수온이 양의 상관관계를 보이는 것으로 보아 단각류의 종다양성은 서식지의 광합성량과 관련된 것으로 보여짐.
- 대부분의 지역에서 *G. antarctica*가 우점종으로 나타났으나 펭귄마을에서는 *C. femoratus*가 우점종으로 나타났으며 펭귄기원유기물의 영향인 것으로 판단됨.

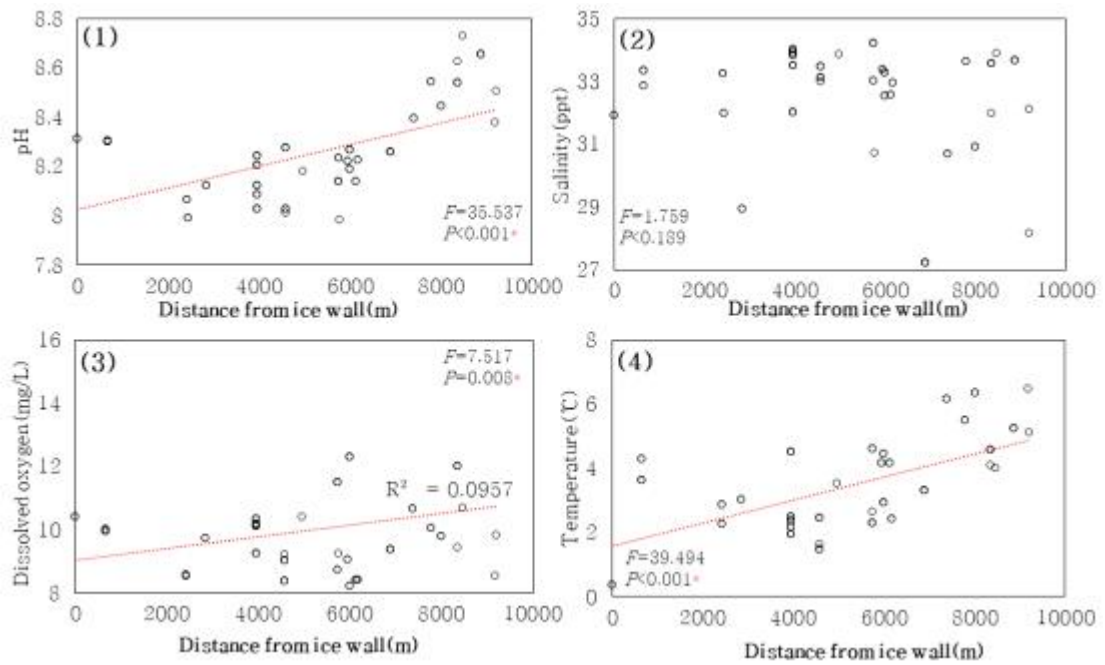
다. 우점종의 개체군 동태(그림 10)

- *G. antarctica*의 개체수는 바톤반도(Barton Peninsula)의 조간대에서 pH가 증가함에 따라 유의미하게 증가함( $F=13.444$ ,  $p=0.003$ ).
- *G. antarctica*의 개체수는 바톤반도(Barton Peninsula)의 조간대에서 염분이 증가함에 따라 유의미하게 증가함( $F=4.983$ ,  $p=0.042$ ).
- 해수의 pH와 염분이 감소할 경우 우점종인 *G. antarctica*의 개체수가 감소할 수 있음.
- 부적절한 해수 물성이 개체수에 미치는 영향이 개체군동태에 관한 것인지, 생사와 관련된 것인지는 추가적인 연구가 필요함.

라. Niche(그림 11)

- 염분과 pH에 따른 개체수 변화를 바탕으로 2 차원의 Niche를 나타냈을 때 *G. antarctica*, *C. femoratus*, *Orchomenella* sp., *B. gigantea*는 각각 서로 다른 형태를 띠었으며 특히 *C. femoratus*와 *Orchomenella* sp.는 유사한 niche를 보였으며 *G. antarctica* 및 *B. gigantea*와 구분되었음.

그림 6. 빙벽(ice wall)으로부터의 거리에 따른 해수물성의 변화. pH(1)는 빙벽과의 거리가 가까워 질수록 유의미하게 감소했고 염분(2)은 뚜렷한 변화가 없었으며 용존산소(3)와 수온(4)은 유의미하게 감소함



극서언연구소

그림 7. 지역에 따른 단각류 군집의 샤논다양성지수, 빙벽인근 지역(ice wall), 마리안 소만 중간지점(midpoint of the Marian Cove), 세종기지 부두 앞(King Sejong station), 세종곶(King Sejong Cape)은 마이란소만의 내측에 해당되는 지역으로 샤논다양도지수가 낮게 나타났으며, 소만 외측인 펭귄마을(Penguin Village)과 해표마을(Seal Village)에서는 샤논다양성지수가 상대적으로 높게 나타남

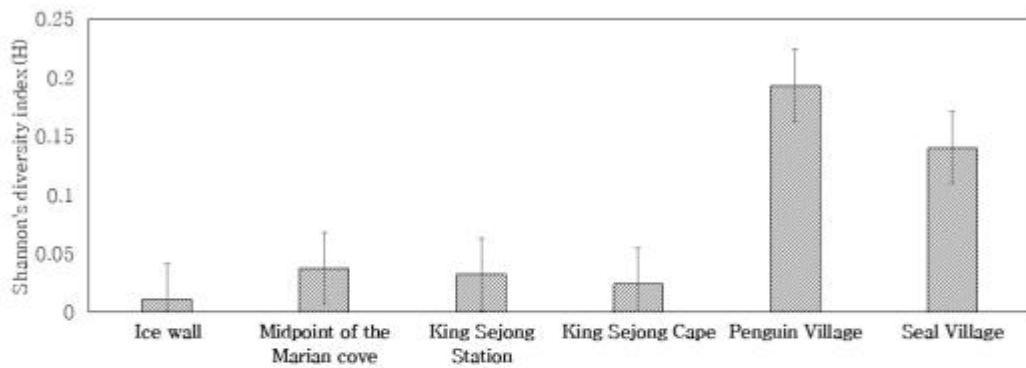
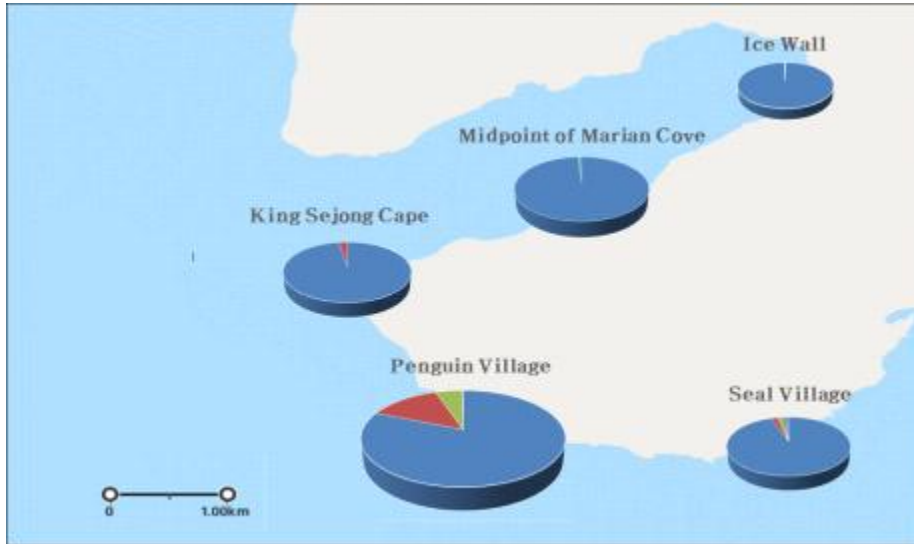


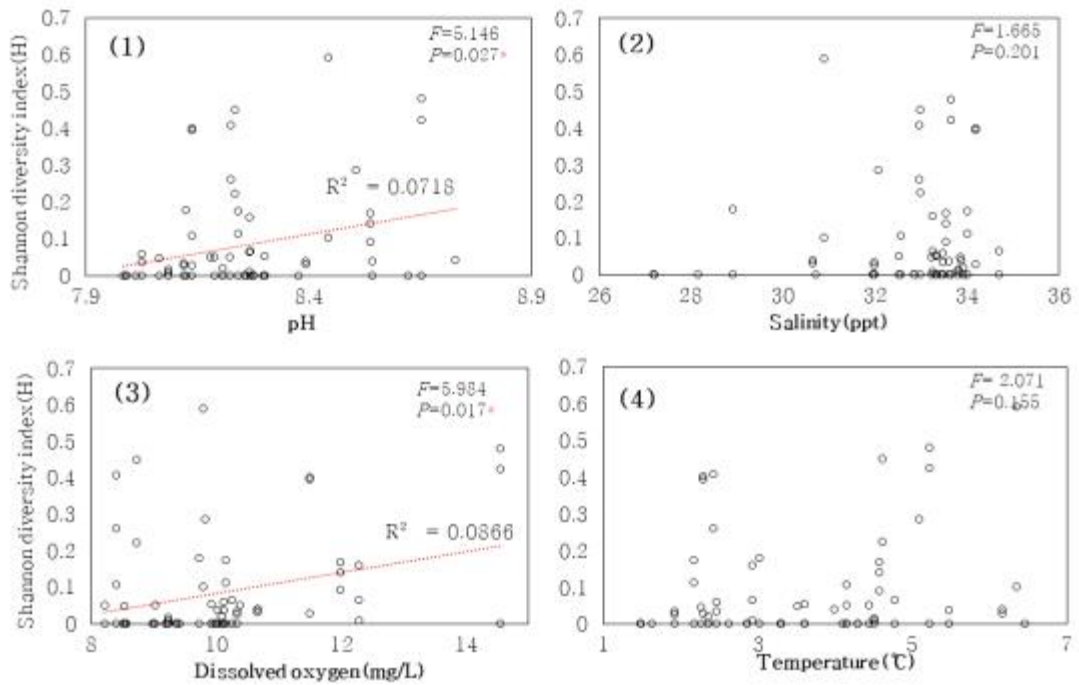
그림 8. 지역별 단각류 군집의 종 조성, 모든 지역에서 *G. antarctica*가 우점종으로 나타나고 있음



■ *G. antarctica* ■ *C. femoratus* ■ *Orchomenella sp.* ■ *B. gigantea* ■ Others



그림 9. 해수물성변화에 따른 샤논다양성지수의 변화, 샤논다양성지수는 pH(1), 용존산소량(3)과 양의 상관관계를 갖고있었으며 염분(2), 수온(4)와 유의미한 상관관계를 갖지 않았음



극지연구소

그림 10. pH(1)와 염분(2)의 변동에 따른 *G. antarctica* 개체수의 변화, 마리안소만 단각류 군집에서 *G. antarctica*의 개체수는 pH 및 염분과 유의미한 양의 상관관계를 갖고 있음을 확인함

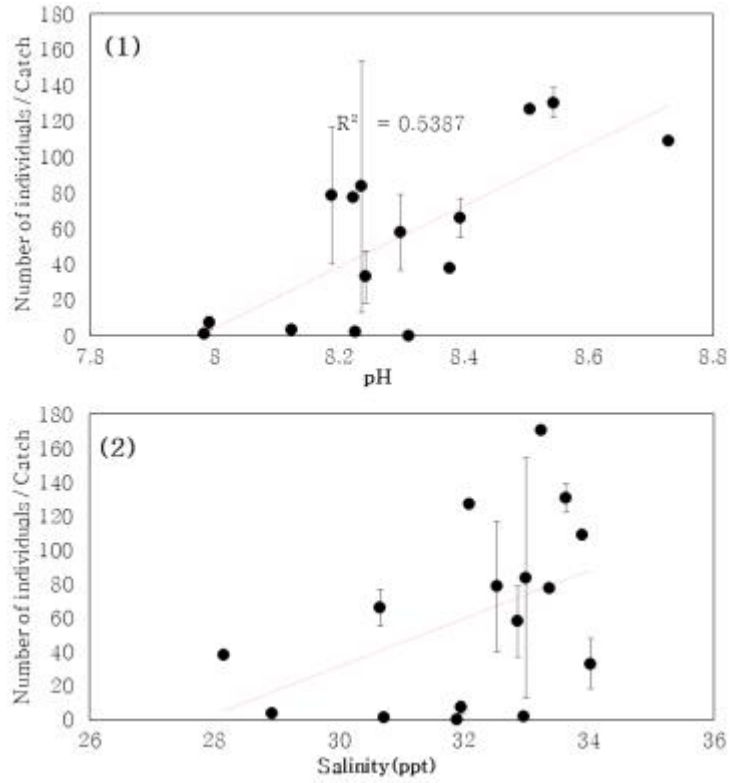
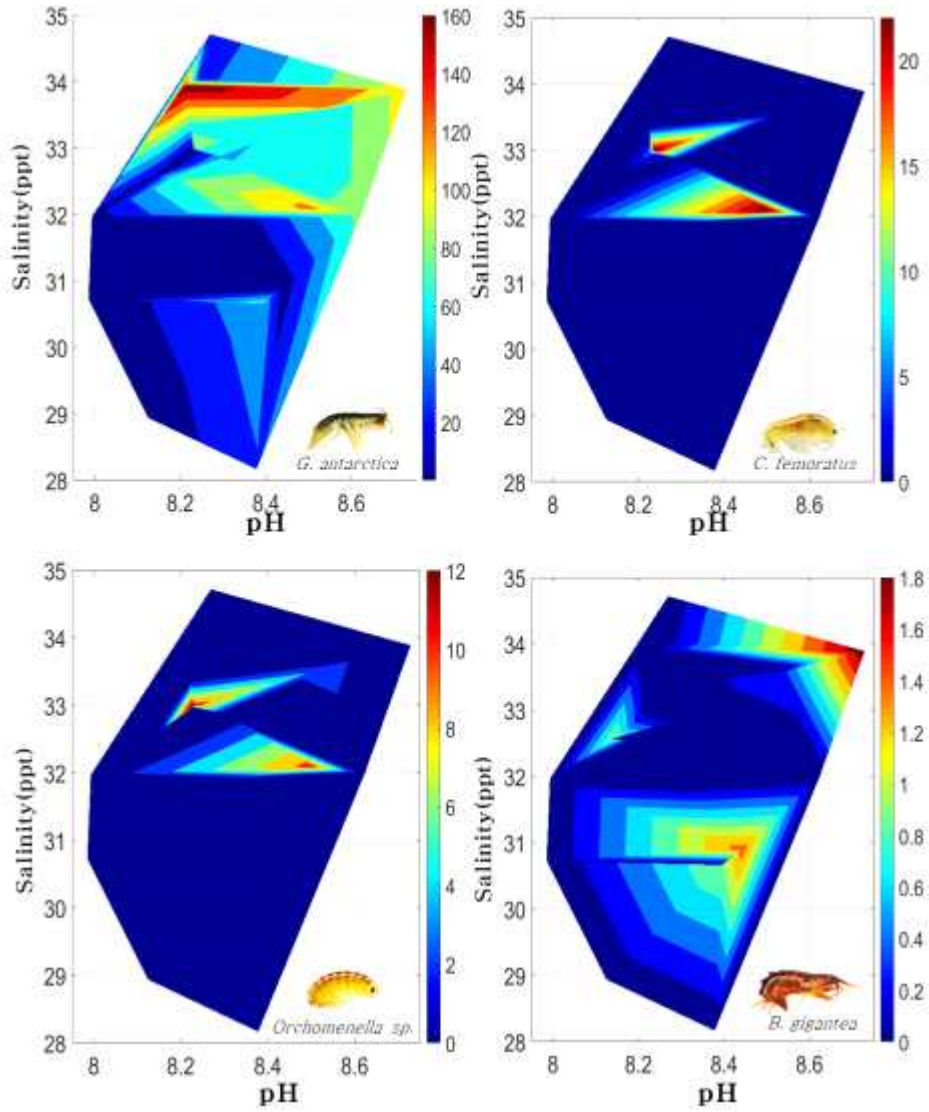


그림 11. 단각류 군집 내에서 발견빈도가 높은 상위 4종의 niche. (griddata linear'of Matlab 2017a.)



### 제 3 절 염분과 pH의 변동이 남극 삿갓조개(*Nacella concinna*)와 착생생물인 석회조류에게 미치는 영향 연구

#### 1. 실험적 연구 방법

##### 가. 남극 삿갓조개 *Nacella concinna* 채집 및 해수 물성 측정

- 남극 삿갓조개 채집은 마리안소만 우측 바톤반도의 조간대의 빙벽, 세종기지, 세종곶, 팽귤마을, 해표마을 구간 사이의 19 정점에서 이뤄짐.
- 채집 장소에서 GPS(위도 및 경도), 시간(남극 표준시간)을 확인하고, 반경 30 cm 안에서 해수의 물성(온도, 염분, pH, 용존산소)을 3번 반복 측정함 (그림 12-1).
- 물성 측정 후, 각 정점별 삿갓조개 5개체를 채집하고 현장에서 플레이트 위에 개체와 스케일 바(30cm 자)를 올려놓은 후 사진 촬영을 함 (그림 12-2).
- 해수 측정 및 생물샘플 채집 후 세종기지로 돌아와 삿갓조개의 각장, 각고, 각폭을 측정하고 다각도 방향으로 개체 사진촬영을 함.
- 삿갓조개의 조직(tissue)은 손가락으로 분리하였고 분리한 조직은 킴텍스(kimtech)로 감싸 3번 털어 물기를 제거한 후 소수점 2번째 자리까지 습중량을 측정함.
- 삿갓조개의 각장, 각고, 각폭 그리고 습중량을 이용해 남극 삿갓조개의 Condition factor (Nash et al., 2006) 계산 및 서식지의 해수 물성에 따른 Condition factor의 경향성을 파악함.

$$CF_m = tissue\ wet\ mass \times shell\ volume^{-1}$$

- 경향성 파악 후 유의미한 통계적 결과가 나타나는 해당 채집 장소의 해수를 BOD bottle에 염화수은으로 고정하여 TA(Total Alkalinity), DIC(Dissolved Inorganic Carbon), Aragonite Saturation & Calcium Saturation을 측정함(이 과정은 조석에 따라, 한 지역에서 2번 이상 반복함).

##### 나. 남극 삿갓조개(*Nacella concinna*) 패각 위 석회조류 면적 파악

- 채집한 삿갓조개의 패각에 붙은 석회조류의 면적을 사진촬영을 통해 측정함.
- 사진은 삿갓조개를 평평한 땅에 놓고, 수직으로 30cm 위에서 촬영함.
- 삿갓조개 서식지의 물성에 따른 석회조류 분포 면적 경향성을 image j 프로그램을 이용하여 파악함 (그림 13).

##### 다. 삿갓조개와 석회조류의 상호관계 파악을 위한 개체 채집 및 실험 환경 유지.



- 해표마을의 동일한 정점(위·경도 표시)에서 삿갓조개의 각장 크기가 유사한 삿갓조개( $\pm 0.5\text{cm}$ )의 패각 위에 석회조류의 분포범위가 패각 면적의 10%가 넘는 개체와 붙어있지 않은 개체를 채집함.
- 2019년 01월 12일 채집이 이뤄졌으며 채집 당시 해수 물성은 다음과 같음 (pH 8.30, 염분 33.27 psu, 용존산소 9.90 mg/L, 온도 2.80°C).
- 채집한 개체는 채집 1시간 이내 세종기지 연구실로 돌아와 보관하였으며, 순치기간 중 pH의 경우 0.1 pH/day 낮았으며, 염분의 경우 0.5 psu/day 높여 pH 8.0, 34psu의 해수물성을 맞춰줌.
- 총 순치기간 7일(01월 12일 ~ 01월 19일)임

#### 라. 삿갓조개와 석회조류의 상호관계 파악을 위한 배양 실험

- 배양 실험은 1월 19일부터 2월 09일까지 총 22일간 진행됨. 본 실험은 저온배양기(PLANT GROWTH CHAMBER SH-303, SEYOUNG SCIENTIFIC CO.)를 사용함.
- 순치한 개체 중 석회조류가 붙어있는 개체 10개체와 붙어있지 않은 개체 10개체를 나눠 진행함(두 그룹은 각장 기준으로 통계적으로 유의미한 차이가 없음 p값 제시).
- pH, 염분, 용존산소, 온도 등의 해수 물성은 24시간 주기로 YSI를 이용하여 측정하였으며 먹이 급여는 실험기간 내에 하지 않았음 (그림 14).
- 비이커의 윗부분은 파라필름으로 밀봉함(그림 14).
- 상호관계에 대해 파악하는 연구이므로 500mL 비이커에 200ml의 해수를 넣고 실험을 진행했으며 세종기지 앞의 해수를 공급받아, pH 8, 염분 34psu 해수를 제작하여 실험을 진행하였으며 매일 해수를 교체하였음(해수 제작 방법은 해수를 일정부분 얼려 얼지 않은 부분은 고염의 해수로 사용했고, 언 해수는 다시 녹여 저염의 해수로 사용함. pH조절은 CO<sub>2</sub> tablet을 사용하여 조절함.) (그림 14).
- 성장률은 7일에 1번 각장, 각고, 각폭을 버니어 캘리퍼스(Mitutoyo 500-702-10 Digimatic Caliper ip67 Abs)을 이용하여 소수점 두 번째 자리까지 측정함.
- 삿갓조개의 사망률은 12시간 간격으로 측정했으며, 습중량은 성장률 측정 시 미세저울(PG2002-S, METTLER TOLEDO)을 통해 소수점 세 번째 자리까지 측정함.

## 2. 연구 내용

- 바톤반도의 조간대를 따라 빙벽에서부터 포터소만 근처까지의 정점을 연구지역으로 함.
- 해양 저서무척추동물인 남극 삿갓조개 및 남극 삿갓조개위에 붙어있는 석회조류를 연구대상으로 함.
- 연구 지역의 해수 물성 측정 및 삿갓조개 시료 채취 후 세종기지에 위치한 연구실에서 삿갓조개의 각장, 각고, 각폭 및 육질의 습중량, 패각의 무게 측정.
- 연구지역의 pH와 염도의 변동이 해양저서무척추동물 삿갓조개에 미치는 영향을 삿갓조개의 건강도지수를 이용하여 파악.
- 남극의 삿갓조개와 삿갓조개의 패각위에 붙어있는 석회조류의 상호관계 및 영향력 추정을 위해 본 연구팀에서는 석회조류의 유무에 따른 삿갓조개 배양실험 연구 수행함.

### 3. 연구 결과

가. 현장의 물성에 따른 삿갓조개의 건강도와 석회조류의 분포 범위

(1) 정점에 따른 환경요인 변화

- 해표마을 정점이 다른 정점에 비해 평균 온도 및 평균 pH가 높게 나타났으며 평균 염분은 낮게 나타남 (2 sample  $t$ -test for pH  $t=12.74$   $\rho < 0.01$  and temperature  $t=9.04$   $\rho < 0.01$  and salinity  $t=-2.67$   $\rho = 0.011$ )
- Site D의 평균 온도는  $5.39 \pm 0.90$  °C, 평균 pH는  $8.53 \pm 0.11$ , 평균 염분은  $31.88 \pm 1.74$  psu 이며, 그 외 지역의 평균온도는  $2.94 \pm 1.33$  °C, 평균 pH는  $8.16 \pm 0.12$ , 평균 염분은  $32.79 \pm 0.66$  psu 임

(2) 현장 물성 변화에 따른 남극 삿갓조개의 건강도(Condition factor)

- 현장의 pH 및 온도 변화와 남극 삿갓조개의 건강도는 유의미한 상관관계를 보이지 않았음 (Pearson correlation coefficient for pH  $\rho = 0.93$ ,  $\gamma = -0.010$  and temperature  $\rho = 0.67$ ,  $\gamma = -0.054$ ) (그림 15).
- 현장의 염도 변화는 남극 삿갓조개의 건강도는 유의미한 음의 상관관계를 보임 (Pearson correlation coefficient for salinity  $\rho = 0.024$ ,  $\gamma = -0.27$ ) (그림 15).

(3) 현장의 물성 변화에 따른 남극 삿갓조개 패각에 붙은 석회조류의 분포범위

- 현장의 염도 변화와 석회조류의 분포정도와 유의미한 상관관계를 보이지 않았음 (Pearson correlation coefficient for salinity  $\rho = 0.98$ ,  $\gamma = -0.003$ ) (그림 16).

- 현장의 pH 및 온도 변화와 석회조류의 분포범위는 유의미한 양의 상관관계를 보임 (Pearson correlation coefficient for pH  $r = 0.51$ ,  $p < 0.05$  and temperature  $r = 0.006$ ,  $r = 0.33$ ) (그림 16,그림 16).

나. 남극 삿갓조개와 착생생물 석회조류 간의 상호작용

(1) 석회조류가 남극 삿갓조개의 건강도(Condition factor)에 미치는 영향

- 22일간의 배양 실험 후, 패각에 석회조류가 붙어있는 삿갓조개 개체와 패각에 석회조류가 붙어있지 않은 삿갓조개 개체 간 건강도의 유의미한 차이가 없었음 (그림 17).
- 패각에 석회조류가 붙어있는 실험군의 건강도의 범위는 0.000735~0.00122이며, 패각에 석회조류가 붙어있지 않은 실험군의 건강도의 범위는 0.000833~0.00141 임.

다. 석회조류가 남극의 삿갓조개의 사망률에 미치는 영향

- 22일간의 배양 실험을 진행하는 동안 석회조류가 붙어있는 실험 군이 석회조류가 붙어있지 않은 실험 군에 비해 사망률이 유의미하게 높았음 (Mann-Whitney  $U$  test,  $P < 0.05$  ).
- 패각에 석회조류가 붙어있는 실험군은 그룹 내 개체 중 10개체(50%)가 사망하였지만 패각에 석회조류가 붙어있지 않은 실험군은 그룹 내 개체 중 2 개체 (10%)가 사망하였음(그림 17).

그림 12-1. 연구지역에서의 샘플 채집



그림 12-2. 삿갓조개 길이 측정



그림 13. image j 프로그램을 이용하여 석회조류 분포 면적 경향성 파악 (a) 샷갯조개 1개체,(b) 샷갯조개 전체 면적 pixel 계산,(c) 분포하지 않은 면적 pixel 계산

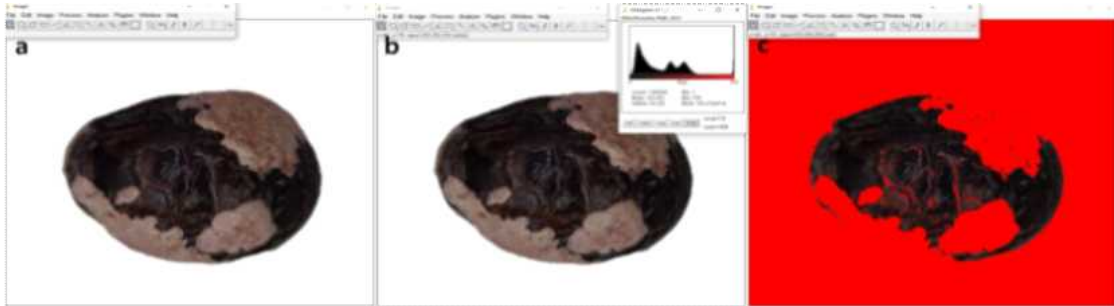


그림 14. 샷갯조개와 석회조류의 상호관계 파악을 위한 배양실험 (a) 샷갯조개의 패각에 붙어있는 석회조류의 유무로 나눈 2개의 실험 군, (b) 500ml의 비커에 1개체씩 넣어 실험 진행함, (c) 매일 해수 물성 측정

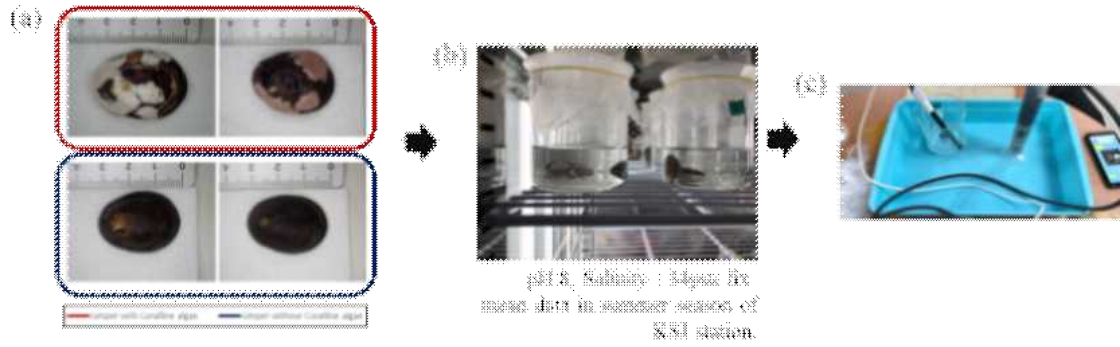


그림 15 현장 해수의 물성 변동에 따른 샷갯조개의 건강도 (a) pH, (b) 염분, (c) 온도

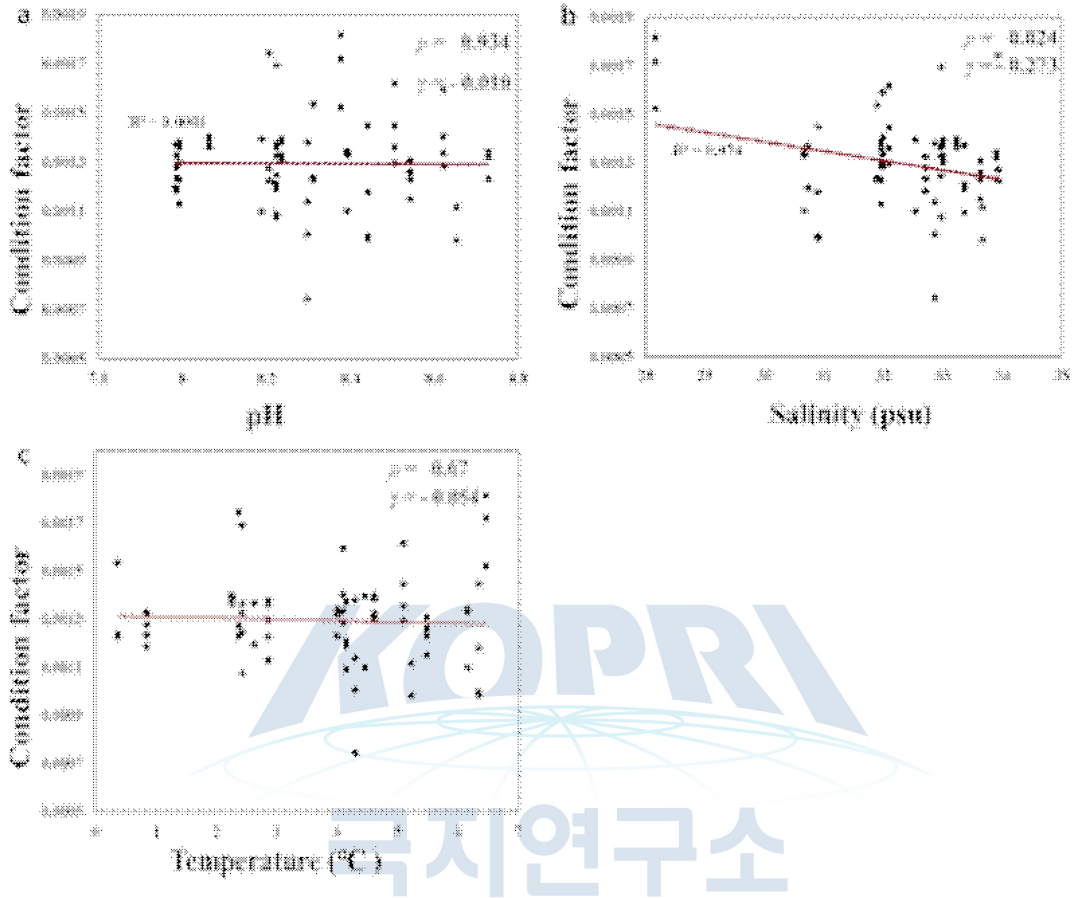




그림 16 현장 해수의 물성 변동에 따른 남극 삿갓조개의 폐각위 석회조류의 분포 면적(%) (a) pH, (b) 염분, (c) 온도

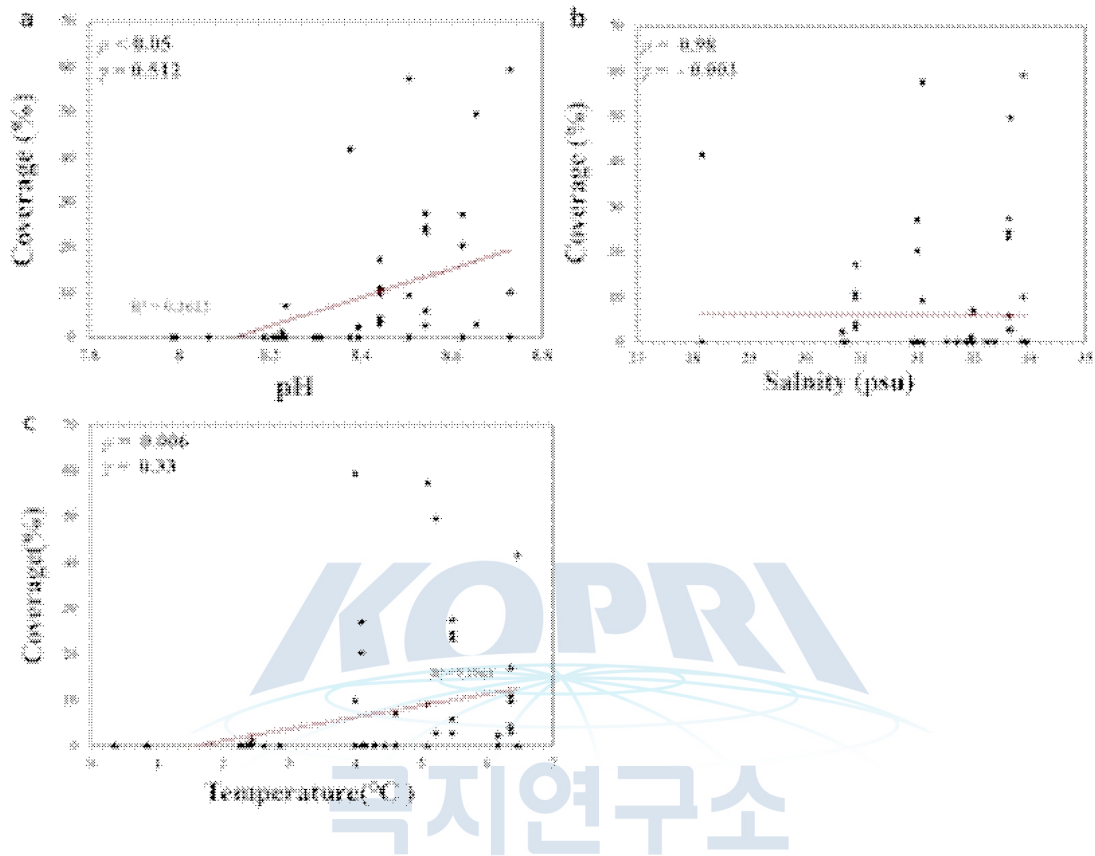
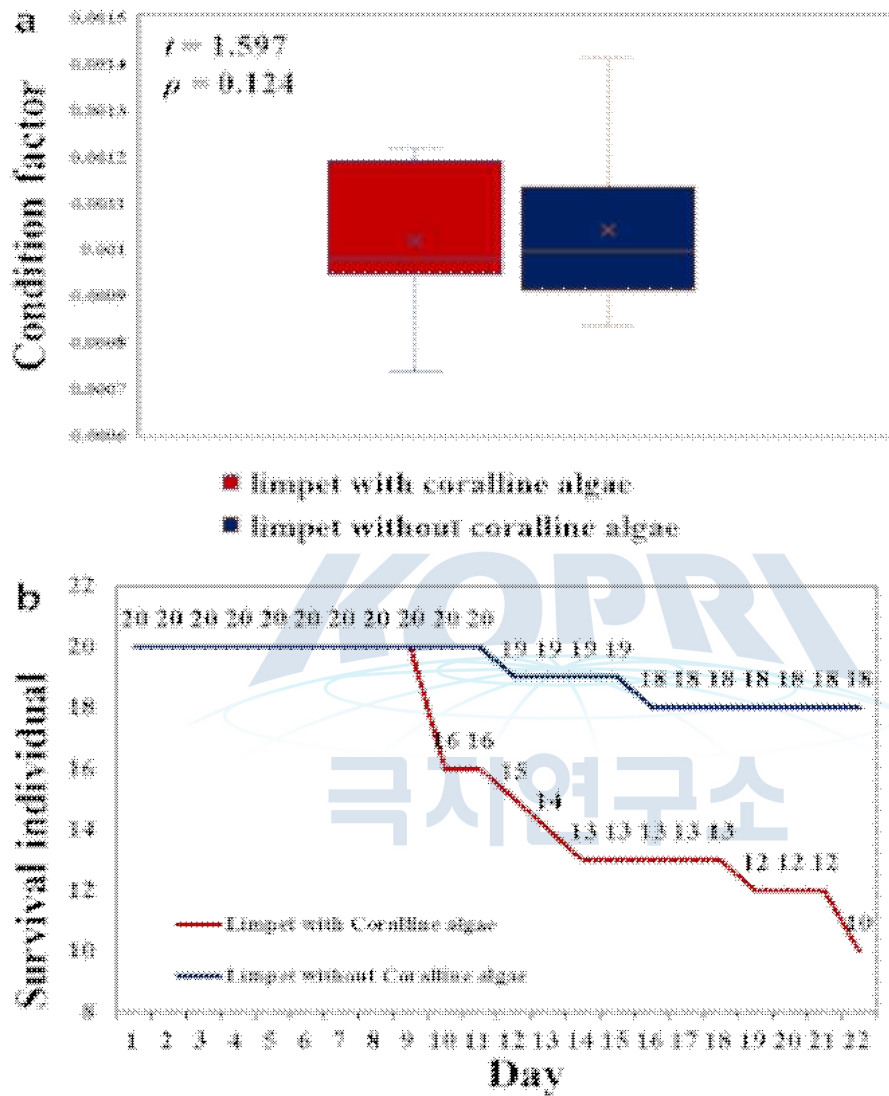


그림 17 삿갓조개 배양실험 결과 (a) 배양실험 후, 생존한 삿갓조개의 건강도 비교, (b) 배양실험 기간 중 삿갓조개의 생존율 비교



## 제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

### 제 1 절 연구개발목표 달성도

#### 1. 평가의 착안점

년도	성과목표	세부목표	가중치	평가의 착안점 및 척도
1차('17)	기존 연구사례 분석과 실험 시나리오 작성	기존연구사례 분석	30	1. 연구의 타당성 2. 채집과 실험이 용이하면서도 생태적으로 중요한 종 3. 실험시나리오의 타당성 4. 본실험을 위한 준비도
		대상종 선정 실험시나리오 작성	20	
		실험시나리오 작성	20	
		예비실험	30	
2차('18)	pH 및 염분 변화에 대한 생물반응 연구	pH 및 염분 변화에 대한 행동 반응 정량화	50	1. 공식 섭취비율 2. 유영비율 3. 은신처 사용률
		pH 및 염분 변화에 대한 생물생리 반응 정량화	50	1. 사망률 2. 탈피율 3. 삼투조절
		pH 및 염분 변화에 대한 단각류 군집 연구	50	1. 개체군 동태 변화 2. 종다양성 변화 3. 생물량 변화
3차('19)	pH 및 염분 변화에 대한 중간 상호작용 연구	pH 및 염분 변화에 대한 석회조류와 삿갓조개의 공생	50	1. 성장률 2. 사망률 3. 현장 pH와 염분 변화에 따른 중간 상호작용 경향성 정량화

2. 연구개발목표 달성도

성과목표	세부목표		달성 주요내용	달성도(%)
1. 기존 연구사례 분석과 실험 시나리오 작성	1-1	기존 사례연구 분석과 대상종 선정	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해양 담수화와 산성화에 대해 해양생물들이 받는 행동 및 생리 스트레스에 대한 연구들은 다수 존재함.</li> <li>- 그러나 위 두가지 기후 스트레스 인자가 동시에 작용할 때 남극 해양무척추동물이 어떠한 영향을 받는지에 대한 연구는 매우 미흡한 실정임.</li> <li>- 종 채집의 접근성, 배양 용이성, 실험 가능성 등을 고려해 남극 단각류 <i>Gondogeneia antarctica</i>와 삿갓조개 <i>Nacella concinna</i>를 실험 대상으로 선정함.</li> </ul>	- 100%
	1-2	실험시나리오 작성 및 예비 실험	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 남극 단각류와 삿갓조개를 대상으로 하는 실험의 세팅을 구성함(ambient: 34 psu, pH 8.0, treatment: 27 psu, pH 7.6).</li> <li>- 각 생물종의 행동과 생리반응 평가를 위한 지표를 선정함(사망률, 성장률, 섭식활동, 포식자회피행동 등).</li> <li>- 대상종의 분류군에서 한국에 서식하는 생물종을 대상으로 7월부터 10월까지 예비실험을 진행함.</li> </ul>	- 학술대회발표(100%)

2. pH 및 염분 변화에 대한 생물반응 연구	2-1	pH 및 염분 변화에 대한 생물 행동 반응	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 실험 기간 동안 낮은 염분 효과는 남극 단각류 <i>G. antarctica</i> 의 공식(cannibalism)을 유의하게 증가시켰으며, 유영 행동을 유의하게 변화시킴 (낮: 증가, 밤: 감소).</li> <li>- 낮은 pH는 <i>G. antarctica</i>의 사망률과 먹이반응행동을 유의하게 감소시킴.</li> <li>- 낮은 염분과 pH 각 요인은 낮 시간 동안 <i>G. antarctica</i>의 은신처 사용 행동을 유의하게 감소시킴.</li> <li>- 낮은 염분과 pH 요인의 상호작용에 의한 효과는 발생하지 않았음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-학술대회발표 (100 %)</li> <li>-논문발표(100 %)</li> </ul>
	2-2	pH 및 염분 변화에 대한 생물 생리 반응	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 낮은 염분과 pH는 단각류의 대사 스트레스를 유발하였는데, 낮은 염분은 삼투 스트레스를 유발하여 대사율을 증가시킴.</li> <li>- 샷갯조개는 산성화 및 저염분 조건 하에서 복원행동과 삼투조절 및 사망률이 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-학술대회발표 (100 %)</li> <li>-논문발표(100 %)</li> </ul>

3. pH와 염분 변화에 따른 종간 상호작용 연구	3-1	pH 및 염분 변화에 대한 단각류 군집 분포	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 마리안소만 내측의 빙벽에서부터 가까워질수록 조간대 해수의 pH가 유의미하게 감소함(<math>F=35.537, P&lt;0.001</math>).</li> <li>- 해수의 pH가 감소할수록 단각류 군집의 Shannon index가 유의미하게 감소함(<math>F=5.146,</math> <math>P=0.027</math>).</li> <li>- pH가 감소할수록 <i>G. antarctica</i> 의 개체수가 유의미하게 감소함(<math>F=13.444, P=0.003</math>).</li> <li>- 염도가 감소할수록 <i>G. antarctica</i> 의 개체수가 유의미하게 감소함(<math>F=4.983, P=0.042</math>).</li> </ul>	-학술대회발표 (100 %)
	3-2	pH 및 염분 변화에 대한 삿갓조개와 석회조류의 상호작용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현장의 pH와 염도는 남극삿갓조개의 건강도(condition factor)에 유의미한 영향을 주지 않았음(<math>P&gt;0.05</math>).</li> <li>- pH &amp; 염도 복합인자 변화에 따른 삿갓조개와 석회조류의 공존은 유의미한 영향을 받음.</li> <li>- 패각에 석회조류를 포함하는 삿갓조개가 그렇지 않은 개체에 비해 사망률이 유의미하게 높았음(<math>P&lt;0.05</math>).</li> <li>- 패각에 석회조류를 포함하는 삿갓조개가 그렇지 않은 개체에 비해 배양 기간 중 습중량이 유의미하게 증가함(<math>P&lt;0.05</math>).</li> </ul>	-

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 제 1 절 추가연구의 필요성

- 본 연구 과제를 통해 남극생물들이 마리안 소만 빙하 감소로 인해 발생하는 여러 스트레스 요인의 영향에 대해 규명함.
- 남극 단각류 *Gondogeneia antarctica*는 해양 담수화와 산성화에 의해 행동과 생리에 부정적 영향을 받는 것으로 조사됨.
- 그러나 실험 기간 동안 낮은 염분과 낮은 pH의 복합 영향은 단각류의 행동과 생리에 영향을 미치지 않음.
- 자연상태에서 *G. antarctica* 개체군은 pH와 염분 변동에 대해 유의미한 변동을 보였으며 특히 낮은 염분과 낮은 pH에 대해 개체수가 유의미하게 감소했음.
- 마리안소만의 조간대에 서식하는 단각류 군집은 해수의 pH에 대해 양의 상관관계를 보였으며 염분에 대한 유의미한 변화는 나타나지 않았음.
- 마리안소만 다각류 군집을 구성하는 종은 서로 다른 niche를 갖고 공존하는 것으로 보여짐.
- 남극 삿갓조개 *Nacella concinna*는 해수의 염분변동에 음의 상관관계를 보였으며 해수의 pH에 대한 유의미한 영향을 나타나지 않았음.
- 남극 삿갓조개의 패각에 붙은 석회조류는 해수의 pH에 대해 양의 상관관계를 보였으며 염분에 대한 유의미한 변화는 나타나지 않았음.
- 석회조류의 유무에 따른 삿갓조개 배양실험 연구를 통해 석회조류가 삿갓조개의 생존에 부정적인 영향을 준다는 것을 확인함.
- 본 연구 과제는 실험 연구를 통해 해양 담수화와 산성화 스트레스의 단기적 영향 연구 및 변동 가능성이 존재하는 현장 염분 및 pH 데이터에 기반하는 연구에 집중함.
- 기후변화 스트레스 중에서도 장기적으로 변화하는 요인들에 남극 해양 생물들이 어떻게 반응하는 지에 대해 예측 및 검증할 수 있는 연구의 필요성이 대두됨.
- 특히, 지난 십 수 년 전부터 서남극반도 혹은 마리안 소만의 해수 환경이 어떻게 변해왔고 그에 따라 해양생물의 컨디션이 어떻게 변해왔는지에 대한 연구도 필요함.
- 일례로, 장기적으로 샘플링되어 온 남극 큰따조개 패각을 이용한 연구가 진행될 수 있을 것임.
- 본 연구 과제는 기후변화로 인해 마리안 소만에서 발생 가능한 스트레스 요인 중 해양 담수화와 산성화에 초점을 두었으며, 다른 환경요인 변화(e.g. 수온 상

승, 탁도 감소 등)에 대한 연구는 진행하지 않음.

- 기후변화로 인해 발생하는 환경 스트레스 인자는 동시적 복합적으로 발생하기 때문에, 보다 정확한 이해를 위해 타 요인을 고려한 실험실 및 현장 연구 필요성이 대두됨.
- 일레로, 수온, 염분, pH 등의 복합인자들을 고려한 마리안 소만 생태계를 대표 가능한 남극 해양생물들(e.g. 단각류와 삿갓조개)의 군집 변화 연구 및 실험실 연구가 가능할 것임.

## 제 2 절 연구결과의 활용 계획

- 본 연구 과제를 토대로 해양 담수화와 산성화에 남극 해양 동물이 어떠한 영향을 받는지에 대해 전반적으로 예측 가능.
- 행동 및 생리 반응에 대한 실험 연구 결과를 토대로 낮은 염분과 낮은 산성 조건이 남극 단각류 *Gondogeneia antarctica*의 행동 및 생리 변화 유발을 어떻게 하는지에 대해 제시.
- *G. antarctica*의 사망률, 공식률, 탈피 빈도, 먹이 감지 행동, 유영 및 피난처 이용 행동 등이 스트레스에 대해 각기 다른 반응을 보임을 토대로 하여, 위 행동 및 생리 지표들이 또 다른 기후변화 스트레스 인자 및 복합적 스트레스에 대해 어떻게 변하는지를 측정한다면 단각류가 받는 스트레스를 평가할 때 용이할 것으로 예상.
- 또한 마리안 소만 환경에서 우점하는 단각류인 *G. antarctica*가 기후변화 스트레스에 민감하게 반응함을 토대로, 마리안 소만 혹은 서남극반도 연안 생태계 건강을 대표 가능한 생물종 중 하나가 될 수 있음을 제시.
- 단각류 생태 연구 결과를 바탕으로 단각류 군집과 상호작용하는 상위영양단계 생물의 변동을 예측할 수 있으며 마리안소만 일대의 생태모형을 제작하는데에 기초자료로 활용하는 것이 가능함.
- 조사 결과를 토대로 선행 연구된 단각류와 근연관계에 있는 단각류의 개체군 동태 역시 어느 정도 파악하는 것이 가능할 것으로 사료됨.
- 마리안 소만의 조간대의 해수 물성 변화가 흔하게 발견되는 해양 저서무척추동물 *Nacella concinna*에게 미치는 영향에 대한 현장 연구 결과를 토대로, 현재 서남극반도의 해양환경변화가 저서생물에게 어떠한 영향을 미치는지에 대해 제시.
- *N. concinna*와 패각에 붙은 석회조류의 상호관계에 대한 실험 연구 결과를 토대로 남극의 피착생생물(basibiont)에 대해 착생생물(epibiont)의 영향력 제시.



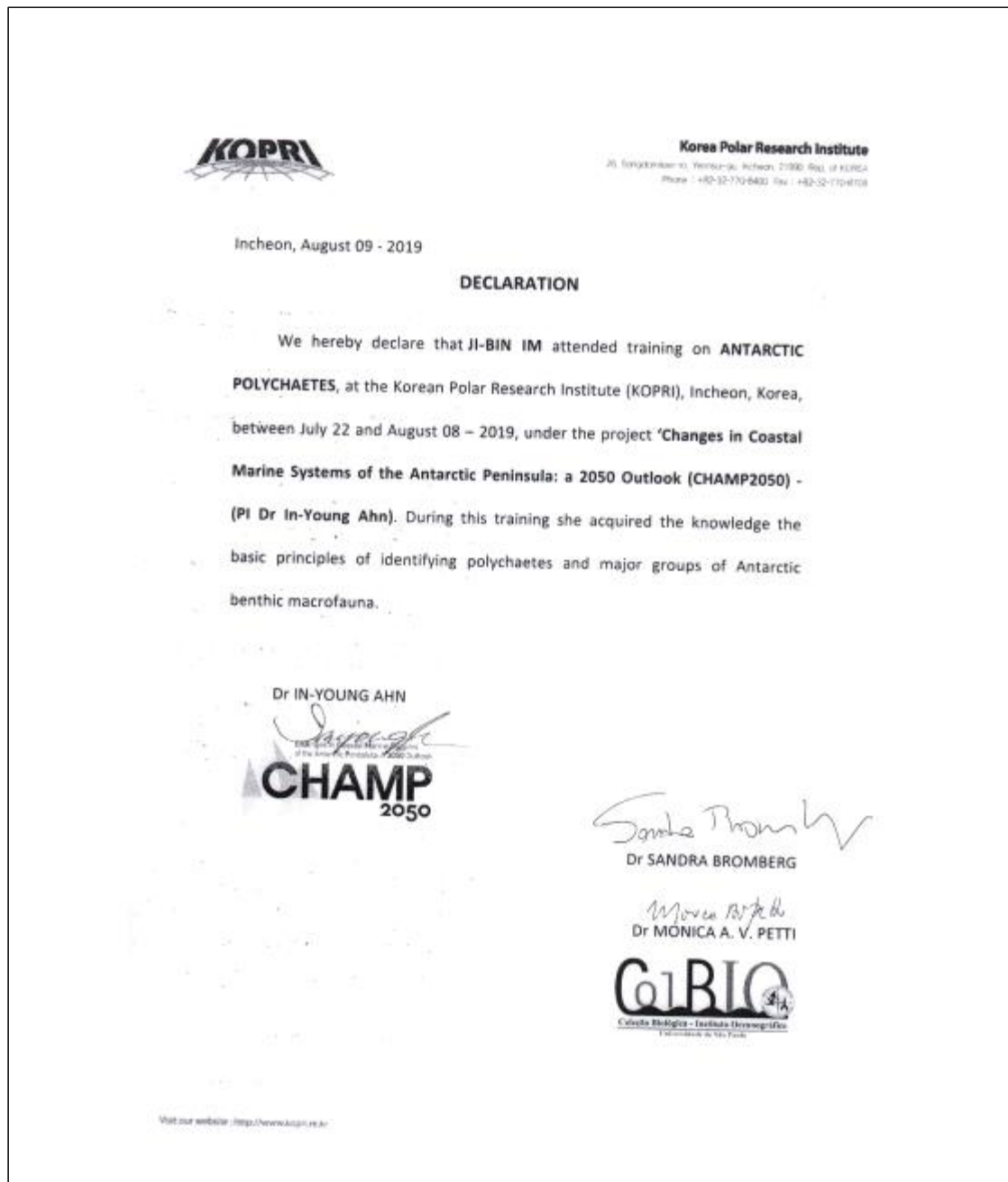


## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

- Workshop 참여를 통해 해외 인사로부터 남극 마리안소만(the Marian Cove)조 하대에 서식하는 다모류(polychaeta) 해부 및 분류기술을 습득.

- Workshop 추진 기관: 극지연구소

- 참여 기간: 2019 년 07 월 22일 ~ 2019 년 08월 08일



## 제 7 장 참고문헌

1. Aarset, A., Aunaas, T., 1987. Osmotic responses to hyposmotic stress in the amphipods *Gammarus wilkitzkii*, *Onisimus glacialis* and *Parathemisto libellula* from Arctic waters. *Polar Biology* 7, 189-193.
2. Aarset, A., Aunaas, T., 1990. Effects of osmotic stress on oxygen consumption and ammonia excretion of the Arctic sympagic amphipod *Gammarus wilkitzkii*. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.*, 217-224.
3. Ahn, I.Y., Chung, K.H., Choi, H.J., 2004. Influence of glacial runoff on baseline metal accumulation in the Antarctic limpet *Nacella concinna* from King George Island. *Mar. Pollut. Bull.* 49, 119-127.
4. Ahn, I.Y., Moon, H.W., Jeon, M., Kang, S.H., 2016. First Record of Massive Blooming of Benthic Diatoms and Their Association with Megabenthic Filter Feeders on the Shallow Seafloor of an Antarctic Fjord: Does Glacier Melting Fuel the Bloom? *Ocean Sci. J.* 51, 273-279.
5. Amsler, C.D., Iken, K., McClintock, J.B., Amsler, M.O., Peters, K.J., Hubbard, J.M., Furrow, F.B., Baker, B.J., 2005. Comprehensive evaluation of the palatability and chemical defenses of subtidal macroalgae from the Antarctic Peninsula. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* 294, 141-159.
6. Amsler, M.O., McClintock, J.B., Amsler, C.D., Angus, R.A., Baker, B.J., 2009. An evaluation of sponge-associated amphipods from the Antarctic Peninsula. *Antarct. Sci.* 21, 579-589.
7. Aumack, C.F., Amsler, C.D., McClintock, J.B., Baker, B.J., 2011. Changes in amphipod densities among macroalgal habitats in day versus night collections along the Western Antarctic Peninsula. *Mar. Biol.* 158, 1879-1885.
8. Bates, N. R. and Mathis, J. T.: 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.
9. Bednaršek, N., Feely, R. A., Reum, J. C. P., Peterson, B., Menkel, J., Alin, S. R., Hales, B. 2014. *Limacina helicina* shell dissolution as an indicator of declining habitat suitability owing to ocean acidification in the California current ecosystem. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1785).
  10. Bednaršek, N., Tarling, G. A., Bakker, D. C., Fielding, S., Cohen, A., Kuzirian, A., McCorkle, D., Lézé, B., Montagna, R. 2012. Description and quantification of pteropod shell dissolution: a sensitive bioindicator of ocean acidification. *Global Change Biology*, 18(7), 2378–2388.
  11. biology and ecology of the Antarctic limpet *Nacella concinna*. *Polar Biology* 38, 1949 - 1969.
  12. Caldeira, K., and Wickett, M. E. 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. *Science*, 425: 365.
  13. Caldeira, K., and Wickett, M. E. 2005. Ocean model predictions of chemistry changes from carbon dioxide emissions to the atmosphere and ocean. *Journal of Geophysical Research*, 110: C09S04. doi:10.1029/JC002671.
  14. Clark, M.S., Fraser, K.P.P., Peck, L.S., 2008. Antarctic marine molluscs do have an HSP70 heat shock response. *Cell Stress Chaperon* 13, 39 - 49.
  15. Clarke, A. 1996. Benthic marine habitats in Antarctica. *Antarctic Research Series*, 70, 123–133
  16. Clarke, A., 2003. Costs and consequences of evolutionary temperature adaptation. *Trends in Ecology & Evolution* 18, 573–581.
  17. Clarke, A., Murphy, E.J., Meredith, M.P., King, J.C., Peck, L.S., Barnes, D.K.A., Smith, R.C., 2007. Climate change and the marine ecosystem of the western Antarctic Peninsula. *Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci.* 362,

149-166.

18. Collard, M., Ridder, C. D., David, B., Dehairs, F., Dubois, P. 2015. Could the acid-base status of Antarctic sea urchins indicate a better-than-expected resilience to near-future ocean acidification? *Global Change Biology*, 21(2), 605 - 617.
19. Cook, A.J., Holland, P.R., Meredith, M.P., Murray, T., Luckman, A., Vaughan, D.G., 2016. Ocean forcing of glacier retreat in the western Antarctic Peninsula. *Science* 353, 283-286.
20. Cowart, D. A., Ulrich, P. N., Miller, D. C., Marsh, A. G. 2009. Salinity sensitivity of early embryos of the antarctic sea urchin, *Sterechinus neumayeri*, *Polar Biology*, 32(3), 435 - 441.
21. Cowart, D.A., Ulrich, P.N., Miller, D.C., Marsh, A.G., 2009. Salinity sensitivity of early embryos of the Antarctic sea urchin, *Sterechinus neumayeri*. *Polar Biology* 32, 435-441.
22. Cummings, V., Hewitt, J., Rooyen, A. V., Currie, K., Beard, S., Thrush, S., Norkko, J., Barr, N., Heath, P., Halliday, N. J., Sedcole, R., Gomez, A., McGraw, C., Metcalf, V. 2011. Ocean Acidification at High Latitudes: Potential Effects on Functioning of the Antarctic Bivalve *Laternula elliptica*. *PLoS One*, 6(1), e16069.
23. Dauby, P., Scailteur, Y., De Broyer, C., 2001. Trophic diversity within the eastern Weddell Sea amphipod community. *Hydrobiologia* 443, 69-86.
24. De Broyer, C., Chapelle, G., Duchesne, P.-A., Munn, R., Nyssen, F., Scailteur, Y., Van Roozendael, F., Dauby, P., 2001. Structural and ecofunctional biodiversity of the amphipod crustacean benthic taxocoenoses in the Southern Ocean (Belgian Scientific Programme on the Antarctic, Phase IV). BELSPO, Brussels, Belgium, pp. 1-58.
25. de la Haye, K.L., Spicer, J.I., Widdicombe, S., Briffa, M., 2012. Reduced

- pH sea water disrupts chemo-responsive behaviour in an intertidal crustacean. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 412, 134–140.
26. de Lavergne, C., Palter, J.B., Galbraith, E.D., Bernardello, R., Marinov, I., 2014. Cessation of deep convection in the open Southern Ocean under anthropogenic climate change. *Nat. Clim. Chang.* 4, 278–282.
  27. Dick, J.T.A., Platvoet, D., 2000. Invading predatory crustacean *Dikerogammarus villosus* eliminates both native and exotic species. *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.* 267, 977–983.
  28. Dickinson, G. H., Matoo, O. B., Tourek, R. T., Sokolova, I. M., Beniash, E. 2013. Environmental salinity modulates the effects of elevated CO<sub>2</sub> levels on juvenile hard-shell clams, *Mercenaria mercenaria*. *Journal of Experimental Biology*, 216(14), 2607–2618.
  29. Dickinson, G.H., Matoo, O.B., Tourek, R.T., Sokolova, I.M., Beniash, E., 2013. Environmental salinity modulates the effects of elevated CO<sub>2</sub> levelsonjuvenilehard-shellclams, *Mercenaria mercenaria*. *J. Exp. Biol.* 216, 2607–2618.
  30. Dickinson,G.H.,Ivanina,A.V.,Matoo,O.B.,Pörtner,H.O.,Lannig,G.,Bock,C.,Beniash,E.,Sokolova,I.M.2011.InteractiveeffectsofsalinityandelevatedCO<sub>2</sub>levelsonjuvenileeasternoysters, *Crassostrea virginica*. *Journal of Experimental Biology*, 215(1), 29–43.
  31. Dierssen, H. M., Smith, R. C., & Vernet, M. 2002. Glacial meltwater dynamics in coastal waters west of the Antarctic peninsula. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(4), 1790–1795.
  32. Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. 2009. Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem. *Annual review of marine science*, 1, 169–192.
  33. Doyle, S.R., Momo, F.R., Brethes, J.C., Ferreyra, G.A., 2012. Metabolic

- rate and food availability of the Antarctic amphipod *Gondogeneia antarctica* (Chevreux 1906): seasonal variation in allometric scaling and temperature dependence. *Polar Biology* 35, 413-424.
34. Fabry, V. J., Seibel, B. A., Feely, R. A., & Orr, J. C. ,2008, Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science*, 65(3), 414-432.
  35. Fabry, V.J., Seibel, B.A., Feely, R.A., Orr, J.C., 2008. Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES J. Mar. Sci.* 65, 414-432.
  36. Fanini, L., Marchetti, G.M., Baczewska, A., Sztybor, K., Scapini, F., 2012. Behavioural adaptation to different salinities in the sandhopper *Talitrus saltator* (Crustacea: Amphipoda): Mediterranean vs Baltic populations. *Mar. Freshw. Res.* 63, 275-281.
  37. Favero, M., Silva, P., Ferreyra, G., 1997. Trophic relationships between the kelp gull and the Antarctic limpet at King George Island (South Shetland Islands, Antarctica) during the breeding season. *Polar Biol* 17, 431 - 436.
  38. Feely, R.A., Doney, S.C., Cooley, S.R., 2009, Ocean acidification: present conditions and future changes. *Oceanography* 22, 36 - 47.
  39. Feely, R.A., Sabine, C.L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V.J., Millero, F.J., 2004, Impact of Anthropogenic CO<sub>2</sub> on the CaCO<sub>3</sub> System in the Oceans. *Science* 305, 362 - 366.
  40. Felten, V., Guerold, F., 2004. Haemolymph [Na<sup>+</sup>]and[Cl<sup>-</sup>]loss in *Gammarus fossarum* exposed in situ to a wide range of acidic streams. *Dis. Aquat. Org.* 61, 113-121.
  41. Fraser, K.P.P., Clarke A., Peck, L.S., 2002. Feast and famine in Antarctica: seasonal physiology in the limpet *Nacella concinna*. *Mar*

Ecol Prog Ser 242, 169 - 177.

42. Freire, C.A., Cavassin, F., Rodrigues, E.N., Torres, A.H., McNamara, J.C., 2003. Adaptive patterns of osmotic and ionic regulation, and the invasion of fresh water by the palaemonid shrimps. *Comp. Biochem. Physiol. A-Mol. Integr. Physiol.* 136, 771-778.
43. Goddard, P.B., Dufour, C.O., Yin, J.J., Griffies, S.M., Winton, M., 2017. CO<sub>2</sub>-Induced Ocean Warming of the Antarctic Continental Shelf in an Eddyding Global Climate Model. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 122, 8079-8101.
44. Gomes, V., Passos, M., Leme, N.M.P., Santos, T.C.A., Campos, D.Y.F., Hasue, F.M., Phan, V., 2009. Photo-induced toxicity of anthracene in the Antarctic shallow water amphipod, *Gondogeneia antarctica*. *Polar Biology* 32, 1009-1021.
45. Gomes, V., Passos, M., Rocha, A.J.D., dos Santos, T.D.A., Machado, A.S.D., Ngan, P.V., 2013. Metabolic rates of the Antarctic amphipod *Gondogeneia antarctica* at different temperatures and salinities. *Braz. J. Oceanogr.* 61, 243-249.
46. Guinotte, J.M., Fabry, V.J., 2008. Ocean acidification and its potential effects on marine ecosystems. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134, 320-342.
47. Ha, S.-Y., Ahn, I.-Y., Moon, H.-W., Choi, B., Shin, K.-H., 2019. Tight trophic association between benthic diatom blooms and shallow-water megabenthic communities in a rapidly deglaciated Antarctic fjord. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 218, 258-267.
48. Harley, C.D.G., Hughes, A.R., Hultgren, K.M., Miner, B.G., Sorte, C.J.B., Thornber, C.S., Rodriguez, L.F., Tomanek, L., Williams, S.L., 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecol. Lett.* 9,



228-241.

49. Hauri, C., Doney, S.C., Takahashi, T., Erickson, M., Jiang, G., Ducklow, H.W., 2015. Two decades of inorganic carbon dynamics along the West Antarctic Peninsula. *Biogeosciences* 12, 6761-6779.
50. Hoffman, J.I., Peck, L.S., Hillyard, G., Zieritz, A., Clark, M.S., 2010. No evidence for genetic differentiation between Antarctic limpet *Nacella concinna* morphotypes. *Mar Biol* 157, 765 - 778.
51. Jakubowska, M., Normant-Saremba, M., 2016. The influence of carbon dioxide-induced water acidification on the osmotic and metabolic responses of the Baltic amphipod *Gammarus oceanicus*. *Mar. Freshw. Behav. Physiol.* 49, 173-185.
52. Jażdżewski, K., De Broyer, C., Pudlarz, M., Dauby, P., 2000. Amphipods of a stony beach in the maritime Antarctic. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* 47, 569-577.
53. Jones, E.M., Fenton, M., Meredith, M.P., Clargo, N.M., Ossebaar, S., Ducklow, H.W., Venables, H.J., de Baar, H.J.W., 2017. Ocean acidification and calcium carbonate saturation states in the coastal zone of the West Antarctic Peninsula. *Deep-Sea Res. Part II-Top. Stud. Oceanogr.* 139, 181-194.
54. Kang, S. H., Kang, J. S., Lee, S., Chung, K. H., Kim, D., & Park, M. G. 2001. Antarctic phytoplankton assemblages in the marginal ice zone of the northwestern Weddell Sea. *Journal of Plankton Research*, 23(4), 333-352.
55. Kapsenberg, L., Kelley, A. L., Shaw, E. C., Martz, T. R., & Hofmann, G. E. (2015). Near-shore Antarctic pH variability has implications for the design of ocean acidification experiments. *Scientific reports*, 5, 9638.
56. Kapsenberg, L., Kelley, A.L., Shaw, E.C., Martz, T.R., Hofmann, G.E.,

2015. Near-shore Antarctic pH variability has implications for the design of ocean acidification experiments (vol 5, 9638, 2015). *Scientific Reports* 5.
57. Karelitz, S.E., Uthicke, S., Foo, S.A., Barker, M.F., Byrne, M., Pecorino, D., Lamare, M.D., 2017. Ocean acidification has little effect on developmental thermal windows of echinoderms from Antarctica to the tropics. *Glob. Change Biol.* 23, 657–672.
58. Kim, D., 2001. Seasonality of marine algae and grazers of an Antarctic rocky intertidal, with emphasis on the role of the limpet *Nacella concinna* Strebel (Gastropoda: Patellidae). *Ber Polarforsch Meeresforsch* 397, 1 - 120.
59. Kim, I., Kim, G., Choy, E.J., 2015. The significant inputs of trace elements and rare earth elements from melting glaciers in Antarctic coastal waters. *Polar Res.* 34, 13.
60. Kim, T. W., Taylor, J., Lovera, C., & Barry, J. P. 2015. CO<sub>2</sub>-driven decrease in pH disrupts olfactory behaviour and increases individual variation in deep-sea hermit crabs. *ICES Journal of Marine Science*, 73(3), 613–619.
61. Kim, T.W., Taylor, J., Lovera, C., Barry, J.P., 2016. CO<sub>2</sub>-driven decrease in pH disrupts olfactory behaviour and increases individual variation in deep-sea hermit crabs. *ICES J. Mar. Sci.* 73, 613–619.
62. Lee, J.A., Kim, T.W., 2017. Effects of potential future CO<sub>2</sub> levels in seawater on emerging behaviour and respiration of Manila clams, *Venerupis philippinarum*. *ICES J. Mar. Sci.* 74, 1013–1020.
63. Leif G. Anderson & Staffan Kallin, 2001 Carbon fluxes in the Arctic Ocean – potential impact by climate change, *Polar Research*, 20:2, 225–232.
64. Lim, H.S., Park, Y., Lee, J.Y., Yoon, H.I., 2014. Geochemical

- characteristics of meltwater and pondwater on Barton and Weaver Peninsulas of King George Island, West Antarctica. *Geochem. J.* 48, 409–422.
65. Lischka, S. Büdenbender, J., Boxhammer, T., Riebesell, U. 2011. Impact of ocean acidification and elevated temperatures on early juveniles of the polar shelled pteropod *Limacina helicina*: mortality, shell degradation, and shell growth. *Biogeosciences*, 8, 919–932.
66. Manno, C., Morata, N., Primicerio, R. 2012. *Limacina retroversa*'s response to combined effect of ocean acidification and sea water freshening Estuarine. *Coastal and Shelf Science*, 113, 163–171.
67. Manno, C., Morata, N., Primicerio, R., 2012. *Limacina retroversa*'s response to combined effects of ocean acidification and sea water freshening. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 113, 163–171.
68. Martinson, D.G., 2012. Antarctic circumpolar current's role in the Antarctic ice system: An overview. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.* 335, 71–74.
69. McClintock, J. B., Angus, R. A., McDonald, M. R., Amsler, C. D., Catledge, S. A., Vohra, Y. K. 2009. Rapid dissolution of shells of weakly calcified Antarctic benthic macroorganisms indicates high vulnerability to ocean acidification. *Antarctic Science*, 21(5), 449 - 456.
70. McClintock, J.B., Angus, R.A., McDonald, M.R., Amsler, C.D., Catledge S.A., Vohra Y.K., 2009. Rapid dissolution of shells of weakly calcified Antarctic benthic macroorganisms indicates high vulnerability to ocean acidification. *Antarct Sci* 21, 449 - 456.
71. McGaw, I.J., Reiber, C.L., Guadagnoli, J.A., 1999. Behavioral physiology of four crab species in low salinity. *Biol. Bull.* 196, 163–176.
72. McNeil BI, Matear RJ. 2008. Southern Ocean acidification: a tipping point

- at 450-ppm atmospheric CO<sub>2</sub>. PNAS 105. 18860 - 18864.
73. Montory, J. A., Pechenik, J. A., Diederich, C. M., Chaparro, O. R. 2014. Effects of Low Salinity on Adult Behavior and Larval Performance in the Intertidal Gastropod *Crepidatella peruviana* (Calyptraeidae). PLoS ONE, 9(7), e103820.
74. Moon, H.W., Hussin, W., Kim, H.C., Ahn, I.Y., 2015. The impacts of climate change on Antarctic nearshore mega-epifaunal benthic assemblages in a glacial fjord on King George Island: Responses and implications. Ecol. Indic. 57, 280-292.
75. Munday, P. L., Dixson, D. L., Donelson, J. M., Jones, G. P., Pratchett, M. S., Devitsina, G. V., & Døving, K. B. 2009. Ocean acidification impairs olfactory discrimination and homing ability of a marine fish. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(6), 1848-1852.
76. Nagelkerken, I., Munday, P.L., 2016. Animal behaviour shapes the ecological effects of ocean acidification and warming: moving from individual to community-level responses. Glob. Change Biol. 22, 974-989.
77. Nash, R. D., Valencia, A. H., & Geffen, A. J., 2006. The origin of Fulton's condition factor—setting the record straight. Fisheries 31, 236-238.
78. Nihashi, S., Ohshima, K. I., Jeffries, M. O., & Kawamura, T. 2005. Sea ice melting processes inferred from ice - upper ocean relationships in the Ross Sea, Antarctica. Journal of Geophysical Research: Oceans, 110(C2).
79. Nolan, C.P., 1991. SIZE, SHAPE AND SHELL MORPHOLOGY IN THE ANTARCTIC LIMPET *NACELLA CONCINNA* AT SIGNY ISLAND, SOUTH ORKNEY ISLANDS. Journal of Molluscan Studies 57, 225 - 238.
80. Nyssen, F., Brey, T., Dauby, P., Graeve, M., 2005. Trophic position of Antarctic amphipods - enhanced analysis by a 2-dimensional biomarker

assay. Mar.

81. Orr, J.C., Fabry, V.J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S.C., Feely, R.A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R.M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R.G., Plattner, G.K., Rodgers, K.B., Sabine, C.L., Sarmiento, J.L., Schlitzer, R., Slater, R.D., Totterdell, I.J., Weirig, M.F., Yamanaka, Y., Yool, A., 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437, 681-686.
82. Parker, L.M., Scanes, E., O'Connor, W.A., Coleman, R.A., Byrne, M., Portner, H.O., Ross, P.M., 2017. Ocean acidification narrows the acute thermal and salinity tolerance of the Sydney rock oyster *Saccostrea glomerata*. *Mar. Pollut. Bull.* 122, 263-271.
83. Pierrot, D., Lewis, E., Wallace, D., 2006. MS Excel program developed for CO<sub>2</sub> system calculations, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee.
84. Poore, A.G.B., Graba-Landry, A., Favret, M., Brennand, H.S., Byrne, M., Dworjanyn, S.A., 2013. Direct and indirect effects of ocean acidification and warming on a marine plant-herbivore interaction. *Oecologia* 173, 1113-1124.
85. Purich, A., England, M.H., Cai, W.J., Sullivan, A., Durack, P.J., 2018. Impacts of Broad-Scale Surface Freshening of the Southern Ocean in a Coupled Climate Model. *Journal of Climate* 31, 2613-2632.
86. REVELLE, R. & FAIRBRIDGE, R. 1957. Carbonates and carbon dioxide. *Geological Society of American Memoirs.* 67. 239 - 296.
87. Rückamp, M., Braun, M., Suckro, S., & Blindow, N. 2011. Observed glacial changes on the King George Island ice cap, Antarctica, in the

- last decade. *Global and Planetary Change*, 79(1-2), 99-109.
88. Sabine, C.L., Feely, R.A., Gruber, N., Key, R.M., Lee, K., Bullister, J.L., Wanninkhof, R., Wong, C., Wallace, D.W., Tilbrook, B., 2004. The oceanic sink for anthropogenic CO<sub>2</sub>. *science* 305, 367-371.
89. Schofield, O., Ducklow, H.W., Martinson, D.G., Meredith, M.P., Moline, M.A., Fraser, W.R., 2010. How Do Polar Marine Ecosystems Respond to Rapid Climate Change? *Science* 328, 1520-1523.
90. Schram, J. B., Amsler, M. O., Amsler, C. D., Schoenrock, K. M., McClintock, J. B., Angus, R. A. 2016. Antarctic crustacean grazer assemblages exhibit resistance following exposure to decreased pH. *Marine Biology*, 163(5), 106.
91. Schram, J.B., Schoenrock, K.M., McClintock, J.B., Amsler, C.D., Angus, R.A., 2016. Seawater acidification more than warming presents a challenge for two Antarctic macroalgal-associated amphipods. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* 554, 81-97.
92. Schram, J.B., Schoenrock, K.M., McClintock, J.B., Amsler, C.D., Angus, R.A. , 2014. Multiple stressor effects of near-future elevated seawater temperature and decreased pH on righting and escape behaviors of two common Antarctic gastropods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 457, 90-96.
93. Seibel, B. A., Maas, A. E., Dierssen, H. M. 2012. Energetic Plasticity Underlies a Variable Response to Ocean Acidification in the Pteropod, *Limacina helicina antarctica*. *PLoS ONE*, 7(4), e30464
94. Seibel, B.A., Maas, A.E., Dierssen, H.M., 2012. Energetic plasticity underlies a variable response to ocean acidification in the pteropod, *Limacina helicina antarctica*. *PLoS One* 7, 6.
95. Shakun, J. D., Clark, P. U., He, F., Marcott, S. A., Mix, A. C., Liu, Z., ...

- & Bard, E. 2012. Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation. *Nature*, 484(7392), 49.
96. Shepherd, A., Fricker, H.A., Farrell, S.L., 2018. Trends and connections across the Antarctic cryosphere. *Nature* 558, 223-232.
97. Siegenthaler, U., Stocker, T. F., Monnin, E., Lüthi, D., Schwander, J., Stauffer, B., ... & Jouzel, J. 2005. Stable carbon cycle - climate relationship during the late Pleistocene. *Science*, 310(5752), 1313-1317.
98. Stouffer, R. J., Manabe, S. & Ryan, K. Interhemispheric asymmetry in climate response to a gradual increase of CO<sub>2</sub>. *Nature* 342, 660 - 662 (1989).
99. Suda, C.N., Vani, G.S., de Oliveira, M.F., Rodrigues, E., Lavrado, H.P., 2015. The
100. Takahashi, T., Sutherland, S.C., Chipman, D.W., Goddard, J.G., Ho, C., Newberger, T., Sweeney, C., Munro, D.R., 2014. Climatological distributions of pH, pCO<sub>2</sub>, total CO<sub>2</sub>, alkalinity, and CaCO<sub>3</sub> saturation in the global surface ocean, and temporal changes at selected locations. *Mar. Chem.* 164, 95-125.
101. Vellinger, C., Felten, V., Sornom, P., Rousselle, P., Beisel, J.N., Usseglio-Polatera, P., 2012. Behavioural and physiological responses of *Gammarus pulex* exposed to cadmium and arsenate at three temperatures: Individual and combined effects. *PLoS One* 7, 17.
102. Welladsen, H. M., Southgate P. C., Heimann, K. 2010. The effects of exposure to near-future levels of ocean acidification on shell characteristics of *Pinctada fucata* (bivalvia ; pteriidae). *Molluscan Research*, 30(3), 125 - 130.
103. Whiteley, N.M., 2011. Physiological and ecological responses of crustaceans to ocean acidification. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* 430, 257-271.

104. Wolcott, T.G., Wolcott, D.L., 2001. Role of behavior in meeting osmotic challenges. *Am. Zool.* 41, 795-805.
105. Yamamoto-Kawai, M., McLaughlin, F.A., Carmack, E.C., Nishino, S., Shimada, K., 2009. Aragonite undersaturation in the Arctic Ocean: Effects of ocean acidification and sea ice melt. *Science* 326, 1098-1100.
106. Yamamoto-Kawai, M., McLaughlin, F.A., Carmack, E.C., Nishino, S., Shimada, K., 2009. Aragonite undersaturation in the Arctic Ocean: effects of ocean acidification and sea ice melt. *Science* 326, 1098 - 1100.
107. Yang, Y., Hansson, L., Gattuso, J.P., 2016. Data compilation on the biological response to ocean acidification: an update. *Earth Syst. Sci. Data* 8, 79-87.
108. Yoo, K.C., Lee, M.K., Yoon, H.I., Lee, Y.I., Kang, C.Y., 2015. Hydrography of Marian Cove, King George Island, West Antarctica: implications for ice-proximal sedimentation during summer. *Antarct. Sci.* 27, 185-196.
109. Zamzow, J.P., Amsler, C.D., McClintock, J.B., Baker, B.J., 2010. Habitat choice and predator avoidance by Antarctic amphipods: the roles of algal chemistry and morphology. *Marine Ecology Progress Series* 400, 155-163.



## 제 8 장 부록 - 원자료(Raw data)

### 제 1 절 해양담수화가 산성화가 남극 단각류(*Gondogeneia antarctica*)의 행동에 미치는 영향 연구

Raw data\_Table 1

INPUT CONDITIONS					OUTPUT CONDITIONS		DATA (leave empty if no data)				
Salinity	t(o C)	P (dbars)	Total P (mmol/kg SW)	Total Si (mmol/kg SW)	t(oC)	P (dbars)	TA (mmol/kg SW)	TCO2 (mmol/kg SW)	pH (Chosen Scale)	fCO2 (matm)	pCO2 (matm)
27	2.4	10	1	10	2.4	10	2233.9		7.96		
34	3.1	10	1	10	3.1	10	2755.1		7.58		
34	2.7	10	1	10	2.7	10	2628.5		8.03		
27	3.3	10	1	10	3.3	10	2144.4		7.58		
34	3	10	1	10	3	10	2618.4		7.99		
27	4.4	10	1	10	4.4	10	2362.9		8.00		
34	3.0	10	1	10	3.0	10	2597.1		7.62		
27	3.5	10	1	10	3.5	10	2175.9		7.61		
27	1.5	10	1	10	1.5	10	2343.3		7.56		
27	1.4	10	1	10	1.4	10	2199.3		8.01		
34	0.9	10	1	10	0.9	10	2562.9		8.02		
34	1.6	10	1	10	1.6	10	2868.6		7.59		
27	3.7	10	1	10	3.7	10	1872.9		7.99		
34	2.5	10	1	10	2.5	10	2378.0		8.01		
27	2.6	10	1	10	2.6	10	1904.0		7.98		
34	2.5	10	1	10	2.5	10	2355.2		8.01		
34	2.6	10	1	10	2.6	10	2376.5		7.68		
34	2.6	10	1	10	2.6	10	2580.6		7.99		
34	2.8	10	1	10	2.8	10	2390.0		7.63		
34	3.1	10	1	10	3.1	10	2457.2		7.58		
27	3.4	10	1	10	3.4	10	1879.2		7.61		

RESULTS

(Input

Conditio

ns)

Salinity	t(°C) in	P (dbars) in	Total P (mmol/kg SW)	Total Si (mmol/kg SW)	TA in (mmol/kg SW)	TCO2 in (mmol/kg SW)	pH in	fCO2 in (matm)	pCO2 in (matm)	HCO3 in (mmol/kg SW)	CO3 in (mmol/kg SW)	CO2 in (mmol/kg SW)	B Alk in (mmol/kg SW)	OH in (mmol/kg SW)	P Alk in (mmol/kg SW)	Si Alk in (mmol/kg SW)	Revelle in	WCa in	WAr in	xCO2 in (dry at 1 atm) (ppm)
27	2.4	10	1.00	10.00	2233.9	2190.5	7.960	638.6	641.4	2096.8	#####	#####	25.1	0.408522	1.010953	0.1	19.960	1.37	0.84	645.9
34	3.1	10	1.00	10.00	2755.1	2804.5	7.580	1842.0	1849.8	2663.9	#####	#####	15.9	0.210559	0.969245	0.0	18.279	0.89	0.56	1863.6
34	2.7	10	1.00	10.00	2628.5	2526.1	8.030	585.8	588.3	2400.0	#####	#####	41.4	0.569164	1.023299	0.1	17.259	2.22	1.40	592.6
27	3.3	10	1.00	10.00	2144.4	2197.8	7.580	1539.9	1546.4	2084.6	#####	#####	11.2	0.186962	0.963523	0.0	17.882	0.59	0.36	1558.1
34	3	10	1.00	10.00	2618.4	2529.0	7.990	646.7	649.4	2406.8	####	####	38.4	####	1.019001	0.1	17.763	2.06	1.29	654.2
27	4.4	10	1.00	10.00	2362.9	2299.0	8.000	624.9	627.5	2195.6	####	####	28.7	####	####	0.1	19.231	1.70	1.05	632.7
34	3	10	1.00	10.00	2597.1	2629.5	7.620	1576.2	1582.9	2502.5	####	####	17.3	####	####	0.1	18.686	0.91	0.57	1594.6
27	3.5	10	1.00	10.00	2175.9	2221.0	7.610	1458.8	1464.9	2110.8	####	####	12.1	####	####	0.0	18.461	0.64	0.40	1476.2
27	1.5	10	1.00	10.00	2343.3	2416.4	7.560	1729.4	1736.9	2285.6	####	####	10.2	0.148017	####	0.0	17.295	0.57	0.35	1748.4
27	1.4	10	1.00	10.00	2199.3	2146.5	8.010	550.7	553.1	2053.7	####	####	27.2	####	1.015036	0.1	19.582	1.45	0.89	556.7
34	0.9	10	1.00	10.00	2562.9	2474.5	8.020	575.1	577.6	2356.3	####	####	38.8	####	1.017775	0.1	17.798	2.00	1.25	581.3
34	1.6	10	1.00	10.00	2868.6	2923.9	7.590	1840.9	1848.9	2777.0	####	####	15.6	0.184071	####	0.0	18.334	0.90	0.56	1861.2
27	3.7	10	1.00	10.00	1872.9	1820.8	7.990	502.6	504.7	1740.3	####	####	27.6	####	1.017643	0.1	18.586	1.28	0.79	508.6
34	2.5	10	1.00	10.00	2378.0	2289.0	8.010	555.1	557.5	2177.4	####	####	39.5	####	####	0.1	17.219	1.91	1.20	561.5
27	2.6	10	1.00	10.00	1904.0	1857.7	7.980	518.2	520.4	1777.3	####	####	26.3	####	1.013902	0.1	19.044	1.22	0.75	524.2
34	2.5	10	1.00	10.00	2355.2	2266.6	8.010	549.7	552.0	2156.0	####	####	39.5	####	####	0.1	17.179	1.89	1.19	556.0
34	2.6	10	1.00	10.00	2376.5	2387.7	7.680	1243.0	1248.3	2277.4	####	####	19.5	####	0.981213	0.1	19.022	0.94	0.59	1257.2
34	2.6	10	1.00	10.00	2580.6	2493.9	7.990	634.7	637.4	2374.2	####	####	38.0	####	1.018068	0.1	17.811	2.00	1.26	641.9
34	2.8	10	1.00	10.00	2390.0	2415.9	7.630	1412.1	1418.1	2300.1	####	####	17.6	####	####	0.1	18.602	0.85	0.54	1428.5
34	3.1	10	1.00	10.00	2457.2	2499.4	7.580	1641.7	1648.6	2374.1	####	####	15.9	####	####	0.0	18.068	0.79	0.50	1660.9
27	3.4	10	1.00	10.00	1879.2	1916.6	7.610	1257.3	1262.6	1821.4	####	####	12.0	0.202411	####	0.0	18.176	0.55	0.34	1272.2

RESULTS

(Output  
Conditions)

t(oC) out	P (dbars) out	pH out	fCO2 out (matm)	pCO2 out (matm)	HCO3 out (mmol/kgSW)	CO3 out (mmol/kgSW)	CO2 out (mmol/kgSW)	B Alk out (mmol/kgSW)	OH out (mmol/kgSW)	P Alk out (mmol/kgSW)	Si Alk out (mmol/kgSW)	Revelle out	WCa out	WAr out	xCO2 out (dry at 1 atm) (ppm)
2.400	10.0	7.960	638.6	641.4	2096.8	55.3	38.4	25.1	0.4	1.0	0.1	19.960	1.37	0.84	645.9
3.100	10.0	7.580	1842.0	1849.8	2663.9	37.1	103.5	15.9	0.2	1.0	0.0	18.279	0.89	0.56	1863.6
2.700	10.0	8.030	585.8	588.3	2400.0	92.7	33.4	41.4	0.6	1.0	0.1	17.259	2.22	1.40	592.6
3.300	10.0	7.580	1539.9	1546.4	2084.6	23.7	89.6	11.2	0.2	1.0	0.0	17.881	0.59	0.36	1558.1
3.000	10.0	7.990	646.7	649.4	2406.8	85.8	36.5	38.4	0.5	1.0	0.1	17.763	2.06	1.29	654.2
4.400	10.0	8.000	624.9	627.5	2195.6	68.5	34.9	28.7	0.6	1.0	0.1	19.231	1.70	1.05	632.7
3.000	10.0	7.620	1576.2	1582.9	2502.5	38.0	88.9	17.3	0.2	1.0	0.1	18.686	0.91	0.57	1594.6
3.500	10.0	7.610	1458.8	1464.9	2110.8	25.9	84.2	12.1	0.2	1.0	0.0	18.461	0.64	0.40	1476.2
1.500	10.0	7.560	1729.4	1736.9	2285.6	23.2	107.6	10.2	0.1	1.0	0.0	17.295	0.57	0.35	1748.4
1.400	10.0	8.010	550.7	553.1	2053.7	58.4	34.4	27.2	0.4	1.0	0.1	19.582	1.45	0.89	556.7
0.900	10.0	8.020	575.1	577.6	2356.3	83.1	35.1	38.8	0.5	1.0	0.1	17.798	2.00	1.25	581.3
1.600	10.0	7.590	1840.9	1848.9	2777.0	37.4	109.5	15.6	0.2	1.0	0.0	18.334	0.90	0.56	1861.2
3.700	10.0	7.990	502.6	504.7	1740.3	51.6	28.8	27.6	0.5	1.0	0.1	18.586	1.28	0.79	508.6
2.500	10.0	8.010	555.1	557.5	2177.4	79.8	31.9	39.5	0.5	1.0	0.1	17.219	1.91	1.20	561.5
2.600	10.0	7.980	518.2	520.4	1777.3	49.4	30.9	26.3	0.4	1.0	0.1	19.044	1.22	0.75	524.2
2.500	10.0	8.010	549.7	552.0	2156.0	79.0	31.6	39.5	0.5	1.0	0.1	17.179	1.89	1.19	556.0
2.600	10.0	7.680	1243.0	1248.3	2277.4	39.2	71.2	19.5	0.3	1.0	0.1	19.022	0.94	0.59	1257.2
2.600	10.0	7.990	634.7	637.4	2374.2	83.4	36.3	38.0	0.5	1.0	0.1	17.811	2.00	1.26	641.9
2.800	10.0	7.630	1412.1	1418.1	2300.1	35.5	80.3	17.6	0.2	1.0	0.1	18.602	0.85	0.54	1428.5
3.100	10.0	7.580	1641.7	1648.6	2374.1	33.0	92.3	15.9	0.2	1.0	0.0	18.068	0.79	0.50	1660.9
3.400	10.0	7.610	1257.3	1262.6	1821.4	22.3	72.8	12.0	0.2	1.0	0.0	18.176	0.55	0.34	1272.2

Raw data\_Figure 1

Date	Salinity	pH
180101	34.2	8.01
180102	32.6	8.05
	28.5	8.04
180103	22.5	7.75
	20.2	8.07
180304	34.6	8.03
180305	34.8	8.01
	33.9	7.96
180106	34.6	8.01
	34.7	7.94
180107	35	8.03
	34.7	7.97
180108	33	8
	30.3	7.97
180109	32.3	7.99
	31.9	8
	32.6	7.98
180110	33.1	8
	33.1	8
180111	32.7	8
	33.1	7.99
180112	30.9	8.01
180113	33.1	7.95
	33.1	7.99
180114	32.8	7.98
180115	32.6	7.99
	32.7	7.98
180116	32.5	8
	31.7	7.95
180117	29.7	7.98
180118	32.6	8.02
	32	8
180119	31.9	8
	32.8	8
180120	31	8.02
	32.6	8.03
180121	30.7	8.02

	31.9	8.03
180122	31.1	8.03
	29.8	8.02
180123	32.3	7.98
	32.7	7.98
180124	31.8	7.98
	31.9	7.97
180125	32.7	8
	32.7	7.98
180126	32.6	8
	32.1	7.99
180127	32.2	7.99
	29.6	7.96
180128	24.4	7.92
	23.3	8.01
180129	31.5	7.98
	30.2	8.03
180130	32.8	8.02
	31.6	7.99
180131	32.9	7.99
	33.2	7.96
180201	32.5	7.96
	31	7.96
180202	32.3	7.95
	32.7	7.96
180203	32.8	7.98
	32.7	7.97
180204	32.5	7.98
180205	32.8	8.01
	32.7	8
180206		
180207	31.7	7.98
	29.8	7.99
180208	26.1	7.95
180209	31.5	8.01
	31.4	8.01
180210	32	7.94
	33.3	7.97

Raw data\_Table 2 & Figure 2a

Group	Replicate	Date																									
		01-17	01-18	01-19	01-20	01-21	01-22	01-23	01-24	01-25	01-26	01-27	01-28	01-29	01-30	01-31	02-01	02-02	02-03	02-04	02-05	02-06	02-07	02-08	02-09	02-10	02-11
Control	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
	2	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	7	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	Low salinity	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
13		0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
14		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16		0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
17		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
18		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
19		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.6
20		0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Low pH		21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	22	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	
	23	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
	25	0	0	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	
	Combine d	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		31	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
32		0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
33		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
34		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
35		0	0	0	0	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
36		0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	

Raw data\_Table 2 & Figure 2b

Group	Replicate	Date																								
		01-17	01-18	01-19	01-20	01-21	01-22	01-23	01-24	01-25	01-26	01-27	01-28	01-29	01-30	01-31	02-01	02-02	02-03	02-04	02-05	02-06	02-07	02-08	02-09	02-10
Control	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Low salinity	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13	0	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	17	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Low pH	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Combine d	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	
	33	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	

Raw data\_Table 2 & Figure 2c

Group	Replicate	Date																									
		01-17	01-18	01-19	01-20	01-21	01-22	01-23	01-24	01-25	01-26	01-27	01-28	01-29	01-30	01-31	02-01	02-02	02-03	02-04	02-05	02-06	02-07	02-08	02-09	02-10	02-11
Control	1	0	0	1	1	1	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
	4	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	6	0	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	7	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	8	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	9	0	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
	10	1	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Low salinity	11	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	
	12	0	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	14	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	15	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	
	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	17	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	18	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
	19	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	20	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	
Low pH	21	0	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	22	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	24	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	25	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	26	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	27	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	28	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	29	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	
	30	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	
Combine d	31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	34	0	0	0	1	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	35	0	0	1	2	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	36	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	



Raw data\_Table 3 & Figure 3

Group	Replicate	01-23												total
		10 min	20 min	30 min	40 min	59 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min	110 min	120 min	
Control	1	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
	2	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25
	3	0.2	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0.4
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0	0.2	0.8
	5	0	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
	8	0	0	0	0	0	0.2	0	0.2	0	0	0	0	0.4
	9	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0.4
	10	0	0	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0.333333	0	0.666667
Low salinity	11	0	0.2	0.2	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0	1
	12	0	0	0.2	0	0.2	0	0	0	0.2	0	0	0	0.6
	13	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333333
	14	0.2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6
	15	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
	16	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0.25
	17	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
	18	0.2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6
	19	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4
	20	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25
Low pH	21	0.2	0	0	0.2	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0.8
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25
	24	0.2	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4
	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0.2	0	0.2	0	0	0	0	0.2	0	0.6
	27	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4
	28	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0.2
	29	0	0	0.2	0.2	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0.6
	30	0.4	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6
Combined	31	0	0.2	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0.4
	32	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25
	33	0.25	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75
	34	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0.6
	35	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25
	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0.25

Group	Replicate	10 min	20 min	30 min	40 min	59 min	60 min	01-30						total
								70 min	80 min	90 min	100 min	110 min	120 min	
Control	1	0.25	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
	2	0	0	0	0.25	0	0.25	0	0.5	0	0	0	0	1
	3	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0.2
	4	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0.2	0.6
	5	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0.25	0.25	0.75
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.6
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0.333333
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	0.2	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0.4
Low salinity	12	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	
	13	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0.25	
	15	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25	
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25	
	18	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	21	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
Low pH	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	29	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Combined	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	32	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25
	33	0	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0.333333
	34	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0.6
	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

		02-06													
Group	Replicate	10 min	20 min	30 min	40 min	59 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min	110 min	120 min	total	
Control	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0.5	
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	0	0	0	0.25	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0.5	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0	0	0.333333
	8	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0.2	0	0	0.4
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0.5
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0.25	0.5
Low salinity	12	0	0	0.25	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0.5	
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	15	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	18	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25
	19	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25
	20	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25
	21	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0.25
Low pH	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	24	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0.25	
	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	26	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	
	27	0	0.25	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0.5	
	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0.2	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4
	30	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
Combined	31	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0.25	
	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0.25	
	33	0	0.333333	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0.666667	
	34	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25	
	35	0	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0.333333	
	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Group	Replicate	02-11												total	
		10 min	20 min	30 min	40 min	59 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min	110 min	120 min		
Control	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0.25	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333333	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	0.25	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0.25	0	0	0.75	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0	0.333333	
	8	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0.2	0	0	0	0.4	
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Low salinity	12	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0.25	0	0	0.5
13		0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0.5	
14		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15		0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0.25	
16		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19		0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	
20		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Low pH		22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	29	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0.5	
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	
	Combined	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
35		0	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333333	
36		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Raw data\_Table 4 & Figure 4

Swimming		Date																							
Group	Replicate	01-18	01-19	01-20	01-21	01-22	01-23	01-24	01-25	01-26	01-27	01-28	01-29	01-31	02-01	02-03	02-04	02-05	02-06	02-07	02-08	02-09	02-10	02-11	
Control	1	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10	0	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Low salinity	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	15	0	0	0	0.2	0.2	0	0.2	0.25	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	
	16	0	0	0	0.25	0	0	0.25	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	17	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	18	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	19	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Low pH	21	0	0	0	0.2	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	24	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	26	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	27	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	29	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	
	30	0	0	0	0.2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	
Combined	31	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	32	0	0	0	0	0.25	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	33	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	34	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	
	36	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Shelter use		Date																							
Group	Replicate	01-18	01-19	01-20	01-21	01-22	01-23	01-24	01-25	01-26	01-27	01-28	01-29	01-31	02-01	02-03	02-04	02-05	02-06	02-07	02-08	02-09	02-10	02-11	
Control	1	1	1	1	1	1	1	0.8	1	1	1	1	1	1	1	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	3	1	1	1	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1	1	1	0.666667	0.333333	1	1	1	1	1	1	1	1	
	4	1	1	1	1	1	1	0.8	0.8	1	1	1	0.8	0.8	0.75	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	
	5	1	1	1	1	1	0.8	1	1	1	0.75	1	1	1	0.75	0.75	1	1	0.75	0.75	1	1	1	1	
	6	1	1	1	1	1	1	0.666667	1	1	1	1	1	1	0.666667	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	
	7	1	1	0.8	1	0.8	1	1	0.333333	0.666667	0.666667	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	8	1	1	1	0.8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.8	0.8	1	1	1	1	1	0.8	1	1
	9	1	1	1	1	1	1	1	1	0.8	1	0.75	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	10	1	1	1	1	1	1	0.666667	0.666667	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Low salinity	11	1	1	1	1	1	1	1	0.6	1	0.6	1	0.8	0.8	1	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1
12		1	1	1	1	1	1	1	0.6	1	1	1	0.8	1	1	0.6	1	1	1	1	1	1	1	1	
13		1	1	1	0.666667	1	0.666667	1	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	
14		1	1	1	1	1	1	1	0.8	0.8	1	1	0.75	1	1	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	
15		1	0.6	1	0.8	0.8	1	0.8	0.75	1	1	0.5	1	1	0.5	0.75	1	1	0.75	1	0.75	0.75	1	1	
16		0.6	1	1	0.75	1	1	0.75	1	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
17		1	1	1	0.75	1	1	1	0.75	1	1	1	0.75	1	1	0.666667	1	1	1	1	1	1	1	1	
18		1	1	1	1	1	1	0.6	0.8	1	0.75	1	0.75	0.75	1	1	1	0.75	1	1	1	1	1	1	
19		0.8	1	1	1	1	1	0.8	1	1	0.6	0.4	0.8	0.75	1	1	1	1	1	1	0.75	1	1	1	
20		1	0.8	1	0.75	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	1	0.75	0.5	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75	
Low pH	21	1	1	1	0.6	1	0.8	0.8	1	1	1	1	1	1	0.8	0.75	1	1	1	1	1	1	1		
	22	1	1	1	1	1	1	0.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.666667	0.666667	1	1	1	1	1	1	1		
	24	0.8	1	1	0.8	1	1	1	0.8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	25	0.8	0.8	1	1	1	1	1	1	0.333333	1	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	26	1	0.8	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	0.8	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	27	1	1	1	0.8	1	1	0.8	0.8	1	0.8	0.6	1	1	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1		
	28	1	1	1	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.8	1	0.5	1	1	0.75	0.75	1	0.75	1	1	1	1	1		
	29	1	1	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8	1	0.8	0.8	1	0.8	0.8	1	1	0.8	1	1	0.6	0.8	1	
	30	1	0.8	1	0.8	0.4	1	1	0.6	1	1	1	1	0.8	1	0.6	1	0.8	1	0.8	1	1	1	0.8	
Combined	31	1	1	1	0.8	0.8	0.8	0.6	1	1	0.75	1	1	0.75	0.75	0.75	1	1	1	1	1	1	0.75		
	32	1	1	1	1	0.75	1	0.75	1	0.75	1	0.8	0.75	1	1	1	1	1	1	1	0.75	1	1	1	
	33	1	1	1	1	0.75	1	1	0.5	0.5	1	1	0.75	1	0.333333	1	1	1	1	1	1	1	1		
	34	1	1	0.8	0.8	0.8	1	1	0.8	1	1	1	0.8	0.8	0.8	1	1	1	1	1	1	1	1		
	35	1	1	1	1	0.75	1	1	0.666667	0.666667	1	1	0.666667	1	0.666667	0.666667	1	1	1	1	1	1	1	1	
	36	0.8	1	1	0.75	1	1	0.75	0.75	1	1	1	0.75	0.666667	1	1	1	1	1	1	1	0.666667	0.333333	1	1

Bottom		Date																							
group	replicate	01-18	01-19	01-20	01-21	01-22	01-23	01-24	01-25	01-26	01-27	01-28	01-29	01-31	02-01	02-03	02-04	02-05	02-06	02-07	02-08	02-09	02-10	02-11	
Control	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0.333333	0.666667	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0.2	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0	
	6	0	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	
	7	0	0	0.2	0	0	0	0	0.666667	0.333333	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0.2	0	
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10	0	0	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Low salinity	11	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13	0	0	0	0.333333	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	14	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0.25	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	
	15	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0.5	0.25	0	0	0.25	0	0.25	0	0	0	
	16	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	17	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0.25	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	
	18	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	
	19	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.6	0.2	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	
	20	0	0.2	0	0.25	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0.25	0.5	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25	
Low pH	21	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.25	0	0	0	0	0	0	0		
	22	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333333	0.333333	0	0	0	0	0	0	0		
	24	0.2	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	25	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0.666667	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	26	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	27	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0		
	28	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	0.2	0	0.5	0	0	0.25	0.25	0	0.25	0	0	0	0	0		
	29	0	0	0.2	0	0	0	0	0.4	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0.4	0.2		
	30	0	0.2	0	0	0.2	0	0	0.4	0	0	0	0	0.2	0	0.4	0	0	0	0	0.2	0	0	0.2	
Combined	31	0	0	0	0.2	0	0	0.4	0	0	0.25	0	0	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25		
	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0.2	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0		
	33	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0		
	34	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0		
	35	0	0	0	0	0.25	0	0	0.333333	0	0	0	0.333333	0	0.333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	36	0.2	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0.333333	0.666667	0	0	

Raw data\_Table 5 & Figure 5

Swimming		Date													
Group	Replicate	01-18	01-19	01-20	01-22	01-24	01-26	01-29	01-31	02-04	02-07	02-09	02-13	02-15	
Control	1	0	0.2	0	0.2	0	0	0	0.25	0.5	0	0	0	0	
	2	0.4	0	0.2	0	0	0	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0	0	
	3	0.2	0	0.2	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0	0	
	4	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0.666667	0	0	0	0	
	5	0.2	0	0	0	0	0	0.25	0	0.25	0	0	0	0	
	6	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	0.6	0	0	0	0	0	0.333333	0	0	0.333333	0	0	0	0
	8	0	0	0	0.2	0	0.2	0	0	0.2	0	0	0	0	0
	9	0.2	0	0	0	0	0.2	0.25	0	0	0.666667	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0
Low salinity	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12	0	0	0.2	0	0.2	0.2	0	0	0.25	0	0	0	0	
	13	0.2	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0	0	
	14	0.2	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	
	15	0	0	0	0	0.2	0	0	0.25	0	0	0	0	0	
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	
	17	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	
	18	0	0	0.2	0	0	0	0	0.25	0.5	0	0	0	0	
	19	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0
	20	0.2	0.4	0.25	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.333333	0	0
Low pH	21	0	0	0.2	0	0	0	0.2	0.4	0.5	0	0	0	0	
	22	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
	23	0	0	0	0	0	0	0	0.333333	0.333333	0	0	0	1	
	24	0.4	0	0.2	0	0	0.25	0	0	0.25	0	0	0	0.5	
	25	0	0	0.25	0.666667	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	
	26	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	
	27	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0.5	0.25	0	0.25	0.25	
	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	29	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	0	0	0	0.2	0.2	0	0.2	0	0	0.2	0	0.2	0	0
Combined	31	0	0.2	0	0.2	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	
	32	0	0	0	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0.333333	0	
	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	34	0	0	0	0.2	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0	
	35	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0.333333	0	0	0	0	
	36	0	0	0	0	0	0.25	0.5	0.333333	0.333333	0.333333	0	0	0	



Shelter use		Date													
Group	Replicate	01-18	01-19	01-20	01-22	01-24	01-26	01-29	01-31	02-04	02-07	02-09	02-13	02-15	
Control	1	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.75	0.5	0.25	1	1	1	1	
	2	0.6	1	0.8	0.75	1	0.75	0.5	0.75	0	0.75	0.5	0.5	1	
	3	0.8	1	0.8	1	1	0.8	0.4	0.5	0.666667	1	0.666667	0.333333	0.666667	
	4	1	1	1	1	1	0.8	1	0.6	0.333333	1	1	1	1	
	5	0.2	1	0.8	0.6	1	1	0.75	1	0.75	0.5	1	1	1	
	6	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	7	0.4	0.8	1	1	0.666667	0.666667	1	1	0.333333	1	1	1	1	
	8	1	1	1	0.6	1	0.8	0.6	1	0.8	0.8	0.8	1	0.8	
	9	0.8	1	1	1	0.8	0.8	0.5	1	0.666667	0.333333	1	0.5	1	
	10	1	1	1	1	1	1	0.333333	1	0.5	1	1	1	1	
	11	1	1	1	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	1	1	1	1	1	
	Low salinity	12	1	0.8	0.8	1	0.8	0.6	0.8	1	0.75	1	1	1	1
13		0.8	1	1	1	0.5	1	1	0.5	0.5	1	0.5	0.5	1	
14		0.8	1	1	1	0.8	0.75	0.75	1	1	1	1	1	1	
15		1	1	1	1	0.6	1	1	0.75	1	1	1	1	0.75	
16		1	1	1	1	1	0.75	1	1	0.75	0.75	1	1	1	
17		1	0.8	1	0.75	1	0.75	1	1	1	1	1	1	0.666667	
18		1	1	0.8	1	0.8	1	0.75	0.5	0.5	1	1	1	1	
19		1	1	1	1	0.8	0.8	0.4	0.75	1	1	1	0	0	
20		0.8	0.6	0.75	0.75	1	1	1	1	0.5	1	0.75	0.666667	1	
21		1	1	0.8	0.6	0.8	1	0.8	0.4	0.5	1	0.75	1	1	
22		0.6	1	1	1	0.75	0.666667	1	0.5	1	1	1	0	1	
Low pH		23	1	1	0.8	1	1	1	0.666667	0.666667	1	1	1	1	0
	24	0.4	1	0.8	1	0.75	1	1	0.75	1	0.75	0	0	0	
	25	0.8	1	0.5	0.333333	1	1	0.5	0.5	1	1	1	0	1	
	26	1	1	1	0.6	0.6	0.8	1	1	0.75	1	1	0.5	1	
	27	1	1	1	1	1	0.4	0.75	0.75	0.5	0.75	1	0.75	0.75	
	28	1	1	1	1	0.4	1	0.25	0.5	1	1	1	1	1	
	29	1	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1	1	1	0.8	1	1	
	30	0.6	1	1	0.4	0.6	0.8	0.6	1	1	0.8	1	0.6	0.8	
	31	1	0.8	1	0.8	1	1	0.5	0.75	1	1	1	1	0.666667	
	Combined	32	1	1	1	0.25	0.75	0.75	1	1	1	0.75	1	0.333333	1
		33	1	1	1	1	1	0.75	1	1	1	1	1	1	1
		34	1	1	1	0.8	0.6	0.8	1	1	1	1	1	1	1
35		1	1	1	0.25	1	1	0.666667	1	0.666667	1	1	1	1	
36		1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.333333	0.666667	0.666667	1	0	1	

Bottom		Date												
group	replicate	01-18	01-19	01-20	01-22	01-24	01-26	01-29	01-31	02-04	02-07	02-09	02-13	02-15
Control	1	0.2	0	0	0	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0
	2	0	0	0	0.25	0	0.25	0	0	0.5	0	0	0.5	0
	3	0	0	0	0	0	0	0.6	0.5	0	0	0.333333	0.666667	0.333333
	4	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0
	5	0.6	0	0.2	0.4	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0.2	0	0	0.333333	0	0	0	0.333333	0	0	0	0
	8	0	0	0	0.2	0	0	0.4	0	0	0.2	0.2	0	0.2
	9	0	0	0	0	0.2	0	0.25	0	0.333333	0	0	0.5	0
	10	0	0	0	0	0	0	0.666667	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0
Low salinity	12	0	0.2	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0
	13	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0.5	0
	14	0	0	0	0	0.2	0.25	0	0	0	0	0	0	0
	15	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.25
	16	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0.25	0	0	0
	17	0	0.2	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333333
	18	0	0	0	0	0.2	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0
	19	0	0	0	0	0.2	0.2	0.6	0	0	0	0	1	1
	20	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0
	21	0	0	0	0.4	0.2	0	0	0.2	0	0	0.25	0	0
Low pH	22	0	0	0	0	0.25	0.333333	0	0.5	0	0	0	0	0
	23	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	1	0.5
	25	0.2	0	0.25	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0.5	0
	26	0	0	0	0	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0.5	0
	27	0	0	0	0	0	0.2	0.25	0.25	0	0	0	0	0
	28	0	0	0	0	0.6	0	0.75	0.5	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0.2	0	0
	30	0.4	0	0	0.4	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0.2	0.2
Combined	31	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0.333333
	32	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0.25	0	0.333333	0
	33	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0
	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	35	0	0	0	0.5	0	0	0.333333	0	0	0	0	0	0
	36	0	0	0	0	0	0.25	0	0.333333	0	0	0	1	0

제 2 절 해수의 염분과 수소이온지수(pH)의 변화가 남극 단각류 군집 및 우점종(*Gondogeneia antarctica*) 개체군동태에 미치는 영향에 대 연구

	site	Date	pH	Sal	DO	Temp	G. antarctica	C. femoratus	Orchomenella sp.	B. gigantea	a	b	c	d
마리안소만 내측	마리안소만 내측 site1	2019-01-09	8.311111111	31.9	10.4	0.366666667	0	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site1	2019-01-09	8.311111111	31.9	10.4	0.366666667	0	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site2	2019-01-09	8.298888889	32.866666667	10	4.3	37	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site2	2019-01-21	8.302222222	33.333333333	9.933333333	3.616666667	37	0	0	0	1	0	0	0
	마리안소만 내측 site2	2019-01-21	8.302222222	33.333333333	9.933333333	3.616666667	32	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site2	2019-01-21	8.302222222	33.333333333	9.933333333	3.616666667	32	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site2	2019-01-09	8.298888889	32.866666667	10	4.3	79	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site3	2019-01-08	8.064444444	33.233333333	8.533333333	2.266666667	171	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site3	2019-01-08	8.064444444	33.233333333	8.533333333	2.266666667	170	0	0	0	1	1	1	0
	마리안소만 내측 site4	2019-01-08	7.992222222	31.966666667	8.566666667	2.866666667	4	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site4	2019-01-08	7.992222222	31.966666667	8.566666667	2.866666667	11	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site5	2019-01-08	8.124444444	28.933333333	9.733333333	3.033333333	1	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site5	2019-01-08	8.124444444	28.933333333	9.733333333	3.033333333	6	0	1	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site6	2019-01-19	8.242222222	34.033333333	10.166666667	2.18	38	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site6	2019-01-19	8.242222222	34.033333333	10.166666667	2.18	13	0	1	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site6	2019-01-19	8.242222222	34.033333333	10.166666667	2.18	48	0	3	0	1	1	0	0
	마리안소만 내측 site6	2019-01-20	8.206666667	33.933333333	10.1	2.366666667	133	0	0	0	1	0	0	0
	마리안소만 내측 site6	2019-01-20	8.206666667	33.933333333	10.1	2.366666667	176	0	0	0	0	0	0	0
마리안소만 내측 site6	2019-01-20	8.206666667	33.933333333	10.1	2.366666667	152	0	0	0	0	0	0	0	

	마리안소만 내측 site6	2019-02-04	8.026666667	33.5	10.13333333	2.475	156	2	2	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site6	2019-02-04	8.026666667	33.5	10.13333333	2.475	316	2	0	0	1	1	0	0
	마리안소만 내측 site6	2019-02-04	8.026666667	33.5	10.13333333	2.475	133	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site6	2019-02-05	8.086666667	33.83333333	9.23333333	4.516666667	346	0	2	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site6	2019-02-05	8.086666667	33.83333333	9.23333333	4.516666667	405	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site6	2019-02-05	8.086666667	33.83333333	9.23333333	4.516666667	384	0	0	0	1	0	0	0
	마리안소만 내측 site6	2019-02-06	8.121111111	32	10.33333333	1.93333333	75	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site6	2019-02-06	8.121111111	32	10.33333333	1.93333333	136	0	0	0	2	0	0	0
	마리안소만 내측 site6	2019-02-06	8.121111111	32	10.33333333	1.93333333	94	0	0	0	1	0	0	0
	마리안소만 내측 site7	2019-01-31	8.026666667	33.1	8.366666667	2.46	130	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site7	2019-01-31	8.026666667	33.1	8.366666667	2.46	92	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site7	2019-01-31	8.026666667	33.1	8.366666667	2.46	92	10	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site8	2018-12-28	8.013333333	32.99333333	9.19333333	1.63333333	42	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site8	2019-01-18	8.275555556	33.46666667	9	1.48333333	19	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site8	2019-01-18	8.275555556	33.46666667	9	1.48333333	7	0	0	0	0	0	0	0
	마리안소만 내측 site8	2019-01-18	8.275555556	33.46666667	9	1.48333333	2	0	0	0	0	0	0	0
마리안소만 내측 site9	2018-12-28	8.18	33.86	10.39333333	3.516666667	41	1	0	0	0	0	0	0	
평권마을	평권마을 site1	2018-12-31	7.984444444	30.72666667	9.226666667	2.63333333	1	0	0	0	0	0	0	0
	평권마을 site2	2019-01-03	8.235555556	33	8.73333333	4.616666667	13	28	14	0	0	0	0	0
	평권마을 site2	2019-01-03	8.235555556	33	8.73333333	4.616666667	154	19	8	0	0	0	0	0
	평권마을 site2	2019-02-02	8.138888889	34.2	11.5	2.3	51	162	42	0	0	0	0	0
	평권마을 site2	2019-02-02	8.138888889	34.2	11.5	2.3	86	1	0	0	0	0	0	0
	평권마을 site2	2019-02-02	8.138888889	34.2	11.5	2.3	70	39	13	0	0	0	0	0
	평권마을 site3	2019-01-03	8.223333333	33.36666667	9.03333333	4.15	75	0	0	0	0	0	0	0
	평권마을 site3	2019-01-03	8.223333333	33.36666667	9.03333333	4.15	80	0	2	0	0	0	0	0

	펭귄마을 site4	2019-01-03	8.188888889	32.533333333	8.2	4.45	40	1	0	0	0	0	0	0
	펭귄마을 site4	2019-01-03	8.188888889	32.533333333	8.2	4.45	117	0	0	0	0	0	0	0
	펭귄마을 site4	2019-02-02	8.266666667	33.266666667	12.3	2.933333333	203	13	3	3	0	0	0	0
	펭귄마을 site4	2019-02-02	8.266666667	33.266666667	12.3	2.933333333	352	1	0	0	0	0	0	0
	펭귄마을 site4	2019-02-02	8.266666667	33.266666667	12.3	2.933333333	380	6	5	0	0	0	0	0
	펭귄마을 site5	2019-01-05	8.138888889	32.566666667	8.4	4.15	31	0	0	0	0	0	0	0
	펭귄마을 site5	2019-01-05	8.138888889	32.566666667	8.4	4.15	14	0	0	1	0	0	0	0
	펭귄마을 site6	2019-01-05	8.225555556	32.966666667	8.4	2.433333333	0	5	2	0	0	0	0	0
	펭귄마을 site6	2019-01-05	8.225555556	32.966666667	8.4	2.433333333	4	5	14	0	0	0	0	0
	펭귄마을 site7	2019-02-01	8.257777778	27.2	9.366666667	3.3	1	0	0	0	0	0	0	0
	펭귄마을 site7	2019-02-01	8.257777778	27.2	9.366666667	3.3	1	0	0	0	0	0	0	0
	펭귄마을 site7	2019-02-01	8.257777778	27.2	9.366666667	3.3	0	0	0	0	0	0	0	0
	펭귄마을 site7	2019-02-01	8.257777778	27.2	9.366666667	3.3	0	0	0	0	0	0	0	0
해표마을	해표마을 조간대 site7	2019-01-07	8.394444444	30.666666667	10.666666667	6.166666667	77	0	0	0	1	0	0	0
	해표마을 조간대 site7	2019-01-07	8.394444444	30.666666667	10.666666667	6.166666667	55	0	0	1	0	0	0	0
	해표마을 조간대 site6	2019-01-07	8.543333333	33.633333333	10.033333333	5.483333333	139	0	1	0	0	0	0	1
	해표마을 조간대 site6	2019-01-07	8.543333333	33.633333333	10.033333333	5.483333333	122	0	0	0	0	0	0	0
	해표마을 조간대 site5	2019-01-07	8.443333333	30.9	9.8	6.35	15	0	0	1	0	0	0	0
	해표마을 조간대 site5	2019-01-07	8.443333333	30.9	9.8	6.35	5	0	0	2	1	1	1	0
	해표마을 조간대 site1	2018-12-25	8.623333333	31.993333333	9.426666667	4.1	87	0	0	0	0	0	0	0
	해표마을 조간대 site1	2019-01-23	8.537777778	33.566666667	12	4.583333333	65	1	2	0	0	0	0	0
	해표마을 조간대 site1	2019-01-23	8.537777778	33.566666667	12	4.583333333	92	2	4	1	0	0	0	0
	해표마을 조간대 site1	2019-01-23	8.537777778	33.566666667	12	4.583333333	37	0	2	0	2	0	0	0
	해표마을 조간대 site2	2018-12-25	8.728888889	33.893333333	10.676666667	4	109	0	0	2	0	0	0	0
	해표마을 조간대 site8	2019-01-23	8.654444444	33.666666667	14.566666667	5.233333333	4	0	0	1	3	0	0	0

해표마을 조건대 site8	2019-01-23	8.654444444	33.66666667	14.56666667	5.233333333	9	0	0	4	2	1	0	0
해표마을 조건대 site8	2019-01-23	8.654444444	33.66666667	14.56666667	5.233333333	1	0	0	0	0	0	0	0
해표마을 조건대 site3	2018-12-26	8.377777778	28.16	8.526666667	6.466666667	38	0	0	0	0	0	0	0
해표마을 조건대 site4	2018-12-26	8.506666667	32.09333333	9.826666667	5.1	127	24	11	0	0	0	0	0



### 제 3 절 염분과 pH의 변동이 남극 삿갓조개(*Nacella concinna*)와 착생생물인 석회조류에게 미치는 영향 연구

표 34 정점별 해수 물성 및 개체 data

위치	개체 번호	습중량(g)	성별	각장(mm)	각폭(mm)	각고(m)	패각 무게(g)	condition factor	pH	salinity (psu)	condition factor
해표마을 site1	A	2.67	수	32.5	22.08	10.12	1.06	0.00141	8.623333333	31.99333	0.001405076
	B	2.36	수	31.94	22.16	9.91	1.08	0.00129	8.623333333	31.99333	0.001285835
	C	2.44	암	31.18	21.05	10.64	1.43	0.00134	8.623333333	31.99333	0.001335278
	D	1.86	암	34.46	24.38	13.11	2.94	0.00065	8.623333333	31.99333	0.000645376
	E	3.82	암	34.18	22.93	11.69	2.05	0.00159	8.623333333	31.99333	0.001593398
해표마을 Site2	A	3.71	암	35.83	23.68	10.88	2.12	0.00154	8.728888889	33.89333	0.001535918
	B	3.05	수	33.96	22.18	11.52	2.35	0.00134	8.728888889	33.89333	0.001343290
	C	3.67	암	35.13	24.35	9.97	1.36	0.00164	8.728888889	33.89333	0.001644544
	D	2.2	수	30.89	21.28	10.38	0.87	0.00123	8.728888889	33.89333	0.001232218
	E	2.17	수	30.55	21.3	9.64	1.36	0.00132	8.728888889	33.89333	0.001322037
해표마을 site3	A	4	수	33.72	22.23	11.23	1.65	0.00182	8.377777778	28.16	0.001815954
	B	3.34	암	33.33	23.78	10.57	1.61	0.00152	8.377777778	28.16	0.001523617
	C	4.68	수	35.75	24.61	13.69	2.6	0.00148	8.377777778	28.16	0.001484931
	D	3.19	암	33.35	22.31	9.53	1.85	0.00172	8.377777778	28.16	0.001719309
	E	3.46	암	34.8	23.55	12.5	1.8	0.00129	8.377777778	28.16	0.001290766
해표마을 Site4	A	3.04	암	35.45	23.75	11.52	2.01	0.00120	8.506666667	32.09333	0.001197824
	B	3.25	수	33.52	23.25	11.73	1.87	0.00136	8.506666667	32.09333	0.001358657
	C	2.92	암	31.44	21.63	10.15	1.23	0.00162	8.506666667	32.09333	0.001616700
	D	3.31	암	34.14	23.15	12.35	2.1	0.00130	8.506666667	32.09333	0.001295979

해표마을 site1	E	2.95	암	33.04	22.49	10.49	1.47	0.00145	8.506666667	32.09333	0.001446334
	A	1.6	암	30.45	18.97	7.31	1.2	0.00145	8.443333333	30.9	0.001448103
	B	1.86	암	31.44	21.53	10.53	1.89	0.00100	8.443333333	30.9	0.000997263
	C	2.04	수	32.14	22.09	11.13	1.57	0.00099	8.443333333	30.9	0.000986609
	D	2.36	수	33.25	23.69	11.49	1.74	0.00100	8.443333333	30.9	0.000996522
해표마을 Site2	E	1.96	암	32.36	21.36	9.18	1.39	0.00118	8.443333333	30.9	0.001180471
	A	2.47	암	32.35	22.67	10.22	1.83	0.00126	8.543333333	33.63333	0.001259424
	B	2.18	수	31.48	21.28	9.5	1.58	0.00131	8.543333333	33.63333	0.001309116
	C	2.75	수	32.61	21.76	12.87	1.86	0.00115	8.543333333	33.63333	0.001150790
	D	2.6	수	33.13	22.38	10.62	2.1	0.00126	8.543333333	33.63333	0.001261882
해표마을 Site3	E	1.92	수	31.18	20.05	9.54	1.19	0.00123	8.543333333	33.63333	0.001230308
	A	2.83	수	34.51	23.35	11.11	1.62	0.00121	8.394444444	30.66667	0.001208070
	B	2.27	수	32.07	20.8	11.8	1.3	0.00110	8.394444444	30.66667	0.001102131
	C	3	암	34.77	23.4	12.09	1.71	0.00117	8.394444444	30.66667	0.001165537
	D	2.85	수	32.88	23.24	10.73	1.35	0.00133	8.394444444	30.66667	0.001328400
포터소만	E	2.68	수	33.23	22.1	10.38	1.6	0.00134	8.394444444	30.66667	0.001343589
	A	1.68	수	30.91	20.66	10.24	1.34	0.00098	8.654444444	33.66667	0.000981819
	B	1.89	암	30.05	19.64	8.85	1.18	0.00138	8.654444444	33.66667	0.001382879
	C	1.71	수	29.7	20.4	10.02	1.19	0.00108	8.654444444	33.66667	0.001076449
	D	2.45	암	34.44	24.05	15.95	3.27	0.00071	8.654444444	33.66667	0.000708727
세종꽃 site1	E	2.17	암	33.33	22.37	9.96	2.11	0.00112	8.654444444	33.66667	0.001116736
	A	2.34	수	32.39	22.81	10.14	1.13	0.00119	8.013333333	32.99333	0.001193695
	B	2.84	암	32.37	23.3	14.08	2.47	0.00102	8.013333333	32.99333	0.001022042
	C	1.9	수	30.56	20.79	9.17	1.15	0.00125	8.013333333	32.99333	0.001246316
	D	2.12	수	30.04	21.56	8.23	1.01	0.00152	8.013333333	32.99333	0.001519984



세종꽃 인근 100m Site2	E	2.55	암	32.5	21.83	12.28	2.66	0.00112	8.013333333	32.99333	0.001118552
	A	2.18	암	31.78	22.24	9.2	1.17	0.00128	8.18	33.86	0.001281243
	B	3.01	암	34.54	24.21	10.95	2.44	0.00126	8.18	33.86	0.001256281
	C	3.55	수	34.2	24.83	12.59	1.68	0.00127	8.18	33.86	0.001268970
	D	1.89	수	30.61	20.16	11.08	1.46	0.00106	8.18	33.86	0.001056379
세종꽃	E	2.11	수	30.91	21.1	9.35	1.34	0.00132	8.18	33.86	0.001322333
	A	2.52	수	31.62	22.99	11.4	1.84	0.00116	8.026666667	33.1	0.001162108
	B	2.11	수	30.2	20.24	9.77	1.26	0.00135	8.026666667	33.1	0.001350274
	C	2.45	수	31.5	21.45	10.42	1.25	0.00133	8.026666667	33.1	0.001329879
	D	1.91	암	29.88	19.99	9	1.22	0.00136	8.026666667	33.1	0.001357841
자패등지 인근 site1	E	1.76	수	28.95	19.25	9.76	0.92	0.00124	8.026666667	33.1	0.001236617
	A	3.13	암	34.64	23.39	11.63	2.17	0.00127	7.984444444	30.72667	0.001269428
	B	4.11	암	36.32	24.75	12.86	2.1	0.00136	7.984444444	30.72667	0.001358725
	C	2.94	암	35.17	24.12	11.9	1.9	0.00111	7.984444444	30.72667	0.001113018
	D	3.29	암	32.51	23.43	12.04	1.34	0.00137	7.984444444	30.72667	0.001370982
펑권마을 인근 site1	E	2.67	암	33.92	23.52	10.67	2	0.00120	7.984444444	30.72667	0.001198686
	A	2.08	암	29.8	20.99	9.93	1.18	0.00128	8.188888889	32.53333	0.001279785
	B	2.57	수	31.27	21.77	10.35	1.21	0.00139	8.188888889	32.53333	0.001393985
	C	2.9	수	34.35	23.02	12.73	2.1	0.00110	8.188888889	32.53333	0.001101005
	D	2.22	암	30.03	20.82	11.2	1.26	0.00121	8.188888889	32.53333	0.001211576
펑권마을 인근 site2	E	2.01	암	30	20.88	9.34	1.16	0.00131	8.188888889	32.53333	0.001312953
	A	2.77	수	33.67	23.33	9.82	1.22	0.00137	8.223333333	33.36667	0.001372341
	B	2.03	수	31.12	21.28	9.79	1.36	0.00120	8.223333333	33.36667	0.001196613
	C	1.99	수	30.94	20.88	9.88	1.12	0.00119	8.223333333	33.36667	0.001191508

	D	2.55	수	31.87	21.99	11.45	1.27	0.00121	8.223333333	33.36667	0.001214448
	E	2.06	암	31.11	21.81	10.62	1.5	0.00109	8.223333333	33.36667	0.001092543
펭귄마을 인근 site3	A	2.59	암	32.77	21.94	10.56	1.43	0.00130	8.235555556	33	0.001303690
	B	2.53	암	32.25	22.28	10.14	1.36	0.00133	8.235555556	33	0.001327056
	C	2.96	수	32.33	21.41	11.81	1.47	0.00138	8.235555556	33	0.001383793
	D	4.11	수	35.01	23.09	12.15	1.52	0.00160	8.235555556	33	0.001599194
	E	2.45	암	32.73	21.56	9.5	1.28	0.00140	8.235555556	33	0.001396688
펭귄마을 인근 site1	A	1.7	암	30.88	20.44	10	1.17	0.00103	8.138888889	32.56667	0.001029301
	B	2.28	수	31.22	22.65	10.71	1.29	0.00115	8.138888889	32.56667	0.001150524
	C	2.9	수	34.44	24	11.46	1.72	0.00117	8.138888889	32.56667	0.001170013
	D	2.45	수	31.02	21.54	10.26	1.16	0.00137	8.138888889	32.56667	0.001365787
	E	2.18	수	32.11	22.33	10.93	1.53	0.00106	8.138888889	32.56667	0.001063063
펭귄마을 인근 site2	A	2.79	수	32.04	21.67	9.07	0.82	0.00169	8.225555556	32.96667	0.001693156
	B	3.06	수	34.04	23.15	11.9	1.78	0.00125	8.225555556	32.96667	0.001247055
	C	2.96	암	32.12	21.92	11.79	1.9	0.00136	8.225555556	32.96667	0.001362741
	D	2.85	수	32.97	22.59	11.02	1.36	0.00133	8.225555556	32.96667	0.001327027
	E	2.14	암	32.41	22.42	10.46	1.39	0.00108	8.225555556	32.96667	0.001076017
펭귄마을 대피소	A	4.1	암	36.04	24.36	13.22	1.88	0.00135	8.257777778	27.2	0.001350025
	B	4.13	암	36.88	26.15	11.33	2.37	0.00144	8.257777778	27.2	0.001444472
	C	4.09	암	34.85	24.7	11.45	2.69	0.00159	8.257777778	27.2	0.001585878
	D	5.85	암	39.15	27.42	14.64	3.22	0.00142	8.257777778	27.2	0.001422549
	E	5.24	암	39.15	26.76	12.41	2.38	0.00154	8.257777778	27.2	0.001540257
마리안소만 site 1	A	1.95	암	31.83	21.66	7.83	0.9	0.00138	7.992222222	31.96667	0.001380478
	B	2.17	암	31.34	22.29	9.66	0.97	0.00123	7.992222222	31.96667	0.001228924

	C	2.13	암	30.27	20.46	10.14	1.02	0.00130	7.992222222	31.96667	0.001296209
	D	1.84	수	31.76	21.34	9.19	1.17	0.00113	7.992222222	31.96667	0.001128961
	E	2.06	수	30.51	20.59	9.2	1.02	0.00136	7.992222222	31.96667	0.001362174
마리안소만 site 2	A	1.86	수	29.19	20.59	9.27	0.93	0.00128	8.064444444	33.23333	0.001275835
	B	2.04	암	29.84	20.62	8.91	0.79	0.00142	8.064444444	33.23333	0.001422056
	C	2.48	수	32.67	21.98	9.68	1.14	0.00136	8.064444444	33.23333	0.001363487
	D	2.31	수	31.1	22.13	9.15	1	0.00140	8.064444444	33.23333	0.001401847
	E	1.94	암	31.01	21.17	8.14	0.74	0.00139	8.064444444	33.23333	0.001387415
빙벽 site 1	A	2.51	수	30.93	21.95	11.51	1.59	0.00123	8.311111111	31.9	0.001227540
	B	2.18	암	31.4	21.93	9.78	1.34	0.00124	8.311111111	31.9	0.001237089
	C	2.01	암	28.97	20.46	9.49	1.08	0.00137	8.311111111	31.9	0.001365612
	D	2.01	암	28.92	19.78	10.77	1.49	0.00125	8.311111111	31.9	0.001246830
	E	3.18	수	33.45	22.52	10.5	1.37	0.00154	8.311111111	31.9	0.001536473
빙벽 site 2	A	2.2	암	31.53	21.74	10.77	1.61	0.00114	8.298888889	32.86667	0.001138872
	B	3.36	암	34.79	24.26	11.02	1.51	0.00138	8.298888889	32.86667	0.001380588
	C	3.18	암	28.94	20.67	10.3	0.85	0.00197	8.298888889	32.86667	0.001972434
	D	1.65	수	33.41	24.58	10.33	1.3	0.00074	8.298888889	32.86667	0.000743322
	E	2.68	수	34.35	25.16	11.76	1.94	0.00101	8.298888889	32.86667	0.001007724
빙벽 site 3	A	2.63	암	30.64	21.6	11.47	1.09	0.00132	8.267777778	35.13333	0.001324041
	B	1.89	수	31.5	19.46	7.65	0.55	0.00154	8.267777778	35.13333	0.001540276
	C	1.69	암	30.57	19.92	9.39	1.09	0.00113	8.267777778	35.13333	0.001129504
	D	2.27	수	32.23	21.17	10.37	1.36	0.00123	8.267777778	35.13333	0.001226076
	E	2.56	수	32.83	23.32	10.89	1.76	0.00117	8.267777778	35.13333	0.001173449
부두 앞	A	2.06	암	28.59	20.6	8.29	0.8	0.00161	8.206666667	33.93333	0.001612438

	B	3.23	수	32.04	22.67	9.74	1.24	0.00174	8.206666667	33.93333	0.001744822
	C	1.84	암	29.87	20.53	9.34	0.79	0.00123	8.206666667	33.93333	0.001227717
	D	2.29	암	31.18	21.59	10.21	1.07	0.00127	8.206666667	33.93333	0.001273305
	E	2.05	수	28.25	19.92	7.98	0.52	0.00174	8.206666667	33.93333	0.001744596
빙벽	A	3.46	암	32.57	24.45	10.26	1.35	0.00162	8.302222222	33.33333	0.001618392
	B	3.37	암	33.36	23.33	9.84	1.1	0.00168	8.302222222	33.33333	0.001681689
	C	2.75	암	34.07	23.31	11.79	2.12	0.00112	8.302222222	33.33333	0.001122422
	D	1.85	수	29.93	20.23	7.9	0.84	0.00148	8.302222222	33.33333	0.001478065
	E	1.9	암	31.5	23.05	9.72	1.53	0.00103	8.302222222	33.33333	0.001028863
마리안소만입구	A	1.67	암	29.43	19.51	9.68	1.04	0.00115	7.985555556	32.7	0.001148273
	B	2.91	암	32.25	22.07	11.77	1.43	0.00133	7.985555556	32.7	0.001327505
	C	2.64	암	32.55	22.62	10.72	1.14	0.00128	7.985555556	32.7	0.001278254
	D	1.97	암	30.61	20.39	9.77	1.6	0.00123	7.985555556	32.7	0.001234647
	E	2.1	암	30.11	20.8	10.82	1.28	0.00118	7.985555556	32.7	0.001184321
부두 앞	A	1.98	암	29.41	20.29	8.19	0.77	0.00155	8.086666667	33.83333	0.001548302
	B	2.06	암	29.07	21.22	7.79	0.66	0.00164	8.086666667	33.83333	0.001638291
	C	2.71	암	32.88	23.21	9.83	1.24	0.00138	8.086666667	33.83333	0.001380576
	D	2.42	암	32.12	23.04	7.16	0.74	0.00175	8.086666667	33.83333	0.001745404
	E	2.64	암	31.39	21.1	11.52	1.12	0.00132	8.086666667	33.83333	0.001322298

표 35 배양실험을 진행한 삿갓조개 개체 data

개체번호	각 장	각 폭	각 고	습 중 량 (2019-01-15)	습 중 량 (2019-01-25)	습 중 량 (2019-02-02)	습 중 량 (2019-02-09)	coverage(%)
1	31.72	22.7	9.78	4.38	4.74	4.46	4.61	40.83166874
2	32.56	22.26	13	4.93	5.22			60.39827301
3	35.1	23.62	11.77	5.1	6.15			51.8202643
4	33.51	24.48	11.12	5.51	5.53	5.26	5.48	60.02306688
5	33.97	22.76	12.29	5.21	5.53	5.55	5.88	81.90272067
6	31.96	21.26	10.51	4.49	4.71	4.89	4.92	55.89600995
7	32.26	23.29	12.01	4.96	5.03			30.96576037
8	33.35	23.08	10.06	4.74	5.09	5.21		27.72304149
9	30.48	20.65	11.68	3.73	4.56	4.25	4.25	41.49397219
10	29.79	21.93	8.83	2.87	3.31	3.23	3.23	39.46543404
11	33.45	21.89	10.81	4.85	4.84	4.16		17.44220763
12	31.45	21.07	10.48	3.7	4.48			36.85922896
13	34.02	24.12	13.1	4.88	5.95	5.88	5.81	32.44549364
14	36.18	25.12	14.37	6.48	7.44	7.17	7.53	30.81051386
15	33.25	21.44	12.13	5.45	5.89			26.00359256
16	35.27	25.4	12.24	5.77	6.99			22.1035925
17	35.1	25.04	11.57	5.46	6.46			22.18570103
18	32.21	21.8	9.92	4.1	4.71	4.68	4.85	23.79750429
19	32.12	22.91	11.26	3.85	4.43	4.33	4.53	16.02295835
20	32.1	22.96	11	4.15	5.13	5.21		12.06411283
21	31.44	20.95	10.61	3.05	3.42	3.33	3.57	0

22	33.17	23	11.99	4.75	5.19	5.17	5.11	0
23	32.17	22.91	9.21	3.41	3.59	3.72	3.89	0
24	31.6	22.28	11.18	3.68	4.1	4.4	4.18	0
25	30.94	20.64	10.56	2.82	3.2	2.91	3.18	0
26	32.07	21.59	9.22	3.14	3.41	3.43	3.87	0
27	33.37	22.02	10.56	3.85	3.86	4.36	4.42	0
28	31.3	22.22	10.29	4.11	4.41	6.58		0
29	32.13	21.88	11.08	3.55	4.1	3.75	3.97	0
30	31.11	21.86	11.43	3.67	3.97	3.91	3.98	0
31	31.29	21.89	10.47	3.71	3.85	4.21	3.98	0
32	32.97	22.48	23.12	4.27	4.93	5.22	4.98	0
33	30.31	20.13	9.41	2.59	3.26	3.25	3.3	0
34	33.79	22.76	11.69	3.95	4.48	4.22	4.32	0
35	30.7	19.94	7.85	3.12	3.61	3.31	3.54	0
36	34.01	24.55	11.95	4.75	4.95	5.04	5.28	0
37	32.28	22.82	9.84	3.93	4.42	4.28	4.39	0
38	34.28	23.81	12.98	4.61	5.03	4.76	5.37	0
39	35.04	24.12	11.61	5.38	5.71	5.91	5.93	0
40	35.55	23.66	11.55	4.78	5.39			0

표 36 배양실험 수소이온농도 data (단위: pH)

번호	Date																					
	1/19	1/20	1/21	1/22	1/23	1/24	1/25	1/26	1/27	1/28	1/29	1/30	1/31	2/1	2/2	2/3	2/4	2/5	2/6	2/7	2/8	2/9
1	7.56	7.53	7.55	7.64	7.72	7.58	7.6	7.57	7.64	7.67	7.61	7.61	7.57	7.64	7.64	7.72	7.69	7.64	7.64	7.71	7.65	7.68
2	7.78	7.69	7.82	7.69	7.62	7.5	7.95	8	8.02	7.99												
3	7.54	7.69	7.64	7.83	7.51	7.72	7.67	7.67	7.75	7.76												
4	7.5	7.53	7.61	7.61	7.51	7.76	7.73	7.72	7.74	7.77	7.74	7.69	7.72	7.7	7.71	7.93	7.86	7.89	7.92	7.94	7.76	7.93
5	7.67	7.63	7.63	7.54	7.73	7.51	7.79	7.56	7.67	7.73	7.68	7.7	7.73	7.72	7.75	7.69	7.72	7.76	7.77	7.68	7.68	7.72
6	7.56	7.6	7.69	7.68	7.64	7.63	7.74	7.75	7.88	7.86	7.81	7.77	7.59	7.76	7.71	7.72	7.78	7.78	7.79	7.8	7.78	7.86
7	7.49	7.6	7.58	7.62	7.62	7.67	7.77	7.6	7.64	7.55												
8	7.57	7.5	7.69	7.78	7.56	7.69	7.79	7.66	7.72	7.73	7.77	7.75	7.67	7.72	7.76	7.94	7.89	7.93	7.94	8.09	7.91	7.96
9	7.61	7.58	7.71	7.7	7.74	7.86	7.67	7.89	7.87	7.86	7.89	7.8	7.76	7.73	7.83	7.9	7.9	7.9	7.92	7.98	7.96	8.02
10	7.7	7.69	7.74	7.79	7.62	7.75	7.88	7.81	7.88	7.92	7.89	7.83	7.84	7.8	7.94	7.95	7.91	7.95	8.01	8.1	7.85	7.93
11	7.61	7.6	7.63	7.76	7.54	7.89	7.67	7.59	7.72	7.72	7.72	7.64	7.68	7.64	7.78	7.92	7.89	7.94	7.97			
12	7.51	7.44	7.74	7.68	7.66	7.66	7.73	7.78	7.77	7.78	7.82	7.81	7.76	7.81								
13	7.59	7.7	7.58	7.89	7.7	7.91	7.73	7.78	7.74	7.67	7.7	7.78	7.84	7.76	7.77	7.74	7.82	7.73	7.85	7.74	7.81	7.82
14	7.72	7.53	7.54	7.76	7.84	7.76	7.66	7.56	7.56	7.58	7.58	7.58	7.49	7.54	7.53	7.73	7.56	7.63	7.74	7.7	7.57	7.8
15	7.64	7.55	7.85	7.67	7.66	7.66	7.91	7.69	7.7	7.66												
16	7.65	7.7	7.56	7.6	7.61	7.8	7.66	7.73	7.68	7.74	7.66	7.47										
17	7.66	7.75	7.74	7.65	7.67	7.78	7.71	7.78	7.78	7.86	7.97	7.94	7.84									
18	7.51	7.6	7.48	7.67	7.67	7.77	7.57	7.55	7.62	7.72	7.63	7.59	7.52	7.54	7.61	7.63	7.69	7.65	7.63	7.68	7.63	7.78
19	7.57	7.76	7.68	7.64	7.61	7.9	7.76	7.64	7.73	7.77	7.76	7.65	7.59	7.71	7.76	7.72	7.56	7.77	7.74		7.66	7.73
20	7.5	7.57	7.57	7.76	7.81	7.73	7.65	7.66	7.73	7.77	7.67	7.79	7.54	7.51	7.61	7.61	7.62	7.62	7.8	7.74	7.77	7.96

21	7.61	7.58	7.67	7.71	7.7	7.72	7.82	7.82	7.81	7.81	7.71	7.74	7.71	7.74	7.79	7.86	7.85	7.7	7.73	7.88	7.82	7.8
22	7.62	7.66	7.55	7.74	7.74	7.71	7.79	7.78	7.77	7.71	7.82	7.72	7.57	7.65	7.73	7.69	7.69	7.63	7.73	7.83	7.74	7.77
23	7.51	7.56	7.67	7.7	7.65	7.88	7.73	7.66	7.67	7.69	7.77	7.69	7.55	7.66	7.66	7.72	7.77	7.7	7.78	7.71	7.67	7.95
24	7.47	7.59	7.54	7.63	7.6	7.64	7.73	7.77	7.74	7.74	7.6	7.65	7.63	7.64	7.67	7.59	7.58	7.69	7.7	7.81	7.66	7.67
25	7.71	7.46	7.82	7.63	7.64	7.6	7.87	7.89	7.97	7.86	7.95	7.86	7.96	7.96	8.06	8	8.02	8	7.99	7.69	8.03	8.08
26	7.51	7.65	7.6	7.91	7.79	7.7	7.7	7.74	7.76	7.68	7.61	7.56	7.51	7.56	7.69	7.81	7.55	7.59	7.66	8.06	7.62	7.68
27	7.46	7.65	7.61	7.62	7.64	7.71	7.53	7.61	7.57	7.54	7.66	7.48	7.49	7.53	7.5	7.55	7.63	7.61	7.67	7.72	7.58	7.64
28	7.69	7.48	7.74	7.58	7.57	7.93	7.73	7.71	7.81	7.78	7.76	7.77	7.73	7.72	7.8	7.76				7.53		
29	7.6	7.59	7.63	7.63	7.56	7.63	7.69	7.78	7.81	7.84	7.81	7.7	7.68	7.72	7.78	7.79	7.76	7.72	7.79	7.87	7.73	7.79
30	7.69	7.52	7.77	7.57	7.65	7.62	7.84	7.84	7.84	7.88	7.83	7.84	7.81	7.75	7.8	7.91	7.83	7.97	8	7.83	7.74	7.98
31	7.46	7.85	7.51	7.54	7.71	7.62	7.58	7.56	7.6	7.5	7.47	7.39	7.45	7.41	7.52	7.56	7.69	7.66	7.59	7.66	7.53	7.59
32	7.54	7.68	7.65	7.62	7.64	7.71	7.74	7.72	7.85	7.81	7.82	7.81	7.75	7.74	7.77	7.79	7.79	7.93	7.93	7.94	7.87	7.86
33	7.75	7.58	7.7	7.69	7.7	7.78	7.82	7.86	7.81	7.82	7.83	7.78	7.69	7.87	7.88	7.88	7.85	7.76	7.8	7.84	7.83	7.88
34	7.46	7.58	7.6	7.62	7.65	7.74	7.8	7.72	7.69	7.75	7.67	7.71	7.68	7.64	7.72	7.67	7.82	7.82	7.65	7.78	7.78	7.79
35	7.65	7.56	7.7	7.73	7.77	7.7	7.76	7.74	7.74	7.7	7.7	7.69	7.64	7.67	7.73	7.73	7.74	7.69	7.72	7.72	7.61	7.68
36	7.54	7.5	7.68	7.74	7.68	7.84	7.79	7.74	7.76	7.86	7.83	7.74	7.66	7.74	7.74	7.75	7.73	7.84	7.75	7.75	7.73	7.8
37	7.58	7.5	7.59	7.8	7.82	7.89	7.56	7.62	7.75	7.67	7.71	7.67	7.51	7.65	7.66	7.7	7.68	7.64	7.6	7.75	7.52	7.69
38	7.75	7.6	7.75	7.76	7.8	7.81	7.81	7.89	7.89	7.88	7.74	7.82	7.74	7.8	7.89	7.78	7.74	7.8	7.85	8.03	7.81	7.77
39	7.59	7.61	7.69	7.83	7.52	7.56	7.69	7.8	7.76	7.69	7.64	7.62	7.57	7.59	7.75	7.71	7.68	7.7	7.78	7.64	7.79	7.78
40	7.7	7.47	7.76	7.6	7.7	7.73	7.86	7.8	7.85	7.86	7.91	7.88										



표 37 샷갯조개 배양실험 용존산소 data (단위: mg/L)

번호	Date																					
	1/19	1/20	1/21	1/22	1/23	1/24	1/25	1/26	1/27	1/28	1/29	1/30	1/31	2/1	2/2	2/3	2/4	2/5	2/6	2/7	2/8	2/9
1	7.3	7.2	6.8	6.7	8.1	7.7	6.7	7.3	7.7	7.5	7.5	7.9	8.1	7.9	7.9	8	8.3	7.4	6.7	7.1	8	8
2	8.9	7.2	8.8	8.1	7.2	6.7	8.4	9.7	10.1	9.7												
3	5.9	8.1	5.7	7.8	6.5	8.2	6	6.4	7.1	7												
4	6.6	6.7	7.1	6.9	8.2	7.5	7.3	6.4	7.5	6.4	7.5	7.2	8.1	8.3	8	9	9	9	9.1	8.9	8.3	9.6
4	6.8	7.9	6.9	6.7	8.9	6.5	7.8	8.1	7.8	8.2	7.5	8.5	9.1	8.9	8.6	7.8	8.1	8.7	8.5	7.7	8.5	8.7
5	6.4	7.9	7.3	6.9	6.8	7.1	7.9	8	8.4	7.8	8.5	8.4	8	8.6	8	8	8.2	8.2	7.5	7.5	8.4	8.6
6	6.1	6.7	5.7	6.3	7	6.8	7.3	6.4	6.2	6.5												
7	7.3	6.1	8.5	8.3	7.2	7.3	8.5	7.4	8.5	8	8.5	8.4	8.6	8.9	8.3	9.9	9.1	9.4	9.1	9.7	8.9	9.7
8	8.2	7.3	7.6	7.4	7.6	7.9	8.3	8.6	8.6	8.2	8.7	8.4	8.5	8.6	8.7	8.5	8.8	9.2	9	8.8	9.3	10
9	7.7	8.2	8	7.2	7.1	7.9	8.5	8.5	8.9	8.8	8.7	8.8	8.9	9.1	9.3	9.2	9.2	9.3	10	10	9.2	9.5
10	7.4	6.9	7.2	7.1	6.6	7.6	7.4	7	7.8	7.5	7.3	7.7	8.6	8.1	8.8	9.6	9.8	9.8	9.4			
11	6.2	5.8	8.1	6.6	7	7.2	7.4	8.8	7.6	7.9	8.4	9	8.9	9.3								
12	6.9	7.3	6.3	8.2	7.5	8.8	7.2	8.1	7.7	7.6	7.8	8.5	9.3	9	8.7	8.3	9.2	8.2	8.9	8.4	8.6	9.1
13	7.4	7	6.1	7	8.4	7.2	7	6.9	7.6	6.5	6.6	8.3	7.3	7.3	7.6	7.7	7.2	7.6	7.6	7.6	6.8	8.1
15	7.2	6.6	9.1	6.6	6.7	7	8.3	7.9	7.6	7.1												
16	8.1	8.8	7.9	6.5	7.2	7.6	8.4	7.9	7.4	7.9	6.4	6.4										
17	7.2	7.8	7.7	7.4	7	8.2	7.6	8.6	7.3	8	9.2	9.2	9.4									
18	6.5	7	6.3	6.7	7.8	7.6	6.4	7.1	6.9	6.8	7.5	7.6	8.1	7.9	7	8.1	7.5	7.6	6.7	7.2	7.5	8.4
19	7.4	8.2	6.9	6.6	7	8.2	6.7	7.1	7.4	7.8	7.7	7.3	6.6	8.1	7.9	7.7	7.4	8.1	8.1		7.8	8.5
20	7.1	7.1	7.2	7	7.9	7.3	7.2	6.7	7.4	7.8	6.4	7.7	7.3	7.1	7.3	7.1	6.9	7.3	8.5	7.6	7.1	9.9

21	6.7	6.2	7.4	7.2	7	7.5	6.7	7.5	8.6	8.2	8.1	8.3	8.5	8	7.4	8.9	8.4	7.5	7.9	8.2	8.2	8.3
22	6.6	7.5	6.3	6.9	7.3	7.3	6.8	7.1	7.5	6	8.2	8.5	7.9	7.8	8.3	7	7.8	6.5	7.4	8.1	7	8.3
23	6.7	6.8	6.8	6.6	7	7.6	7.3	6.9	7.1	7.1	7.7	7.3	7.3	8.3	8.1	8.4	8.3	7.5	6.9	7.5	7.3	9.4
24	6.2	7.2	6.4	6.5	6.7	5.5	7.1	7	7.5	7.3	6.6	6.9	7.8	7.9	7.9	7.1	6.8	7.6	7.5	8.1	7.2	7.4
25	7.6	6.6	8.2	7	7	5.4	8.2	8.7	9	8.6	8.9	8.8	9.8	9.8	8.7	10.3	9.4	9.5	9.5	7.4	10.1	9.9
26	6.4	7.1	6.8	8.7	7.7	6.2	6.2	6.9	7.8	7.3	7	7	7.3	7.7	7.3	8.5	7.7	6.5	6.9	9.5	5.9	6.7
27	6.8	7.4	6.9	6.9	6.6	7.1	6.7	6.7	5.6	5.9	6	6	6.6	6.6	6.4	6.9	7	6.9	7	6.3	6.8	7.3
28	8.2	6.5	8.3	6.7	6.8	8.4	8	7.8	8.3	8.1	7.5	8	7.7	9	8.2	8.4				6.3		
29	6.9	6.7	6.9	6.7	6.9	6.6	6.9	8.3	8.1	8.4	8.4	8.4	8.5	8.7	8.2	8.1	8.4	7.9	8.5	8.5	8.5	8.6
30	8	6.9	7.9	6	7.4	5.5	7.8	8.1	8.1	8	7.9	8.6	8.4	8.3	8.5	9.1	8.7	9.2	9.9	8.8	8.3	9.4
31	6.9	9.1	5.7	6.4	7.5	7.1	7	6.3	7.1	6.4	6.4	6.1	6.4	6	6.3	7.1	7.9	7	7.5	6.5	6.9	5.9
32	5.8	7.8	7.3	6.3	6.4	7.7	8.2	6.6	7.8	8	8.1	8.5	8.2	8	7.7	7.4	8.3	9.2	8.9	8.8	7.6	8.5
33	7.6	6.6	7.4	7	6.9	6.5	8.2	7.5	7.9	8.1	7.8	8	8.1	9.4	9.2	8.7	8.6	8	8	7.8	7.7	9
34	5.9	7.3	6.9	6.6	7	6.6	6.8	7.9	7.8	7.3	7.1	7.2	7.6	7.4	7.8	7.6	8.6	8.1	6.1	6.8	6.7	7.4
35	7.8	6.9	8.4	7	7.2	6.1	8	8.5	7.8	7.1	7.6	7.7	7.6	7.6	7.9	8.5	7.9	8.5	8.6	8.2	8.1	9
36	6.3	6.6	7.5	7.3	6.7	6.9	7.5	7.7	7.3	7.7	7.6	7.4	7.9	8.2	7.9	7.7	7.7	8.7	7.6	7.7	7.9	8.5
37	6.8	6.1	7.1	7.9	8.2	8.8	5.1	6.8	6.4	6	6.7	6.9	6	8.1	7.4	7.7	7	6.9	7	7.6	6.5	7.5
38	7.9	7.2	7.7	7.8	8.5	8.3	7.5	8.5	8.2	8.1	7.1	7.9	8.2	8.6	9	7.9	7.9	8.3	8.6	8.9	7.8	8.1
39	6.5	7.2	7.8	7.9	6.8	6.5	6.9	7.6	7.1	5.7	6.2	7.4	7	6.6	6.3	7.3	7.2	7.2	7.5	6.5	7.2	8.3
40	7	6.7	7.4	6.7	7.4	7.6	7	8	7.9	8.3	8.8	8.8										

표 38 배양실험 염분 data (단위: psu)

번호	Date																					
	1/19	1/20	1/21	1/22	1/23	1/24	1/25	1/26	1/27	1/28	1/29	1/30	1/31	2/1	2/2	2/3	2/4	2/5	2/6	2/7	2/8	2/9
1	35.5	35.4	34.5	35	34.2	34.4	35	34.5	34.6	33.8	34.4	34.6	34.5	34.7	34.3	34.3	34.6	34.6	34.6	34.3	34.1	34.2
2	34.3	34.6	34.6	34.7	34.5	34.7	34.4	34.6	34.6	34.1												
3	34.1	34.2	35	34.6	34.3	34.7	34.3	34.3	34.6	34												
4	35.9	33.7	35.3	34.4	34.2	34.4	34.6	34.5	35.3	34.1	34.3	34.4	34.6	34.9	34.4	34.2	34.2	34.6	34.5	34.5	34.1	34
5	34.5	35.4	34.5	35.7	34.4	35.3	34.7	34.7	34.8	34.1	34	34.8	34.7	34.3	34.6	34.3	34.5	34.6	34.2	34.6	34.7	34.2
6	34.9	34.2	34.4	33.9	34.2	34.8	34.6	34.4	34.8	34.1	34.4	34.2	34.5	34.3	34.8	34.3	34.2	34.5	34	34.1	34.2	34
7	34	34.1	34.6	34.8	34	34.7	34.8	34.7	34.7	34.1												
8	35.6	34.4	34.6	34.7	34	34.4	35	34.7	34.7	34.3	34.8	34.3	34.5	34.4	34.4	34.5	34.6	34.8	34.3	34.7	34.2	34.1
9	35	34.4	34	35.4	34.6	35	34.7	34.5	35	34.2	34.9	34.6	34.7	34.6	34.9	34.5	34.6	34.9	34.2	34.8	34.1	33.8
10	34.6	34.3	34.3	34.9	34.3	34.6	34.3	34.4	34.5	34.1	34.3	34.5	34.4	34.7	35	34.5	34.6	34.6	34.1	34.2	34.1	34.2
11	34.3	33.9	34.8	34.7	34.1	34.3	34.6	34.4	34.9	34.3	34.5	34.2	34.7	34.3	35	34.9	34.4	34.3	34.2			
12	34.6	33.7	34.9	34.6	34.1	34.8	34.5	34.8	34.4	34.2	34.1	34.4	34.5	34.4								
13	34.3	34.6	34.5	34.9	34.5	34.6	34.4	34.4	34.6	34.4	34.1	34.5	34.6	34.5	34.9	34.3	34.8	34.8	34.1	34.5	34.2	34.6
14	35.1	34.5	34.4	34.9	34.2	34.4	34.6	34.4	34.6	33.7	34.8	34.4	34.6	34.7	34.7	34	34.5	34.5	34	34.8	34.5	34.1
15	34.2	34.2	34.8	34.6	34.1	34.3	34.4	34.4	34.5	34.4												
16	34.5	34	34.5	34.5	34.1	34.2	35	34.5	34.3	34.3	34.8	34.2										
17	34.4	34.3	34.5	35.3	34.5	34.8	34.3	34.3	34.7	34	34.2	34.4	34.6									
18	34.7	34.3	34.5	34.8	34.2	34.3	34.4	34.6	34.7	34.6	34.6	34.9	34.3	34.5	34.6	34.8	34.6	34.4	34.3	34.3	34.4	34.2
19	34	33.9	34.7	34.9	34.3	34.1	34.5	34.6	34.6	34.1	34.2	34.9	34.7	34.8	34.8	34.1	34.5	34.4	34.2	34.3	34.3	34.4
20	34.2	34	34.8	34.5	34.2	34.3	34.3	34.6	34.4	34.2	34.8	34.5	34.7	34.7	34.4	34.5	34.4	34.8	34.5	34.6	34.3	34.5

21	34.7	34.3	34.3	35.1	34.4	34.3	34.3	34.7	34.9	34.3	34	34.4	34.6	34.6	34.7	34.5	35	34.7	34.2	34.7	34.1	34.1
22	34.1	33.9	34.5	34.7	34.2	34.3	34.4	34.4	34.6	34.2	34.3	34.5	34.4	34.4	34.6	34.5	34.2	34.4	34.1	34.7	34.2	34.6
23	34.1	33.8	35	34.5	34	34.3	34.7	34.8	34.4	34.2	34.1	34.4	34.4	34.6	34.1	34.4	34.3	34.4	34.1	34.5	34.1	34.3
24	34.1	33.9	34.3	34.5	34.1	34.2	34.4	34.8	34.7	34.1	34.1	34.5	34.3	34.6	34.8	34.4	34.5	34.2	34	34.5	34	34.2
25	34.7	34	34.4	35	34.7	34.6	34.3	34.7	34.7	33.9	34.6	34.5	34.7	34.7	34.3	34.1	34.7	34.7	34.1	34.5	34.2	34.2
26	34.4	34.1	34.6	34.4	34.3	34.4	34.5	34.5	34.6	34.3	34.1	34.8	34.6	34.4	34.7	34.2	34.4	34.4	34.1	34.2	34.3	34.1
27	34.2	33.9	34.8	34.5	34.1	34.3	34.2	34.2	34.4	33.8	34.7	34.4	34.6	34.3	34.4	34.5	34.2	34.2	34.1	34.3	34.2	34.4
28	34.6	33.9	34.4	34.5	34.1	34.3	34	34.7	34.4	34.1	34	34.5	34.4	34.7	34.7	34.5						
29	34.6	34.6	34.5	35.3	34.8	34.7	34.6	34.5	34.3	34.1	34.2	34.3	34.6	34.7	34.4	34.5	34.3	34.3	34.2	34.4	34.3	34.4
30	34.5	34.1	34.5	34.6	34.5	34.9	34.5	34.6	34.4	34.2	34.2	34.2	34.6	34.5	34.5	34.4	34.9	34.4	34.5	35	34.2	34.3
31	34.9	33.9	34.3	34.5	34.5	34.3	34.7	34.8	34.1	34.1	34	34.2	34.4	34.7	34.7	34.8	34.8	34.3	34.1	34.5	34.1	34.1
32	34.2	33.9	34.7	34.3	34.2	34.2	34.9	34.7	34.4	34	34.1	34.9	34.4	34.5	34.6	34.5	34.4	34.4	34.3	34.5	34.3	34.3
33	34.8	34.6	34.4	35	35	34.4	34.4	34.5	34.6	34.3	34.2	34.4	34.4	34.6	35.3	35	34.4	34.3	34.3	34.2	34.4	34.2
34	34.8	34.3	34.7	34.7	34.2	34.5	34.4	34.7	34.3	34.5	34.3	34	34.6	34.5	35	34.3	34.2	34.5	34.4	34.4	34.2	34.2
35	34.3	34	34.4	34.5	34.3	34.7	35	34.4	34.8	34.2	34.1	34	34.7	34.6	34.5	34.5	34.9	34.8	34.3	34.6	34.2	34.5
36	34.2	33.9	34.5	34.5	34.3	34.1	34.5	34.8	34.9	34.3	34.2	34.4	34.5	34.6	34.6	34.5	34.8	34.4	34.2	34.5	34	34.2
37	34.2	34.6	35	34.7	34.7	34.3	34.2	34.8	34.2	34	33.7	34.5	34.7	34.8	34.5	34.2	34.4	34.2	34.1	34.5	34	34.1
38	34.8	34	34.6	34.6	34.2	34.5	34.4	34.6	34	34.1	34.2	34.2	34.7	34.7	34.9	34.1	34.7	34.6	34.1	34.6	34.2	33.9
39	34.6	34	34.4	34.3	34.2	34	34.7	34.7	34.7	34.4	34.2	34.5	34.4	34.5	34.5	34.4	34.4	34.8	34.2	34.1	34.2	34.1
40	34.7	34.1	34.4	34.3	34.1	34.1	34.6	34.4	34.5	34.1	34.6	34.9										

표 39 조간대 해수 물성 raw data

날짜	시간	위치	만조시간	간조시간	위도	경도	Elevation (m)	pH	Sal(ppt)	Do (mg/l)	Tem(°C)												
2018-12-25	14:04	해표마을 조간대 site1	08:20(1.79), 22:17(1.59)	02:40(0.86), 15:26(0.03)	S 62°14.554'	W 058°44.543'	-5	8.623	8.6	31.993	31.99	9.427	9.427	4.1	4.3								
2018-12-26	15:06	해표마을 조간대 site3	09:11(1.77), 23:08(1.59)	03:30(0.87), 16:15(0.04)	S 62°14.537'	W 058°43.640'	-27	8.378	8.36	28.16	28.29	8.527	8.427	6.467	7.6								
2018-12-26	15:33	해표마을 조간대 site4	09:11(1.77), 23:08(1.59)	03:30(0.87), 16:15(0.04)	S 62°14.541'	W 058°43.621'	-21	8.507	8.5	32.093	31.99	9.827	9.627	5.1	5.2								

8.52  
8.53  
8.52

날짜	시간	위치	만조시간	간조시간	위도	경도	pH		Sal(ppt), 3분측정	Do(mg/l)		Tem(°C)								
2019-01-07	12:38	해표마을 조간대 site5			S 62°14.540'	W 058°44.938'	57	8.443	8.42	30.9	30	9.8	9.2	6.35	6.4					
13:08	해표마을 조간대 site6				S62°14.477'	W 058°45.115'	30	8.543	8.52	33.633	33.8	10.033	10.4	5.4833	6.6					
13:56	해표마을 조간대 site7				S 62°14.428'	W 058°45.599'	-6	8.404	8.35	30.667	30.3	10.667	10.8	6.167	6.1					
2019-01-12	16:15	해표마을	11:00(1.47)/	05:21(0.95)/17:4	62°14.531'S	058°44.783'W	-4	8.303	8.29	33.267	33.6	9.9	11.2	2.8	3.4					

날짜	시간	위치	만조시간	간조시간	위도	경도	pH	Sal(ppt), 3분측정	Do(mg/l)	Tem(°C)					
		조간대 site8	5(0.57)		55		8.3	33.1	9.3	2.5					
							8.29	33.1	9.2	3.6					
							8.29			2.4					
							8.32			3.7					
							8.31			2.4					
							8.31			2.4					
							8.31			2.4					
							8.31			2.4					
							8.31			2.4					
2019-01-23	14:55	해표마을 조간대 site1			62°12.562'S	058°44.512'W	-12	8.538	8.49	33.567	33.2	12	12.1	4.583	4.8
					56			8.49		33.7			12.1		5.3
								8.49		33.8			11.8		4.3
								8.56							4.6
								8.56							4.2
								8.56							4.3
								8.57							
								8.56							
								8.56							
								8.654							
2019-01-23	15:57	해표마을 조간대 site9			62°14.540'S	058°44.000'W	-12	44444	8.63	33.667	33.8	14.567	14.2	5.233	5.4
								4	8.64		33.7		14.8		5.6
									8.64		33.5		14.7		5
									8.66						5
									8.66						5.2
									8.66						5.2
									8.67						
									8.67						
날짜	시간	위치	만조시간	간조시간	위도	경도	pH	Sal(ppt), 3분측정	Do(mg/l)	Tem(°C)					
2019-01-27	11:34	해표마을 조간대 site1	00:07(1.61)/12:00(0.65)/18:2	9(1.60)	62°14.504'S	058°44.494'W	2	8.235	8.22	33.75	33.6	9.3	9.2	4.5	5.4
		비움			57			8.22		33.9		9.4			4.8
								8.23							3.8
								8.25							4
								8.25							
								8.24							

날짜	시간	위치	만조시간	간조시간	위도	경도	Elevation(m)	pH	Sal(ppt)	Do(mg/l)	Tem(°C)				
2018-12-28	10:35	세종곶 site1	11:07(1.65)	05:20(0.86), 18:00(0.22)	S 62°13.457'	W 058°47.833'	54	8.044	8.02	33.127	32.59	9.36	9.227	0.786	1
								8.02							
								8.04		33.29		9.227		0.2	
								8.05		33.49		9.627		0.3	
								8.05						0.3	
								8.05						2.3	
								8.05						0.2	
								8.06						1.2	
								8.06							
2018-12-28	11:04	세종곶 인근 100 m site2	11:07(1.65)	05:20(0.86), 18:00(0.22)	S 62°13.573'	W 058°47.487'	117	8.029	8.02	34.560	34.59	8.66	8.527	3.125	2.8
								8.02							
								8.03		34.69		8.427		4	
								8.03		34.39		9.027		3	
								8.03						2.7	
								8.03							
								8.03							
								8.03							
								8.03							
								8.03							
2018-12-28	16:10	세종곶 site1	11:07(1.65)	05:20(0.86), 18:00(0.22)	S 62°13.455'	W 058°47.869'	-2	8.013	8.03	32.993	32.89	9.193333	9.027	1.633	2.2
								8.03				333			
								8.03		33.19		9.427		2.2	
								8.04		32.89		9.127		1.2	
								8.03						1.6	
								8.04						1.3	
								7.98						1.3	
								7.99							
								7.99							
								7.99							
2018-12-28	16:45	세종곶 인근 100 m site2	11:07(1.65)	05:20(0.86), 18:00(0.22)	S 62°13.586'	W 058°47.509'	-2	8.180	8.17	33.860	33.99	10.393333	10.33	3.517	3.6
								8.17				333			
								8.17		33.89		10.43		4.3	
								8.17		33.69		10.43		3.3	
								8.18						3.4	
								8.18						3.1	
								8.18							
								8.18							
								8.18							
								8.18							



날짜	시간	위치	만조시간	간조시간	위도	경도	Elevation(m)	pH	Sal(ppt)	Do(mg/l)	Tem(°C)			
2019-01-18	10:34	세종곶 site1	03:49(1.62)/17:31(1.33)	10:57(0.53)/22:42(0.96)	62°13.423'S	058°47.692'W	216	8.276	33.467	33.6	9	9.2	1.483	1.6
								8.26						3.4
								8.18						
								8.19						
								8.19						
								8.19						
								8.27		33.2		8.9		1.4
								8.27		33.6		8.9		1.6
								8.28						1.4
								8.28						1.6
								8.28						1.3
								8.28						
								8.28						
								8.28						
								8.28						
								8.28						
								8.28						
2019-01-31	10:50	세종곶 site1	03:10(1.56)/17:23(1.35)	10:27(0.48)/22:14(1.04)	S 62°13.455'	W058°47.869'	-2	8.027	33.100	32.5	8.366666	7.8	2.460	
								8.01			667			
								8.03		33.2		8.4		3.3
								8.03		33.6		8.9		2.4
								8.03						2.2
								8.03						2.2
								8.03						2.2
								8.03						2.2
								8.03						2.2
								8.03						2.2
								8.03						2.2
2019-02-12	11:15	세종곶	0:02(1.55)/12:26(1.36)	06:24(0.75)/18:21(0.81)	구글어스 참조			8.090	33.467	33.7	9.033333	8.8	0.540	
								8.08			333			
								8.09		33.3		9.1		0.6
								8.09		33.4		9.2		0.3
								8.09						0.5
								8.09						0.9
								8.09						0.4
								8.09						0.4
								8.1						
								8.09						

날짜	시간	위치	만조시간	간조시간	위도	경도	Elevation(m)	pH	Sal(ppt)	Do(mg/l)	Tem(℃)				
2018-12-31	8:40	자이언트팩 트롤 둥지 site4	02:24(1.54), 14:49(1.40)	08:40(0.67), 20:51(0.68)	S 62°13.932'	W 058°46.988'	10	7.984	7.93	30.727	29.09	9.227	8.927	2.633	3.4
										7.93	31.79	9.127			3.9
										7.95	31.29	9.627			2
										8.01					2.4
										8.01					1.8
										8.01					2.3
										8.01					
										8					
2019-01-03	10:11	자이언트팩 트롤 둥지 site1	04:42(1.59), 18:41(1.41)	11:52(0.37), 23:42(0.98)	S 62°14.051'	W 058°46.942'	-35	8.189	8.16	32.533	8.200	4.450	5.5		
										8.18	31.7	8.6	5.2		
										8.16			4.8		
										8.21	32.4	7.6	3.9		
										8.21			3.8		
										8.21	33.5	8.4	3.5		
										8.19					
										8.19					
										8.19					
2019-01-03	10:43	자이언트팩 트롤 둥지 site2	04:42(1.59), 18:41(1.41)	11:52(0.37), 23:42(0.98)	S 62°14.035'	W 058°46.948'	-7	8.223	8.21	33.367	9.033	4.150	4.1		
										8.22	35	9	4.2		
										8.22			3.9		
										8.25	32.5	9	4.4		
										8.25			4.5		
										8.25	32.6	9.1	3.8		
										8.21					
										8.2					
										8.2					
2019-01-03	11:18	자이언트팩 트롤 둥지 site3	04:42(1.59), 18:41(1.41)	11:52(0.37), 23:42(0.98)	S 62°13.932'	W 058°47.003'	-3	8.236	8.23	33.000	8.733	4.617	4.8		

								8.24		33.4		8.9		4.9
								8.24						4.5
								8.23		32.7		8.3		4.4
								8.23						4.6
								8.23		32.9		9		4.5
								8.24						
								8.24						
								8.24						
2019-01-05	11:08	펭귄마을 site1	06:09(1.65), 20:25(1.44)	00:32(1.01), 13:30(0.27)	S 62°14.098'	W 058°46.869'	113	8.139	8.14	32.567		8.400		4.150 5.4
									8.15		32		8.4	5.5
									8.15					3.9
									8.12		32.9		8.5	3.9
									8.12					3.1
									8.12		32.8		8.3	3.1
									8.15					
									8.15					
									8.15					
	11:34	펭귄마을 site2	06:09(1.65), 20:25(1.44)	00:32(1.01), 13:30(0.27)	S 62°14.105'	W 058°46.822'	67	8.226	8.21	32.967		8.400		2.433 2.5
									8.22		33.1		8.2	2.6
									8.22					2.4
									8.23		32.9		8.5	2.4
									8.23					2.3
									8.23		32.9		8.5	2.4
									8.23					
									8.23					
									8.23					
2019-01-27	13:10	자이언트페 트롤 등지 site1	00:07(1.61)/12:09(1.60)	06:02(0.65)/18:29(0.51)	S 62°14.057'	W058°46.924'	-6	8.173	8.16	31.300		9.467		3.650 4
									8.16		33.2		9.5	3.3
									8.16					3.2
									8.19		33.9		9.5	
									8.18					
									8.18					
2019-02-01	10:18	비상대피소	04:03(1.57)/18:34(1.37)	11:32(0.44)/23:14(1.08)	S 62°14.282'	W 058°46.084'	-5	8.258	8.18	27.200	26.8	9.367	9.4	3.300 4.1
									8.19		25.9		9.1	3.7

									8.19	28.9	9.6	3			
									8.3			3			
									8.3			3			
									8.29			3			
									8.29						
									8.29						
									8.29						
2019-02-02	11:07	자이언트팩 트롤 등지 site3	04:57(1.58)/19:28(1.4)	12:28(0.4)	62°13.933'S	058°46.997'W	-3	8.139	8.11	34.200	34.2	11.500	11.6	2.300	2.3
					64				8.12		34.2		11.4		2.4
									8.14		34.2		11.5		2.2
									8.14						2.3
									8.14						2.4
									8.15						2.2
									8.15						
									8.15						
									8.15						
11:45		자패등지 site1			62°14.050'S	058°46.944'W	-2	8.267	8.21	33.267	33.4	12.300	12.4	2.933	3
					65				8.21		33.4		12.4		2.9
									8.27		33		12.1		2.9
									8.26						2.9
									8.28						3
									8.3						2.9
									8.29						
									8.29						
									8.29						
									8.29						
									8.29						
									8.29						
									8.29						
날짜	시간	위치	만조시간	간조시간	위도	경도	Elevation(m)		pH	Sal(ppt)	Do(mg/l)		Tem(℃)		
2019-01-08	13:56	마리안소만 site1	08:13(1.66)/22:12(1.45)	02:35(1.01)/15:25(0.29)	S 62°12.960'	W 058°46.988'	36	7.992	7.96	31.967	31.3	8.567	8.3	2.867	4.4
									7.97		32.2		8.6		4.3
									7.97		32.4		8.8		2.9
									8						2.1
									8						2
									8						1.5
									8.01						
									8.01						
									8.01						
									8.01						
14:14		마리안소만			S 62°12.941	W	-6	8.064	8.06	33.233	33.4	8.533	8.4	2.267	2.5

날짜	시간	위치	만조시간	간조시간	위도	경도	Elevation(m)	pH	Sal(ppt)	Do(mg/l)	Tem(℃)				
		site2				058°45.744'									
								8.06	33.2	8.6	2.4				
								8.06	33.1	8.6	2.2				
								8.05			2.3				
								8.07			2.3				
								8.07			1.9				
								8.07							
								8.07							
								8.07							
								8.07							
								8.07							
								8.07							
14:46		마리안소만 site3			S 62°13.141'	W 058°45.986'	-4	8.124	8.1	28.933	29	9.733	10.2	3.033	4.4
								8.09		28.9		9.5			3.5
								8.09		28.9		9.5			2.2
								8.13							3.2
								8.13							2.7
								8.13							2.2
								8.15							
								8.15							
								8.15							
2019-01-26	16:30	마리안소만 site1	11:05(1.70)/	05:04(0.70)/17:39(0.34)	S 62°12.960'	W 058°46.988'	36	7.986	7.98	32.700	32.4	8.867	8.3	0.850	0.8
									7.98		32.9		9		1.6
									7.98		32.8		9.3		0.4
									7.99						1.1
									7.99						0.6
									7.99						0.6
									7.99						
									7.99						
									7.98						
2019-02-11	11:56	마리안소만 site1	11:35(1.43)/	5:37(0.78)/17:43(0.73)	62°12.954'S	058°45.730'W		8.038	8.02	33.400	33.3	9.267	9.4	0.117	0.7
									8.02		33.4		9.1		1.1
									8.02		33.5		9.3		-0.2
									8.04						0.1
									8.04						-0.4
									8.05						-0.6
									8.05						
									8.05						
									8.05						

2019-01-09	13:44	빙벽 site1	08:53(1.64)/22:40(1.00)/16:05(1.45)	03:14(1.00)/16:00(0.34)	S 62°12.283'	W 058°43.398'	31	8.311	8.28	31.9	31.1	10.4	10.2	0.367	1.4
									8.3		31.9		10.4		0.8
									8.3		32.7		10.6		0.7
									8.32						-0.4
									8.32						0.2
									8.31						-0.5
									8.32						
									8.33						
									8.32						
14:16	빙벽 site2				S 62°12.510'	W 058°43.946'	25	8.299	8.31	32.867	33	10	9.6	4.3	3.5
									8.32		32.7		9.9		4.3
									8.32		32.9		10.5		5
									8.24						4.5
									8.24						4.2
									8.24						4.3
									8.34						
									8.34						
									8.34						
16:10	빙벽 site3				S 62°13.193'	W 058°46.815'	-6	8.269	8.26	34.725	35.7	10.175	10	4.8142	5.5
									8.23		35.3		10.3		4.9
									8.26		34.4		10.5		4.4
									8.28						5
									8.27						4.3
									8.27						4.6
									8.28						
									8.28						
2019-01-21	14:09	빙벽 site1	06:24(1.79)/20:20(0.94)/13:33(1.55)	00:40(0.94)/13:37(0.14)	62°12.507'S	058°43.942'W	-4	8.302	8.29	33.333	33.5	9.933	9.9	3.617	5
									8.28		33.3		10		4.8
									8.29		33.2		9.9		3.1
									8.31						3
									8.31						2.9
									8.31						2.9
									8.31						
									8.31						
									8.31						
									8.31						
날짜	시간	위치	만조시간	간조시간	위도	경도	Elevation(m)	pH		Sal(ppt)	Do(mg/l)		Tem(℃)		
2019-01-08	22:00	세종기지	08:13(1.66)/22:10(1.01)/15:20(1.01)	02:35(1.01)/15:20(1.01)				8.103	8.07	32.867	9.733		2.517	4.1	

		3(1.45)	5(0.29)									
만조 1						8.07		32.5		9.9		2.2
						8.12						1.9
						8.12		33.1		9.8		2.9
						8.12						2.1
						8.12		33		9.5		1.9
						8.13						
						8.06						
						8.12						
2019-01-09	22:59 세종기지 앞	08:53(1.64)/22:40	03:14(1.00)/16:0									
	만조 2	5(1.45)	0(3.4)			8.206	8.18	32.700		9.833		2.525 2.8
						8.19				31.9		9.8 2.5
						8.2						2.5
						8.21				33.1		9.6 2.3
						8.21						
						8.21				33.1		10.1
						8.21						
						8.22						
						8.22						
						8.22						
2019-01-12	11:15 세종기지 앞	11:00(1.47)/	05:21(0.95)/17.4									
	눈 /비		5(0.57)			7.907	7.91	33.467		7.833		3.833 4.9
	땅이옴											
	만조 3					7.9				32.7		7.7 4.4
						7.89						4.8
						7.91				33.4		7.7 3.6
						7.91						2.7
						7.91				34.3		8.1 2.6
						7.91						
						7.91						
						7.91						
2019-01-13	11:42 세종기지 앞	00:23(1.48)/11:40	06:11(0.92)/18.2									
	만조 4	9(1.39)	2(0.66)			7.967	7.95	34.000		8.700		1.825 2.1
						7.96				33.7		8.9 1.7
						7.97						1.5
						7.97				34.2		8.5 2
						7.97						
						7.97				34.1		8.7
						7.97						
						7.97						
						7.97						
						7.97						
2019-01-13	18:00 세종기지 앞	00:23(1.48)/11:40	06:11(0.92)/18.2									
		9(1.39)	2(0.66)			7.982	7.96	33.967		9.133		1.683 2.2

간조 1					7.96		33.6	9.5	2	
					7.96				1.5	
					7.99		34.2	9	1.5	
					8				1.5	
					7.99		34.1	8.9	1.4	
					7.98					
					8					
					8					
2019-01-14	12:53	세종기지 앞	00:58(1.50)/12:407:04(0.88)/19:0		8.031	7.97	33.000	17.300	2.717	2.7
			6(1.32) 2(0.74)							
간조 5					7.99		33.9	9.1	3.3	
					7.99				2.9	
					8.03		34.1	8.8	2.7	
					8.05				2.2	
					8.06		31	34	2.5	
					8.06					
					8.06					
					8.07					
2019-01-14	19:13	세종기지 앞	00:58(1.50)/12:407:04(0.88)/19:0		8.104	8.09	34.233	9.600	1.883	2.5
			6(1.32) 2(0.74)							
간조 2					8.09		34.1	9.9	2.3	
					8.1				1.8	
					8.11		34.3	9.4	1.6	
					8.11				1.5	
					8.11		34.3	9.5	1.6	
					8.11					
					8.11					
					8.11					
2019-01-15	8:10	세종기지 앞	01:34(1.52)/13.508:01(0.82)/19:4		8.177	8.16	34.200	9.767	1.883	1.8
			2(1.27) 7(0.81)							
간조 3					8.16		34.2	10.2	2	
					8.16				1.9	
					8.18		34.2	9.7	1.8	
					8.18				1.9	
					8.18		34.2	9.4	1.9	
					8.19					
					8.19					
					8.19					
2019-01-16	16:11	세종기지 앞	02:14(1.55)/15:008:59(0.75)/20:4		8.253	8.25	33.767	9.967	3.283	3.3
			6(1.26) 0(0.88)							
간조 6					8.25		33.8	10.5	3.5	
					8.25				3.3	



					8.25	33.8	9.8	3.2		
					8.25			3.2		
					8.26	33.7	9.6	3.2		
					8.26					
					8.26					
					8.25					
2019-01-18	11:06	세종기지 앞	03:49(1.62)/17:3	10:57(0.53)/22:4	8.307	8.3	33.433	11.033	1.483	1.5
			1(1.33)	2(0.96)						
		유병 있음				8.3		33.4	11.2	1.6
		간조 4				8.31				1.4
						8.3		33.5	11	1.3
						8.31				1.5
						8.31		33.4	10.9	1.6
						8.31				
						8.31				
						8.31				
2019-01-19	11:30	세종기지 앞	04:40(1.67)/18:3	11:53(0.40)/23:4	8.242	8.22	34.033	10.167	2.180	2.3
			3(1.41)	3(0.96)						
		유병 있음				8.23		33.9	10.4	2.2
		간조 5				8.23				2
						8.25		34.1	10.1	2.1
						8.25				2.3
						8.25		34.1	10	
						8.25				
						8.25				
						8.25				
2019-01-20	12:29	세종기지 앞	05:32(1.73)/19:3	12:47(0.26)/	8.207	8.19	33.933	10.100	2.367	2.8
			0(1.48)							
		유병 조금				8.19		34.2	10.1	3.1
		있음				8.2				2
		간조 6				8.21		33.8	10	2
						8.21				1.9
						8.21		33.8	10.2	2.4
						8.22				
						8.21				
						8.22				
2019-01-27	18:30	세종기지 앞	00:07(1.161)/12.06:02(0.62)/18:2		8.034	8.03	32.967	9.100	2.240	2.6
			09(1.60)	9(0.51)						
		간조 7				8.03		32.1	9	2
						8.03				2.5
						8.04		33.3	9.1	1.9



2019-02-04	12:22	세종기지 앞	6:35(1.64)/20:40 0.58(1.05)/13:54		8.02								
	간조 10		(1.44) (0.36)	8.027	8.02	33.500	33.4	10.133	10.1	2.475	2.5		
					8.03		33.6		10		2.3		
					8.03		33.5		10.3		2.6		
											2.5		
2019-02-05	7:05	세종기지 앞	07:20(1.65)/21:01:40(1.01)/14:30		8.008	7.98	34.033	34.1	8.933	9.3	2.050	2.2	
	만조		8(1.47) (0.36)			8		34		8.8		2.2	
	만조 9					8		34		8.7		1.9	
						8.01						2.1	
						8.01						1.9	
						8.01						2	
						8.02							
						8.02							
						8.02							
2019-02-05	14:26	세종기지 앞	07:20(1.65)/21:01:40(1.01)/14:30		8.087	8.07	33.833	33.7	9.233	9.5	4.517	5.1	
	간조 11		8(1.47) (0.36)			8.07		33.9		9.1		5.4	
						8.07		33.9		9.1		4.1	
						8.09						4.2	
						8.09						4	
						8.09						4.3	
						8.1							
						8.1							
						8.1							
2019-02-06	12:47	세종기지 앞	08:03(1.66)/21:32:19(0.96)/15:02		8.121	8.11	32.000	32.1	10.333	10.5	1.933	2.5	
	간조 12		6(1.49) (0.38)			8.11		32		10		2.3	
	유빙 많음					8.12		31.9		10.5		1.7	
						8.12						1.7	
						8.12						1.7	
						8.12						1.7	
						8.13						1.7	
						8.13							

2019-02-06 21:06 세종기지 앞 만조 10	08:03(1.66)/21:3 2:19(0.96)/15:02 6(1.49) (0.38)	8.019	8.13	32.733	32.8	9.500	9.5	2.150	2.8
			8						
			8.01						
			8.01						
			8.02						
			8.02						
			8.02						
			8.03						
			8.03						
			8.03						
2019-02-07 15:20 세종기지 앞 간조 13	08:44(1.64)/22:0 02:57(0.92)/15:3 4(1.51) 4(0.42)	8.110	8.06	34.367	34.4	10.167	10.5	2.200	2.8
			8.1						
			8.11						
			8.12						
			8.12						
			8.12						
			8.12						
			8.12						
			8.12						
			8.12						
2019-02-07 22:00 세종기지 앞 만조 11	08:44(1.64)/22:0 02:57(0.92)/15:3 4(1.51) 4(0.42)	8.014	8	34.667	34.6	9.300	9.2	1.483	1.4
			8						
			8.01						
			8.02						
			8.02						
			8.02						
			8.02						
			8.02						
			8.02						
			8.02						
2019-02-08 15:50 세종기지 앞 만조 12 구름맑음	09:25(1.61)/22:3 3:35(0.88)/16:05 3(1.53) (0.49)	8.136	8.12	34.133	34.2	10.400	10.7	3.067	3.9
			8.13						
			8.13						
			8.14						
			8.14						
			8.14						
			8.14						
			8.14						
			8.14						
			8.14						
2019-02-08 22:00 세종기지 앞	09:25(1.61)/22:3 3:35(0.88)/16:05	8.103	8.08	34.500	34.5	9.633	10.1	1.600	1.6
			8.08						



간조 16 맑음	(1.36)	(90.81)		8.16 8.16 8.15 8.15 8.15 8.15 8.15 8.15	34.6 34.4		8.9 8.7		3.9 2.7 2.6 2.6 2.5	
2019-02-13 13:12 세종기지 앞	0:35(1.55)/13:27	7:16(0.71)/19:06	8.263	8.25	34.267	34.2	6.067	5.8	4.667	5.2
만조 15 구름약간 /바람 /파도 없음	(1.31)	(0.89)		8.26 8.26 8.27 8.27 8.27 8.25 8.27 8.27	34.4 34.2		6.2 6.2		5.4 4.4 4.5 4.2 4.3	

